



## Soporte de decisión multicriterio para el mantenimiento de equipos médicos en un entorno neutrosófico lingüístico heterogéneo

Christian Torres Sarango<sup>1</sup>, Daniel Loza Hernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Guayaquil Ecuador, E-mail: [ctorress1@est.ups.edu.ec](mailto:ctorress1@est.ups.edu.ec)

<sup>2</sup>Universidad politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Guayaquil Ecuador, E-mail: [dloza@est.ups.edu.ec](mailto:dloza@est.ups.edu.ec)

**Resumen.** Los departamentos de ingeniería clínica en los hospitales son responsables de establecer y regular los programas de administración de equipos médicos que requieran de múltiples puntos de vista para garantizar que los dispositivos médicos sean seguros y confiables. Para mitigar las fallas funcionales, los dispositivos importantes y críticos deben ser identificados y priorizados. En este artículo, presentamos un modelo de toma de decisiones multicriterio para priorizar los dispositivos médicos según su criticidad en diferentes dominios de expresión utilizando números neutrosóficos lingüísticos de 2 - tuplas. En este documento se desarrolla un modelo de dispositivos médicos priorizados basado en el esquema de análisis de decisiones lingüísticas. La propuesta puede gestionar diferentes tipos de información (numérica y lingüística) y los resultados finales se expresan en un dominio lingüístico, siguiendo el paradigma de computación con palabras. Finalmente, se presenta un estudio de caso que contribuye a mostrar la aplicabilidad del modelo propuesto, el cual se valida con la técnica IADOV, con el fin de mostrar el nivel de satisfacción de dicho modelo.

**Palabras claves:** Dispositivos médicos; Números neutrosóficos lingüísticos de 2 - tuplas; decisiones de mantenimiento; toma de decisiones de múltiples atributos.

### 1 Introducción

Los departamentos de ingeniería clínica o electromedicina en los hospitales son responsables de establecer y regular un programa de administración de equipos para garantizar que los dispositivos médicos sean seguros y confiables. Para mitigar las fallas funcionales, los dispositivos importantes y críticos deben ser identificados y priorizados; sin embargo, no existen modelos confiables que permitan integrar los criterios involucrados en el proceso de priorización de la reparación de equipos médicos, ni el tratamiento de la vaguedad y la indeterminación existentes [1] en la evaluación de algunos criterios.

A medida que aumenta el número y la complejidad, los dispositivos médicos requieren que los hospitales establezcan y regulen un Programa de administración de equipos médicos [2], para garantizar que los dispositivos críticos sean seguros y confiables y que funcionen al nivel de rendimiento requerido. Como aspectos fundamentales de este programa es la inspección, el mantenimiento preventivo y las pruebas de los equipos deben revisarse continuamente para mantenerse al día con las mejoras tecnológicas actuales y las mayores expectativas de las organizaciones de salud, relacionadas fundamentalmente con la confiabilidad de la tecnología médica [3].

Actualmente las organizaciones no pueden satisfacerse simplemente siguiendo las recomendaciones de los fabricantes. Los departamentos de ingeniería clínica o electromedicina en los hospitales de todo el mundo, incluidos Canadá, Australia y los Estados Unidos, han comenzado a emplear estrategias de mantenimiento más eficientes.

En el presente trabajo se propone un prototipo de sistema de apoyo a la decisión de múltiples criterios para priorizar los dispositivos médicos de acuerdo con su criticidad utilizando neutrosóficos. A los dispositivos con puntajes de criticidad más bajos se les puede asignar una prioridad más baja en el mantenimiento. Sin embargo, aquellos con puntajes más altos deben investigarse en detalle para encontrar las razones de su mayor criticidad y realizar las acciones apropiadas, como el mantenimiento preventivo, la capacitación del usuario y el rediseño del dispositivo, entre otros. Además, este documento aborda cómo los valores de puntuación obtenidos para cada criterio se pueden usar para establecer pautas para el mantenimiento adecuado de diferentes tipos de dispositivos. Los criterios involucrados en este proceso pueden ser de diferente naturaleza, por lo que deben evaluarse en diferentes dominios. Además, debido al hecho de que el proceso de resultados debe ser fácilmente comprensible, estos deben proporcionarse en un dominio lingüístico. La información de un grupo de dispositivos médicos se obtiene del sistema de administración de mantenimiento de un hospital para ilustrar la aplicabilidad del modelo propuesto en el presente trabajo.



## 1. Preliminares

### 1.1. Toma de decisiones

La toma de decisiones ha sido abordada históricamente por múltiples disciplinas, desde las clásicas como la filosofía, las estadísticas, las matemáticas y la economía, hasta las más recientes, como la Inteligencia Artificial [4, 5]. Las teorías y modelos desarrollados apuntan al apoyo racional para tomar decisiones complejas [4]. Incluyen actividades típicas como [6, 7]:

- Definir el problema de la toma de decisiones
- Analizar el problema e identificación de alternativas de solución  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  ( $n \geq 2$ ).
- Establecer criterios de evaluación.
- Selección de experto (s).
- Evaluación de alternativas.
- Ordenamiento y selección de la mejor alternativa.
- Implementar y dar seguimiento.

Cuando el número de criterios satisface a  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$  ( $m \geq 2$ ), se considera un problema de toma de decisiones multicriterio [8]. Cuando el número de expertos es tal que  $K = \{k_1, k_1, \dots, k_n\}$  ( $n \geq 2$ ) se considera un problema de toma de decisiones en grupo [9, 10]. El proceso para la solución de un problema de toma de decisiones se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Proceso para la solución de un problema de toma de decisiones. **Fuente:** [7].

De acuerdo con el entorno de decisión, los problemas de toma de decisión se pueden clasificar en tres situaciones o entornos de decisión [5, 8]:

- Entorno de certeza: los elementos y / o factores que intervienen en el problema se conocen con exactitud. Se puede asignar un valor exacto de utilidad a las alternativas involucradas.
- Entorno de riesgo: Algunos de los elementos o factores involucrados están sujetos a la posibilidad. Por lo general, se resuelven asignando probabilidades a las alternativas de acuerdo con la teoría de las probabilidades.
- Entorno de incertidumbre: la información disponible es vaga o imprecisa, generalmente asociada con sensaciones sensatas o subjetivas de los expertos.

### 1.2. Modelo lingüístico de 2 - tuplas y heterogeneidad

Los criterios para la priorización de equipos pueden tener diferente naturaleza (cuantitativa y cualitativa). Por lo tanto, es apropiado expresar cada criterio en el dominio adecuado (numérico o lingüístico), generando un contexto heterogéneo. En este contexto, la extensión del modelo lingüístico de 2- tuplas propuesto en [11] es una buena opción porque proporciona resultados lingüísticos.

El modelo de representación lingüística basado en 2-tuplas se propuso y define un conjunto de funciones de transformación para 2-tuplas lingüísticas para llevar a cabo el proceso de CWW sin pérdida de información. Siendo  $\beta \in [0, g]$  un valor que representa el resultado de una operación simbólica, se puede asignar una tupla lingüística 2  $((s_i, \alpha)$  para expresar la información equivalente a la dada por  $\beta$ .

**Definición 1.** [12] Sea  $S = \{s_0, \dots, s_g\}$  un conjunto de términos lingüísticos. El conjunto de 2 - tuplas asociado con  $S$  se define como  $\langle S \rangle = S \times [-0.5, 0.5]$ . Para ello se define la función  $\Delta: [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5]$  dada por la expresión 1.



$$\Delta(\beta) = (s_i, \alpha), \text{ with } \begin{cases} s_i, i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i, \end{cases} \quad (1)$$

Donde; al reordenar se le asigna a  $\beta$  el número entero  $i \in \{0, 1, \dots, g\}$  más cercano a  $\beta$ .

Como la función  $\Delta$  es biyectiva [12] y  $\Delta^{-1}: [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5]$  es definido por  $\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha$ . Los valores numéricos pueden ser transformados al dominio lingüístico ( $S_T$ ) en un proceso de dos pasos. Primero transformando valores numéricos en  $[0, 1]$  para  $f(S_T)$  usando la función de transformación lingüística numérica.

**Definición 2.** [11] Sea  $v \in [0, 1]$  un valor numérico y  $S_T = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$  un conjunto de términos lingüísticos. La función de transformación lingüística numérica  $\tau NS_t: [0, 1] \rightarrow F(S_t)$  se define matemáticamente a través de la ecuación 2.

$$\tau NS_t(v) = \{(s_0, \gamma_0), (s_1, \gamma_1), \dots, (s_g, \gamma_g)\} \quad (2)$$

Donde;

$$\gamma_i = \mu_{s_i} = \begin{cases} 0, & \text{if } v < a \text{ or } v > d, \\ \frac{v-a}{b-a}, & \text{if } a < v < b, \\ 1, & \text{if } b \leq v \leq c, \\ \frac{d-v}{d-c}, & \text{if } c < v < d \end{cases}$$

Donde;  $\gamma_i \in [0, 1]$  y  $F(S_t)$  es el conjunto difusos en  $S_t$  y  $\mu_{s_i}$  es la función de pertenencia de la etiqueta lingüística  $s_i \in S_t$ .

La información previa unificada en los conjuntos difusos en  $S_t$  es posteriormente transformada para facilitar la interpretabilidad de los resultados. Esta transformación es conducida por la función  $\chi: F(S) \rightarrow [0, g]$ :

**Definición 3.** [13] El conjunto de términos lingüístico  $S_t = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$  de la función  $\chi: F(S) \rightarrow [0, g]$  es definida por la ecuación 3.

$$\chi: (F(S_t)) = \chi(\{(s_j, \gamma_j), j = 0, \dots, g\}) = \frac{\sum_{j=0}^g j\gamma_j}{\sum_{j=0}^g \gamma_j} = \beta \quad (3)$$

Donde; el conjunto difuso  $F(S_t)$  puede ser obtenido por  $\tau NS_t$ .

Para aplicar la función  $\Delta$  a  $\beta$  (Definición 1) se puede asignar 2-tuplas que expresa la información equivalente a  $\beta$ .

### 1.3. Número neutrosófico lingüístico de 2 - tuplas

En [14] se propone el concepto de conjuntos de números neutrosóficos lingüísticos de 2- tuplas (2TLNNSs) para resolver este problema basándose en los SVNS y los conjuntos lingüísticos de 2- tuplas (2TLLSs). A 2TLNNS se define de la siguiente manera [14] : Supongamos que  $L = \{l_0, l_1, \dots, l_t\}$  es un 2TLLSs con cardinalidad impar  $t + 1$  se define para  $(s_T, a), (s_I, b), (s_F, c) \in L$  y  $a, b, c \in [0, t]$ , donde  $(s_T, a), (s_I, b)$  y  $(s_F, c)$  para expresar independientemente el grado de verdad, el grado de indeterminación y el grado de falsedad mediante 2TLLS, luego 2TLNNSs se define de la siguiente manera:

$$l_j = \{(s_{T_j}, a), (s_{I_j}, b), (s_{F_j}, c)\} \quad (4)$$

Donde;  $0 \leq \Delta^{-1}(s_{T_j}, a) \leq t$  ,  $0 \leq \Delta^{-1}(s_{I_j}, b) \leq t$  ,  $0 \leq \Delta^{-1}(s_{F_j}, c) \leq t$  and  $0 \leq \Delta^{-1}(s_{T_j}, a) + \Delta^{-1}(s_{I_j}, b) + \Delta^{-1}(s_{F_j}, c) \leq 3t$



La función de puntuación y precisión permite clasificar 2TLNN [14].

Sea  $l_1 = \{ (s_{T_1}, a), (s_{I_1}, b), (s_{F_1}, c) \}$  un 2TLNN en  $L$ , la función de puntuación y precisión en  $l_1$  se definen como sigue:

$$\begin{aligned}
 s(l_1) &= \Delta \left\{ \frac{2t + \Delta^{-1}(s_{T_1}, a) - \Delta(s_{I_1}, b) - \Delta(s_{F_1}, c)^{-1}}{3} \right\}, \Delta^{-1}(S(l_1)) \in [0, t] \\
 H(l_1) &= \Delta \left\{ \frac{t + \Delta^{-1}(s_{T_1}, a) - \Delta(s_{F_1}, c)^{-1}}{2} \right\}, \Delta^{-1}(H(l_1)) \in [0, t]
 \end{aligned} \quad (5)$$

## 2. Marco de trabajo propuesto

Basado en el objetivo que se persigue en el presente trabajo, el cual es el mantenimiento de equipos médicos en un entorno neutrosófico lingüístico heterogéneo, se desarrolla un modelo en un entorno neutrosófico basado en el esquema de análisis de decisión lingüística, capaz de hacer frente a los criterios de diferente naturaleza y proporcionar resultados lingüísticos en un entorno neutrosófico. El modelo consta de 3 fases (Figura 2).



**Figura 2.** Fases del modelo propuesto. **Fuente:** Elaboración propia.

## 1. Marco de evaluación

En esta fase, el marco de evaluación se define para corregir la estructura del problema de priorización de requisitos. El marco es establecido como sigue:

- Sea  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$  ( $n \geq 2$ ) un conjunto de expertos, ingenieros biomédicos
- Sea  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$  ( $k \geq 2$ ) un conjunto de criterios
- Sea  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$  ( $m \geq 2$ ) un conjunto de equipos médicos

Los criterios que se seleccionan se resumen en la siguiente Tabla 1, [15]:

Criterios	Descripción
Función	La función de un dispositivo es el propósito principal para el que se va a utilizar. Por ejemplo, un dispositivo de soporte vital, como un desfibrilador, se considera un dispositivo de Clase IV con alto riesgo de falla (muerte de un paciente) si el dispositivo falla.
Criticidad misionera	La criticidad de la misión o el impacto operacional describe la medida en que un dispositivo es crucial para el proceso de prestación de atención de un hospital
Años	La puntuación de edad se basa en la edad real de un dispositivo y su vida útil predecible.
Riesgo	El valor de riesgo se puede estimar en función de la frecuencia, la consecuencia y la detectabilidad para cada modo de falla.



Recuerda y alerta de peligro.	El número y la clase de recordatorios y el número de alertas de peligro que pueden ocurrir para un dispositivo son criterios importantes en la priorización de los dispositivos médicos.
Requisitos de mantenimiento	Los equipos que son predominantemente mecánicos, neumáticos o fluidos a menudo requieren el mantenimiento más extenso. Se considera que un dispositivo tiene un requisito de mantenimiento promedio si solo requiere verificación de rendimiento y pruebas de seguridad. Los equipos que reciben solo inspección visual, una verificación de rendimiento básico y pruebas de seguridad se clasifican como que tienen requisitos mínimos de mantenimiento.

**Tabla 1.** Criterios seleccionados. **Fuente:** Elaboración propia.

En esta fase, se considera un marco de información heterogéneo [16], donde cada experto puede usar un dominio diferente (numérico o lingüístico) para evaluar cada criterio, atendiendo a su naturaleza en un entorno neutrosófico.

## 2. Recopilar información

Una vez que se ha definido el marco, se debe obtener el conocimiento del conjunto de expertos. Cada experto, ofrece sus preferencias mediante el uso de vectores de servicios públicos. El vector de utilidad [17] está representado a través de la expresión 6.

$$P_j^i = \{p_{j1}^i, p_{j2}^i, \dots, p_{jh}^i\} \quad (6)$$

Donde;  $p_{jk}^i$  es la preferencia otorgada al criterio  $c_k$  el requisito  $r_j$  por el experto  $e_i$ .

## 3. Clasificar equipamiento médico

El objetivo de esta fase es obtener una evaluación global lingüística colectiva que sea fácil de interpretar para los ingenieros de software. Para ello se unifica la información y se agrega. Finalmente se identifican los más priorizados. Esta fase se basa en el enfoque revisado en la Sección 3 para tratar con información heterogénea y dar resultados lingüísticos.

### ✓ Unificación de la información

La información está unificada en un dominio lingüístico específico, ( $S_T$ ). La información numérica se transforma al dominio lingüístico ( $S_T$ ), a través de los siguientes pasos:

- Seleccionar un dominio lingüístico específico, denominado Conjunto de términos lingüísticos básicos ( $S_T$ ).
- Transformar los valores numéricos en  $[0, 1]$  para  $f(S_T)$ .
- Transformar los conjuntos difusos sobre el  $S_T$  en lingüística 2-tupla.

### I. Agregación de la información

Se desarrolla un proceso de agregación de dos pasos con el objetivo de calcular una evaluación global de cada requisito de software. Se propone que este operador establezca diferentes ponderaciones para cada experto, teniendo en cuenta su conocimiento y su importancia en el proceso de priorización de software.



## II. Valoración del equipo

El paso final en el proceso de priorización es establecer una clasificación entre médicos equipo, esta clasificación permite seleccionar el equipo médico con más valor y posponer o rechazar el mantenimiento de otros para que el proceso sea más efectivo. El dispositivo más crítico es el que tiene la máxima evaluación colectiva  $\text{Max}\{(r_j, \alpha_j), = 1, 2, \dots, n\}$ . Los requisitos se priorizan según este valor en orden decreciente.

### 4. Estudio de Caso

En esta sección, presentamos una El estudio de caso se desarrolla en el “Dr. El hospital Abel Gilbert Pontón” en Guayaquil, Ecuador se desarrolla para mostrar la aplicabilidad del modelo propuesto.

#### A. Marco de evaluación

En este estudio de caso, el marco de evaluación está compuesto por 3 expertos  $E = \{e_1, e_2, e_3\}$ , quienes evalúan 3 equipos médicos  $R = \{r_1, r_2, r_3\}$ :

- $r_1$ : Tomografía computarizada
- $r_2$ : Respirador de ventilación convencional
- $r_3$ : Máquina de anestesia

donde intervienen 3 criterios  $C = \{c_1, c_2, c_3\}$  que se muestran a continuación:

- $c_1$ : Funcion
- $c_2$ : Criticidad
- $c_4$ : Riesgo

Cada experto puede aportar información de forma numérica o lingüística atendiendo a la naturaleza de los criterios. Para verbalizar los resultados de un dominio lingüístico común ( $S_t$ ) se utiliza la Figura 3.

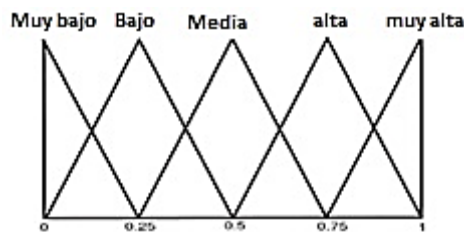


Figura 3. Selección del dominio  $S_t$ . Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar los resultados se utiliza la escala lingüística de números neutrosóficos de un solo valor (SVN), definida por [10].

#### B. Recopilar información

Una vez que se ha determinado el marco de evaluación, se recopila la información sobre el equipo médico de acuerdo con los criterios de la Tabla 1. Los criterios cualitativos serán evaluados en el  $S_t$  escala.

	$e_1$			$e_1$			$e_1$		
	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$r_1$	$r_2$	$r_3$
$e_1$	(H, L, M)	H, M, L)	(H, L, M)	(H, L, M)	H, M, L)	H, M, L)	(M, M, L)	(H, L, M)	(H, M, L)
$e_2$	(H, M, L)	(H, M, L)	(L, M, H)	(M, M, L)	(H, L, M)	(H, M, L)	(H, M, L)	(H, M, L)	(H, M, L)
$e_3$	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.70, 0.25, 0.30)	(0.40, 0.65, 0.60)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.70, 0.25, 0.30)	(0.70, 0.25, 0.30)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.40, 0.65, 0.60)

Tabla 2. Resultados de la recopilación de información. Fuente: Elaboración propia.



### C. Calificación de equipos

La información se transforma para unificar la información heterogénea. Posteriormente los conjuntos difusos sobre  $S_t$  se transforman en 2- tuplas lingüísticas. En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos.

En el presente caso de estudio, se aplica un proceso de agregación de dos pasos para calcular una evaluación colectiva de equipo médico. En nuestro caso se utiliza el promedio de ponderación de los números neutrosóficos lingüísticos de 2 tuplas (2- TLNNWA) para agregar evaluaciones por requerimiento para cada experto [19]. En este caso, los vectores de  $W = W = (0.4, 0.3, 0.3)$ .

	e <sub>1</sub>			e <sub>1</sub>			e <sub>1</sub>		
	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>
c <sub>1</sub>	(s <sub>3</sub> ,0), (s <sub>1</sub> ,0), (s <sub>2</sub> ,0)	(s <sub>3</sub> ,0), (s <sub>2</sub> ,0), (s <sub>1</sub> ,0)	(s <sub>3</sub> ,0), (s <sub>1</sub> ,0), (s <sub>2</sub> ,0)	(s <sub>3</sub> ,0), (s <sub>1</sub> ,0), (s <sub>2</sub> ,0)	(s <sub>3</sub> ,0), (s <sub>2</sub> ,0), (s <sub>1</sub> ,0)	(s <sub>3</sub> ,0), (s <sub>2</sub> ,0), (s <sub>1</sub> ,0)	(s <sub>2</sub> ,0), (s <sub>2</sub> ,0), (s <sub>1</sub> ,0)	(s <sub>3</sub> ,0), (s <sub>1</sub> ,0), (s <sub>2</sub> ,0)	(s <sub>3</sub> ,0), (s <sub>2</sub> ,0), (s <sub>1</sub> ,0)
c <sub>2</sub>	(s <sub>3</sub> ,0), (s <sub>2</sub> ,0), (s <sub>3</sub> ,0)	(s <sub>3</sub> ,0), (s <sub>2</sub> ,0), (s <sub>1</sub> ,0)	(s <sub>1</sub> ,0), (s <sub>2</sub> ,0), (s <sub>3</sub> ,0)	(s <sub>2</sub> ,0), (s <sub>2</sub> ,0), (s <sub>1</sub> ,0)	(s <sub>3</sub> ,0), (s <sub>1</sub> ,0), (s <sub>2</sub> ,0)	(s <sub>3</sub> ,0), (s <sub>2</sub> ,0), (s <sub>1</sub> ,0)	(s <sub>3</sub> ,0), (s <sub>2</sub> ,0), (s <sub>1</sub> ,0)	(s <sub>3</sub> ,0), (s <sub>2</sub> ,0), (s <sub>1</sub> ,0)	(s <sub>3</sub> ,0), (s <sub>2</sub> ,0), (s <sub>1</sub> ,0)
c <sub>3</sub>	(s <sub>4</sub> ,-0.4), (s <sub>0</sub> ,0.4), (s <sub>0</sub> ,0.4)	(s <sub>3</sub> ,-0.2), (s <sub>1</sub> ,0), (s <sub>1</sub> ,0.2)	(s <sub>2</sub> ,0.4), (s <sub>3</sub> ,-0.4), (s <sub>2</sub> ,0.4)	(s <sub>4</sub> ,-0.4), (s <sub>0</sub> ,0.4), (s <sub>0</sub> ,0.4)	(s <sub>4</sub> ,-0.4), (s <sub>0</sub> ,0.4), (s <sub>0</sub> ,0.4)	(s <sub>3</sub> ,-0.2), (s <sub>1</sub> ,0), (s <sub>1</sub> ,0.2)	(s <sub>3</sub> ,-0.2), (s <sub>1</sub> ,0), (s <sub>1</sub> ,0.2)	(s <sub>4</sub> ,-0.4), (s <sub>0</sub> ,0.4), (s <sub>0</sub> ,0.4)	(s <sub>2</sub> ,0.4), (s <sub>3</sub> ,-0.4), (s <sub>2</sub> ,0.4)
2-TLNNWA	(s <sub>3</sub> ,0.13), (s <sub>1</sub> ,-0.06), (s <sub>1</sub> ,0.39)	(s <sub>3</sub> ,-0.06), (s <sub>2</sub> ,0.38), (s <sub>1</sub> ,0.05)	(s <sub>2</sub> ,0.4), (s <sub>2</sub> ,0.36), (s <sub>2</sub> ,0.39)	(s <sub>3</sub> ,0.06), (s <sub>1</sub> ,-0.24), (s <sub>1</sub> ,0.002)	(s <sub>3</sub> ,0.24), (s <sub>1</sub> ,0.02)	(s <sub>3</sub> ,-0.06), (s <sub>2</sub> ,-0.38)	(s <sub>3</sub> ,0.19), (s <sub>1</sub> ,0.23)	(s <sub>3</sub> ,0.24), (s <sub>1</sub> ,0.06)	(s <sub>3</sub> ,-0.26), (s <sub>2</sub> ,0.16)
				s <sub>1</sub> , -0.06)	(s <sub>1</sub> , 0.06)	(s <sub>1</sub> , 0.004)	(s <sub>1</sub> , 0.002)	(s <sub>1</sub> , 0.3)	

**Tabla 3.** Información unificada y agregada. **Fuente:** Elaboración propia.

Para computar la evaluación colectiva a colectiva de 2-TLNNWA el operador que se utiliza se basa en el vector de ponderación  $V = [0.5, 0.2, 0.3]$  (Tabla 2). El resultado que se obtiene se muestra en la Tabla 4.

r <sub>1</sub>	(s <sub>3</sub> ,0.14), (s <sub>1</sub> ,-0.03), (s <sub>1</sub> ,0.18)
r <sub>2</sub>	(s <sub>3</sub> ,-0.2), (s <sub>2</sub> ,-0.43), (s <sub>1</sub> ,0.04)
r <sub>3</sub>	(s <sub>2</sub> ,0.48), (s <sub>2</sub> ,-0.13), (s <sub>2</sub> ,0.42)

**Tabla 4.** Evaluación colectiva para cada equipo. **Fuente:** Elaboración propia.

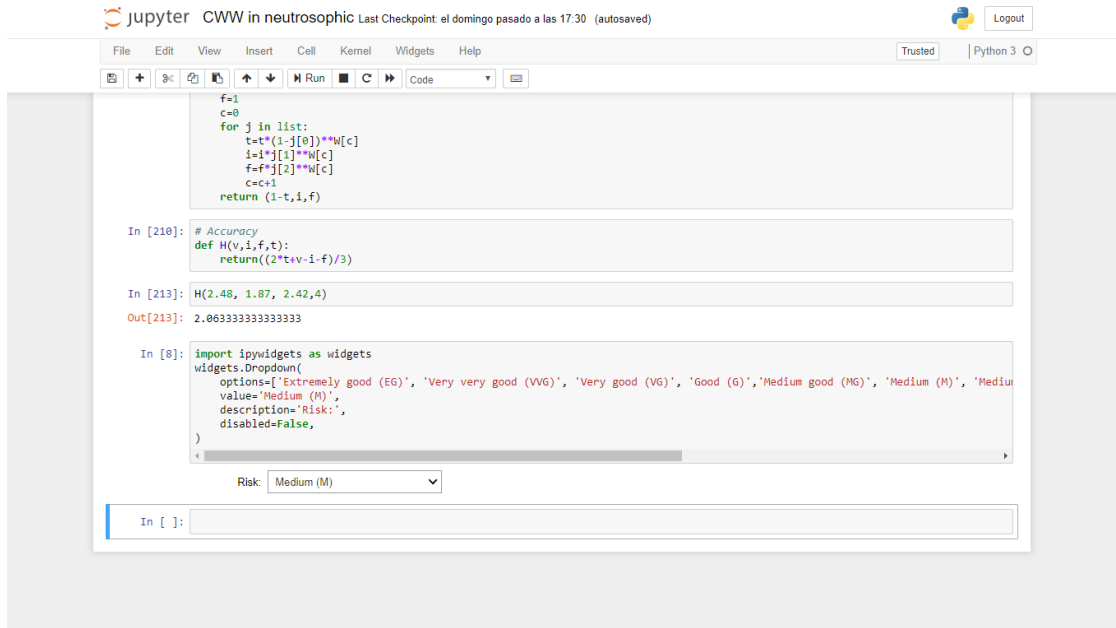
Finalmente, se ordenan todas las evaluaciones colectivas y se establece una clasificación entre los equipos con el fin de identificar las mejores funciones de puntuación calculadas. En la Tabla 5 se muestran los resultados

r <sub>1</sub>	(s <sub>3</sub> ,-0.003),
r <sub>2</sub>	(s <sub>3</sub> ,-0.27)
r <sub>3</sub>	(s <sub>2</sub> ,0.06)

**Tabla 5.** Resultados según las funciones de puntuación calculada, *Score*. **Fuente:** Elaboración propia.

En el presente caso de estudio el ranking obtenido es  $r_1 > r_2 > r_3$ . La implementación del presente caso de estudio se realiza a través de la herramienta Jupyter, que posee una biblioteca de desarrollo útil para este tipo de trabajo [20]. Jupyter proporciona un formato de archivo editable para describir y capturar código, salida de código y notas de reducción. Además, ofrece una interfaz de usuario basada en web para escribir y ejecutar código de forma interactiva, así como para visualizar resultados. En la Figura 4 se muestra el ambiente de trabajo de la herramienta Jupyter.





**Figura 4.** Ambiente de trabajo de la herramienta informática Jupyter.

Después de la aplicación en este estudio de caso, se demuestra que el modelo propuesto es práctico en cuanto a su uso. El proceso de agregación proporciona flexibilidad para que el modelo pueda adaptarse a diferentes situaciones. La interpretabilidad de la salida lingüística constituye una fortaleza.

La validación de esta propuesta se realiza a través de la técnica de IADOV, donde participan 21 especialistas, en la Tabla 6 se muestra el resultado al aplicar la técnica de IADOV del modelo propuesto en el presente trabajo.

Expresión	Total	%
Clara satisfacción	14	66
Más satisfecho que insatisfecho.	7	33
No definida	0	0
Más insatisfecho que satisfecho	0	0
Clara insatisfacción	0	0
Contradictorios	0	0

**Tabla 6.** Resultados de la aplicación de la IADOV para medir la satisfacción de los especialistas al utilizar el modelo propuesto. **Fuente:** Elaboración propia.

El cálculo de la puntuación se realiza a través de la técnica de IADOV, para el caso de estudio del presente trabajo se asigna un valor en el vector de ponderación igual  $w_1 = w_2 = \dots = w_i = 0.0476$ . El resultado final que arroja el método es el Índice de satisfacción global (GSI) ,  $GSI = 0,82$ , el que muestra un alto nivel de satisfacción.

## Conclusiones

Los departamentos de ingeniería clínica en los hospitales son responsables de establecer y regular Programas de administración de equipos médicos que requieran múltiples puntos de vista con múltiples criterios en conflicto para garantizar que los dispositivos médicos sean seguros y confiables. Para mitigar las fallas funcionales, los dispositivos importantes y críticos deben identificarse y priorizarse de manera sistemática.

En el presente trabajo, se propuso un modelo de priorización basado en el esquema de análisis de decisiones para gestionar diferentes tipos de información (numérica y lingüística) y proporcionar resultados lingüísticos para facilitar su comprensión. Se aplicó el modelo propuesto en un estudio de caso y se validó a través de la técnica IADOV, demostrándose un alto índice de satisfacción general. Se demostró su flexibilidad y su uso práctico.





## Referencias

- [1] K. Mondal, S. Pramanik, and B.C. Giri, Single valued neutrosophic hyperbolic sine similarity measure based MADM strategy. 2018: Infinite Study.
- [2] Instrumentation, A.f.t.A.o.M., Recommended practice for a medical equipment management program. Retrieved February, 1999. 19: p. 2009.
- [3] J.I. Roig, et al. Maintenance Policies Optimization of Medical Equipment in a Health Care Organization, in Encyclopedia of Information Science and Technology, Fourth Edition. 2018, IGI Global. p. 3698-3710.
- [4] F. Mata. Modelos para Sistemas de Apoyo al Consenso en Problemas de Toma de Decisión en Grupo definidos en Contextos Lingüísticos Multigranulares. 2006, Doctoral Thesis.
- [5] G.F. Barberis, and M.C.E. Ródenas. La Ayuda a la Decisión Multicriterio: orígenes, evolución y situación actual, in VI Congreso Internacional de Historia de la Estadística y de la Probabilidad. . 2011: Valencia.
- [6] Herrera, F., et al., Computing with words in decision making: foundations, trends and prospects. 2009, Springer. p. 337-364.
- [7] M. Leyva-Vázquez. Modelo de Ayuda a la Toma de Decisiones Basado en Mapas Cognitivos Difusos. 2013, UCI: La Habana.
- [8] J. Ye. A multicriteria decision-making method using aggregation operators for simplified neutrosophic sets. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2014. 26(5): p. 2459-2466.
- [9] R.P. Alava and J.M. Mu. PEST Analysis Based on A Case Study for. Neutrosophic Sets and Systems, 2018: p. 84.
- [10] P. Biswas, S. Pramanik, and B.C. Giri, TOPSIS method for multi-attribute group decision-making under single-valued neutrosophic environment. Neural computing and Applications, 2016. 27(3): p. 727-737.
- [11] F. Herrera, F., Martínez, and P.J. Sánchez, managing non-homogeneous information in group decision making. European Journal of Operational Research, 2005. 166(1): p. 115-132.
- [12] F. Herrera and L. Martínez, A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. Fuzzy Systems, IEEE Transactions on, 2000. 8(6): p. 746-752.
- [13] F. Herrera and L. Martínez, an approach for combining linguistic and numerical information based on the 2-tuple fuzzy linguistic representation model in decision-making. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 2000. 08(05): p. 539-562.
- [14] J. Wang, G. Wei, and W. Yu, Models for Green Supplier Selection with Some 2-Tuple Linguistic Neutrosophic Number Bonferroni Mean Operators. Symmetry, 2018. 10(5): p. 131.
- [15] S Taghipour, D. Banjevic, and A.K. Jardine, Prioritization of medical equipment for maintenance decisions. Journal of the Operational Research Society, 2011. 62(9): p. 1666-1687.
- [16] F. Herrera, L. Martinez, and P. Sánchez, managing non-homogeneous information in group decision making. European Journal of Operational Research, 2005. 166(1): p. 115-132.
- [17] M. Espinilla, et al. A 360-degree performance appraisal model dealing with heterogeneous information and dependent criteria. Information Sciences, 2012.
- [18] R. Şahin and M. Yiğider, A Multi-criteria neutrosophic group decision making metod based TOPSIS for supplier selection. arXiv preprint arXiv:1412.5077, 2014.
- [19] S. Wu et al. Research on Construction Engineering Project Risk Assessment with Some 2-Tuple Linguistic Neutrosophic Hamy Mean Operators. Sustainability, 2018. 10(5): p. 1536.
- [20] T. Kluyver, et al. Jupyter Notebooks-a publishing format for reproducible computational workflows. in ELPUB. 2016.