

## INSTRUMENTOS PARA EL ANÁLISIS DE ORDENACIONES BASADAS EN MÉTODOS MULTICRITERIO. APLICACIÓN A LAS UNIVERSIDADES IBEROAMERICANAS

**RODRIGO PARDO-QUINTANILLA**

*parquin@alumni.uv.es*  
Universitat de València, Avenida Blasco Ibáñez, 13,  
46010 València, España

**CARLA ROJAS-PUEBLA**

*caropue@alumni.uv.es*  
Universitat de València, Avenida Blasco Ibáñez, 13,  
46010 València, España

**VICENTE LIERN**

*vicente.liern@uv.es*  
Universitat de València, Departamento de Matemáticas para la Economía y la Empresa  
Avda. dels Tarongers, s/n. 46022 València, España

Recibido (29/10/2024)  
Revisado (10/11/2024)  
Aceptado (13/11/2024)

**RESUMEN:** Los métodos de decisión multicriterio tradicionales se pueden adaptar a escenarios de incertidumbre permitiendo establecer ordenaciones, a pesar de que algunos requisitos del modelo sean imprecisos. En este trabajo mostramos otro uso de estos métodos: utilizar el método Unweighted TOPSIS (UW-TOPSIS) para detectar anomalías en ordenaciones hechas con datos precisos. Al aplicar UW-TOPSIS, cada alternativa tiene asociado un intervalo que indica su peor y su mejor valoración global para situarse en el ranking. Para extraer información útil de este rango de posibilidades, introducimos el coeficiente de intervención, que estima la similitud entre el orden que ocupa una alternativa y la mejor situación posible de ésta.

La propuesta se aplica a la ordenación de las universidades iberoamericanas (incluyendo Andorra, España y Portugal) publicada por SCImago IBER en el quinquenio 2018-2022. Se estudian los diferentes niveles detectados por el coeficiente de intervención y se propone un método alternativo de ordenación que se ajusta mejor a los datos de la propia base de datos.

*Palabras Clave:* Ordenación, UW-TOPSIS, Decisión Multicriterio, SCIMAGO, Universidades Iberoamericanas.

**ABSTRACT:** Traditional multi-criteria decision-making methods can be adapted to uncertainty scenarios, allowing for rankings even when some model requirements are imprecise. In this work, we demonstrate another use of these methods: the Unweighted TOPSIS (UW-TOPSIS) method will be used to detect anomalies in rankings made with precise data. By applying UW-TOPSIS, each alternative is associated with an interval indicating its worst and best overall evaluation position in the ranking. To extract useful information from this range of possibilities, we introduce the intervention coefficient, which measures the similarity between the position of an alternative and its best possible situation.

The proposal is applied to the ranking of Ibero-American universities (including Andorra, Spain and Portugal) published by SCImago IBER for the five-year period 2018-2022. Different levels detected by the intervention coefficient are studied, and an alternative ranking method that better fits the data from the database itself is proposed.

*Keywords:* Ranking, UW-TOPSIS, Multiple-criteria decision analysis, SCIMAGO, Iberoamerican Universities.

## 1. Introducción

Los *rankings* no son un fenómeno nuevo, aunque su proliferación sí lo es. La idea surgió hace más de un siglo en los Estados Unidos (Martínez Rizo, 2010). Con antecedentes desde 1888, la idea de clasificar instituciones basada en alguna apreciación de su calidad fue propuesta por el psicólogo James Mckeen Cattell, en 1910, y se apoyaba en la afiliación institucional de científicos destacados (Martínez Rizo, 2010; Webster, 1983).

Actualmente se están utilizando para muchos propósitos, por esta razón nos centraremos solo en un tipo de organismos: las instituciones de educación superior (Pardo-Quintanilla, 2023; Pardo-Quintanilla et al., 2023). Los *rankings* responden a las demandas de los consumidores de información fácilmente interpretable, estimulan la competencia entre ellos, proporcionan algunos de los fundamentos para la asignación de fondos y ayudan a diferenciar entre diferentes tipos de instituciones, diferentes programas y disciplinas (IREG, 2023).

Basándose en la noción de calidad universitaria, que se ha instalado en el mundo por medio de diferentes sistemas de evaluación y medición, se ha conseguido hacer operativa la medición a través de criterios e indicadores respecto a ciertos aspectos de la universidad, aquellos más relevantes y significativos para quien evalúa (Reyes, 2016). Este problema está asociado a una decisión multicriterio, en la que es necesario ponderar los criterios de evaluación establecidos, dependiendo del uso que se pretende dar al ranking en cuestión.

Sin embargo, interpretar que la posición de una universidad en algún ranking está directamente relacionada con su calidad, resulta demasiado simple. De hecho, debería ser validada a través de la revisión y evaluación de la construcción de dicho ranking (Benítez y Liern, 2021; Pinto-Delacadena et al., 2024). Como toda evaluación, un ranking implica identificar ciertas universidades; definir en que consiste su calidad; precisar el referente con que se contrastará la situación de las universidades, hacer operativo el concepto de calidad precisando dimensiones e indicadores y medirlos confiablemente, contrastar el resultado de la medición con el referente y formular un juicio de valor ponderado (Martínez Rizo, 2010).

Entre los variados rankings, los más utilizados suelen ser el QS World University Rankings, el Times Higher Education (THE) y el Academic Ranking of World Universities (ARWU) de Shanghai. Para desarrollar el presente trabajo hemos elegido el ranking publicado por la empresa consultora española SCImago. Su objetivo principal es contribuir a los procesos de evaluación, toma de decisiones y desarrollo de estrategias para mejorar la cantidad y calidad de los resultados de la investigación. En particular, el trabajo de investigación se aplicará en la ordenación de las universidades de Iberoamérica (SCImago IBER, 2023). La principal razón de nuestra elección es que las valoraciones de los criterios son públicas (SCImago IR, 2023).

Desde el año 2009 el grupo de investigación de SCImago publica anualmente dos informes SIR (SCImago Institutions Rankings), sobre el desempeño en investigación, innovación e impacto social de las instituciones de educación superior.

- El SIR WORLD, que refleja la actividad científica en el mundo e incluye instituciones de todos los países y sectores que hayan publicado como mínimo 100 documentos en revistas indexadas en Scopus en el último año del periodo de estudio.
- El SIR IBER, muestra la actividad científica exclusivamente de Andorra, España, Portugal y los países de Latinoamérica, que incluye únicamente instituciones de educación superior que tengan por lo menos 1 documento publicado en revistas indexadas en Scopus a lo largo del quinquenio analizado.

La metodología para obtener este ranking de instituciones de educación superior se encuentra descrito en su página web, SCImago IR (2023), donde indica que este ranking de instituciones académicas relacionadas con la investigación, se encuentran clasificadas por un indicador compuesto, que combina tres conjuntos diferentes de indicadores basados en el desempeño de la investigación, resultados de innovación e impacto social medido por su visibilidad web.

Las fuentes de información utilizadas son las siguientes:

- PATSTAT para los indicadores de innovación.
- Google y Ahrefs para la visibilidad web.

- Unpaywall se utiliza para identificar documentos de Acceso Abierto.
- PlumX y Mendeley se utilizan para Altmetrics.

El cálculo de dichos indicadores se genera anualmente a partir de los resultados obtenidos durante un período de cinco años. La única excepción es el factor de impacto social que sólo puede ser calculado para el último año.

La medición de las instituciones de educación se realiza a partir de 17 indicadores, distribuidos en tres factores: investigación, innovación e impacto social, como se muestra en la Figura 1.

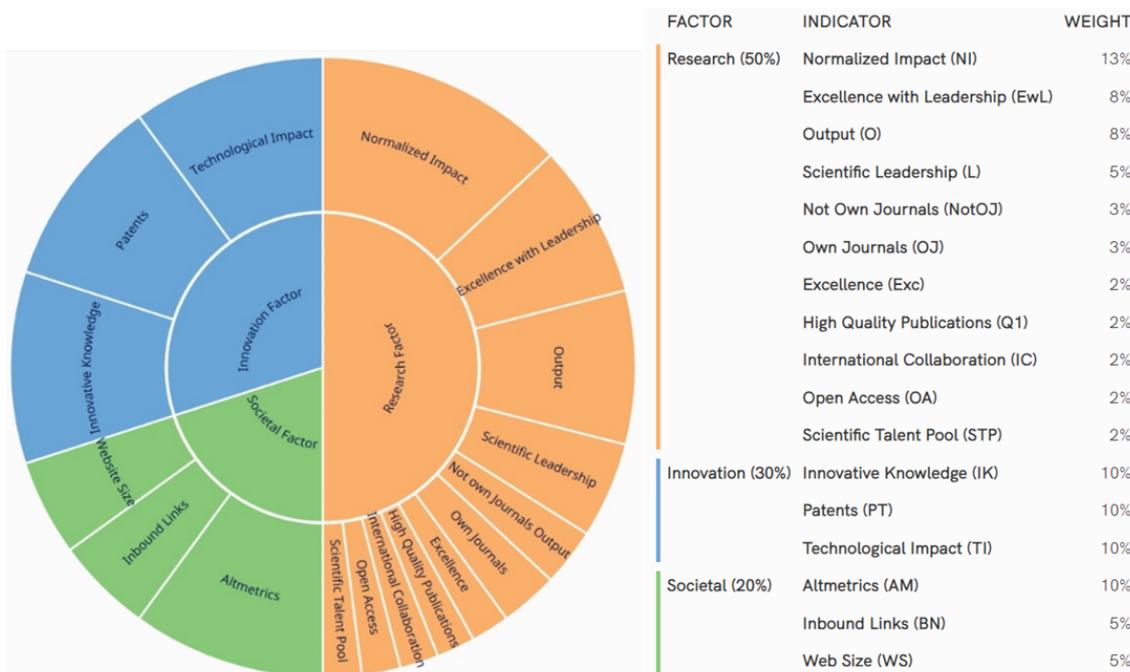


Figura 1. Factores, indicadores y pesos utilizados por SCImago SIR.

Fuente: SCImago IBER (2023).

*Nota 1.* El indicador Altmetrics (AM) se divide en la web y en nuestro trabajo en dos indicadores: PlumX y Mendeley. En consecuencia, trabajaremos con 18 indicadores cuyos nombres en español pueden verse en las tablas 2 y 3.

La evaluación que llevaremos a cabo consiste en revisar el tratamiento de datos, la precisión en las mediciones realizadas y la consistencia de los resultados con las tendencias resultantes para apoyar el proceso de toma de decisiones de cualquier actor que se interese por seleccionar alguna de las universidades iberoamericanas en el ámbito de la investigación.

En este artículo, todos los cálculos se han realizado con R, utilizando una adaptación del código publicado en López-García et al. (2023), en donde aparece (en un apéndice) el código completo.

## 2. Marco teórico

En esta sección se describirán los elementos teóricos que forma parte de la metodología de este trabajo: los métodos TOPSIS y Unweighted TOPSIS, el coeficiente de intervención y los pesos decisionales.

Como se verá más adelante, el coeficiente de intervención se introduce por primera vez en este trabajo y se mostrará un uso práctico de los pesos decisionales propuestos en López-García et al. (2023).

## 2.1. Método TOPSIS

El método multicriterio introducido por C. L. Hwang y K. Yoon a principios de los años ochenta del siglo pasado, se puede generalizar de la forma siguiente (Hwang, Yoon, 1981):

PASO 1: Matriz de decisión. Se tienen  $n$  alternativas,  $A_i$ , valoradas en  $m$  criterios. Con estas valoraciones determinamos la matriz de decisión  $D$ ,

$$D = (x_{ij})_{n \times m}. \quad (1)$$

PASO 2: Matriz de decisión normalizada. Los criterios no siempre están evaluados en la misma escala ni con las mismas unidades, por tanto, estos valores se deben normalizar mediante una función de normalización  $n(x)$  para poder compararlos correctamente,

$$r_{ij} = n(x_{ij}), \quad 1 \leq i \leq n, \quad 1 \leq j \leq m. \quad (2)$$

De esta forma, se obtiene la matriz de decisión normalizada  $N = (r_{ij})_{n \times m}$ .

PASO 3: Determinar los pesos normalizados y construir la matriz normalizada y con pesos. Como todos los criterios no tienen por qué ser igual de importantes, a cada criterio se le asigna un peso  $w_j \geq 0$ ,  $1 \leq j \leq m$ , de manera que la suma de todos ellos sea la unidad,  $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ . Una vez estos pesos han sido asignados, se define:

$$v_{ij} := w_j r_{ij}, \quad V_i := (w_1 r_{i1}, \dots, w_m r_{im}), \quad 1 \leq i \leq n, \quad 1 \leq j \leq m, \quad (3)$$

y se construye la matriz normalizada y pesada  $T = [v_{ij}]_{n \times m}$ .

PASO 4: Determinar el ideal positivo (PIS) y el ideal negativo o anti-ideal (NIS). Consideramos que  $J$  corresponde a los criterios de maximización y  $J'$  corresponde a los criterios de minimización. La solución ideal  $A^+ = \{v_1^+, \dots, v_m^+\}$  y anti-ideal  $A^- = \{v_1^-, \dots, v_m^-\}$  se calculan teniendo en cuenta

$$v_j^+ = \begin{cases} \max_i v_{ij} & \text{si } j \in J \\ \min_i v_{ij} & \text{si } j \in J' \end{cases} \quad v_j^- = \begin{cases} \min_i v_{ij} & \text{si } j \in J \\ \max_i v_{ij} & \text{si } j \in J' \end{cases} \quad 1 \leq j \leq n. \quad (4)$$

PASO 5: Calcular la medida de separación. Se calculan las  $2n$  distancias siguientes:

$$d_i^+ = d(V_i, A^+), \quad d_i^- = d(V_i, A^-), \quad 1 \leq i \leq n. \quad (5)$$

PASO 6: Calcular la proximidad relativa con la mejor situación ideal. Se utiliza el índice de proximidad:

$$R_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, \quad 1 \leq i \leq n. \quad (6)$$

PASO 7: Ordenar las alternativas teniendo en cuenta el valor de  $R_i$ .

Por construcción,  $R_i$  toma valores entre 0 y 1. Si  $R_i$  vale 1 significa que dicha alternativa es la ideal ( $A_i = A^+$ ), mientras que, si  $R_i$  vale 0, significa que dicha alternativa es la anti-ideal ( $A_i = A^-$ ). Para valores intermedios, una alternativa está más próxima al óptimo de nuestro problema cuanto mayor sea el valor de  $R_i$ . Por lo tanto, las alternativas se pueden ordenar según el valor de  $R$  en orden decreciente, tal y como se expresa en la Definición 1.

**Definición 1.** Dadas  $n$  alternativas  $A_i$ ,  $1 \leq i \leq n$ , de las que conocemos el índice de proximidad relativa  $R_i$ ,  $1 \leq i \leq n$ , diremos que

- $A_i$  es mejor que  $A_j \Leftrightarrow R_i > R_j$ .
- $A_i$  es equivalente a  $A_j \Leftrightarrow R_i = R_j$ .
- $A_i$  es peor que  $A_j \Leftrightarrow R_i < R_j$ .

En la expresión (2) se utiliza una función de normalización teórica, sin especificar ninguna en particular. En la versión original (Hwang y Yoon, 1981) y en gran parte de aplicaciones, la normalización que se utiliza es la vectorial. Sin embargo, como se muestra Ouenniche et al. (2018), en muchos trabajos se han utilizado otras normalizaciones, como transformaciones lineales, transformaciones gaussianas o tipificaciones. En Acuña-Soto et al. (2021) y Liern et al. (2020) se generaliza estas normalizaciones en dos sentidos:

- a) Se puede definir una normalización a partir de una relación entre áreas (mediante integrales).
- b) Cuando el problema tratado lo requiere, cada criterio puede ser normalizado con una función de normalización distinta.

A pesar de que la distancia original propuesta en Hwang y Yoon (1981) es la distancia euclídea, en la expresión (5) se utiliza una función distancia genérica  $d$ , porque existen otras muchas formas de medir distancias (véanse, por ejemplo, Ouenniche et al. (2018), Bouslah et al. (2022) y Acuña et al. (2021)).

## 2.2. Método Unweighted TOPSIS

El método Unweighted TOPSIS fue introducido por Liern y Pérez-Gladish para poder utilizar TOPSIS a pesar de que los pesos sean imprecisos (Liern y Pérez-Gladish, 2022). En realidad, se trata de una generalización del método TOPSIS clásico con las siguientes modificaciones:

- a) Los pesos se consideran variables del problema.
- b) El modelo multicriterio, que maneja una cantidad finita de alternativas y criterios, se resuelve utilizando dos modelos de optimización continua para cada alternativa.

Con UW-TOPSIS cada alternativa tiene asociado un intervalo que indica su peor y su mejor valoración global. Por lo tanto, la ordenación de las alternativas dependerá de la ordenación de estos intervalos.

A continuación, describimos el método de manera algorítmica, expresado en nueve pasos.

PASO 1: Matriz de decisión  $D = (x_{ij})_{n \times m}$  como en TOPSIS.

PASO 2: Matriz de decisión normalizada  $N = (r_{ij})_{n \times m}$  como en TOPSIS.

PASO 3: Matriz de pesos normalizada y pesada. Consideramos el conjunto de variables en

$$\Omega = \left\{ w = (w_1, \dots, w_m) \in \mathbb{R}^m, \quad 0 \leq l_j \leq w_j \leq u_j \leq 1, \quad 1 \leq j \leq m \sum_{j=1}^m w_j = 1 \right\}, \quad (7)$$

donde las constantes  $l_j$  y  $u_j$  son cotas inferiores y superiores (resp.) para los pesos.

Para todo  $w = (w_1, \dots, w_m) \in \Omega$ , se define

$$v_{ij}(w) := w_j r_{ij}, \quad 1 \leq i \leq n, \quad 1 \leq j \leq m. \quad (8)$$

Así, se construye la matriz normalizada y pesada considerando los pesos como variables en  $\Omega$ ,

$$T(w) = [v_{ij}(w)]_{n \times m}. \quad (9)$$

PASO 4. Determinar el ideal (función) y el anti-ideal (función). Sabiendo que  $J, J'$  corresponden a los criterios de maximización y minimización, respectivamente, las soluciones ideal  $A^+ = (v_1^+(w), \dots, v_m^+(w))$  y anti-ideal  $A^- = (v_1^-(w), \dots, v_m^-(w))$  se calculan de la forma siguiente:

$$v_j^+(w) = \begin{cases} \max_i v_{ij}(w) & \text{si } j \in J \\ \min_i v_{ij}(w) & \text{si } j \in J' \end{cases} \quad v_j^-(w) = \begin{cases} \min_i v_{ij}(w) & \text{si } j \in J \\ \max_i v_{ij}(w) & \text{si } j \in J' \end{cases} \quad 1 \leq j \leq n. \quad (10)$$

PASO 5. Determinar las distancias al ideal y anti-ideal. Se definen las funciones  $d_i^+ : \Omega \rightarrow [0,1]$ , y  $d_i^- : \Omega \rightarrow [0,1]$ ,  $1 \leq i \leq n$ , como

$$d_i^+(w) = \left( \sum_{j=1}^m (w_j r_{ij} - A_j^+(w))^2 \right)^{1/2}, \quad d_i^-(w) = \left( \sum_{j=1}^m (w_j r_{ij} - A_j^-(w))^2 \right)^{1/2} \quad (11)$$

PASO 6. Determinar la función de proximidad relativa. Para cada alternativa  $A_i$ , consideramos la función,  $R_i : \Omega \rightarrow [0,1]$ , dada por

$$R_i(w) = \frac{d_i^-(w)}{d_i^+(w) + d_i^-(w)}, \quad 1 \leq i \leq n. \quad (12)$$

PASO 7. Calcular extremos de la función de proximidad de cada alternativa.

$$R_i^{\min} = \min_{w \in \Omega} R_i(w), \quad R_i^{\max} = \max_{w \in \Omega} R_i(w), \quad 1 \leq i \leq n. \quad (13)$$

PASO 8. Construir los intervalos de proximidad relativa

$$R_i^I = [R_i^{\min}, R_i^{\max}], \quad 1 \leq i \leq n. \quad (14)$$

PASO 9. Ordenar las alternativas ordenando los intervalos  $R_i^I$ ,  $1 \leq i \leq n$ , en orden decreciente.

Para ordenar la colección de intervalos  $\{R_i^I, 1 \leq i \leq n\}$  que aparecen en el Paso 8, es necesario utilizar algún método de ordenación. Aunque existen multitud de métodos de ordenación (Carlsson y Fullér, 2001), es habitual recurrir a un número real representante de cada intervalo,  $R_i^*$ ,  $1 \leq i \leq n$ , y ordenar estos representantes. Por ejemplo, en Liern and Pérez-Gladish (2022), Benítez and Liern (2021) y Bouslah et al. (2022), se toma<sup>1</sup>

$$R_i^* = 0.5 R_i^{\min} + 0.5 R_i^{\max}, \quad 1 \leq i \leq n, \quad (15)$$

y se considera que

$$R_i^I \succcurlyeq R_k^I \text{ si y solo si } R_i^* \geq R_k^*. \quad (16)$$

Con este criterio, tal y como hacíamos para el caso del TOPSIS clásico, podemos ordenar las alternativas de acuerdo con la siguiente definición.

**Definición 2.** Dadas  $n$  alternativas  $A_i$ ,  $i=1, \dots, n$ , de las que conocemos los intervalos de proximidad relativa  $R_i^I$ ,  $1 \leq i \leq n$ , diremos que

- $A_i$  es mejor que  $A_j \Leftrightarrow R_i^I > R_j^I$
- $A_i$  es equivalente a  $A_j \Leftrightarrow R_i^I = R_j^I$
- $A_i$  es peor que  $A_j \Leftrightarrow R_i^I < R_j^I$ .

Para que la comparación entre TOPSIS y UW-TOPSIS resulte más sencilla, en la Figura 2 mostramos de forma esquemática ambos algoritmos.

<sup>1</sup> Tal y como se ha razonado en la expresión (15), los valores  $R_i^*$  son una posibilidad para establecer la ordenación, pero podrían considerarse otros representantes del intervalo  $R_i^I = [R_i^{\min}, R_i^{\max}]$ ,  $1 \leq i \leq n$ .

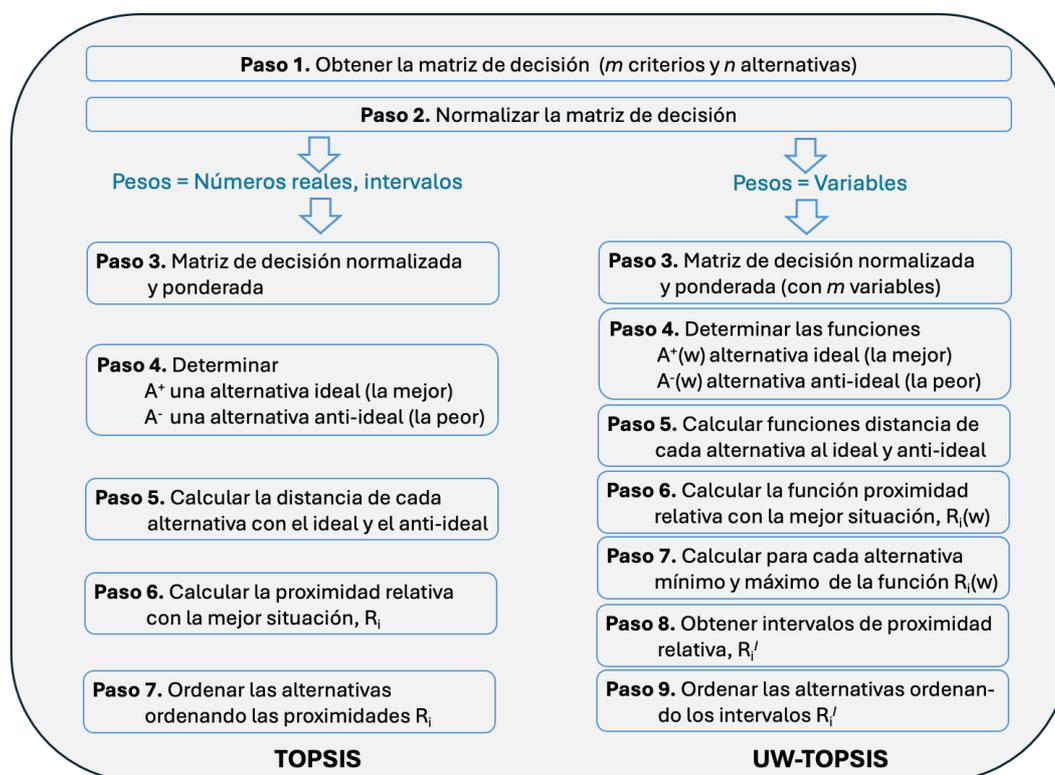


Figura 2. Algoritmos de TOPSIS y UW-TOPSIS.

Nota 2. Nótese que, con esta nueva perspectiva, podemos pensar que UW-TOPSIS genera una familia de TOPSIS variando el peso. Expresado de otra manera, si denotamos las proximidades relativas del método TOPSIS (para el vector de pesos  $w_0$ ) como  $R(w_0) := (R_1(w_0), R_1(w_0), \dots, R_n(w_0))$ , lo que se obtiene con UW-TOPSIS es la familia de vectores siguiente:

$$\{R(w) := (R_1(w), R_2(w), \dots, R_n(w)), w \in \Omega\}. \tag{17}$$

### 2.3. Coeficiente de intervención

A partir de los intervalos  $R_i^l = [R_i^{min}, R_i^{max}]$ ,  $1 \leq i \leq n$ , podemos calcular un coeficiente que sirva como indicador del beneficio o perjuicio con el que es tratada cada alternativa al hacer una elección de pesos.

Supongamos que tomamos el vector de pesos  $w_0 = (w_1^0, w_2^0, \dots, w_m^0)$ . Dada una alternativa dada  $A_i$ , que el valor de su proximidad relativa,  $R_i(w_0)$ , sea próximo al máximo valor que podría alcanzar, significa que la elección de pesos resulta beneficiosa para  $A_i$ , mientras que, si se acerca a su mínimo valor, la elección de pesos perjudica a  $A_i$ . En la Figura 3 se muestra gráficamente un ejemplo en el que se ve que una alternativa,  $A_4$ , se beneficia de la elección de pesos.

A continuación, vamos a cuantificar esta idea. De acuerdo con (15), sabemos que se verifica  $R_i \in [R_i^{min}, R_i^{max}]$ ,  $1 \leq i \leq n$ . Esto significa que existe  $\alpha_i \in [0, 1]$ , de manera que

$$R_i = \alpha_i R_i^{min} + (1 - \alpha_i) R_i^{max}, \quad 1 \leq i \leq n. \tag{18}$$

Por propia construcción,  $\alpha_i$  representa la proporción de  $R_i^{min}$  que aparece en la valoración  $R_i$ . Con esta idea, podemos establecer la siguiente definición.

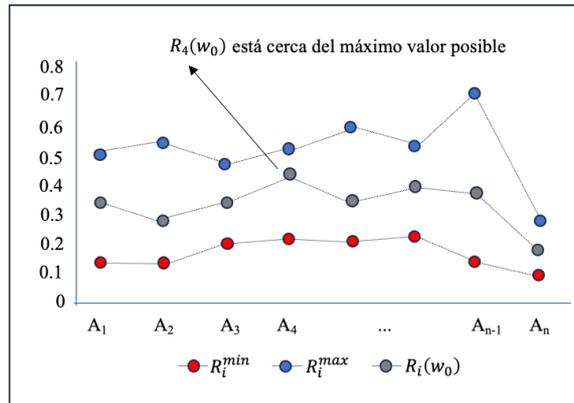


Figura 3. Ejemplo gráfico de TOPSIS y UW-TOPSIS.

**Definición 3.** Con la notación expresada anteriormente, al coeficiente  $\alpha_i$  de la expresión (18) se le denomina *coeficiente de intervención* de la valoración  $R_i$  y se calcula de la forma siguiente:

$$\alpha_i = \frac{R_i - R_i^{min}}{R_i^{max} - R_i^{min}} \in [0, 1], \quad 1 \leq i \leq n. \tag{19}$$

Un valor grande del coeficiente de intervención significa que la valoración está cerca de su mínimo y, al contrario, una valoración próxima a cero significa que está cerca del máximo. Así, cuando se conoce la valoración de una alternativa  $A_i$ , el parámetro  $\alpha_i$  indica la similitud con la valoración más baja que podría tener.

Para facilitar el análisis, y sobre todo la interpretación global de los resultados, hemos establecido las cinco categorías<sup>2</sup> que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Categorías del coeficiente de intervención.

$\alpha_i$	Categoría
[ 0 – 0.2 [	Perjudicada
[ 0.2 – 0.4 [	Ligeramente Perjudicada
[ 0.4 – 0.6 [	Neutral
[ 0.6 – 0.8 [	Ligeramente Favorecida
[ 0.8 – 1 ]	Favorecida

### 2.4. Pesos decisionales

Teniendo en cuenta (15), podemos ordenar los intervalos  $[R_i^{min}, R_i^{max}]$ ,  $1 \leq i \leq n$ , a partir de un conjunto de números reales que representan las proximidades relativas,  $R_i^*$ . Si expresamos este conjunto como un vector, se tiene

$$R^* = (R_1^*, R_2^*, \dots, R_n^*). \tag{20}$$

Por supuesto, no tienen por qué existir unos pesos globales,  $(w_1, w_2, \dots, w_m)$ , para los criterios, de manera que al aplicar TOPSIS con esos pesos, las proximidades relativas obtenidas sean  $(R_1^*, R_2^*, \dots, R_n^*)$ . Esto puede representar un inconveniente para los decisores cuando tienen que dar explicaciones de los

<sup>2</sup> El número de categorías (cinco) se ha fijado a modo de ejemplo, pero por supuesto, podría haberse establecido otro número.

resultados de un ranking. Por esta razón, resulta conveniente calcular unos pesos (globales y fijos) para los criterios, aunque sea de manera aproximada. Para esto, resolvemos un problema de optimización siguiente:

$$\text{Min} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i(w) - R_i^*)^2, \quad w \in \Omega \right\} \quad (21)$$

cuya solución óptima es  $w^* = (w_1^*, w_2^*, \dots, w_m^*)$ .

**Definición 4.** Dadas  $n$  alternativas  $A_i, i=1, \dots, n$ , de las que conocemos los intervalos de proximidad relativa  $R_i^l, 1 \leq i \leq n$ , llamamos *pesos decisionales* a  $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_m^*)$ , la solución óptima del problema (21).

Como ocurre con cualquier problema de mínimos cuadrados (21), la bondad de la precisión de los pesos decisionales depende de la amplitud de los intervalos, de la cantidad de alternativas y de la cantidad de criterios. Por otra parte, como se ha visto en este apartado, si el objetivo es únicamente ordenar las alternativas, no es necesario tener que estimar unos pesos decisionales.

### 3. Ranking de universidades iberoamericanas

En esta sección, nuestro objetivo es obtener un ranking lo más parecido posible al de SCImago, pero obtenido a partir de un indicador sintético y para eso hemos utilizado el método TOPSIS clásico (ver sección 2.1) con la distancia euclídea y los pesos utilizados por SCImago. La razón por la que se necesita un indicador numérico (como el proporcionado por TOPSIS), es que con estas valoraciones podremos conocer, como se verá más adelante, si una universidad ha sido favorecida o no. Con el ranking de SCImago, al no conocerse el dato numérico, no podríamos realizar ese análisis.

#### 3.1. Obtención de los datos

La información utilizada para el presente trabajo fue obtenida desde la página web dispuesta por SCImago IBER (SCImago Lab, 2023; SCImago IR, 2023), correspondiente al quinquenio 2018-2022 de las universidades pertenecientes a los 22 países catalogados como iberoamericanos que incluyen Andorra, España, Portugal y toda Latinoamérica.

Tabla 2. Indicadores utilizados por SCImago.

#	Indicador	Peso 1 ( $v_j$ )	Peso 2 ( $w_j$ )	#	Indicador	Peso 1 ( $v_j$ )	Peso 2 ( $w_j$ )
1	Impacto normalizado	0.13	0.1444	10	Acceso abierto	0.02	0.0222
2	Excelencia con liderazgo	0.08	0.0889	11	Grupo de talento científico	0.02	0.0222
3	Producción	0.08	0.0889	12	Conocimiento innovador	0.1	0.1111
4	Revistas no propias	0.03	0.0556	13	Impacto tecnológico	0.1	0.1111
5	Revistas propias	0.03	0.0333	14	Patentes	0.1	0.1111
6	Colaboración internacional	0.02	0.0333	15	PlumX	0.07	0.0778
7	Publicaciones de alta calidad	0.02	0.0222	16	Mendeley	0.03	0.0333
8	Excelencia	0.02	0.0222	17	Número de enlaces externos	0.05	0
9	Liderazgo científico	0.05	0.0222	18	Tamaño Web	0.05	0

Peso 1 ( $v_j$ ): Son los pesos originales establecidos por SCImago.

Peso 2 ( $w_j$ ): Son los pesos re-normalizados en este trabajo a partir de los de SCImago.

En las tablas que aparecen publicadas, no se muestra la contribución relativa de cada indicador, aunque se puede conseguir a partir de los informes. Además, en las páginas web no se muestra el valor final

(indicador sintético) obtenido por cada institución de educación superior. Desde un punto de vista técnico, el manejo de datos se dificulta por el uso de puntos o comas tanto para indicar decimales como para indicar millares, además de no ofrecer herramientas para descargar la información que se encuentra publicada.

### 3.2. Determinación del tamaño de la muestra

Se realizó un análisis sobre el criterio que utiliza SCImago para incluir una institución de educación superior en el ranking SIR Iber que, en principio, incluye “instituciones de educación superior que tengan al menos 1 documento publicado en revistas indexadas en Scopus”. Esto hace que más del 50% del listado esté compuesto por instituciones que han publicado 100 o menos documentos en revistas indexadas en Scopus en el periodo de 5 años, exactamente son 1104 las instituciones que se encuentran en esta categoría. Así mismo, al identificar las instituciones de educación superior que tienen hasta 1000 documentos publicados, se observan que representan el 83.4%, que corresponde a 1668 instituciones. En el otro extremo, con más de 30000 documentos publicados solo se encuentran 7 instituciones iberoamericanas, el 0.4% del total.

Para nuestra aplicación hemos seleccionado las instituciones de educación superior que tenga al menos 5000 trabajos de investigación publicados en el quinquenio 2018-2022. Esto significa que trabajaremos con una muestra de 100 instituciones, aunque los métodos que se utilizarán son válidos para ser usados independientemente del tamaño de la muestra.

### 3.3. Determinación de los pesos de los criterios

A pesar de que en el ranking que aparece en SCImago (SCImago Lab, 2023; SCImago IR, 2023) no aparece de forma explícita la importancia relativa que se concede a cada criterio, a partir de los informes se obtienen los pesos que se muestran en la Tabla 2 como Pesos 1 ( $v_j$ ). Sin embargo, hay dos criterios, el número 17: “Número de enlaces externos” y el número 18: “Tamaño Web” para los que no disponemos de las valoraciones y, en consecuencia, se ha preferido no tener en cuenta estos dos criterios para nuestro estudio.

Teniendo en cuenta lo anterior, se han re-normalizado los pesos para los 18 criterios tal y como aparecen en la Tabla 2 como Pesos 2 ( $w_j$ ) y haciendo que  $w_{17} = w_{18} = 0$ . Como se verá en la sección siguiente, esta falta de información no afecta de forma decisiva en el ranking.

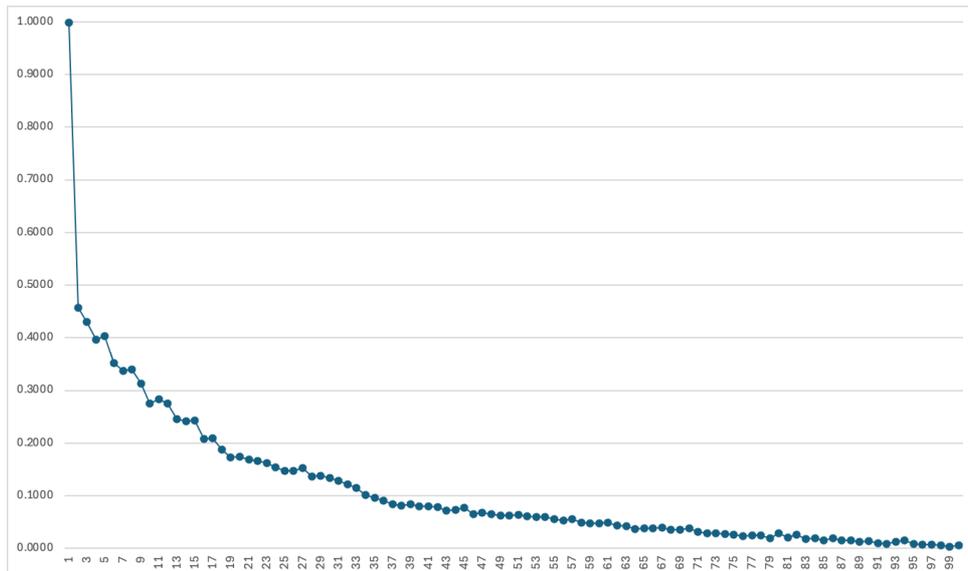


Figura 4. Representación gráfica de TOPSIS.

*Nota 3.* En la Figura 4 se puede observar que el salto entre la primera universidad y la segunda es grande. Esto podría inducir a considerar la primera universidad como un outlier y, excluirla de la muestra. Sin

embargo, no se ha hecho así porque nuestra intención es replicar la ordenación de SCImago, donde sí estaba incluida.

### 3.4. Ordenación de SCImago con TOPSIS

A continuación, aplicamos el método TOPSIS clásico (ver sección 2.1) a los datos que acabamos de describir en las tres secciones anteriores. La ordenación obtenida es prácticamente la misma que la que publica SCImago. De hecho, el coeficiente de correlación de Spearman de ambas ordenaciones es 0.9987.

En la Figura 4 aparecen en el eje de abscisas las universidades ordenadas según el ranking de SCImago y la gráfica muestra el valor del índice de proximidad  $R_i$  descrito en (6) y cuyos datos aparecen el Anexo A. Las pequeñas diferencias que se observan se pueden deber a la falta de datos en los indicadores 17 y 18, tal como advertíamos en la sección anterior.

Para contar con una valoración global de cada institución que nos sirva como referencia, en lo sucesivo, consideraremos que la ordenación de SCImago y la obtenida por nosotros con TOPSIS son la misma. Es decir, que identificamos los valores numéricos que aparecen en el Anexo A con los valores globales de SCImago.

## 4. Resultados: Flexibilidad y coeficiente de intervención en el ranking de universidades iberoamericanas

En esta sección estamos interesados en conocer si la elección de pesos realizada por SCImago ha favorecido más a unas instituciones que a otras. Para ello, tal y como se ha descrito en las secciones 2.2 y 2.3, se ha utilizado el método UW-TOPSIS con los mismos datos usados para en el método TOPSIS del apartado anterior. Los rangos de pesos, expresados mediante las cotas inferiores y superiores, son los siguientes:

$$\begin{aligned} l_j &= 0.01 & j &= 1, \dots, 16. \\ u_j &= 2.5w_j & j &= 1, \dots, 16. \\ w_{17} &= w_{18} = 0. \end{aligned} \tag{22}$$

El resultado del UW-TOPSIS nos indica el rango de  $R_i$  que podría conseguir cada institución de educación superior, mediante el intervalo  $R_i^I$ . En la Figura 5 se muestra  $R_i^{min}$ ,  $R_i^{max}$  y el resultado  $R_i$  obtenido con TOPSIS en la sección anterior, de manera que se facilite la comparación.

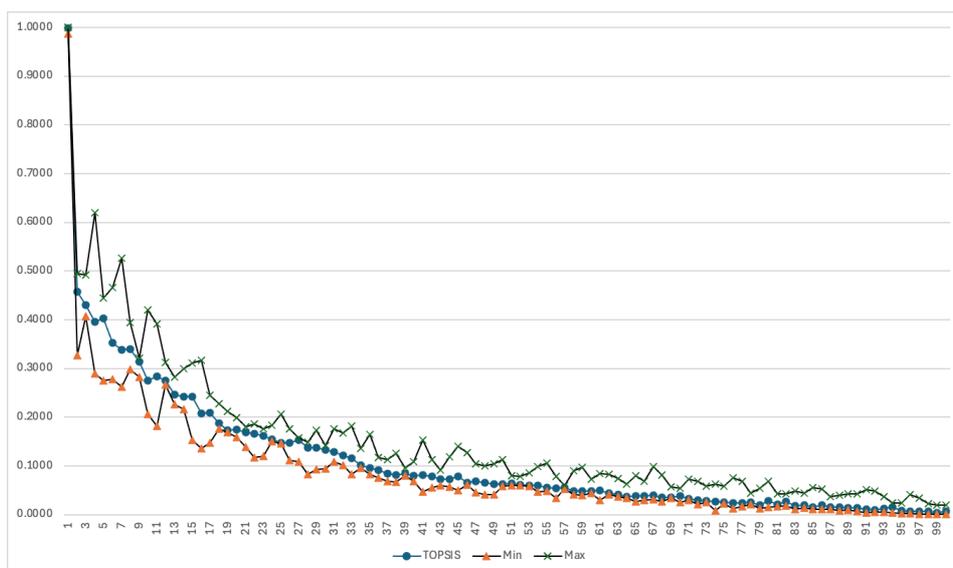


Figura 5. Resultado general de TOPSIS (en rojo) y UW-TOPSIS (en negro).

#### 4.1 Coeficiente de intervención

Como se indica en (19), para obtener el coeficiente de intervención partimos de los valores de proximidad relativa de TOPSIS,  $R_i$ , y de los valores máximos y mínimos  $R_i^{min}$ ,  $R_i^{max}$  de UW-TOPSIS. En el Anexo B se muestra el coeficiente y el grado de intervención de cada institución, teniendo en cuenta las categorías de la Tabla 1.

En la Figura 6 se puede observar que el ranking de SCImago (entendido como tal el ranking obtenido por nosotros con TOPSIS) presenta una evaluación pesimista de las instituciones de educación, ya que para la mayoría (un 76%), su valoración se acerca más a  $R_i^{min}$  que a  $R_i^{max}$ .

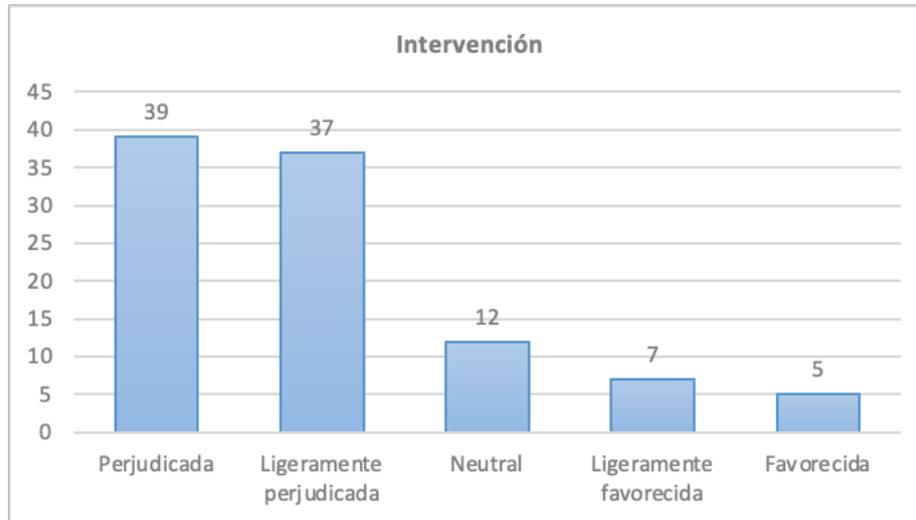


Figura 6. Distribución por clasificación del coeficiente de intervención ( $\alpha$ ).

A partir de este resultado, podría pensarse que se trata de que las valoraciones de TOPSIS son todas menores que las obtenidas por SCImago, es decir que ha habido una traslación de todas las valoraciones. Sin embargo, realmente esto no es así porque, como se muestra en la Figura 6, para el 12% de las instituciones su valoración se encuentra próxima  $R_i^{max}$  (han sido favorecidas). Solo el 12% de las valoraciones de las universidades no han sido intervenidas. Por otro lado, creemos interesante resaltar en qué posiciones se encuentran las instituciones favorecidas, porque a partir de la posición 30, solo una institución ha sido favorecida.

Tabla 3. Pesos decisionales para cada criterio.

#	Indicador	Peso decisional	#	Indicador	Peso decisional
1	Impacto normalizado	0.0339	10	Acceso abierto	0.0555
2	Excelencia con liderazgo	0.0125	11	Grupo de talento científico	0.0555
3	Producción	0.2223	12	Conocimiento innovador	0.0142
4	Revistas no propias	0.1390	13	Impacto tecnológico	0.0100
5	Revistas propias	0.0286	14	Patentes	0.0262
6	Colaboración internacional	0.0275	15	PlumX	0.1641
7	Publicaciones de alta calidad	0.0507	16	Mendeley	0.0833
8	Excelencia	0.0212	17	Número de enlaces externos	0.0000
9	Liderazgo científico	0.0555	18	Tamaño Web	0.0000

Si el objetivo del análisis es obtener una ordenación y analizar los efectos de la elección de pesos en cada institución, no sería necesario proporcionar unos *pesos decisionales*. Pero en ocasiones resulta útil obtenerlos porque, a pesar de que son unos valores aproximados, permiten justificar de forma más sencilla la ordenación.

En la Tabla 3 mostramos los pesos con los que se obtiene una valoración con índice de intervención próximo a 0.5 en todos los casos.

## 5. Conclusiones y futuras líneas de investigación

El uso del método UW-TOPSIS en la ordenación de universidades iberoamericanas resulta una herramienta útil y adaptable para contextos de incertidumbre, permitiendo una comparación más completa de las instituciones al asignarles intervalos de posicionamiento en lugar de un valor fijo. Esta flexibilidad resulta particularmente valiosa puesto que depende de múltiples factores con pesos que varían según el contexto. Además, este tipo de métodos multicriterio pueden mejorar la precisión y sensibilidad de las evaluaciones, contribuyendo a una clasificación más justa y representativa.

La introducción del coeficiente de intervención permite identificar y cuantificar el nivel de impacto que tienen los pesos asignados en cada criterio sobre la posición de cada institución en el ranking. Los resultados muestran que la mayoría de las universidades evaluadas se encuentran en una situación de valoración conservadora en el ranking SCImago, lo cual sugiere una tendencia a mantener una valoración media en la que se ha favorecido solo a un pequeño número de instituciones. En realidad, sería interesante poder ajustar los pesos para obtener una representación más equitativa de las instituciones, atendiendo a sus fortalezas específicas y evitando una sobrevaloración o infravaloración basada en pesos uniformes. Ciertos ajustes en los pesos de los criterios podrían aportar beneficios, permitiendo que el ranking capture con mayor precisión la diversidad de competencias de cada institución.

Para que los rankings puedan informar a los usuarios (estudiantes, investigadores, responsables políticos), parece útil emplear métodos multicriterio flexibles en la evaluación universitaria, como el UW-TOPSIS. Permitir la adaptación a la diversidad de instituciones y a la variabilidad en sus características de calidad, podría ofrecer una ordenación mucho más efectiva.

A partir de este trabajo surgen varias líneas de investigación que van más allá de las metodologías utilizadas para ordenar las instituciones de educación superior. De hecho, consideramos que el coeficiente de intervención puede ser utilizado como indicador sintético en multitud de contextos de decisión multicriterio.

Por otro lado, creemos necesario estudiar y comparar los métodos utilizados en España y en los países iberoamericanos para establecer rankings cada vez más objetivos y transparentes, de manera que el propio decisor pueda conocer distintos escenarios en los que se pueda dar más o menos importancia a la publicación de artículos, las patentes, etc. Para este fin, puede resultar muy útil considerar los principios de buenas prácticas establecidos, por ejemplo, por Observatory on Academic Ranking and Excellence (IREG, 2023), de manera que se puedan mejorar los rankings conocidos.

Por último, queremos destacar el interés por desarrollar modelos de programación matemática e implementarlos en Python. La idea es crear herramientas útiles y amigables que hagan posible la comparación entre países y entre los diferentes sistemas coexistentes.

## Referencias Bibliográficas

- Acuña-Soto, C, Liern, V., Pérez-Gladish, B. (2021). Normalization in TOPSIS-based approaches with data of different nature: application to the ranking of mathematical videos, *Annals of Operations Research*, 296, 541-569.
- Hwang, C. L. & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. New York: Springer-Verlag.

- Benítez, R., Liern, V. (2021). Unweighted TOPSIS: a new multi-criteria tool for sustainability analysis, *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 28, 36-48.
- Bousslah, K., Liern, V., Ouenniche, J. & B. Pérez-Gladish, B. (2022). Ranking firms based on their financial and diversity performance using multiple-stage unweighted TOPSIS. *International Transactions in Operational Research*, available online, <https://doi.org/10.1111/itor.13143>.
- Carlsson, C., Fullér, R. (2001). *Fuzzy Reasoning in Decision Making and Optimization*. Physica-Verlag.
- IREG (2023) Observatory on Academic Ranking and Excellence <https://ireg-observatory.org/en/about-us/> - Berlin principles (Recuperado el 14 de noviembre 2023).
- Liern, V., Parada-Rico, S.E. y Blasco-Blasco, O. (2020). Construction of quality indicators based on pre-established goals: Application to a Colombian Public University, *Mathematics* 8 (7), 1075.
- Liern, V., Pérez-Gladish, B. (2022). An algorithmic method to Multiple criteria ranking method based on functional proximity index: un-weighted TOPSIS, *Annals of Operations Research*, 311, 1099–1121.
- López-García, A., Liern, V., Pérez-Gladish, B. (2023). Determining the underlying role of corporate sustainability criteria in a ranking problem using UW-TOPSIS. *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05543-8>.
- Martínez Rizo, F. (2010). Los rankings de universidades: Una visión crítica. *Revista de la educación superior*. México.
- Ouenniche, J., Pérez-Gladish, B., Bousslah, K. (2018). An out-of-sample framework for TOPSIS-based classifiers with application in bankruptcy prediction. *Technological Forecasting and Social Change*, 131, 111-116.
- Pinto-Delacadena, P.A., Liern, V., Acosta-Vargas, P, and Vinueza-Cabezas, A. (2024). A multicriteria approach to ranking Latin-American universities based on region-specific criteria. *Technological Forecasting and Social Change* 208, 123725.
- Pardo-Quintanilla, R. (2023). Un instrumento para el análisis de ordenaciones. Aplicación a las universidades iberoamericanas. Trabajo de Fin de Máster. Universitat de València.
- Pardo-Quintanilla, R., Rojas-Puebla, C., Liern, V. (2023). Asignación de ayudas a la investigación basado en técnicas multicriterio. *Comunicación en ASEPUMA 2023*.
- Reyes C. (2016). Medición de la calidad universitaria en Chile: la influencia de los rankings. *Calidad en la Educación*, 44, 158-196.
- SCImago IBER (2023). <https://www.scimagoiber.com/institutions.php> (Recuperado el 2 de octubre de 2023).
- SCImago Lab (2023). <https://www.scimagolab.com/sobre-scimago/> (Recuperado el 2 de octubre de 2023).
- SCImago IR (2023). <https://www.scimagoir.com/methodology.php> (Recuperado el 2 de octubre de 2023).
- Webster, David S. (1983). “America’s Higher-Ranked Graduate Schools, 1925-1982”, en *Change*, May-June, pp. 13-24.

**Anexo A. Resultado de aplicar TOPSIS y UW-TOPSIS a cada institución de educación superior.**

#	Institución	País	TOPSIS	UW-TOPSIS		
			$R_i$	$R_i^{min}$	$R_i^{max}$	$R_i^*$
1	Universidade de Sao Paulo	BRA	0.9991	0.9864	1.0000	0.9932
2	Universidade de Lisboa	PRT	0.4571	0.3268	0.4948	0.4108
3	Universidad Nacional Autónoma de México	MEX	0.4298	0.4077	0.4915	0.4496
4	Universidade do Porto	PRT	0.3964	0.2897	0.6198	0.4547
5	Universitat de Barcelona	ESP	0.4027	0.2747	0.4439	0.3593
6	Universidad Complutense de Madrid	ESP	0.3526	0.2778	0.4663	0.3720
7	Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho	BRA	0.3379	0.2626	0.5268	0.3947
8	Universitat Autònoma de Barcelona	ESP	0.3400	0.2981	0.3942	0.3461
9	Universidade Estadual de Campinas	BRA	0.3133	0.2828	0.3205	0.3017
10	Universidade Federal do Rio de Janeiro	BRA	0.2748	0.2056	0.4209	0.3133
11	Universitat de Valencia	ESP	0.2833	0.1820	0.3911	0.2866
12	Universidad Autónoma de Madrid	ESP	0.2755	0.2659	0.3131	0.2895
13	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	BRA	0.2461	0.2260	0.2826	0.2543
14	Universidade Federal de Minas Gerais	BRA	0.2416	0.2166	0.2991	0.2578
15	Universidad de Granada	ESP	0.2428	0.1539	0.3118	0.2328
16	Universidad de Sevilla	ESP	0.2084	0.1365	0.3174	0.2270
17	Universidad del País Vasco	ESP	0.2092	0.1475	0.2448	0.1962
18	Universidade Nova de Lisboa	PRT	0.1883	0.1765	0.2273	0.2019
19	Universidad de Buenos Aires	ARG	0.1729	0.1693	0.2121	0.1907
20	Universidad de Chile	CHL	0.1743	0.1583	0.1995	0.1789
21	Universidad Politécnica de Madrid	ESP	0.1687	0.1394	0.1808	0.1601
22	Universidade de Coímbra	PRT	0.1665	0.1168	0.1856	0.1512
23	Universitat Politècnica de Valencia	ESP	0.1621	0.1196	0.1768	0.1482
24	Universidade Federal de Sao Paulo	BRA	0.1548	0.1505	0.1836	0.1670
25	Universitat Politècnica de Catalunya	ESP	0.1477	0.1460	0.2058	0.1759
26	Universidade Federal de Santa Catarina	BRA	0.1476	0.1113	0.1756	0.1434
27	Pontificia Universidad Católica de Chile	CHL	0.1527	0.1081	0.1571	0.1326
28	Universidade do Minho	PRT	0.1369	0.0825	0.1494	0.1159
29	Universidade de Aveiro	PRT	0.1378	0.0930	0.1735	0.1332
30	Universidad de Zaragoza	ESP	0.1336	0.0942	0.1422	0.1182
31	Universidade Federal do Paraná	BRA	0.1290	0.1093	0.1762	0.1428
32	Universidade de Brasília	BRA	0.1213	0.1013	0.1679	0.1346
33	Universidade de Santiago de Compostela	ESP	0.1155	0.0836	0.1826	0.1331
34	Universidad Nacional de Colombia	COL	0.1019	0.0955	0.1354	0.1154
35	Universidade Federal de Pernambuco	BRA	0.0963	0.0825	0.1647	0.1236
36	Instituto Politécnico Nacional	MEX	0.0912	0.0762	0.1177	0.0970
37	Universidade Federal Fluminense	BRA	0.0844	0.0682	0.1135	0.0909
38	Universidade Federal de Sao Carlos	BRA	0.0817	0.0664	0.1265	0.0965
39	Universidad de Málaga	ESP	0.0838	0.0795	0.0957	0.0876
40	Universidad Carlos III de Madrid	ESP	0.0797	0.0689	0.1087	0.0888
41	Universidad de Salamanca	ESP	0.0807	0.0473	0.1532	0.1002
42	Universidad de Oviedo	ESP	0.0788	0.0550	0.1127	0.0838
43	Universidade Federal do Ceará	BRA	0.0726	0.0600	0.0913	0.0757

#	Institución	País	TOPSIS	UW-TOPSIS		
			$R_i$	$R_i^{min}$	$R_i^{max}$	$R_i^*$
44	Universidad de Murcia	ESP	0.0728	0.0577	0.1185	0.0881
45	Universitat Pompeu Fabra	ESP	0.0779	0.0503	0.1396	0.0949
46	Universidade Federal de Santa María	BRA	0.0652	0.0617	0.1270	0.0943
47	Universidad de Castilla-La Mancha	ESP	0.0681	0.0460	0.1050	0.0755
48	Universidade Federal do Rio Grande do Norte	BRA	0.0652	0.0413	0.1004	0.0709
49	Universidad Nacional de La Plata	ARG	0.0622	0.0406	0.1040	0.0723
50	Universidade Federal da Bahia	BRA	0.0624	0.0585	0.1131	0.0858
51	Universitat d'Alacant	ESP	0.0642	0.0592	0.0800	0.0696
52	Centro de Inv. y de Estudios Avanzados del IPN	MEX	0.0617	0.0600	0.0779	0.0690
53	Universidade do Estado do Rio de Janeiro	BRA	0.0604	0.0590	0.0861	0.0725
54	Universidade Federal de Vicosa	BRA	0.0593	0.0468	0.0992	0.0730
55	Universidade de Vigo	ESP	0.0557	0.0482	0.1058	0.0770
56	Inst. Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	MEX	0.0536	0.0344	0.0784	0.0564
57	Universidad de Navarra	ESP	0.0560	0.0528	0.0596	0.0562
58	Universidade Federal da Paraíba	BRA	0.0488	0.0414	0.0904	0.0659
59	Universidad de Concepción	CHL	0.0481	0.0402	0.0969	0.0686
60	Universidad Rey Juan Carlos	ESP	0.0485	0.0439	0.0728	0.0584
61	Universidad de Córdoba	ESP	0.0496	0.0295	0.0845	0.0570
62	Universidade Federal de Goiás	BRA	0.0439	0.0412	0.0832	0.0622
63	Universidad de Antioquia	COL	0.0419	0.0375	0.0746	0.0560
64	Universidad de Valladolid	ESP	0.0374	0.0344	0.0627	0.0486
65	Universidad de Alcalá	ESP	0.0388	0.0265	0.0806	0.0536
66	Universidad de la Republica	URY	0.0389	0.0300	0.0688	0.0494
67	Universidad de La Laguna	ESP	0.0397	0.0316	0.0987	0.0652
68	Universidade Federal do Para	BRA	0.0361	0.0263	0.0819	0.0541
69	Universidad de Extremadura	ESP	0.0356	0.0346	0.0577	0.0461
70	Universitat Rovira i Virgili	ESP	0.0379	0.0254	0.0543	0.0399
71	Universidade Federal do Espirito Santo	BRA	0.0320	0.0295	0.0728	0.0512
72	Universidade Tecnológica Federal do Paraná	BRA	0.0293	0.0212	0.0688	0.0450
73	Universidade Federal de Uberlândia	BRA	0.0285	0.0250	0.0584	0.0417
74	Universidade Federal de Pelotas	BRA	0.0270	0.0087	0.0630	0.0358
75	Universidad de Guadalajara	MEX	0.0259	0.0232	0.0591	0.0411
76	Universidade Estadual de Maringá	BRA	0.0237	0.0122	0.0755	0.0439
77	Universidad Nacional de Córdoba	ARG	0.0245	0.0166	0.0681	0.0423
78	Universidad de Cantabria	ESP	0.0250	0.0206	0.0439	0.0323
79	Universidad Autónoma Metropolitana	MEX	0.0200	0.0131	0.0544	0.0338
80	Universitat de les Illes Balears	ESP	0.0286	0.0158	0.0684	0.0421
81	Universidad de Cádiz	ESP	0.0208	0.0165	0.0428	0.0297
82	Universidad Miguel Hernández	ESP	0.0263	0.0183	0.0423	0.0303
83	Universidade Federal de Lavras	BRA	0.0185	0.0113	0.0477	0.0295
84	Universidade Federal do ABC	BRA	0.0194	0.0144	0.0438	0.0291
85	Universidade da Coruña	ESP	0.0157	0.0115	0.0550	0.0332
86	Universidad de los Andes, Colombia	COL	0.0191	0.0112	0.0532	0.0322
87	Universitat Jaume I	ESP	0.0161	0.0116	0.0364	0.0240
88	Universidad Autónoma de Nuevo León	MEX	0.0160	0.0084	0.0392	0.0238

#	Institución	País	TOPSIS	UW-TOPSIS		
			$R_i$	$R_i^{min}$	$R_i^{max}$	$R_i^*$
89	Universidade Federal de Juiz de Fora	BRA	0.0133	0.0100	0.0433	0.0266
90	Universidad Andrés Bello, Chile	CHL	0.0145	0.0067	0.0426	0.0246
91	Universidade Estadual de Londrina	BRA	0.0106	0.0042	0.0512	0.0277
92	Universidad de Jaén	ESP	0.0091	0.0057	0.0479	0.0268
93	Universidad de Almería	ESP	0.0123	0.0053	0.0364	0.0208
94	Universitat de Girona	ESP	0.0161	0.0042	0.0242	0.0142
95	Universidad de Santiago de Chile	CHL	0.0083	0.0027	0.0240	0.0133
96	Universidade Federal Rural de Pernambuco	BRA	0.0075	0.0019	0.0418	0.0218
97	Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro	PRT	0.0071	0.0012	0.0340	0.0176
98	Universidad Nacional de Educación a Distancia	ESP	0.0063	0.0013	0.0225	0.0119
99	Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro	BRA	0.0036	0.0008	0.0198	0.0103
100	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul	BRA	0.0065	0.0009	0.0204	0.0107

### Anexo B. Resultado del coeficiente de intervención ( $\alpha$ ) por cada institución de educación superior iberoamericana.

	Institución	País	$\alpha$	Intervención
1	Universidade de Sao Paulo	BRA	0.9385	Favorecida
2	Universidade de Lisboa	PRT	0.7757	Ligeramente favorecida
3	Universidad Nacional Autónoma de México	MEX	0.2636	Ligeramente perjudicada
4	Universidade do Porto	PRT	0.3232	Ligeramente perjudicada
5	Universitat de Barcelona	ESP	0.7565	Ligeramente favorecida
6	Universidad Complutense de Madrid	ESP	0.3967	Ligeramente perjudicada
7	Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho	BRA	0.2851	Ligeramente perjudicada
8	Universitat Autònoma de Barcelona	ESP	0.4367	Neutral
9	Universidade Estadual de Campinas	BRA	0.8084	Favorecida
10	Universidade Federal do Rio de Janeiro	BRA	0.3212	Ligeramente perjudicada
11	Universitat de Valencia	ESP	0.4846	Neutral
12	Universidad Autónoma de Madrid	ESP	0.2037	Ligeramente perjudicada
13	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	BRA	0.3558	Ligeramente perjudicada
14	Universidade Federal de Minas Gerais	BRA	0.3032	Ligeramente perjudicada
15	Universidad de Granada	ESP	0.5628	Neutral
16	Universidad de Sevilla	ESP	0.3974	Ligeramente perjudicada
17	Universidad del País Vasco	ESP	0.634	Ligeramente favorecida
18	Universidade Nova de Lisboa	PRT	0.2329	Ligeramente perjudicada
19	Universidad de Buenos Aires	ARG	0.0831	Perjudicada
20	Universidad de Chile	CHL	0.3876	Ligeramente perjudicada
21	Universidad Politécnica de Madrid	ESP	0.7078	Ligeramente favorecida
22	Universidade de Coímbra	PRT	0.7217	Ligeramente favorecida
23	Universitat Politècnica de Valencia	ESP	0.7437	Ligeramente favorecida
24	Universidade Federal de Sao Paulo	BRA	0.1304	Perjudicada
25	Universitat Politècnica de Catalunya	ESP	0.0283	Perjudicada
26	Universidade Federal de Santa Catarina	BRA	0.5647	Neutral
27	Pontificia Universidad Católica de Chile	CHL	0.9104	Favorecida
28	Universidade do Minho	PRT	0.8142	Favorecida

	<b>Institución</b>	<b>País</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>Intervención</b>
29	Universidade de Aveiro	PRT	0.5561	Neutral
30	Universidad de Zaragoza	ESP	0.8206	Favorecida
31	Universidade Federal do Paraná	BRA	0.2942	Ligeramente perjudicada
32	Universidade de Brasilia	BRA	0.3002	Ligeramente perjudicada
33	Universidade de Santiago de Compostela	ESP	0.3227	Ligeramente perjudicada
34	Universidad Nacional de Colombia	COL	0.1608	Perjudicada
35	Universidade Federal de Pernambuco	BRA	0.1682	Perjudicada
36	Instituto Politécnico Nacional	MEX	0.3609	Ligeramente perjudicada
37	Universidade Federal Fluminense	BRA	0.3563	Ligeramente perjudicada
38	Universidade Federal de Sao Carlos	BRA	0.2543	Ligeramente perjudicada
39	Universidad de Málaga	ESP	0.2656	Ligeramente perjudicada
40	Universidad Carlos III de Madrid	ESP	0.2716	Ligeramente favorecida
41	Universidad de Salamanca	ESP	0.3158	Ligeramente perjudicada
42	Universidad de Oviedo	ESP	0.412	Neutral
43	Universidade Federal do Ceará	BRA	0.4007	Neutral
44	Universidad de Murcia	ESP	0.2475	Ligeramente perjudicada
45	Universitat Pompeu Fabra	ESP	0.3097	Ligeramente perjudicada
46	Universidade Federal de Santa María	BRA	0.0536	Perjudicada
47	Universidad de Castilla-La Mancha	ESP	0.3759	Ligeramente perjudicada
48	Universidade Federal do Rio Grande do Norte	BRA	0.4032	Neutral
49	Universidad Nacional de La Plata	ARG	0.3406	Ligeramente perjudicada
50	Universidade Federal da Bahia	BRA	0.0706	Perjudicada
51	Universitat d'Alacant	ESP	0.2399	Ligeramente perjudicada
52	Centro de Inv. y de Estudios Avanzados del IPN	MEX	0.0938	Perjudicada
53	Universidade do Estado do Rio de Janeiro	BRA	0.0539	Perjudicada
54	Universidade Federal de Vicosa	BRA	0.2392	Ligeramente perjudicada
55	Universidade de Vigo	ESP	0.1295	Perjudicada
56	Inst. Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	MEX	0.4365	Neutral
57	Universidad de Navarra	ESP	0.4788	Neutral
58	Universidade Federal da Paraíba	BRA	0.1515	Perjudicada
59	Universidad de Concepción	CHL	0.1386	Perjudicada
60	Universidad Rey Juan Carlos	ESP	0.1569	Perjudicada
61	Universidad de Córdoba	ESP	0.3658	Ligeramente perjudicada
62	Universidade Federal de Goiás	BRA	0.0653	Perjudicada
63	Universidad de Antioquia	COL	0.1186	Perjudicada
64	Universidad de Valladolid	ESP	0.1053	Perjudicada
65	Universidad de Alcalá	ESP	0.2275	Ligeramente perjudicada
66	Universidad de la Republica	URY	0.2297	Ligeramente perjudicada
67	Universidad de La Laguna	ESP	0.1213	Perjudicada
68	Universidade Federal do Para	BRA	0.1754	Perjudicada
69	Universidad de Extremadura	ESP	0.0432	Perjudicada
70	Universitat Rovira i Virgili	ESP	0.4309	Neutral
71	Universidade Federal do Espirito Santo	BRA	0.0583	Perjudicada
72	Universidade Tecnológica Federal do Paraná	BRA	0.1682	Perjudicada
73	Universidade Federal de Uberlandia	BRA	0.1036	Perjudicada

	<b>Institución</b>	<b>País</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>Intervención</b>
74	Universidade Federal de Pelotas	BRA	0.3377	Ligeramente perjudicada
75	Universidad de Guadalajara	MEX	0.0767	Perjudicada
76	Universidade Estadual de Maringá	BRA	0.1806	Perjudicada
77	Universidad Nacional de Córdoba	ARG	0.1546	Perjudicada
78	Universidad de Cantabria	ESP	0.1873	Perjudicada
79	Universidad Autónoma Metropolitana	MEX	0.1664	Perjudicada
80	Universitat de les Illes Balears	ESP	0.2442	Ligeramente perjudicada
81	Universidad de Cádiz	ESP	0.1612	Perjudicada
82	Universidad Miguel Hernández	ESP	0.3322	Ligeramente perjudicada
83	Universidade Federal de Lavras	BRA	0.1961	Perjudicada
84	Universidade Federal do ABC	BRA	0.1709	Perjudicada
85	Universidade da Coruña	ESP	0.0964	Perjudicada
86	Universidad de los Andes, Colombia	COL	0.1873	Perjudicada
87	Universitat Jaume I	ESP	0.1797	Perjudicada
88	Universidad Autónoma de Nuevo León	MEX	0.2452	Ligeramente perjudicada
89	Universidade Federal de Juiz de Fora	BRA	0.0995	Perjudicada
90	Universidad Andrés Bello, Chile	CHL	0.2196	Ligeramente perjudicada
91	Universidade Estadual de Londrina	BRA	0.1345	Perjudicada
92	Universidad de Jaén	ESP	0.0793	Perjudicada
93	Universidad de Almería	ESP	0.2251	Ligeramente perjudicada
94	Universitat de Girona	ESP	0.5934	Neutral
95	Universidad de Santiago de Chile	CHL	0.2634	Ligeramente perjudicada
96	Universidade Federal Rural de Pernambuco	BRA	0.1397	Perjudicada
97	Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro	PRT	0.1797	Perjudicada
98	Universidad Nacional de Educación a Distancia	ESP	0.2355	Ligeramente perjudicada
99	Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro	BRA	0.1466	Perjudicada
100	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul	BRA	0.288	Ligeramente perjudicada