

# **Utilización del método MOORA-FMEA para la evaluación de recorridos del transporte colectivo en Ciudad Juárez**

**Ing. Sara Nohemí Almeraz-Durán<sup>1</sup>, Dr. Luis Pérez-Domínguez<sup>1</sup>, Dra. María Cruz Villa Uriol<sup>2</sup>**

[1] Maestría en Ingeniería Industrial, Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

[2] Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Sheffield

## **Introducción**

El servicio de transporte público colectivo de pasajeros representa una base importante para el desarrollo económico y social de una comunidad, su desempeño a nivel operativo conlleva aspectos de confiabilidad, calidad, costos y seguridad. En este sentido, existen diversos actores involucrados e interesados en obtener un alto grado de satisfacción del servicio entre los cuales se destacan los usuarios, los prestadores del servicio, y los reguladores, en especial para el caso de ciudad Juárez que se presenta un serio problema en el área de la movilidad urbana. Se ha demostrado que monitorear los sistemas del transporte público con el apoyo de métodos de ingeniería para analizar los modos de fallas y los efectos en los criterios que los componen puede ayudar a mantener en control a dichos sistemas cuando va acompañado de herramientas para la toma de decisiones que permitan sustentar las acciones recomendadas a seguir de manera focalizada reduciendo de manera significativa el trabajo innecesario al dejar la parte crítica expuesta.

En consecuencia, se presenta un análisis basado en el método MOORA integrado con método para el análisis de modos de fallas y efectos (FMEA, Failure Mode and Effect Analysis).

## **Objetivo general**

Analizar el sistema de transporte en Ciudad Juárez usando los métodos FMEA y MOORA.

## **Preguntas de investigación**

## **General**

¿Cuáles son los criterios que provocan una mala estructura en los ramales del transporte colectivo en ciudad Juárez?

## **Específicas**

1. ¿Cuáles son las características de la estructura del sistema del transporte colectivo en ciudad Juárez?
2. ¿Cuál sería una estructura eficiente del transporte colectivo en ciudad Juárez?
3. ¿Cuáles son las áreas de oportunidad para mejorar sistema de transporte?

## **Justificación**

Actualmente, Ciudad Juárez carece de un Plan Integral de Movilidad Urbana Sustentable actualizado y que dé las pautas en cuanto a planeación y desarrollo urbano que permitan generar una red de transporte público eficiente y de calidad. Además, en el informe sobre los servicios públicos 2020 (Plan Estratégico de Juárez, 2020), el transporte público colectivo recibió la peor calificación, de 5.52, en satisfacción con la calidad teniendo como "muy insatisfecho" una calificación de 1 y "muy satisfecho" una calificación de 10; siendo que para la Asociación Civil, un servicio público de alta calidad es aquel que obtenga calificaciones entre 9 y 10. En contraste, el transporte semimasivo tipo BRT (Bus Rapid Transit) recibió una calificación de 7.15

## **Métodos de decisión multi-criterio**

En las últimas tres décadas, los métodos de decisión multicriterio (MCDM, multi-criteria decision making) han cobrado vital importancia dentro de los campos de la optimización matemática y las ciencias de la computación. (Zavadskas et al., 2014) presenta dos categorías en las cuales se clasifican los métodos de decisión multicriterio: en métodos de decisión multi-atributo (MADM, Multi-attribute Decision Making) y los métodos de decisión multiobjetivo (MODM, Multi-Objective Decision Making). Los MCDM usualmente son utilizados para obtener las mejores alternativas que satisfagan un rango de indicadores de desempeño (Keyvan Ekbatani & Cats, 2015).

Dentro de la revisión realizada de los métodos existentes (Mayor et al., 2016), se encontraron, principalmente, el análisis jerárquico de proceso (AHP, Analytic Hierarchy Process) de (Saaty, 1988); el proceso de red analítica (ANP, Analytic Network Process) (Ceballos et al., 2013); la técnica para el orden de preferencia por similitud a solución ideal (TOPSIS, Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) de (Hwang & Yoon, 1981); el método de optimización multidisciplinar y solución de compromiso (VIKOR, ViseKriterijumsa Optimizacija i Kompromisno Resenje) de (Opricovic, 1998); el método de organización de clasificación de preferencia para enriquecimiento de evaluaciones (PROMETHEE, Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations) (Brans, 1982); el método de eliminación y opciones que reflejan la realidad (ELECTRE , Elimination and Choice Expressing Reality) de (Roy, 1968); el método multiobjetivo de optimización basado en el análisis de ratios (MOORA , Multi-Objective Optimization on the basis of the Ratio Analysis) introducido por (Brauers & Zavadskas, 2006); y el método basado en la evaluación combinatoria de distancias (CODAS, COmbinative Distance-based ASsessment) de más reciente creación respecto de los demás e introducido por (Keshavarz-Ghorabae et al., 2016), entre otros métodos que han sido implementados en diversas áreas de aplicación que los ha llevado a ser de gran relevancia manteniéndolos vigentes. Nos centraremos en el método MOORA por su versatilidad.

### **Método MOORA**

El método MOORA originalmente propuesto por (Brauers & Zavadskas, 2006) como un método de optimización multi-objetivo con alternativas discretas, tiene como principal aportación el cálculo del rendimiento global de cada alternativa como la diferencia entre las sumas de sus rendimientos normalizados los cuales a su vez pertenecen a los criterios de costo y de beneficio. En otro orden de ideas, el método MOORA ha sido uno de los métodos que ha sido beneficiado con la hibridación con conjuntos difusos tales como en el caso de aplicación de (Pérez-Domínguez et al., 2015) donde usa conjuntos difusos intuicionistas o el caso de (Pérez-Domínguez et al., 2018) que propone el uso tanto para conjuntos difusos Pitagoreanos como el caso de la combinación del conjuntos

difusos Pitagoreanos con los nítidos, además mejora la modelación de la incertidumbre de la información respecto a otros conjuntos.

Tabla 1 Términos lingüísticos para ponderar los decisores y los parámetros de riesgo

| Término Lingüístico |                         | $\mu$ | $\nu$ | $\pi$ |
|---------------------|-------------------------|-------|-------|-------|
| Aprendiz (Ap)       | Muy insignificante (VU) | 0.10  | 0.90  | 0.42  |
| Profesional (Lr)    | Insignificante (U)      | 0.35  | 0.60  | 0.72  |
| Sobresaliente (Cp)  | Medio (M)               | 0.50  | 0.45  | 0.74  |
| Experto (S)         | Importante (I)          | 0.75  | 0.40  | 0.53  |
| Maestro (D)         | Muy importante (VI)     | 0.90  | 0.10  | 0.42  |

FUENTE: (Pérez-Domínguez et al., 2018)

### Análisis de Modos de Fallas y Efectos

En el análisis tradicional de modos de falla y efectos, la importancia relativa de los parámetros de severidad, ocurrencia, y detección es considerada equitativa provocando que la combinación de los diferentes parámetros pueda dar valores iguales del número de riesgo prioritario (RPN Risk Priority Number) afectando la evaluación adecuada de los modos de falla. Esta forma de calcular el RPN genera incertidumbre en los resultados los cuales pueden presentar variación y generar omisión de modos de falla importantes (Kutlu & Ekmekçioğlu, 2012). El método es una herramienta útil para diferentes casos: cuando se desconoce la causa de la falla y cuando se conocen todas o la mayoría de las fallas reales y/o potenciales con sus correspondientes causas (Liu, 2016)

Sin embargo, la manera de implementar las herramientas puede generar un impacto significativo si un proyecto es mal definido en su análisis de riesgos. La opinión de los expertos es en función del grado de conocimiento sobre el proyecto en donde intervienen. En ese sentido, la adopción de expertos de cada área de un proyecto dentro del análisis de riesgos en donde se evalué la información bajo un ambiente difuso pitagoreano permite manejar la incertidumbre y mejorar la definición de los proyectos. Además, la toma de decisiones multicriterio puede brindar certidumbre en la integración con el FMEA, la cual considera la importancia relativa de los parámetros de riesgo y prioriza la identificación de modos de falla utilizando modelos matemáticos para reducir el error en los cálculos (Liu et al., 2019).

Dentro de las aplicaciones de MCDM como parte del FMEA están (Kutlu & Ekmekçioğlu, 2012) hacen un análisis con TOPSIS difuso con números triangulares para evaluar los modos de falla potencial mientras que para determinar el vector de pesos de los parámetros S, O y D utilizan AHP difuso. La adopción de un enfoque difuso facilita al equipo analista la valoración utilizando términos lingüísticos. Como menciona (Song et al., 2013) TOPSIS tradicional no es apropiado en el método FMEA ya que los factores de riesgo en la práctica son difíciles de estimar. Por ello, con un enfoque diferente, propone el método TOPSIS difuso para calcular los pesos subjetivos y objetivos de los factores de riesgo para lo cual se apoya en el método de la entropía para la parte objetiva.

Tabla 2 Términos lingüísticos para evaluar los parámetros de riesgo de cada modo de falla

| Severidad                |       |       | Ocurrencia |                      |       | Detección |       |                      |       |       |       |
|--------------------------|-------|-------|------------|----------------------|-------|-----------|-------|----------------------|-------|-------|-------|
| Severidad                | $\mu$ | $\nu$ | $\pi$      | Frecuencia           | $\mu$ | $\nu$     | $\pi$ | Probabilidad         | $\mu$ | $\nu$ | $\pi$ |
| Absolutely severe (ASEV) | 0.10  | 0.99  | 0.10       | Absolutely high (AH) | 0.10  | 0.99      | 0.10  | Absolutely low (AL)  | 0.10  | 0.99  | 0.10  |
| Very severe (VSEV)       | 0.10  | 0.97  | 0.22       | Very high (VH)       | 0.10  | 0.97      | 0.22  | Very low (VL)        | 0.10  | 0.97  | 0.22  |
| Severe (SEV)             | 0.25  | 0.92  | 0.30       | High (H)             | 0.25  | 0.92      | 0.30  | Low (L)              | 0.25  | 0.92  | 0.30  |
| Fair (F)                 | 0.40  | 0.87  | 0.29       | Fair (F)             | 0.40  | 0.87      | 0.29  | Fair (F)             | 0.40  | 0.87  | 0.29  |
| Fairly slight (FS)       | 0.50  | 0.80  | 0.33       | Fairly low (FL)      | 0.50  | 0.80      | 0.33  | Fairly high (FH)     | 0.50  | 0.80  | 0.33  |
| Slight (S)               | 0.60  | 0.71  | 0.37       | Low (L)              | 0.60  | 0.71      | 0.37  | High (H)             | 0.60  | 0.71  | 0.37  |
| Very Slight (VS)         | 0.70  | 0.60  | 0.39       | Very low (VL)        | 0.70  | 0.60      | 0.39  | Very high (VH)       | 0.70  | 0.60  | 0.39  |
| Extremely slight (ES)    | 0.80  | 0.44  | 0.41       | Extremely low (EL)   | 0.80  | 0.44      | 0.41  | Extremely high (EH)  | 0.80  | 0.44  | 0.41  |
| Absolutely slight (AS)   | 0.99  | 0.01  | 0.14       | Absolutely low (AL)  | 0.99  | 0.01      | 0.14  | Absolutely high (AH) | 0.99  | 0.01  | 0.14  |

FUENTE: Adaptada a partir de (Pérez-Domínguez et al., 2018)

## Criterios de evaluación

Las características de los sistemas de transporte pueden clasificarse en operación del transporte y el servicio de transporte, en donde, la operación está enfocada al prestador del servicio de transporte; mientras que el servicio de transporte conforma a la parte del usuario cautivo, eventual y potencial para integrar los aspectos que beneficien su permanencia como usuario o atraiga a nuevos usuarios (Molinero & Arellano, 1997).

Los requerimientos de disponibilidad, puntualidad, comodidad, conveniencia, seguridad, y tarifa del usuario se pueden describir a través de 18 criterios como se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3 Criterios de evaluación del sistema de transporte público

| Requisito      | No | Criterio  | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|----------------|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Disponibilidad | 1  | Estructura de la ruta                                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                | 2  | Conectividad de la ruta                                   |   |   | X | X | X | X | X |   |   |
|                | 3  | Duración del servicio                                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Puntualidad    | 4  | Confiabilidad del servicio                                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                | 5  | Regularidad del servicio                                  | X | X |   |   |   | X |   |   | X |
|                | 6  | Cumplimiento del programa                                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                | 7  | Itinerarios publicados                                    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Comodidad      | 8  | Autobuses adecuados                                       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                | 9  | Recorrido suave y buen trato del conductor                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                | 10 | Niveles de ruido en el interior del autobús               | X |   |   | X | X | X |   | X | X |
|                | 11 | Limpieza y estética de los autobuses y estaciones/paradas |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                | 12 | Sistema de quejas   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Conveniencia   | 13 | Transbordos   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                | 14 | Frecuencia del servicio                                   | X | X |   |   |   |   | X |   |   |
|                | 15 | Paradas/estaciones adecuadas                              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Seguridad      | 16 | Seguridad operativa                                       |   | X |   |   | X |   |   |   |   |
|                | 17 | Seguridad de los pasajeros                                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Costo          | 18 | Tarifa  |   | X |   | X |   |   |   |   |   |

FUENTE: A (Peña et al., 2016); B (Kiciński & Solecka, 2018); C (Jamalul Shamsudin et al., 2019); D (Ghaderi & Pahlavani, 2015); E (Lamus Cardona & Lenis Ibarguen, 2016); F (Keyvan Ekbatani & Cats, 2015); G (Duleba et al., 2012); H (Tirachini & Cats, 2020); I (Mogaji, 2020)

### Diseño metodológico

A continuación, se presentan los pasos del procedimiento a seguir de la integración de FMEA con el método MOORA propuesto por (Pérez-Domínguez et al., 2018).

*Paso 1.* Valorar el conocimiento y experiencia de cada decisor. Se constituye un grupo de decisores y se determina su importancia según su grado de conocimiento del tema.

Se utiliza la Tabla 1 para valorar a cada decisor, posteriormente, se determina el peso correspondiente utilizando la Ecuación (1) presentada por Boran (Pérez-Domínguez, Rodríguez-Picón, Alvarado-Iniesta, Luviano Cruz, & Xu, 2018), siendo  $DM_k = \{\mu_k, \nu_k, \pi_k\}$  un número difuso Pitagoreano de la calificación del kth DM.

$$\lambda_k = \frac{\left( \mu_k + \pi_k \left( \frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right) \right)}{\sum_{k=1}^l \left( \mu_k + \pi_k \left( \frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right) \right)} \quad (1)$$

Donde,  $\sum_{k=1}^l \lambda_k = 1$

**Paso 2.** Listar todos los criterios del sistema de transporte de pasajeros, enseguida filtrar los criterios de mayor relevancia para la evaluación.

**Paso 3.** Determinar la importancia de los parámetros de riesgo conforme a los términos lingüísticos de la Tabla 1 usando la Ecuación (2) para integrar las valoraciones de cada decisor en una sola matriz, enseguida de calcula el valor nítido del peso, Ecuación (3) en el mismo sentido del Paso 1.

$$\tilde{\omega}_j = PFWA = \lambda_1 \cdot \tilde{\omega}_j^{(1)} \oplus \lambda_2 \cdot \tilde{\omega}_j^{(2)} \oplus \dots \oplus \lambda_k \cdot \tilde{\omega}_j^{(k)}$$

$$\tilde{\omega}_j = \left( \sqrt{1 - \prod_{j=1}^l (1 - \mu_{ij}^2)^{\lambda_k}}, \prod_{j=1}^l (\nu_{ij})^{\lambda_k} \right) \quad (2)$$

$$\tilde{\omega}_j = \frac{\left( \mu_k + \pi_k \left( \frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right) \right)}{\sum_{k=1}^l \left( \mu_k + \pi_k \left( \frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right) \right)} \quad (3)$$

**Paso 4.** Identificar y registrar los modos de falla potenciales para cada criterio.

**Paso 5.** Realizar las valoraciones de los parámetros de riesgo Severidad (S), Ocurrencia (O), y Detección (D) usando la Tabla 2. Cada decisor, valora los parámetros usando los términos lingüísticos. La información se registra en una matriz: modos de falla potenciales contra los parámetros de riesgo.

**Paso 6.** Construir la matriz de decisión difusa Pitagoreana combinada (Pythagorean fuzzy decisión matrix, PFDM), denominada  $\tilde{R}_{ij}$ , usando el operador PFWA (Pythagorean fuzzy weighted averaging). se realiza la integración convirtiendo las

etiquetas a su respectivo número difuso Pitagoreano (ver la Tabla 2) apoyándose de la Ecuación (4) para cada parámetro de riesgo.

$$\begin{aligned} \tilde{x}_{kl} = PFWA &== \lambda_1 \cdot \tilde{x}_{kl}^{(1)} \oplus \lambda_2 \cdot \tilde{x}_{kl}^{(2)} \oplus \dots \oplus \lambda_k \cdot \tilde{x}_{kl}^{(k)} \\ &= \left( \sqrt{1 - \prod_{j=1}^l (1 - \mu_{ij}^2)^{\lambda_k}}, \prod_{j=1}^l (v_{ij})^{\lambda_k} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

La matriz se presenta utilizando la Ecuación (5).

$$\tilde{R}_{ij} = PFDM = [\tilde{x}_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

**Paso 7.** Calcular la matriz de decisión difusa Pitagoreana ponderada (Pythagorean fuzzy weighted normalized decision matrix),  $\tilde{R}'_{ij}$ . En este paso se realiza la agregación del peso de los parámetros de riesgo,  $\tilde{\omega}_j$ , del Paso 3, a la matriz de decisión Pitagoreana combinada,  $\tilde{R}_{ij}$ , como se indica en la Ecuación (6).

$$\begin{aligned} \tilde{R}'_{ij} &= \tilde{\omega}_j \otimes \tilde{R}_{ij} \\ \tilde{R}'_{ij} = [\tilde{r}'_{ij}]_{m \times n} &= \left\{ \langle x, \sqrt{1 - (\mu_{x_i}(x))^2}^{\omega_j}, \prod_{j=1}^l (v_{x_i}(x))^{\omega_j} \rangle, x \in X \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

**Paso 8.** Sumar las valoraciones para Beneficio y Costo utilizando las Ecuaciones (7) y (8).

$$BNxi = \sum_{i=1}^g (\mu_{A_i}(x_i), v_{A_i}(x_i), \pi_{A_i}(x_i)) \quad (7)$$

$$Cxi = \sum_{j=g+1}^m (\mu_{A'i}(x_j), \nu_{A'i}(x_j), \pi_{A'i}(x_j)) \quad (8)$$

Donde:

$$\mu_{A'i}(x_j) = \sqrt{1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^2)}, \quad \nu_{A'i}(x_j) = \prod_{k=1}^l (\nu_{ij})$$

**Paso 9.** Defuzificar las contribuciones de Beneficio y de Costo con la Ecuación (9)

$$N_{x_i} = (\mu_{\alpha_{x_i}})^2 - (\nu_{\alpha_{x_i}})^2 ; N_{x_j} = (\mu_{\alpha_{x_j}})^2 - (\nu_{\alpha_{x_j}})^2 \quad (9)$$

**Paso 10.** Calcular el valor de  $N_{y_i}$  a partir de la Ecuación (10).

$$N_{y_i} = N_{x_i} - N_{x_j} \quad (10)$$

**Paso 11.** Ordenar en orden jerárquico descendente los valores de  $N_{y_i}$ .

## Resultados y discusión

La aplicación del método MOORA difuso Pitagoreano parte del planteamiento de la información del caso de aplicación como se describe a continuación:

**Paso 1.** Un grupo de dos decisores (DM1 y DM2) conforma el equipo evaluador para analizar los modos de falla potenciales para los criterios del sistema de transporte público en Ciudad Juárez. En la Tabla 4 se presenta la contribución de los decisores.

Tabla 4 Contribución de cada decisor a la evaluación

| Decisor | Experiencia | $\mu$ | $\nu$ | $\pi$ | Pesos |
|---------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| DM1     | D           | 0.9   | 0.1   | 0.424 | 0.9   |
| DM2     | Ap          | 0.1   | 0.9   | 0.424 | 0.1   |

**Paso 2.** Los criterios de evaluación desde la visión del usuario se muestran en la Tabla 3.

**Paso 3.** En la Tabla 5 se muestra el vector de pesos de los parámetros de riesgo Severidad, Ocurrencia y Detectabilidad con valores de 0.3506, 0.2991, y 0.3502, respectivamente.

Tabla 5 Valoración de los parámetros de riesgo

| Parámetro      | DM1 | DM2 | $\mu_k$ | $\nu_k$ | $\pi_k$ | Vector de pesos |
|----------------|-----|-----|---------|---------|---------|-----------------|
| Severidad      | VI  | VI  | 0.90    | 0.10    | 0.42    | 0.3506          |
| Ocurrencia     | I   | I   | 0.75    | 0.40    | 0.53    | 0.2991          |
| Detectabilidad | VI  | I   | 0.89    | 0.11    | 0.44    | 0.3502          |

*Paso 4.* Se identificaron 31 modos de falla potenciales ligados a los 18 criterios de evaluación.

*Paso 5.* En la Tabla 6 se muestran las valoraciones otorgadas por ambos decisores para los parámetros de riesgo en términos lingüísticos abreviados. Con esta información se sienta la base para realizar los cálculos de los Paso 6 al 11.

Tabla 6 Criterios de evaluación y las evaluaciones de los parámetros de riesgo de los modos de falla

| C   | Núm. | Severidad |      | Ocurrencia |     | Detectabilidad |     |     |
|-----|------|-----------|------|------------|-----|----------------|-----|-----|
|     |      | MF        | DM1  | DM2        | DM1 | DM2            | DM1 | DM2 |
| C1  | 1    |           | SEV  | S          | VH  | VH             | AH  | VL  |
| C2  | 2    |           | SEV  | S          | VH  | AH             | H   | FH  |
|     | 3    |           | ASEV | VSEV       | F   | VH             | VL  | AL  |
| C3  | 4    |           | SEV  | VSEV       | H   | VH             | VL  | F   |
|     | 5    |           | VSEV | VSEV       | AH  | VH             | L   | VL  |
| C4  | 6    |           | VSEV | SEV        | AH  | AH             | VH  | H   |
|     | 7    |           | VSEV | VSEV       | H   | F              | VL  | F   |
| C5  | 8    |           | ASEV | VSEV       | H   | F              | VH  | H   |
| C6  | 9    |           | F    | VSEV       | VH  | H              | VL  | F   |
|     | 10   |           | SEV  | FS         | AH  | VH             | AL  | VL  |
| C7  | 11   |           | VS   | S          | VH  | AH             | H   | FH  |
|     | 12   |           | VS   | FS         | AH  | VH             | H   | FH  |
| C8  | 13   |           | ASEV | ASEV       | AH  | VH             | VL  | L   |
|     | 14   |           | VSEV | F          | AH  | H              | L   | FH  |
|     | 15   |           | ASEV | ASEV       | H   | F              | VL  | L   |
|     | 16   |           | ASEV | SEV        | AH  | AH             | L   | FH  |
| C9  | 17   |           | VSEV | F          | L   | F              | L   | VL  |
|     | 18   |           | VSEV | SEV        | AH  | VH             | VL  | AL  |
| C9  | 19   |           | VSEV | VSEV       | AH  | AH             | VL  | L   |
| C10 | 20   |           | F    | FS         | VH  | VH             | L   | F   |
| C11 | 21   |           | VSEV | F          | AH  | VH             | F   | AL  |

|     |    |      |      |    |    |    |    |
|-----|----|------|------|----|----|----|----|
| C12 | 22 | VSEV | SEV  | L  | H  | AL | VL |
| C13 | 23 | FS   | SEV  | VH | VH | AL | VL |
| C14 | 24 | VSEV | ASEV | AH | AH | FH | F  |
|     | 25 | VSEV | F    | H  | FL | F  | F  |
| C15 | 26 | VSEV | F    | VH | VH | FH | FH |
| C16 | 27 | ASEV | ASEV | F  | H  | VL | L  |
|     | 28 | VSEV | VSEV | AH | H  | VH | H  |
| C17 | 29 | ASEV | ASEV | H  | F  | L  | F  |
|     | 30 | VSEV | VSEV | F  | H  | F  | FH |
| C18 | 31 | F    | SEV  | EL | AL | VH | H  |

## Resultados y discusión

A partir del resultado del cálculo de  $N_{y_i}$  se realiza una jerarquización en forma descendente la cual puede visualizarse de forma gráfica como se observa en la Figura 1

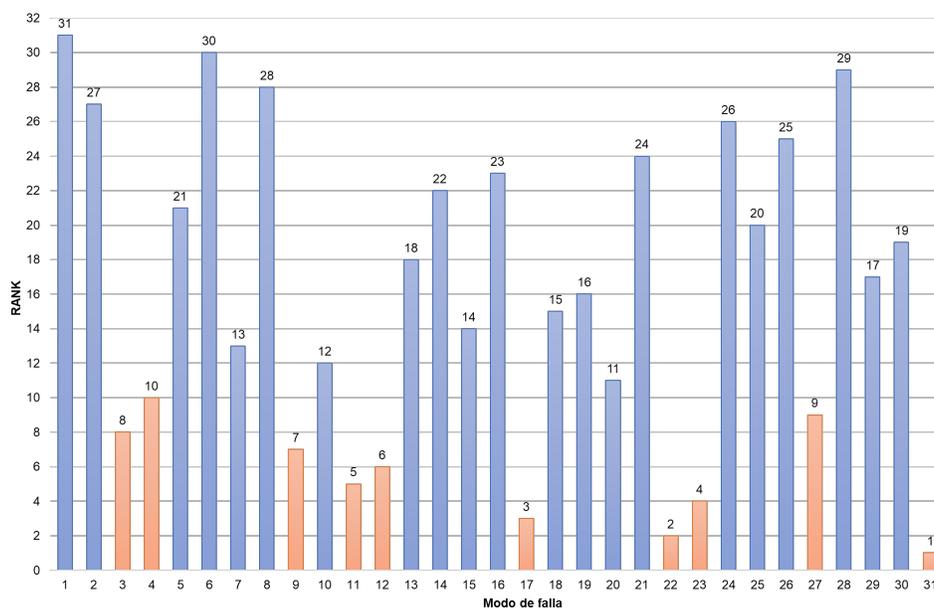


Figura 1 Jerarquización de los modos de falla

Los primeros cinco modos de falla que sobresalen del análisis: el primer modo de falla en la jerarquización refiere al criterio del costo del servicio; el segundo modo es sobre la falta de un sistema de llamadas o atención en redes sociales, este se atiende creando un protocolo para la atención de las llamadas y diseñando una página de internet o redes sociales de mayor alcance de la población para mantener la atención cercana; en tercer

lugar, está la falta de asientos ergonómicos que se atiende en la elección adecuada de los autobuses que dan el servicio; en cuarto lugar se encuentra la falta de conectividad en la estructura de la red de transporte, es decir, no hay una integración del sistema de transporte para ofrecer transbordos/transferencias a los usuarios, aquí se requiere de revisar la estructura de la red de transporte, sobre todo poner énfasis en que el servicio es concesionado al momento de buscar articular dos recorridos; por último, en quinto lugar está la falta de información visual del recorrido ofertado en autobuses la cual se atiende dotando de información actualizada, oficial e impresa mínima del recorrido de transporte.

## Conclusiones

La aplicación del método MOORA-FMEA permite precisar la posición de los modos de falla sometidos a evaluación con parámetros de riesgo definidos en función de la necesidad del problema analizado gracias al vector de pesos definido por los decisores los cuales a su vez inciden en el problema a través del nivel de conocimiento que tengan como se pudo notar al definir el marco de trabajo.

En el mismo sentido, la adopción de conjuntos difusos modela la incertidumbre de la información apoyando a los decisores en las valoraciones al introducir los términos lingüísticos con sus respectivos números difusos Pitagoreanos.

## Referencias

- Aznar Bellver, J., & Guijarro Martínez, F. (2012). *Nuevos métodos de valoración. Modelos multicriterio*. Editorial Universitat Politècnica de València.
- Brans, J.-P. (1982). *L'ingénierie de la décision: l'élaboration d'instruments d'aide a la décision*. Université Laval, Faculté des sciences de l'administration.
- Brauers, W. K., & Zavadskas, E. K. (2006). The method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics*, 35, 445–469.
- Ceballos, B., Lamata, M., Pelta, D., & Sánchez, J. (2013). El método TOPSIS relativo vs. absoluto. *Recta*, 14, 181–192.
- Duleba, S., Mishina, T., & Shimazaki, Y. (2012). A dynamic analysis on public bus transport's supply quality by using AHP. *Transport*, 27(3), 268–275.
- Ghaderi, F., & Pahlavani, P. (2015). A new multimodal multi-criteria route planning model by integrating a fuzzy-AHP weighting method and a simulated annealing algorithm. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 40.
- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making* (pp. 58–191). Springer.
- Jamalul Shamsudin, N. L., Abdul Khanan, M. F., Umar, H. A., Atan, S. N., & Din, A. H. M. (2019). Integrating network concept into multi-criteria analysis for suggesting Bus Rapid Transit routes. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.

- Keshavarz-Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2016). A new combinative distance-based assessment (CODAS) method for multi-criteria decision-making. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research / Academy of Economic Studies*, 50(3), 25–44. <https://ideas.repec.org/a/cys/ecocyb/v50y2016i3p25-44.html>
- Keyvan Ekbatani, M., & Cats, O. (2015). Multi-criteria appraisal of multi-modal urban public transport systems. *Transportation Research Procedia*, 10, 2015; 18th Euro Working Group on Transportation, EWGT 2015, 14-16 July 2015, Delft, The Netherlands, 1–11.
- Kiciński, M., & Solecka, K. (2018). Application of MCDA/MCDM methods for an integrated urban public transportation system--case study, city of Cracow. *Archives of Transport*, 46.
- Kutlu, A. C., & Ekmekçioğlu, M. (2012). Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 61–67. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.06.044>
- Lamus Cardona, J. D., & Lenis Ibarguen, Ó. A. (2016). *Evaluación multicriterio de la accesibilidad de un sistema de buses de tránsito rápido BRT: caso masivo integrado de occidente MIO*. Universidad del Valle.
- Liu, H.-C. (2016). *FMEA Using Uncertainty Theories and MCDM Methods* (pp. 13–27). [https://doi.org/10.1007/978-981-10-1466-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-10-1466-6_2)
- Liu, H.-C., Chen, X.-Q., Duan, C.-Y., & Wang, Y.-M. (2019). Failure mode and effect analysis using multi-criteria decision making methods: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 135, 881–897. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.06.055>
- Mayor, J., Botero, S., & González-Ruiz, J. D. (2016). Modelo de decisión multicriterio difuso para la selección de contratistas en proyectos de infraestructura: caso Colombia. *Obras y Proyectos*, 20, 56–74. [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-28132016000200005&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132016000200005&nrm=iso)
- Mogaji, E. (2020). Impact of COVID-19 on transportation in Lagos, Nigeria. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 100154.
- Molinero, A., & Arellano, L. I. S. (1997). *Transporte público: planeación, diseño, operación y administración*. Universidad Autónoma del Estado de México. <https://books.google.com.mx/books?id=11R3sRgOZFAC>
- Opricovic, S. (1998). Multicriteria optimization of civil engineering systems. *Faculty of Civil Engineering, Belgrade*, 2(1), 5–21.
- Peña, F. J., Jiménez-Martín, A., & Mateos, A. (2016). Optimising TransMilenio BRT system operation: a mathematical model. *International Journal of Operational Research*, 25(4), 416–436. <https://doi.org/10.1504/IJOR.2016.075289>
- Pérez-Domínguez, L., Alvarado-Iniesta, A., Rodríguez-Borbón, I., & Vergara, O. (2015). Intuitionistic fuzzy MOORA for supplier selection. *DYNA*, 82, 34–41. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4307.4720>
- Pérez-Domínguez, L., Rodríguez-Picón, L., Alvarado-Iniesta, A., Luviano Cruz, D., & Xu, Z. (2018). MOORA under Pythagorean Fuzzy Set for Multiple Criteria Decision Making. *Complexity*, 2018, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2018/2602376>
- Plan Estratégico de Juárez. (2020). *Informe Servicios Públicos 2020*. <https://planjuarez.org/documentos/informe-de-servicios-publicos-2020/>
- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples. *Revue Française d'informatique et de Recherche Opérationnelle*, 2(8), 57–75.
- Saaty, T. L. (1988). What is the analytic hierarchy process? In *Mathematical models for decision support* (pp. 109–121). Springer.
- Song, W., Ming, X., Wu, Z., & Zhu, B. (2013). Failure modes and effects analysis using integrated weight-based fuzzy TOPSIS. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 26(12), 1172–1186. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2013.785027>
- Tirachini, A., & Cats, O. (2020). COVID-19 and public transportation: Current assessment, prospects, and research needs. *Journal of Public Transportation*, 22(1), 1.
- Zavadskas, E., Turskis, Z., & Kildiene, S. (2014). State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(1), 165–179. <https://doi.org/10.3846/20294913.2014.892037>