



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE AYUDA A LA DECISIÓN BASADO EN EL
MÉTODO TOPSIS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero de Sistemas

AUTOR: ANDY ROBERT FAJARDO LOZANO

TUTOR: MIGUEL ANGEL QUIROZ MARTINEZ

Guayaquil – Ecuador

2022

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Andy Robert Fajardo Lozano con documento de identificación N° 0940918139 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 07 de marzo del año 2022

Atentamente,

Andy Fajardo L.

Andy Robert Fajardo Lozano

0940918139

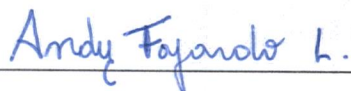
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Andy Robert Fajardo Lozano con documento de identificación No. 0940918139, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor(a) del Artículo Académico: "Desarrollo de un sistema de ayuda a la decisión basado en el método TOPSIS", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero de Sistemas, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 07 de marzo del año 2022

Atentamente,



Andy Robert Fajardo Lozano

0940918139

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Miguel Ángel Quiroz Martínez con documento de identificación N° 0922799655, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DE UN SISTEMA DE AYUDA A LA DECISIÓN BASADO EN EL MÉTODO TOPSIS, realizado por Andy Robert Fajardo Lozano con documento de identificación N° 0940918139, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 07 de marzo del año 2022

Atentamente,



Miguel Ángel Quiroz Martínez

0922799655

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi Padre Celestial Dios, ya que sin sus fuerzas y guía no hubiese podido llegar tan lejos, también lo dedico a mi amada familia, en especial a mi madre que siempre ha estado brindándome lo mejor de ella para poder continuar y seguir superándome cada día más y más en esta etapa tan hermosa de la vida...

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios en primer lugar por la sabiduría e inteligencia brindada, y la bendición de haberme permitido estudiar en esta prestigiosa Universidad, asimismo a todos los docentes con los que compartí y pude aprender de cada una de sus enseñanzas tanto académicas como profesionales y humanas, también agradezco a mi familia ya que siempre pude contar con su apoyo en todo momento.

RESUMEN

En el proceso de la toma de decisiones se presentan diversos algoritmos que permiten ayudar a elegir y seleccionar una buena decisión sobre múltiples criterios de evaluación, esto implica un gran impacto, ya que determina el nivel de éxito o fracaso esperado. Debido a la dificultad y complejidad que conlleva aplicar estos algoritmos, esto se convierte en un problema muy frecuente en su elaboración, adicionando también al hecho de que (a la fecha actual de elaborado este trabajo) no existe un método que garantice su efectividad al cien por ciento. El objetivo de este estudio es aplicar el uso del método TOPSIS mediante el desarrollo de una herramienta web, para la identificación, evaluación y demostración en múltiples escenarios de la solución ideal requerida de acuerdo con los criterios establecidos. La metodología aplicada es de tipo exploratoria, correlacional y explicativo. Fueron aplicadas a un caso de estudio que evalúa un conjunto de imágenes microscópicas de reparación de fracturas óseas, en las que resaltan la participación de células madre esqueléticas, donde el resultado obtenido fue que la mejor alternativa son las redes neuronales.

Palabras claves: Topsis, MCDM, Orange.

ABSTRACT

In the decision-making process, there are several algorithms that help to choose and select a good decision on multiple evaluation criteria, this implies a great impact, since it determines the expected level of success or failure. Due to the difficulty and complexity involved in applying these algorithms, this becomes a very frequent problem in their elaboration, adding also to the fact that (at the current date of this work) there is no method that guarantees its one hundred percent effectiveness. The objective of this study is to apply the use of the TOPSIS method through the development of a web tool for the identification, evaluation, and demonstration in multiple scenarios of the ideal solution required according to the established criteria. The methodology applied is exploratory, correlational, and explanatory. They were applied to a case study that evaluates a set of microscopic images of bone fracture repair, highlighting the participation of skeletal stem cells, where the result obtained was that the best alternative is neural networks.

Key words: Topsis, MCDM, Orange.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. REVISIÓN DE LITERATURA	11
2.1. Estado del arte.....	11
3. METODOLOGÍA.....	12
3.1. Método de Decisión Multicriterio.....	12
3.2. Estructura del algoritmo del método TOPSIS.....	12
3.3. Metodología para el desarrollo de software.....	15
3.4. Extracto de código fuente de la herramienta web.....	15
3.5. Fases de desarrollo del algoritmo TOPSIS	16
3.6. Arquitectura del software y funcionalidades.....	18
3.7. Métodos y técnicas de Recopilación de datos empleadas.....	19
4. RESULTADOS	20
4.1. Análisis resultante de los datos obtenidos.....	22
REFERENCIAS.....	24

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el impacto que produce una toma de decisión puede determinar el nivel de éxito o fracaso de manera progresiva si este no es evaluado correctamente, debido a que tomar una decisión es una tarea que con frecuencia forma parte de la vida cotidiana. Muchas organizaciones, empresas, grupos de trabajo e inclusive individuos que formen o no parte del ámbito laboral se enfrentan a situaciones de cualquier índole en las que se deben elegir de entre muchas alternativas, la mejor y, por ende, la que conlleva al éxito esperado. Estas alternativas son evaluadas y abordadas bajo múltiples criterios en la que se hace referencia al Método de Decisión Multicriterio (MCDM), (Duarte, 2005; Leyva et al., 2020) estas organizaciones en ocasiones suelen omitir cada una de las fases correspondiente al proceso de la toma de decisiones, con el fin de seleccionar acciones basadas en la experiencia humana, ya sea por escasez de tiempo o de conocimiento para aplicarlo en el entorno respectivo. Por lo general, esto solo demuestra que no cuentan con el personal respectivo, es decir, expertos en el área que evalúen en cada una de las fases que conlleva el proceso para la toma de decisiones (Grajales, A., Serrano, 2013).

Para entender los métodos multicriterio (MCDM), es necesario conocer su metodología de análisis, que consiste en determinar los criterios y, por tanto, los subcriterios que se van a evaluar, a los cuales luego se les asigna su respectiva ponderación, y finalmente se analizan mediante comparaciones por pares para medir la relación entre los criterios y su importancia (Mayor et al., 2016).

Existen muchos métodos de apoyo para la toma de buenas decisiones, de los cuales se puede mencionar algunos como: Proceso analítico jerárquico (AHP), Simulación monte carlo (MCS), Conjuntos difusos (FSs), Proceso de red analítica (ANP), Optimización multidisciplinar y solución de compromiso (VIKOR); Técnica para el orden de preferencia por similitud a solución real (TOPSIS), esto debido a la gran dificultad que presenta tomarlas, hasta ahora, no existe un método que garantice el cien por ciento de su efectividad, pero si existen métodos que no son tan complejos y por ende son fáciles de aplicar, de entender su funcionamiento y el beneficio que brindan, uno de los más utilizados y sumamente sencillo es el método TOPSIS (Quesada, 2015). El objetivo de este método es: identificar las alternativas, evaluarlas y determinar cuál es la ideal positiva y negativa, las cuales ayudaran a demostrar en los múltiples

casos o escenarios, la solución ideal debe estar lo más lejos posible de la peor decisión y lo más cerca posible de la mejor decisión (Balioti et al., 2018)(Osorio et al., 2018).

El propósito de este trabajo es proporcionar una herramienta de apoyo a la toma de decisiones, la cual permite demostrar el funcionamiento de cada una de las fases que componen el algoritmo del método TOPSIS al momento de evaluar las alternativas existentes, siempre y cuando se tomen en consideración los múltiples criterios. Esta herramienta se ha desarrollado mediante el uso de la programación web, donde se aplican tecnologías de programación como el framework de C# llamado Blazor, que integra Bootstrap, html y css (Yadav et al., 2019).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Estado del arte

Se procedió a consultar las bases de datos de Springer, ScienceDirect e IEEE, en las que se utilizó palabras claves: Método TOPSIS, algoritmo TOPSIS, estructura del método TOPSIS, método de decisión multicriterio, AHP, método TOPSIS multicriterio. De todos los resultados se pudo seleccionar aquellas publicaciones con aplicaciones teóricas y prácticas en la que se implementó el método TOPSIS en casos reales de situaciones que se presentan y producen complicaciones al momento de tomar una decisión. Se analizó que se encontraron publicaciones de alrededor de 17 años de antigüedad, sin embargo, se dio un mayor enfoque en las publicaciones más recientes.

Se encontraron publicaciones que de forma estructurada simplificaban mediante una explicación matemática cada fase que componen el método TOPSIS, también situaciones en la que mediante el uso de las funciones matemáticas que componen en las fases del método se aplicaban a escenarios específicos con datos evaluados y reales para llevar a cabo una decisión y por último el desarrollo de aplicaciones como PYTOPS que se utilizaron para hacer una carga de un Excel previamente con las matrices y valores iniciales correspondientes.

Sin embargo, la mayor parte de los trabajos poseen un solo objetivo a evaluar aplicando el método TOPSIS, pero ninguno ha logrado crear una herramienta mediante el desarrollo de la programación que sea fácil de usar y con un enfoque generalizado para cualquier escenario a evaluar.

3. METODOLOGÍA

La presente investigación es de tipo exploratoria, correlacional y explicativo, su alcance principal se basa de las variables que interviene la toma de decisiones. Adicionalmente se utilizará el método experimental con datos provenientes de casos reales. Se aplican pruebas estadísticas debidamente fundamentadas para analizar los resultados.

En este apartado se muestran los elementos que son importantes e intervienen en el desarrollo de la herramienta web aplicando el método TOPSIS, donde se da a conocer información sobre el proceso de toma de decisiones multicriterio (MCDM), el funcionamiento de cada una de las fases que componen el algoritmo del método TOPSIS, la funcionalidad de la herramienta web desarrollada y el conjunto de herramientas de desarrollo y análisis.

3.1. Método de Decisión Multicriterio

Los métodos multicriterio buscan brindar que se obtenga una buena elección como resultado a la hora de tomar decisiones frente a la gran cantidad de problemas que existen y se presentan hoy en día en los diferentes ámbitos de la sociedad, no obstante, se conoce que estos métodos multicriterio no siempre encuentran una solución óptima. Su proceso es seleccionar las alternativas, evaluarlas, elegir la mejor y rechazar la peor a simple vista, por último, muestra una lista con todas las alternativas en orden descendente siendo la primera la mejor hasta llegar a la última como la menos esperada o peor (Silvia & Villegas, 2011).

Se define decisión multicriterio discreta a aquellos problemas que poseen alternativas de decisión finita.

Un problema de toma de decisiones multicriterio está compuesto por un conjunto de elementos, los cuales se detallan a continuación (Balioti et al., 2018; Ortega et al., 2018):

- Conjunto Finito de Alternativas.
- Criterios de evaluación, para evaluar alternativas.
- Matriz de decisión, detalla los resultados de la evaluación.
- Modelo de agregación de preferencias.

3.2. Estructura del algoritmo del método TOPSIS

La estructura que compone este algoritmo se denota a continuación: (Dammak et al., 2015; Yadav et al., 2019)

Paso 1: Hay que establecer la matriz de decisión. Aquí se determinan cada una de las alternativas, los diversos criterios, sus respectivas ponderaciones y su tipo.

Sea $X = (x_{ij})$ una matriz de decisión y $W = [w_1, w_2, \dots, w_j]$ vectores de pesos, donde se valida que $x_{ij} \in \mathbf{R}$ y $w_j \in \mathbf{R}$. Aquí podemos definir el tipo de criterio a evaluar en función de 2 situaciones, de tipo costo o beneficio. Si es de tipo costo, el menor valor debe ser el mejor y si es el tipo beneficio, el mayor valor debe ser el mejor (Roszkowska, 2017)(Pérez Domínguez et al., 2017).

Ej: $m \times n \rightarrow X = [r_{ij}]$

$$X = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Paso 2: Se determina la matriz de decisión normalizada.

Hay que tener en cuenta que la matriz de decisión inicial debe estar normalizada para poder comparar criterios:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Los métodos más utilizados para calcular un valor normalizado son:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad (3)$$

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} \text{ if } w_i, & \text{criterio tipo beneficio} \\ \frac{\min_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} \text{ if } w_i, & \text{criterio tipo costo} \end{cases} \quad (4)$$

Paso 3: Se realizan cálculos para obtener la construcción de la Matriz de Decisión Normalizada Ponderada.

El valor de los pesos obtenidos (V) puede calcularse de la siguiente manera (Leyva, M., Sanchez, S., Quiroz, 2020; Martinez et al., 2021):

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot w_j \text{ for } i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Paso 4: Definir la solución ideal positiva A^+ e ideal negativa A^-

El papel principal de la solución ideal positiva (SIP) es poder maximizar todos los criterios de tipo beneficio y minimizar todos los criterios de tipo costo.

$$A^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+) = \left[[\max v_{ij} | j \in I], [\min v_{ij} | j \in J] \right] \quad (7)$$

El papel principal de la solución ideal negativa (SIN) es poder maximizar todos los criterios de tipo costo y poder minimizar todos los criterios de beneficio.

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-) = \left[[\min v_{ij} | j \in I], [\max v_{ij} | j \in J] \right] \quad (8)$$

Paso 5: Calcular la distancia Euclidiana de la mejor solución ideal.

Para obtener el valor de la distancia euclidiana al SIP se da lo siguiente:

$$s_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (a_{ij} - a_j^+)^2}, \quad i = 1, \dots, n \quad (9)$$

Para obtener el valor de la distancia euclidiana al SIN se da lo siguiente:

$$s_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (a_{ij} - a_j^-)^2}, \quad i = 1, \dots, n \quad (10)$$

Paso 6: Determinar la proximidad relativa con respecto al SIP y al SIN mediante el índice de proximidad.

$$P_i^+ = \frac{s_i^-}{s_i^+ + s_i^-} \quad (21)$$

Paso 7: Clasificar el orden de preferencia más cercano a 1 según el índice de proximidad.

El orden correcto es en orden descendente P_i^+ ; lo que denota que cuanto más cerca esté de 1, mejor será su elección.

3.3. Metodología para el desarrollo de software

La metodología en el desarrollo de software juega un rol importante, porque a través de ella se puede llevar a cabo el desarrollo de nuevos sistemas de información. Estas metodologías por lo general se dividen en fases, en donde en cada una de ellas se deben realizar tareas y actividades siguiendo un conjunto de procedimientos, técnicas y herramientas (Carrizo & Alfaro, 2018).

El resultado a obtener luego de seguir y cumplir con cada una de las tareas de las fases que componen a la Metodologías va a permitir que el desarrollo del nuevo sistema de software pueda también llevarse un control en su planificación, gestión, control y evaluación (Tinoco Gómez, López et al., 2010).

Dentro de las diferentes Metodologías para el Desarrollo del software podemos encontrar las siguientes:

- Metodología Tradicional
 - Modelo Cascada
 - Modelo Secuencial
 - Modelo Incremental
 - Modelo Espiral
- Metodología Ágil
 - Desarrollo adaptativo de software
 - Proceso Unificado Ágil
 - Metodología Ágil Cristal
 - Scrum
 - Programación Extrema (XP)

3.4. Extracto de código fuente de la herramienta web

Este pequeño extracto del código de la Herramienta del Método TOPSIS se ha basado en el uso de la tecnología C# junto con su framework Blazor, que integra Bootstrap, html y css, por lo que su sintaxis es fácil de entender y fácil de realizar modificaciones en el código. Al ser una

herramienta web lo que destaca en el front end para el usuario es la interacción en tiempo real tras realizar cualquier acción con los botones y la entrada de datos. Por lo tanto, la aplicación está abierta para que cada persona interesada pueda realizar modificaciones a su gusto y necesidad para llevar a cabo un buenas y mejores prácticas en la toma de una buena decisión.

A continuación, se muestra una parte del código donde se está desarrollando la lógica para el ingreso de los criterios, peso y su tipo.

```
private async Task ModalCriterio()
{
    List<Object> respuesta = new List<Object>();
    string titulo = "Ingrese el Criterio";
    var options = new ModalOptions
    {
        DisableBackgroundCancel = true,
        ContentScrollable = true,
        Animation = ModalAnimation.FadeInOut(0.5)
    };

    var messageForm =
    modal.Show<CompModalCriterio>(titulo, options);
    var resultado = await messageForm.Result;
    if (!result.Cancelled)
    {
        respuesta = (List<Object>)result.Data;
        criterios.Add((string)respuesta[0]);
        pesos.Add((decimal)respuesta[1]);
        tipos.Add((int)respuesta[2]);
    }
}
```

3.5. Fases de desarrollo del algoritmo TOPSIS

Los pasos a seguir para la construcción de la herramienta web se basan en la estructura del Algoritmo TOPSIS: (i) Definir la matriz de decisión y determinar cada una de las alternativas, criterios, pesos y tipo de criterio; (ii) Proceder a realizar y establecer la matriz de decisión, pero estando ya normalizada; (iii) Calcular la matriz de pesos normalizada ponderada; (iv) Definir la solución ideal positiva A^+ e ideal negativa A^- ; (v) Determinar la distancia euclidiana de la mejor solución ideal positiva y negativa; (vi) Determinar la proximidad relativa con respecto al SIP y al SIN mediante un índice de proximidad; (vii) Clasificar el orden de preferencia más cercano a 1. Cada una de las fases de la estructura del algoritmo TOPSIS se ha realizado mediante programación web, en la que el desarrollo se basa en poner en cada fase la función matemática que corresponde por ser un algoritmo de fácil comprensión. En los siguientes apartados se explican con más detalle las funcionalidades de la herramienta.

La herramienta del método TOPSIS tiene dos bloques, uno para la entrada de datos, donde el usuario introducirá la información necesaria para que funcione la herramienta y el otro bloque donde generamos automáticamente los valores correspondientes a la estructura del algoritmo TOPSIS mediante botones, tal como se muestra en la Fig. 1.

Cabe destacar que es una herramienta muy sencilla de utilizar, pero muy potente que puede ser de gran ayuda para la toma de decisiones, a continuación, se muestra en la Fig. 2 la representación básica de la funcionalidad de la herramienta web mediante una Ilustración por un diagrama de casos de uso, donde se demuestra la secuencia de acciones y actividades que involucran la participación de un usuario.

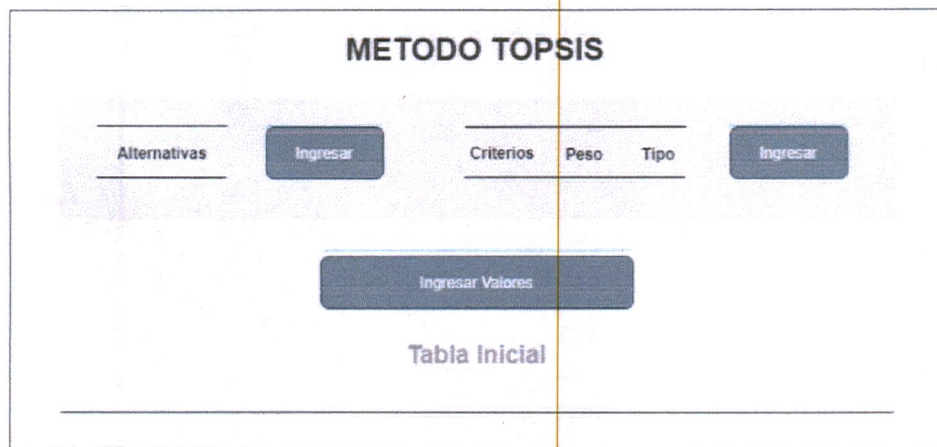


Figura 1. Interfaz grafica de usuario de herramienta web del método TOPSIS

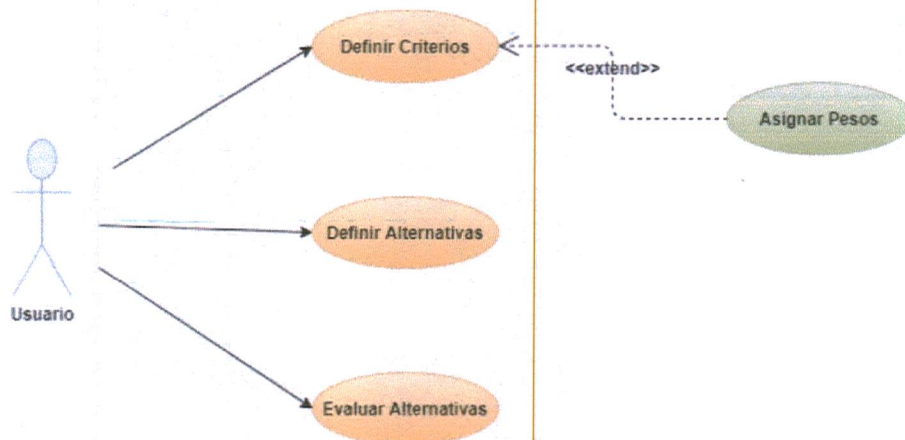


Figura 2. Caso de uso de herramienta del método TOPSIS

3.6. Arquitectura del software y funcionalidades

En el primer bloque, como se mencionó, se encuentra la parte donde se ingresarán los datos para comenzar a llenar la matriz. Se puede observar que, en el lado izquierdo, se tienen que ingresar las alternativas a evaluar en la herramienta, esto sucede después de que el usuario presiona el botón de ingresar y coloque cada una de las alternativas que serán evaluadas en este proceso de decisión. En el lado derecho hay que introducir los criterios, para lo cual hay que rellenar 3 campos que son: el nombre del criterio, el peso que tendrá y definir el tipo de criterio que será, en este caso los que se aplican en este algoritmo son los criterios de tipo Beneficio y los criterios de tipo Costo, no hay que olvidar que este valor del peso del criterio y su suma total no puede ser mayor a 1, el mismo que se puede obtener de muchas maneras ya sea por una asignación directa proporcionada por un experto o utilizando el método AHP, que se puede utilizar mediante el uso en la web. Toda la información introducida se actualizará y se mostrará en la parte inferior de cada sección. Por último, al pulsar el botón de ingresar valores, se llenará la tabla inicial, donde se colocará el valor de cada relación entre alternativas y criterios. Todo esto se refiere al primer bloque de la herramienta donde se cumple el punto (i).

El segundo bloque de la herramienta corresponde a cada uno de los cálculos matemáticos que se realizan en cada una de las fases que componen el algoritmo TOPSIS. Una vez introducidos los valores para generar la tabla inicial, ocurren 2 cosas: automáticamente la herramienta nos mostrará una ventana emergente con la mejor alternativa que ha resultado de toda esta evaluación multicriterio y se habilitará un botón que dice Mostrar/Ocultar Cálculos donde al pulsarlo podremos visualizar lo siguiente: La tabla normalizada, que va a generar la tabla a partir de los datos introducidos en la relación alternativas - criterios donde se puede hacer la comparación entre criterios, y se hace uso de la función matemática detallada en el punto (ii) del apartado Algoritmo del Método TOPSIS; Mostrar la matriz normalizada que corresponde al punto (iii); Mostrar la matriz con los respectivos valores de la distancia euclidiana SIP y SIN junto con los valores obtenidos en proximidad relativa, cumpliendo los puntos (iv), (v) y (vi); Finalmente, mostrar una tabla final en orden descendente con cada una de las mejores opciones según los criterios evaluados, cumpliendo así el último punto (vii).

3.7. Métodos y técnicas de Recopilación de datos empleadas

Se presenta un caso de estudio que se aplica a un conjunto de datos de imágenes microscópicas de reparación de fracturas óseas que ponen de relieve la participación de las células madre esqueléticas, tal como se muestra en la Fig. 3. Las imágenes proceden del laboratorio de Dongsu Park de la Escuela de Medicina de Baylor. La herramienta de software utilizada fue Orange Data Mining y las imágenes se incrustaron utilizando la red neuronal SqueezeNet (Shastri, 2020; Tscherne et al., 2013).

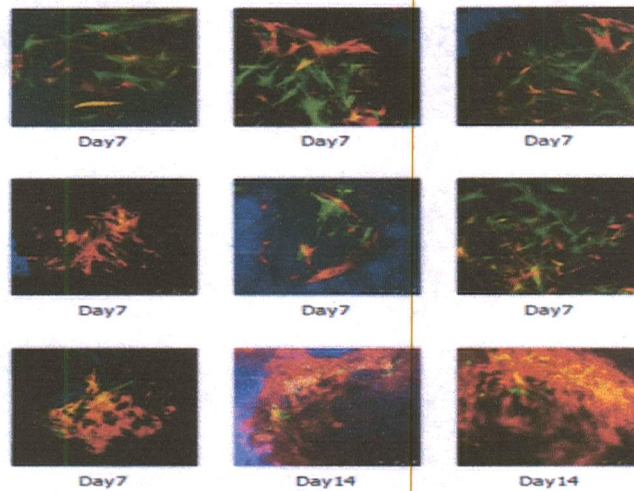


Figura 3. Conjunto de imágenes microscópicas de reparación de fracturas óseas

Se puede observar el uso del software Orange Data Mining, donde se diseña la propuesta de este caso de estudio con los diferentes componentes de predicciones y clasificadores tales como SVM, Naive Bayes, entre otros, con el fin de obtener un análisis predictivo en base a los valores que se le proporcionen, tal como se muestra en la Fig.4.

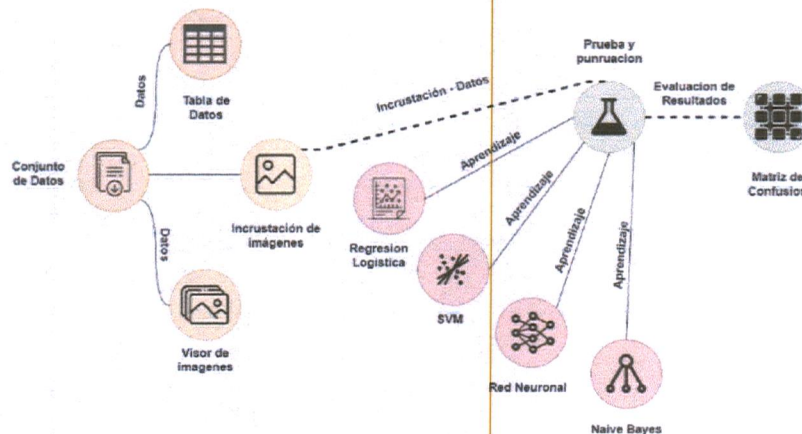


Figura 4. Diseño de propuesta de caso de estudio elaborado en software Orange

4. RESULTADOS

Se definen las alternativas tal como se mostró en el diseño propuesto, las cuales se denotarán por A_i ($i=1, 2, \dots, m$). Donde A_1 es Regresión Logística, A_2 es Máquinas de Vector Soporte (SVM), A_3 es Red Neuronal, A_4 es Naïve Bayes.

Los criterios que se consideran para evaluar cuál de las alternativas tiene el mejor rendimiento son: C_j ($j=1, 2, \dots, n$). Donde C_1 es Área bajo la curva ($AUC = 0.15$), C_2 es Exactitud ($CA = 0.15$), C_3 es F1 (0.2), C_4 es Precisión ($P = 0.2$), C_5 es Exhaustividad ($Recall = 0.3$), de los cuales todos van a ser de tipo beneficio, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. C_j Criterios

C1	Área bajo la curva	$AUC = \frac{1}{2}(Recall + Sp)$
C2	Exactitud	$CA = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN}$
C3	F1	$F1 = 2 \cdot \frac{P \cdot Recall}{P + Recall}$
C4	Precisión	$P = \frac{VP}{VP + FP}$
C5	Exhaustividad	$Recall = \frac{VP}{VP + FN}$

Fuente: Leyva M., 2020.

Una vez se tiene definidos los criterios y alternativas a evaluar se procede a dar un valor significativo para cada relación entre alternativa – criterio. Para este caso dará como resultado la creación de una matriz de decisión de tipo $m \times n$ (4×5), tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Matriz de Decisión $X=[r_{ij}]$

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A^1	0,980	0,919	0,919	0,920	0,919
A^2	0,977	0,892	0,892	0,0897	0,089
A^3	0,965	0,919	0,919	0,931	0,919
A^4	0,944	0,892	0,891	0,912	0,892

Fuente: Leyva M., 2020.

A partir de la Tabla 2 se empieza hacer uso de la herramienta que se ha desarrollado para así poder obtener los valores que corresponden a las otras fases del algoritmo del método TOPSIS. Los valores de la Tabla 2 se utilizan para normalizar la matriz como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Matriz de Decisión Normalizada $R = [r_{ij}]$

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
A ¹	0.506	0.507	0.507	0.575	0.582
A ²	0.505	0.492	0.492	0.056	0.056
A ³	0.499	0.507	0.507	0.582	0.582
A ⁴	0.488	0.492	0.492	0.570	0.564

Fuente: Tomado de Herramienta Web desarrollada.

El vector de pesos se incluye en la Tabla 3, que corresponde a la Matriz de Decisión Normalizada utilizando la fórmula $V = [v_{ij}]$, detallada en la estructura del algoritmo, la cual es utilizada para llegar a obtener la matriz de decisión normalizada ponderada, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Matriz de Decisión Normalizada Ponderada $V = [v_{ij}]$

	C1	C2	C3	C4	C5
A1	0.076	0.076	0.101	0.115	0.174
A2	0.075	0.073	0.098	0.011	0.016
A3	0.074	0.076	0.101	0.116	0.174
A4	0.073	0.073	0.098	0.114	0.169

Fuente: Tomado de Herramienta Web desarrollada.

El SIP A^+ y el SIN A^- , para poder determinarlos cada uno tiene su propia ecuación, el valor obtenido de estas soluciones ideales se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. SIP A^+ y SIN A^-

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
A^+	0.076	0.076	0.101	0.116	0.174
A^-	0.073	0.073	0.098	0.011	0.016

Fuente: Tomado de Herramienta Web desarrollada.

La tabla 6 muestra los valores obtenidos al calcular las distancias euclidianas tanto para la solución ideal positiva como para la solución ideal negativa, así como los valores tras calcular la proximidad relativa y su clasificación con respecto a la mejor alternativa.

Tabla 6. Distancia euclidiana de la mejor solución ideal positiva, solución ideal negativa, cercanía relativa y Ranking de la mejor alternativa

	S_i^+	S_i^-	C_i^+	Rank
A ¹	0.001	0.188	0.992	2
A ²	0.189	0.002	0.013	4
A ³	0.001	0.189	0.993	1
A ⁴	0.007	0.184	0.961	3

Fuente: Tomado de Herramienta Web desarrollada.

4.1. Análisis resultante de los datos obtenidos

El análisis resultante de este caso de estudio en donde se hizo uso de la herramienta web aplicando el método TOPSIS, dio como resultado que de entre los 4 modelos de aprendizaje automático relativos y los 5 criterios a evaluar, se obtuvo el siguiente ranking generado en función del índice de proximidad respecto a la mejor alternativa, siendo $A3 > A1 > A4 > A2$. En este caso el modelo de red neuronal resultó ser el mejor.

5. CONCLUSIÓN

La toma de decisiones multicriterio puede ser muy difícil a la hora de evaluar la mejor alternativa, por lo que existen muchos algoritmos que ayudan a tomar buenas decisiones, como es el caso de lo que se ha tratado en este artículo, de implementar el uso del algoritmo del método TOPSIS a través del desarrollo de una herramienta en entorno web. Para tomar una decisión lo más importante es que siempre produzca resultados que influyan positivamente de manera frecuente al escenario evaluado, logrando así satisfacer las necesidades existentes.

Se desarrolló una herramienta web para automatizar el proceso de toma de decisiones mediante el método TOPSIS.

Para demostrarlo, se desarrolló un escenario específico para evaluar y analizar la eficacia de la herramienta creada en el escenario propuesto. Este estudio demostró que la herramienta web ha determinado que la mejor alternativa para evaluar las imágenes microscópicas de reparación de fracturas óseas que resaltan la participación de las células madre esqueléticas son las Redes Neuronales.

El trabajo futuro incluye la ampliación de la herramienta para su uso en procesos de toma de decisiones en grupo. Adicionalmente, se propone hacer uso de la lógica de programación para

el desarrollo de un entorno de escritorio y poder añadir la funcionalidad del método TOPSIS a un módulo de Recursos Humanos de un ERP en el que se integre con el proceso de selección de personal y también se pueda integrar con el método AHP para hacer más completo el proceso de toma de decisiones en cuanto a la ponderación de los pesos de cada criterio.

REFERENCIAS

- Balioti, V., Tzimopoulos, C., & Evangelides, C. (2018). Multi-Criteria Decision Making Using TOPSIS Method Under Fuzzy Environment. Application in Spillway Selection. *Proceedings*. <https://doi.org/10.3390/proceedings2110637>
- Carrizo, D., & Alfaro, A. (2018). Metodo de aseguramiento de la calidad en una metodologia de desarrollo de software:un enfoque practico. *Ingeniare*. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052018000100114>
- Dammak, F., Baccour, L., & Adel, A. (2015). A comparative analysis for multi-attribute decision making methods: TOPSIS, AHP, VIKOR using intuitionistic fuzzy sets. *IEEE*. <https://doi.org/10.1109/FUZZ-IEEE.2015.7338059>
- Duarte, D. (2005). Toma de decisiones: el imperativo diario de la vida en la organización moderna. *ACIMED*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352005000300010&lng=es&tlng=
- Grajales, A., Serrano, E. (2013). Multicriteria Methods And Processes For Evaluation. *Luna Azul*, 36. <https://doi.org/10.17151/luaz.2013.36.14>
- Leyva, M., Sanchez, S., & Quiroz, M. (2020). A Framework for Selecting Machine Learning Models Using TOPSIS. *SPRINGER*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51328-3_18
- Martinez, M. A. Q., Rugel, D. T. L., Alcivar, C. J. E., & Vazquez, M. Y. L. (2021). A framework for selecting classification models in the intruder detection system using topsis. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 173–179. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55307-4_27
- Mayor, J., Botero, S., & González, J. (2016). A fuzzy multi-criteria decision-making model for infrastructure projects contractor selection: The Colombian case. *Obras y Proyectos*, 20. <https://doi.org/10.4067/s0718-28132016000200005>
- Ortega, R. G., Vázquez, M. L., Figueiredo, J. A. S., & Guijarro-Rodríguez, A. (2018). Sinos River basin social-environmental prospective assessment of water quality management using fuzzy cognitive maps and neutrosophic AHP-TOPSIS. *Neutrosophic Sets and Systems*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2158501>
- Osorio, J. C., García, J. L., & Manotas, D. F. (2018). AHP Topsis para la selección de proveedores considerando el riesgo asociado a la calidad. *Espacios*. <https://www.revistaespacios.com/a18v39n16/a18v39n16p08.pdf>
- Pérez Domínguez, L., Macías García, J., Sánchez Mojica, K., & Luviano Cruz, D. (2017). Comparison TOPSIS and MOORA multi criteria method for the optimization of a plastic injection process. *Mundo FESC*. <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/145>
- Quesada, M. (2015). *Modelo de resolución de problemas de toma de decisión multicriterio*. <https://sinbad2.ujaen.es/work/2517-modelo-de-resolución-de-problemas-de-toma-de-decisión-multicriterio>
- Roszkowska, E. (2017). Multi-Criteria Decision Making Models By Applying the Topsis Method To Crisp and Interval Data. *Multiple Criteria Decision Making*. <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/145>
- Shastri, D. J. (2020). Machine learning for non-programmers. *Proceedings*. <https://doi.org/10.1145/3334480.3375051>
- Silvia, V., & Villegas, S. (2011). Priority model for investment projects with public multicriteria: study case: SEMAPA. *Perspectivas*, 28, 66–69. <http://www.scielo.org.bo/pdf/tp/n28/n28a04.pdf>
- Tinoco Gómez, López, R., Pablo, P., & Bacalla, S. (2010). Criteria for selection of software development methodologies. *Industrial Data*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81619984009>
- Tscherne, F., Wilke, N., Schachenhofer, B., Roux, K., & Tavlaridis, G. (2013). Orange: Data mining toolbox in python. *Journal of Machine Learning Research*. <https://jmlr.org/papers/volume14/demsar13a/demsar13a.pdf>
- Yadav, V., Karmakar, S., Kalbar, P. P., & Dikshit, A. K. (2019). PyTOPS: A Python based tool for TOPSIS. *SoftwareX*. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2019.02.004>