

EL MÉTODO TOPSIS INTEGRADO A UN DESARROLLO BACK-END PARA LA SELECCIÓN DE UN DISPOSITIVO MÓVIL

CLAUDIA B. PERETTO^{1,2} - AGUSTÍN GONZALEZ¹ - MARÍA G. FRASCAROLI¹ - LUCIANO I. TOLOZA¹

¹Facultad de Ciencias Económicas - Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

²Centro de investigación en Ciencias Económicas - CIECS (CONICET y UNC). Córdoba, Argentina.

cperetto@unc.edu.ar - agustin.gonzalez@mi.unc.edu.ar - mari.frascaroli@mi.unc.edu.ar - luciano.toloz@mi.unc.edu.ar

Fecha recepción: junio 2021 Fecha aprobación: octubre 2021

ARK CAICYT: <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18539777/s989psweg>

RESUMEN

En la sociedad actual poseer un dispositivo móvil, un celular, es indispensable por las aplicaciones y múltiples herramientas que poseen. Una persona deberá tomar la decisión de qué aparato comprar en reiteradas ocasiones, ya que tienen una vida útil limitada por los continuos avances tecnológicos. El objetivo de este trabajo es ayudar al decisor a elegir cuál es el celular que más se ajusta a sus preferencias, teniendo en cuenta las opciones del mercado y los criterios preestablecidos. Uno de los desafíos es la determinación de la importancia de los criterios, para lo cual se utilizó el método CRITIC y se realizó una encuesta para obtener la importancia a partir del juicio de diversas personas. Para evaluar las alternativas se aplicó el método multicriterio TOPSIS para determinar el celular satisfactorio, en forma global, con diferentes conjuntos de pesos. Se profundizó el análisis, devolviendo a cada encuestado el celular apropiado de acuerdo con las preferencias personales indicadas, a través de un desarrollo *back-end*.

PALABRAS CLAVE: Multicriterio – TOPSIS – CRITIC - *back-end*.

ABSTRACT

In current society, owning a mobile device, a cell phone, is essential due to the applications and multiple tools they have. A person must make the decision of which device to buy repeatedly, since they have a limited useful life due to continuous technological advances. The aim of this work is to help the decision maker to choose the cell phone that best suits his preferences, considering market options and pre-established criteria. One of the challenges is determining the importance of the criteria, for which the CRITIC method was used, and a survey was carried out to obtain the importance from the judgment of various people. To evaluate the alternatives, the TOPSIS multi-criteria method was applied to determine the satisfactory cell, globally, with different sets of weights. The analysis was deepened, returning to each respondent the

appropriate cell phone according to the personal preferences indicated, through a back-end development.

KEYWORDS: Multicriteria - TOPSIS – CRITIC - back-end.

1. INTRODUCCIÓN

La tecnología celular se ha transformado en un recurso indispensable para la sociedad, convirtiéndose en un medio para el desarrollo social y económico de las personas. En este sentido, el móvil, a través de los años ha cambiado su tamaño, capacidad y uso, incorporando nuevas funcionalidades y personalizando su configuración a las necesidades de los clientes.

Algunas de las utilidades que posee esta tecnología son: 1) facilita el contacto con familiares y amigos, sobre todo ante situaciones donde existen restricciones en tiempo y distancia, 2) permite permanecer conectado en lugares públicos, 3) favorece las acciones rápidas en situaciones de emergencia ya que incluyen localizadores GPS, 4) posee acceso a Internet lo cual permite conectarse las 24 horas, gestionar redes sociales, tramitar actividades recreativas, reservar boletos a eventos, restaurantes, entre otros, 5) permite enviar correos electrónicos, 6) permite el teletrabajo y 7) ha reemplazado a otros dispositivos como cámaras fotográficas, GPS, computadoras, *tablets*, y otros.

En esta línea, y dado el conjunto de ventajas que se enumeraron anteriormente, las personas optan por renovar sus equipos teniendo en cuenta algunos criterios como calidad y cantidad de accesorios, estética, funcionamiento y precio. Estos criterios son de naturaleza cuantitativa y/o cualitativa y muchas veces entran en conflicto, por lo que constituyen un problema de decisión multicriterio (Cruz et al., 2003; González y Capurro, 2000; Pérez Peinado, 2019; Ruiz Pallarés, 2015).

El análisis multicriterio (Roy, 1985; Roy y Bouyssou, 1993; Vincke, 1989) brinda metodologías caracterizadas por una peculiar receptividad dado que se insertan en contextos muy diversos para la toma de decisiones. Estos métodos, permiten ordenar un conjunto de alternativas teniendo en cuenta diferentes criterios, objetivos o puntos de vista, generalmente en conflicto.

Considerando que en el mercado existe una cantidad finita pero extensa de opciones y que la teoría de Decisión Multicriterio Discreta (DMD) proporciona una solución que satisface objetivos múltiples, este trabajo propone la elección de un dispositivo móvil utilizando uno de los métodos de Decisión Multicriterio Discreta. Para ello se utilizarán tres métodos de ponderación de los criterios: por un lado, el método CRITIC que trabaja con los valores observados de las alternativas y por el otro, dos aplicaciones usando el método de ponderación lineal, tomando como fuente de información una encuesta *online* realizada a potenciales usuarios. Finalmente, se obtendrá un ordenamiento de las alternativas utilizando el método de agregación TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) desarrollado por, Yoon y Hwang (1995).

En una primera etapa se aplicó este método multicriterio para ordenar los celulares utilizando los métodos de ponderación antes mencionados. De esta forma, fue posible identificar cuál de los aparatos reunía las mejores condiciones y podía ser más demandado en el mercado considerando las preferencias globales de los usuarios, en el caso de utilizar la información de la encuesta.

Posteriormente, se planteó una programación con el método TOPSIS, como un desarrollo *back-end* que toma los pesos que cada uno de los encuestados asigna a cada criterio en función de sus preferencias y que permite devolver como resultado cuál es el mejor celular para él.

Este trabajo se encuentra organizado de la siguiente forma: la sección 2 contiene la metodología a utilizar en la evaluación y ordenación de los celulares; la sección 3 presenta los datos del problema y de la encuesta a los usuarios; la sección 4 el análisis de resultados por la aplicación del método TOPSIS y el desarrollo *back-end*; la sección 5 las conclusiones.

2. METODOLOGÍA

2.1. Método TOPSIS

El método TOPSIS es un método de estrategia compensatoria, que permite la ordenación de un conjunto finito de alternativas de decisión. Yoon y Hwang (1995) desarrollaron el método TOPSIS basándose en el concepto de que es deseable que una alternativa determinada se ubique a la distancia más corta con respecto a una solución ideal positiva (ideal) y a la mayor distancia con respecto a una solución ideal negativa (anti-ideal). Una solución ideal se define como un conjunto de niveles (o puntuaciones) ideal con respecto a todos los atributos considerados de un determinado problema, aun cuando la solución ideal usualmente sea imposible o no sea factible de obtener. En consecuencia, desde este punto de vista la racionalidad de la conducta humana consiste en ubicarse lo más cerca posible de tal solución ideal y en alejarse lo más posible de una solución anti-ideal o ideal negativa.

TOPSIS define un índice llamado de Similaridad (o proximidad relativa) con respecto a la solución ideal combinando la proximidad a la solución ideal y la lejanía con respecto a la solución anti-ideal. Se selecciona aquella alternativa que se ubica lo más cerca posible a la máxima similaridad en relación con la solución ideal positiva. Puede asumir valores entre 0 y 1: si la alternativa se halla más cerca del punto ideal se acercará a 1, por el contrario, si está más cerca del punto anti-ideal, su valor se hallará más próximo a 0.

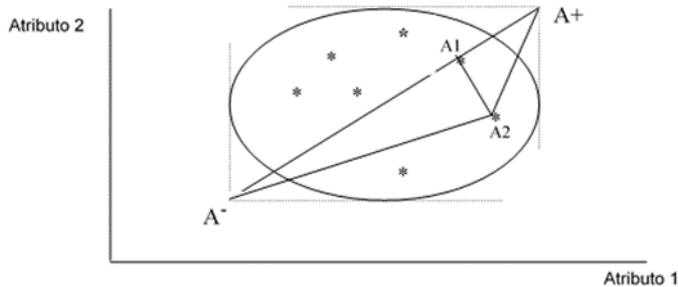


FIGURA 1: distancia euclídea al ideal y al anti-ideal en un espacio de dos dimensiones. Fuente: Yoon y Hwang, (1995)

En el gráfico que presentan Yoon y Hwang (1995) se consideran las posiciones de dos alternativas A_1 y A_2 con respecto al ideal de dos atributos de beneficio a maximizar (Atributo 1 y Atributo 2). Las distancias euclídeas al ideal y al anti-ideal muestran que, en este espacio bidimensional, A_1 se encuentra más cerca de A^+ y que A_2 está más lejos del anti-ideal A^- . Debido a esta situación de ambigüedad es necesario determinar el índice de similaridad de las dos alternativas, valor mediante el cual se tiende a maximizar la distancia relativa al anti-ideal con respecto a la suma de las distancias con respecto al ideal y al anti-ideal respectivamente.

Dado un conjunto X de m alternativas de decisión, un conjunto J de n atributos y una matriz A cuyos elementos x_{ij} son las evaluaciones de cada una de las alternativas con respecto a cada atributo, y transformados todos los criterios a maximizar, el método TOPSIS determina primero el valor normalizado de cada alternativa i con respecto al criterio j mediante aplicación de alguna métrica, como se muestra a continuación:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

Se puede utilizar cualquier método de normalización, aunque los más comunes son fracción de la suma, fracción del rango, fracción del módulo, fracción del máximo (Barba Romero y Pomerol, 1997).

Los coeficientes r_{ij} normalizados son luego ponderados por los pesos de los criterios (también normalizados) obteniéndose los valores:

$$v_{ij} = w_j \times r_{ij}$$

Denotando con

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\}$$

el vector de los v_j^+ mejores valores para el conjunto de criterios (ideal), y con

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\}$$

el vector de los v_j^- peores valores alcanzables o no deseables para el mismo conjunto (anti-ideal).

Posteriormente, se calculan las distancias de cada alternativa i al ideal S_i^+ y al anti-ideal S_i^- con las siguientes expresiones:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \qquad S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

Finalmente, el índice de similaridad al ideal se evalúa como el cociente:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^+ + S_i^-)}$$

Es decir que cuanto más elevado es el índice C_i^* ; más lejos se sitúa la alternativa i con respecto al anti-ideal con relación a las distancias totales a los dos ideales y por tanto más preferida resulta su posición global.

2.2. Método CRITIC

Las comparaciones entre alternativas basadas en la consideración de múltiples criterios requieren establecer la importancia relativa de cada uno de ellos. Los resultados obtenidos al aplicar métodos DMD se ven influidos por estos pesos, que algunas veces dependen del alcance del análisis realizado y en la mayoría de los casos se obtienen de los juicios subjetivos de los decisores. Si se desea una clasificación imparcial de las alternativas, es importante obtener ponderaciones objetivas, lo que se puede lograr cuantificando la información intrínseca de cada criterio de evaluación.

El método CRITIC, cuyo nombre es el acrónimo de CRiteria Importance through Intercriteria Correlation, fue presentado por Diakoulaki, Mavrotas y Papayannakis en 1995 y tiene como objetivo la determinación de pesos objetivos de la importancia relativa de los criterios en problemas DMD.

El método se basa en la investigación analítica de la matriz de decisión para extraer toda la información contenida en los criterios de evaluación, la que está relacionada tanto con la intensidad del contraste como con el conflicto de los criterios de decisión. Por tanto, la cantidad de información contenida por el j -ésimo criterio, se puede determinar componiendo las medidas que cuantifican las dos nociones mediante la siguiente fórmula de agregación multiplicativa:

$$w_j = S_j * \sum (1 - r_{jk})$$

partiendo de los datos que para dicho criterio toman las distintas alternativas. Donde, w_j es el peso o ponderación del criterio " j "; S_j , la desviación típica del criterio " j " y r_{jk} , el coeficiente de correlación entre los criterios " j " y " k ".

En CRITIC el peso de un criterio es tanto mayor cuanto mayor sea su varianza (mayor desviación típica), y cuanto mayor información diferente a la de los otros criterios aporte (menor coeficiente de correlación entre columnas).

Para la aplicación de CRITIC y con el fin de que las magnitudes sean comparables, se procede previamente a la normalización por el rango de las evaluaciones, transformándolas a valores entre 0 y 1.

2.3. Desarrollo *Back end*

En el mundo de la programación, el *frontend* es la parte del *software* que interactúa con los usuarios y el *back end* es la parte que procesa las entradas provenientes del *frontend*. La separación del sistema en *frontends* y *back ends* es un tipo de abstracción que ayuda a mantener las diferentes partes del sistema separadas. La idea general es que el *frontend* sea el responsable de recolectar los datos de entrada del usuario y los transforme, ajustándolos a las especificaciones que demanda el *back end* para poder procesarlos. Éste devuelve una respuesta que el *frontend* recibe y expone al usuario de una forma entendible (Müller et al., 2009).

El *back end* se refiere a los códigos de computadora que manejan las operaciones del lado del servidor, como la lógica del servidor, las funciones de la base de datos y muchas más. La conexión del *frontend* con el *back end* es un tipo de interfaz, es decir, una conexión funcional entre dos sistemas, programas, dispositivos o componentes de cualquier tipo, que proporciona una comunicación de distintos niveles, permitiendo el intercambio de información.

Las técnicas utilizadas para el desarrollo del *back end*, en término de lenguajes de programación, son muchas, pero todas tienen un objetivo en común: deben ser intuitivas y comprensibles para los desarrolladores.

El lenguaje de programación es un conjunto de comandos e instrucciones digitales que utilizan sintaxis específicas para crear aplicaciones informáticas. Entre los lenguajes más populares de *back end* se encuentran Ruby, Python, SQL, PHP y Java. Todos tienen ventajas e inconvenientes, por lo que el lenguaje a elegir dependerá de las necesidades específicas del desarrollo.

Algunas de las funciones del *back end*, completamente invisibles para el usuario de la aplicación, son las siguientes:

- acceder a la información que se pide.
- combinar la información encontrada y transformarla.
- enviar la información relevada de vuelta al usuario.

Es por ello que, en este trabajo, se propone un desarrollo *back end* que toma los pesos que cada uno de los encuestados asigna a cada criterio en función de sus preferencias, y permite devolver como resultado cuál es el mejor celular para él. De esta forma, se busca personalizar el análisis con respecto a un escenario del mundo real brindando un servicio individual que se apoya en una metodología DMD.

En relación con el lenguaje de programación, se utilizó Python, ya que presenta las siguientes ventajas:

- relativamente fácil de aprender.
- sencillo: Python ha sido desarrollado pensando en los programadores principiantes por lo que su sintaxis es muy sencilla de aprender. Requiere muchas menos líneas de código para la realización de ciertas tareas.
- gratuito y de código abierto desde hace más de 20 años.
- goza de gran popularidad en todo el mundo, motivo por el cual se han creado miles de librerías, módulos, códigos y programas de uso libre para que cualquiera pueda empezar a programar.
- lenguaje interpretado: no se compila el código fuente a código máquina, sino que hay un intérprete que es el que ejecutará el programa basándose en el código directamente.

3. APLICACIÓN

3.1. Definición de los criterios a evaluar

Los criterios a considerar para la elección del teléfono celular ideal son los siguientes:

- **Cámara (C):** calidad y nitidez con que se muestran y/o capturan imágenes y videos en el dispositivo. Este criterio, a maximizar, se valorará de acuerdo con un conjunto de etiquetas lingüísticas que son: Excelente, Muy Bueno, Bueno, Regular y Malo.
- **Almacenamiento interno (AI):** utilidad para almacenar archivos de aplicaciones en el sistema del dispositivo. Es recomendable disponer un mayor número de gigabyte.
- **Memoria RAM (R):** es la encargada de almacenar las instrucciones que ejecuta la unidad central de procesamiento. Mientras mayor sea su capacidad, mayor es la posibilidad de abrir y ejecutar diversas aplicaciones y tareas.
- **Duración de la batería (D):** mide la duración del dispositivo en funcionamiento o en suspensión. Se gradúa en Amperes y mientras más cantidad tenga, más tiempo durará el teléfono encendido para utilizarse.
- **Precio (P):** erogación que debe realizar la persona para adquirir este bien. Se expresa en pesos argentinos y es recomendable que sea el menor posible.

Con respecto al criterio “tamaño” luego de observar una encuesta piloto realizada y empleando un análisis de relevancia, se pudo concluir que el mismo se encuentra dominado por los demás criterios. Por esta razón, decimos que el criterio “tamaño” no es relevante en la decisión y no se tuvo en cuenta en la metodología empleada.

3.2. Elección de alternativas

Se seleccionaron un grupo de dispositivos dentro de la gama denominada media-alta y de las marcas más conocidas del mercado, que se listan en la TABLA 1.

Samsung S21	Samsung S21 Ultra	Samsung S20 FE	Samsung A51	Xiaomi Redmi Note 9S
Xiaomi Mi 10T	Motorola G9 Plus	iPhone 12	iPhone 12 Pro	
Samsung A31	Xiaomi Redmi Note 10	iPhone XR	iPhone 11	

TABLA 1: Alternativas de elección. Fuente: elaboración propia.

Luego de realizar un preanálisis de satisfacción se descarta la alternativa Samsung S21 Ultra debido a que domina, en todos los atributos, a las restantes alternativas.

En la TABLA 2 se muestran las alternativas y sus valoraciones con respecto a cada criterio. En el caso del criterio relacionado con la calidad y nitidez de la cámara, se utiliza una escala nominal, que transforma las etiquetas en valores numéricos de acuerdo al juicio personal de los autores, como se muestra en la TABLA 3.

	Cámara	RAM (GB)	Almacenamiento (GB)	Duración de batería (Amperes)	Precio
Samsung S21	Muy buena	8	128	4000	120.000
Samsung S21 Ultra	Excelente	12	256	5000	162.000
Samsung S20 FE	Muy buena	6	128	4500	82.000
Samsung A51	Muy buena	4	128	4000	48.000
Samsung A31	Buena	4	128	5000	34.000
Xiaomi Redmi Note 10	Muy buena	6	128	5000	64.000
Xiaomi Redmi Note 9S	Muy buena	6	128	5020	64.000
Xiaomi Mi 10T	Muy buena	8	128	5000	108.000
Motorola G9 Plus	Buena	4	128	5000	41.000
iPhone 12	Excelente	4	256	2815	270.000
iPhone 12 Pro	Excelente	6	256	2815	310.000
iPhone 11	Excelente	4	256	3110	190.000
iPhone XR	Excelente	3	128	2942	150.000

TABLA 2: Valoraciones de las alternativas con respecto a cada criterio. Fuente: elaboración propia.

Excelente	Muy buena	Buena	Regular	Malo
10	7	5	3	2

TABLA 3: Escala de la variable Cámara. Fuente: elaboración propia.

3.3. Encuesta de preferencias a potenciales usuarios

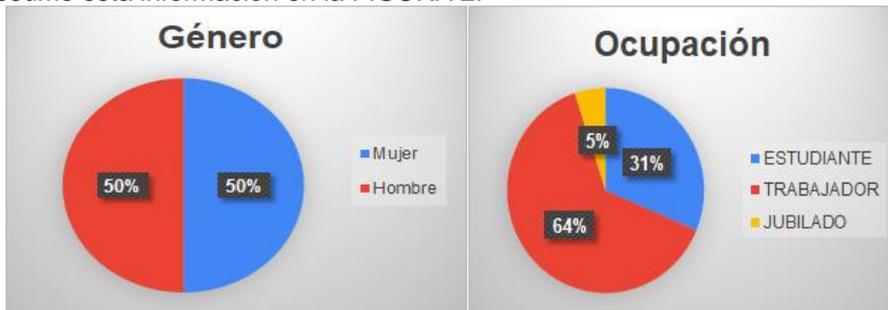
Considerando el trabajo de Ruiz Pallarés (2015), para la determinación de la importancia de los criterios, uno de los recursos que se

utilizó fue la realización de una encuesta *online*, enviada a través de redes sociales.

En el cuestionario enviado, además de los datos sociodemográficos (edad, género, ocupación, entre otras), se le solicitó a los encuestados que ordenaran y evaluaran los criterios de dos maneras diferentes:

- En primer lugar, se les pidió que asignaran un puntaje a cada uno de los criterios de acuerdo con la importancia que le atribuye para la selección de un celular. Se utilizó una escala de cero (nada importante) a diez (totalmente importante). A partir de los mismos, fue posible obtener: los pesos individuales, que se usaron para determinar el celular ideal para cada encuestado; y en forma global, los pesos generales de los criterios, a partir de los cuales se determinó el celular ideal del mercado.
- En la segunda parte, se les solicitó a los encuestados que ordenaran los criterios, según la importancia que le asignan a cada uno, en forma decreciente. Luego se asignaron puntajes de 5 a 1, siendo 5 el puntaje para el criterio de mayor importancia y 1, para el de menor importancia. Con esta información se obtuvo un conjunto de pesos global para los criterios, a partir de los cuales se determinó el celular ideal.

Se obtuvieron 118 respuestas con un amplio rango etario y paridad en función del género. Además, se les pidió que indiquen su ocupación de lo que se desprende que 37 son estudiantes, 75 trabajadores y 6 jubilados. Se resume esta información en la FIGURA 2.



Edad

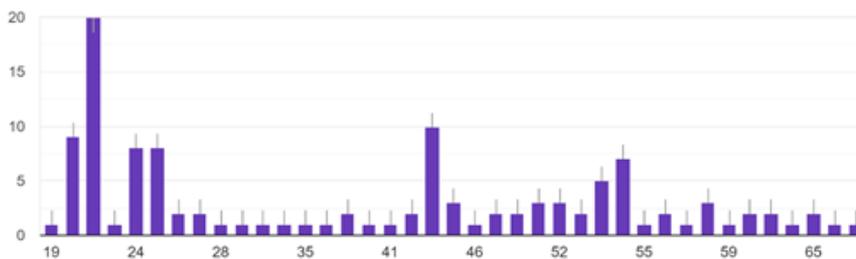


FIGURA 2: distribución de los encuestados por edad, género y ocupación
Fuente: elaboración propia.

3.4. Determinación de los pesos relativos de los criterios

Para determinar el peso relativo, importancia o influencia de cada uno de los criterios en el resultado final, se han utilizado dos procedimientos, por un lado, el método CRITIC y por el otro, ponderación lineal con dos conjuntos de pesos diferentes obtenidos a partir de los datos de la encuesta realizada a potenciales usuarios.

Como se explicó en el apartado anterior, se realizó una encuesta, donde se solicitó a los encuestados que ordenaran y evaluaran los criterios de dos maneras diferentes:

- asignando un puntaje entre 0 y 10 a cada uno de los criterios, siendo cero el puntaje más bajo. Esos puntajes se normalizaron por fracción de la suma para cada individuo, luego se obtuvo el promedio general para todos los encuestados; y a partir de este grupo de pesos se determinó el celular ideal para todas las personas encuestadas.
- ordenando los criterios según la importancia que le asignan a cada uno en forma decreciente. Se asignaron puntajes de 5 a 1, siendo 5 el puntaje para el criterio de mayor importancia y 1, para el de menor importancia. De esta forma, la ponderación asignada a cada criterio es el resultado de la normalización de la suma de los puntajes obtenidos por cada uno.

En la TABLA 4 se muestran los pesos obtenidos para cada uno de los criterios, teniendo en cuenta la metodología empleada.

Pesos (wj)	Cámara	RAM	Almacenamiento	Duración batería	Precio
Critic	0,21771	0,11754	0,24484	0,21845	0,20145
Asignación encuestados	0,18834	0,20571	0,21033	0,20514	0,19048
Ordenamiento encuestados	0,18757	0,20847	0,23164	0,18927	0,18305

TABLA 4: Pesos de los criterios según los procedimientos propuestos Fuente: elaboración propia.

Analizando los resultados, se puede observar que el ordenamiento de los criterios obtenido en las encuestas es el mismo, pero la ponderación asignada a cada uno varía según el criterio. En ambos procedimientos, el criterio almacenamiento se encuentra en primer lugar y el criterio Memoria RAM en segundo, siendo estos los más importantes según el juicio de los encuestados.

Con respecto al procedimiento CRITIC, podemos notar algunas diferencias derivadas de la forma en que se valoran los criterios, recordando que la fuente de información de este procedimiento es la matriz de observaciones, a diferencia de los juicios de valor recogidos en las encuestas. Se observa que, el criterio más importante es el almacenamiento, pero

obteniendo una mayor diferencia con respecto a los restantes. Según este método el criterio menos valorado es la Memoria RAM.

También es observable que, tanto CRITIC como el ordenamiento proporcionado por los encuestados, asignan a los dos criterios más importantes un gran porcentaje de la decisión en relación con los demás, mientras que las ponderaciones obtenidas a través de los puntos asignados en la encuesta son similares para todos los criterios.

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. Evaluación y ordenamiento general del mercado

Con los datos de las evaluaciones de cada alternativa y los pesos obtenidos a partir de las encuestas y del método CRITIC, se calcula aplicando el método TOPSIS el índice global de cada uno de los celulares considerados. A partir de estos valores se realiza el ordenamiento de las alternativas, lo que se informa en forma comparativa en la Tabla 5.

Orden	CRITIC	Asignación encuestados	Ordenamiento encuestados
1	XiaomiRedmi Note 9S	XiaomiRedmi Note 9S	XiaomiRedmi Note 9S
2	XiaomiRedmi Note 10	XiaomiRedmi Note 10	XiaomiRedmi Note 10
3	Samsung A51	Xiaomi Mi 10T	Xiaomi Mi 10T
4	Samsung A31	Samsung S20 FE	Samsung S20 FE
5	Motorola G9 Plus	Samsung S21	Samsung S21
6	Samsung S20 FE	Samsung A31	Samsung A31
7	Xiaomi Mi 10T	Samsung A51	Samsung A51
8	Samsung S21	Motorola G9 Plus	Motorola G9 Plus
9	iPhone 11	iPhone 11	iPhone 11
10	iPhone XR	iPhone XR	iPhone XR
11	iPhone 12	iPhone 12 Pro	iPhone 12 Pro
12	iPhone 12 Pro	iPhone 12	iPhone 12

TABLA 5: Ordenamiento de las alternativas utilizando TOPSIS.

Fuente: elaboración propia.

Del análisis de los resultados se desprende que Xiaomi Redmi Note 9S y Xiami Redmi Note 10 ocupan los dos primeros lugares cualquiera sea el conjunto de pesos utilizados, resultando los teléfonos celulares ideales. Por otra parte, se puede identificar que aquellos que se encuentran en los últimos

lugares, como el iPhone 12 Pro, iPhone 12, iPhone Xry iPhone 11, coinciden en los tres análisis. Esto se puede atribuir a que hoy, en el mercado, son los móviles de mayor valor de adquisición.

Con respecto a los ordenamientos intermedios, hay completa coincidencia entre los dos análisis cuyos pesos provienen de las encuestas, mientras que con el método CRITIC esto cambia, debido que es muy diferente la forma de obtener los pesos.

4.2. Evaluación y ordenamiento individual

Con los datos de las evaluaciones de cada alternativa, pero considerando los pesos de cada uno de los individuos que respondieron la encuesta, se aplicó el método TOPSIS para obtener un ordenamiento personalizado, que le brinde información de cuál es el mejor celular para él.

Para este análisis individual, se desarrolló un código de programación en Python. El código comienza con el acceso a las respuestas de cada persona, reunidas en una hoja de Excel. Para la aplicación del método TOPSIS, se encuentra disponible en Python, una librería llamada Scikit-Criteria (Cabral et al., 2016) que es una colección de algoritmos, métodos y técnicas para el análisis de decisiones de múltiples criterios.

Esta librería permite resolver problemas multicriterio aplicando diferentes metodologías: MOORA, SIMUS, TOPSIS, ELECTRE. Se utilizó el paquete *weights* para la normalización de los pesos, aplicando la normalización por la suma, y el módulo *madm.closeness* para resolver con el método TOPSIS. *Ideal* y *anti-ideal* son las alternativas sintéticas normalizadas, mejores y peores creadas por TOPSIS; *closeness* indica qué tan lejos del anti-ideal y qué tan cerca del ideal están las alternativas reales. En la FIGURA 3 se puede ver un extracto del código desarrollado:

```
data = Data(mtx, criteria,
            weights=[1.722938287,0.9302395416,
                    1.937651184,1.728808972,1.594296784],
            anames=['Samsung S21', 'Samsung S21 Ultra', 'Samsung S20 FE',
                  'Samsung A51', 'Samsung A31',
                  'Xiaomi Redmi Note 10', 'Xiaomi Redmi Note 9S', 'Xiaomi Mi 10T',
                  'Motorola G9 Plus', 'iPhone 12', 'iPhone 12 Pro', 'iPhone 11', 'Ipgone XR'],
            cnames=["Camara", "Ram", "Almacenamiento", 'Bateria', 'Precio'])

dm = closeness.TOPSIS()
dm
dec = dm.decide(data)
dec

print(data)
print("Ideal:", dec.e_ideal)
print("Anti-Ideal:", dec.e_anti_ideal)
```

FIGURA 3: extracto del código desarrollado en Python.

Fuente: elaboración propia.

Luego, el código lleva a cabo un proceso de ordenamiento según el índice de similaridad, los ordena de mayor a menor y entrega como salida cuál es el teléfono con mayor índice (FIGURA 4).

	Modelo de celular	índice de similaridad
10	iPhone 12 Pro	0.364814
9	iPhone 12	0.385648
12	Iphone XR	0.449503
11	iPhone 11	0.500339
0	Samsung S21	0.536048
7	Xiaomi Mi 10T	0.573686
2	Samsung S20 FE	0.579446
8	Motorola G9 Plus	0.582027
3	Samsung A51	0.586295
4	Samsung A31	0.587849
5	Xiaomi Redmi Note 10	0.607682
6	Xiaomi Redmi Note 9S	0.607903
1	Samsung S21 Ultra	0.679283
tu telefono ideal es		
	Modelo de celular	Samsung S21 Ultra
	índice de similaridad	0.679283

FIGURA 4: ordenamiento de los celulares utilizando TOPSIS
Fuente: elaboración propia.

Este procedimiento se realizó, posteriormente, para cada uno de los individuos que respondieron la encuesta con sus ponderaciones individuales. Se exportaron los resultados obtenidos a un Excel, tal como se puede observar en la FIGURA 5, que contiene las respuestas obtenidas para diez encuestados.

1		Modelo de celular	índice de similaridad
16	5	Xiaomi Redmi Note 9S	0,697967599
17	6	Xiaomi Mi 10T	0,599866127
18	5	Xiaomi Redmi Note 9S	0,620431463
19	6	Xiaomi Mi 10T	0,645836997
20	5	Xiaomi Redmi Note 9S	0,719636324
21	6	Xiaomi Mi 10T	0,581062725
22	5	Xiaomi Redmi Note 9S	0,635910696
23	5	Xiaomi Redmi Note 9S	0,666653124
24	5	Xiaomi Redmi Note 9S	0,62020282
25	6	Xiaomi Mi 10T	0,621659065

FIGURA 5: ordenamientos personalizados de los celulares utilizando TOPSIS
Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, en esta muestra de 10 personas los celulares más repetidos, ideales para cada uno, fueron Xiaomi Mi10T y Xiaomi Redmi Note 9s.

5. CONCLUSIONES

Este trabajo propone la aplicación del método multicriterio TOPSIS, para ordenar las distintas alternativas de aparatos celulares disponibles en el mercado al momento del estudio, seleccionados entre los más comercializados por las distintas compañías y ayudar a la toma de decisiones sobre el celular a adquirir.

Se utilizaron diferentes conjuntos de pesos obtenidos, por un lado, con un método objetivo (CRITIC) y por otro, por ponderación lineal de las preferencias de los individuos que respondieron a una encuesta realizada. De esta forma, fue posible identificar cuál de los aparatos reunía las mejores condiciones y podía ser más demandado en el mercado en forma objetiva o considerando las preferencias globales de los usuarios, en el caso de utilizar la información de la encuesta.

El índice calculado refleja la posición relativa de cada equipo en relación con el ideal, combinando las distancias euclidianas al ideal y al anti-ideal. Puede observarse que los equipos iPhone ocupan en todos los análisis los últimos lugares, presumiblemente por el elevado costo de adquisición en el mercado. Con respecto a los celulares ordenados en primer y segundo lugar, hay coincidencia en los tres análisis realizados.

Posteriormente, se planteó una programación con el método TOPSIS, como un desarrollo *back-end*, que toma los pesos que cada uno de los encuestados asigna a cada criterio en función de sus preferencias y que permite devolver como resultado cuál es el mejor celular para él. Esto constituye un importante aporte al estudio realizado, dado que se logra personalizar el análisis con respecto a un escenario del mundo real, brindando un servicio individual que se apoya en una metodología DMD.

6. REFERENCIAS

- Barba-Romero, S., y Pomerol, J. C. (1997). *Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos y utilización práctica*. Universidad de Alcalá, Servicio de Publicaciones.
- Cabral, J., Luczywo, N. y Zanazzi, J. (2016, 5 - 9 de septiembre). *Scikit-Criteria: Colección de Métodos de Análisis Multi-Criterio Integrado al Stack Científico de Python*. In XLV Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa (45JAIIO)-XIV Simposio Argentino de Investigación Operativa (SIO), Buenos Aires, Argentina. 59–66. <http://45jaiio.sadio.org.ar/sites/default/files/Sio-23.pdf>.
- Cruz, G., Senent, E., Melón, M. G., y Beltrán, P. (2003). *Aplicación de técnicas de decisión multicriterio y multiexperto a la ponderación de los factores determinantes del problema de la distribución en planta*. VII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, Pamplona, España.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G., y Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The CRITIC method. *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770.

- González, J. y Capurro, A. M. C. (2000). Un método para la resolución de los estudios de impacto ambiental en la industria del cemento. *Economía industrial*, (332), 139-147.
- Müller, J., Krüger J., Enderlein, S., Helmich, M., y Zeier, A. (2009). Customizing Enterprise Software as a Service Applications: Back-End Extension in a Multi-tenancy Environment. In: Filipe J., Cordeiro J. (eds) *Enterprise Information Systems*. ICEIS 2009. Lecture Notes in Business Information Processing, vol 24. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01347-8_6
- Pérez Peinado, G. (2019). *Proceso analítico jerárquico y TOPSIS aplicados a la selección de una cámara digital*. Trabajo Fin de Grado Dpto. Organización Industrial y Gestión de Empresas I, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.
- Roy, B. (1985). *Methodologie Multicritere D'Aide a la Decision*, Económica, Paris.
- Roy, B. y Bouyssou, D. (1993). *Aide à la décision: méthodes et cas*. Económica, Paris.
- Ruiz Pallarés, J. (2015). *Métodos de decisión multicriterio ELECTRE y TOPSIS aplicados a la elección de un dispositivo móvil*. Dpto. Organización Industrial y Gestión de Empresas II, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.
- Vincke, P. (1989). *L'aide Multicritère a la Décision*. Editions de l' Université de Bruxelles.
- Yoon, K.P. y Hwang C. (1995). *Multiple attribute decision making*. Sage University Paper.