

## Selección de proveedores con análisis dimensional difuso intuicionista

Luis Pérez Domínguez<sup>1</sup>, Alejandro Alvarado Iniesta<sup>1</sup>, Jorge Luis García Alcaraz<sup>1</sup>,  
Osslan Osiris Vergara Villegas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

### Resumen

La selección de proveedores es una actividad crítica en la administración de la cadena de suministro, y esencialmente se trata de un problema de toma de decisión multi-criterio. El objetivo principal de este trabajo es desarrollar un nuevo método para apoyar el proceso de selección de proveedores. Este artículo presenta la versión difusa intuicionista de análisis dimensional (IF-DA) en un entorno de toma de decisiones en grupo y multi-criterio aplicado a la selección de proveedores. Un grupo de decisores expresa sus opiniones acerca de las valoraciones de los criterios y alternativas en evaluación mediante el uso de términos lingüísticos que están representados por números difusos intuicionistas. La importancia de cada uno de los decisores y criterios es considerada en el método. La metodología supone que existe una alternativa mejor que el resto la cual se llama alternativa ideal. Cada alternativa evaluada se compara con la alternativa ideal para generar un índice de similitud. La alternativa con mayor índice de similitud se propone como solución al problema de selección de proveedores. El método IF-DA de una manera sistemática considera la interrelación entre los criterios que intervienen en el escenario de toma de decisiones. Además, un caso ilustrativo para selección de proveedores es presentado para facilitar la comprensión del método propuesto.

**Palabras clave:** Toma de decisiones, Cadena de suministro, Conjuntos Difusos Intuicionistas, Selección de proveedores.

### Introducción

En la actualidad la selección de proveedores juega un rol importante dentro del campo de la administración de la cadena de suministros. El campo de la cadena de suministro abarca diferentes funciones que se deben de desarrollar dentro de las empresas, con el objetivo de mostrar una ventaja competitiva al mercado (Shaw et al. 2012). En este sentido, Mardani *et al.* (2015) y Igoulalene *et al.* (2015), afirman que

dentro del campo de la administración de la cadena de suministro, el tema de investigación de operaciones es un tópico muy activo de investigación. Donde, la selección de proveedores se visualiza como una actividad crítica, porque puede contribuir en hacer eficientes los gastos operacionales de cualquier compañía (Yin *et al.* 2015).

Por lo que, existen diversas investigaciones desarrolladas para ayudar en la actividad de la toma de decisiones que implica la selección de proveedores, en donde, dicha selección es formulada como un problema multi-criterio. Así de esta manera, actualmente existen una agama extensa de investigaciones enfocadas en la selección de proveedores usando métodos multi-criterio, así, por ejemplo, los métodos más populares son los métodos AHP y TOPSIS (Mardani *et al.* 2015). Esto último también fue mencionado por Chai *et al.* (2013) y Afshari *et al.* (2011), dado que en sus investigaciones afirman que las técnicas multi-criterio más reportadas en la literatura son las metodologías de AHP (Analytic Hierarchy Process, por sus siglas en inglés) y TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution, por sus siglas en inglés). Siendo estas de las más populares o preferidas por los tomadores de decisiones.

Por otro lado, Mammadova & Jabrayilova (2014), reportan que existe la necesidad imperante de aplicar nuevas tecnologías inteligentes que ayuden en la toma de decisiones. Liou *et al.* (2014) reportan que las hibridaciones de técnicas multi-criterio mayormente desarrolladas son aquellas que implican el uso de conjuntos difusos clásicos (CD) desarrollados por Zadeh en 1965. Esto debido a su capacidad de poder lidiar con información parcial o imprecisa; además, de ser utilizados para representar criterios cualitativos. Sin embargo en los últimos años, los conjuntos difusos intuicionistas (CDI) han ganado bastante popularidad, se podría decir que

reemplazando a los CD clásicos, debido a su mayor capacidad de lidiar con información vaga y en ambientes de incertidumbre (Aloini *et al.* 2014).

Análisis Dimensional (AD) es una conocida técnica que ha sido empleada en el proceso de toma de decisiones particularmente para la selección de alternativas bajo naturaleza multi-criterio (Willis *et al.* 1993; García *et al.* 2012). AD determina un índice de similitud entre las alternativas en evaluación con respecto a una solución artificial (solución ideal). La alternativa que obtenga un índice más cercano a 1 es entonces considerada la mejor alternativa. En el presente documento se propone una hibridación del método de Análisis Dimensional con Conjuntos Difusos Intuicionistas (IFDA) para la toma de decisiones multi-criterio aplicado a un caso de selección de personal.

$$IS = \sqrt[w]{\prod_{j=1}^m \left\{ \frac{x_j^i}{S_j} \right\}^{w_j}} \quad (1)$$

Donde:

$IS$  = es el índice de similitud

$S_j$  = es el valor de la solución ideal para el criterio  $j$

$x_j^i$  = es el valor del criterio  $j$  para la alternativa  $i$

$w_j$  = es el peso normalizado para el criterio  $j$ , donde,

$$W = \left| \sum_{j=1}^m w_j \right|$$

## Método

Se considera la existencia de un conjunto de alternativas (Candidatos) a evaluar. Donde  $PR_i = \{PR_1, PR_2, \dots, PR_i, \dots, PR_n\}$  describe el conjunto de Candidatos y  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_m\}$  representa el conjunto de criterios a evaluar. El procedimiento a desarrollar es el siguiente.

**Paso 1.** Crear un grupo de decisores y determinar la importancia de cada uno.

Donde  $DM = \{DM_1, DM_2, \dots, DM_k, \dots, DM_l\}$  representa el conjunto de Tomadores de Decisiones (DMs). La importancia de cada uno de los DMs es calificada utilizando un término lingüístico, el cual está representado por un número difuso intuicionista. En el Tabla 1 muestra el término lingüístico y su correspondiente número difuso intuicionista.

Tabla 1. Término lingüístico para evaluar la importancia de DMs y Criterios

Término Lingüístico	IFN ( $\mu, \nu, \pi$ )
Beginner (B) / Very Unimportant (VU)	{0.1,0.9,0}
Practitioner (Pr) / Unimportant (U)	{0.35,0.6,0.05}
Proficient (Pt)/ Medium (M)	{0.5,0.45,0.05}
Expert (E) / Important (I)	{0.75,0.2,0.05}
Master (M) / Very Important (VI)	{0.9,0.1,0}

$DM_k = \{\mu_k, \nu_k, \pi_k\}$  es un número difuso de la calificación del kth DM. Entonces, decimos que el peso correspondiente del kth DM es calculado usando la siguiente expresión matemática reportada por Boran et al. (2009),

$$\lambda_k = \frac{\left(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k}\right)\right)}{\sum_{k=1}^l \left(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k}\right)\right)} \quad (2)$$

Donde  $\lambda_k \geq 0$  y  $\sum_{k=1}^l \lambda_k = 1$

**Paso 2.** Determinar la importancia de los criterios a considerar mediante la evaluación y agregación de opiniones de los DMs.

Usualmente, todos los criterios no pueden asumir la misma importancia y los DMs

pueden tener diferente opinión de un mismo criterio. Además, todas las opiniones deben ser agregadas. Los términos lingüísticos del Cuadro 1.1 son usados en este paso para calificar la importancia de cada criterio dada por todos los DMs.

Entonces  $w_j^{(k)} = \{\mu_j^{(k)}, \nu_j^{(k)}, \pi_j^{(k)}\}$  es un número difuso intuicionista asignado al criterio  $x_j$  por el kth DM. Así, la importancia de los criterios son obtenidos mediante la integración de las opiniones por el operador IFWA (Intuitionistic Fuzzy Weighted Average, por sus siglas en inglés) propuesto por Xu (2007),

$$\begin{aligned}
w_j &= IFWA(w_j^{(1)}, w_j^{(2)}, \dots, w_j^{(k)}, \dots, w_j^{(l)}) \\
&= \lambda_1 w_j^{(1)} \oplus \lambda_2 w_j^{(2)} \oplus \dots \oplus \lambda_k w_j^{(k)} \oplus \dots \oplus \lambda_l w_j^{(l)} \\
&= \left[ 1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (v_j^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (v_j^{(k)})^{\lambda_k} \right] \quad (3)
\end{aligned}$$

Donde  $w_j = \{\mu_j, v_j, \pi_j\}$  y  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_m\}$

El peso correspondiente exacto a cada criterio es calculado entonces con la siguiente ecuación:

$$w_j = \frac{\left( \mu_j + \pi_j \left( \frac{\mu_j}{\mu_j + v_j} \right) \right)}{\sum_{j=1}^m \left( \mu_j + \pi_j \left( \frac{\mu_j}{\mu_j + v_j} \right) \right)} \quad (4)$$

Donde,  $w_j \geq 0$  y  $\sum_{j=1}^m w_j = 1$

**Paso 3.** Construir la matriz de decisión IFS agregada que representa las evaluaciones basadas en las opiniones de los DMs para cada una de los proveedores  $PR_i$ .

Donde  $R^{(k)} = (r_{ij}^{(k)})_{n \times m}$  es la matriz de decisión intuicionista de cada DM. La Tabla 2 muestra el término lingüístico usado para cada una de las alternativas de acuerdo a cada criterio.

Tabla 2. Término lingüístico para evaluar a los proveedores

Término Lingüístico	IFN $(\mu, v, \pi)$
Extremely Bad (EB) / Extremely Low (EL)	{0.1,0.9,0}
Very Bad (VB) / Very Low (VL)	{0.1,0.75,0.15}
Bad (B) / Low (L)	{0.25,0.6,0.15}
Medium Bad (MB) / Medium Low (ML)	{0.4,0.5,0.1}
Fair (F) / Medium (M)	{0.5,0.4,0.1}

Todas las opiniones de los DMs necesitan ser agregadas dentro de una matriz de

$$R = (r_{ij})_{n \times m}$$

$$r_{ij} = IFWA(r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)}, \dots, r_{ij}^{(k)}, \dots, r_{ij}^{(l)})$$

$$= \lambda_1 r_{ij}^{(1)} \oplus \lambda_2 r_{ij}^{(2)} \oplus \dots \oplus \lambda_k r_{ij}^{(k)} \oplus \dots \oplus \lambda_l r_{ij}^{(l)}$$

$$= \left[ 1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (v_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (v_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} \right] \quad (5)$$

decisión IFS agregada. Para lo cual el operador IFWA es empleado,

Donde  $r_{ij} = \{\mu_{c_i}(x_j), \nu_{c_i}(x_j), \pi_{c_i}(x_j)\}$  ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ ).

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

Entonces, la matriz de decisión final intuicionista queda definida como sigue:

Específicamente,

$$R = \begin{bmatrix} \{\mu_{c_1}(x_1), \nu_{c_1}(x_1), \pi_{c_1}(x_1)\} & \cdots & \{\mu_{c_1}(x_m), \nu_{c_1}(x_m), \pi_{c_1}(x_m)\} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \{\mu_{c_n}(x_1), \nu_{c_n}(x_1), \pi_{c_n}(x_1)\} & \cdots & \{\mu_{c_n}(x_m), \nu_{c_n}(x_m), \pi_{c_n}(x_m)\} \end{bmatrix}$$

**Paso 4.** Calcular el índice difuso intuicionista de similitud (Intuitionistic Fuzzy Index of Similarity, IFIS).

Entonces, BN puede ser un conjunto de criterios de Beneficios y C el conjunto de criterios de Costos. Por lo tanto, la solución ideal S es obtenida como sigue.

Los criterios pueden ser clasificados dentro de dos clases: de Costos y Beneficios.

$$S = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_j^*, \dots, x_m^*)$$

=

$$\{(\mu_s(x_1), \nu_s(x_1), \pi_s(x_1)), \{\mu_s(x_2), \nu_s(x_2), \pi_s(x_2)\}, \dots, \{\mu_s(x_j), \nu_s(x_j), \pi_s(x_j)\}, \dots, \{\mu_s(x_m), \nu_s(x_m), \pi_s(x_m)\}\} \quad (6)$$

Donde

$$\mu_s(x_j) = ((\max \mu_{c_i}(x_j) | j \in BN), (\min \mu_{c_i}(x_j) | j \in C)) \quad (7)$$

$$\nu_s(x_j) = ((\min \nu_{c_i}(x_j) | j \in BN), (\max \nu_{c_i}(x_j) | j \in C)) \quad (8)$$

$$\pi_s(x_j) = 1 - (\mu_s(x_j) + \nu_s(x_j)) \quad (9)$$

El AIFIS del proveedor  $PR_i$  con respecto a la solución ideal S difusa se obtiene como sigue:

$$AIFIS_i(a_1^i, a_j^i, \dots, a_l^i, \alpha_{l+1}^i, \dots, \alpha_{l+j}^i, \dots, \alpha_m^i) = (\prod_{j=1}^l (B_j^i)^{w_j}) \left( \bigotimes_{j=l+1}^m (\beta_j^i)^{w_j} \right) \quad (10)$$

Entonces,

$B_j^i$  = Es llamado el índice de similitud para los criterios cuantitativos

$AIFIS_i$  = Es llamado el índice de similitud difuso intuicionista agregado para proveedor  $i$

$\beta_j^i$  = Es llamado el índice de similitud difuso intuicionista  $IFIS_i$  para los criterios cualitativos.

$w_j$  = Es el peso correspondiente al criterio j

### **Paso 5.** Calcular del índice de similitud.

El índice de similitud (IS) de un candidato  $c_i$  con respecto al IFIS puede ser definido por la función de similitud propuesta por Cheng and Tang, (1994). Por lo que, el IS es obtenido como sigue,

$$S(IS_i) = \mu_{IFIS_i} - v_{IFIS_i} \quad (11)$$

Donde,

$IS_i$  = Es el índice de similitud del candidato i

$\mu_{IFIS_i}$  = Es el valor de verdad del candidato i con respecto a su IFIS

$\pi_{IFIS_i}$  = Es valor de incertidumbre del candidato i con respecto a su IFIS

### **Paso 6.** Ordenar a los candidatos.

Los candidatos son categorizados en orden descendiente según el valor del  $IS_i$ .

### **Caso de Ilustrativo**

Una empresa de manufactura de productos electrónicos requiere realizar la adquisición de un robot para las actividades del manejo de materiales. Para lo cual, cuatro proveedores fueron localizados para realizar el proceso de evaluación. Así mismo, se integró un grupo de decisores (GD). A

continuación se presenta la información necesaria para seleccionar al mejor proveedor.

Cuatro proveedores son considerados para el proceso de evaluación. En este sentido, el conjunto de proveedores son denotados por  $PR_i = \{PR_1, PR_2, PR_3, PR_4\}$

Seis criterios son considerados para representar las características más sobresalientes de los proveedores. Por consiguiente, dichos criterios son:

Velocidad ( $x_1$ ): Valores altos son deseados (Criterio cuantitativo)

Carga ( $x_2$ ): Representa la capacidad de carga del robot. Valores altos son deseados (Criterio cuantitativo)

Cost ( $x_3$ ): Valores bajos son deseado (Criterio cuantitativo)

Repetibilidad ( $x_4$ ): Valores bajos son deseado (Criterio cuantitativo)

Servicio ( $x_5$ ): Buen nivel de servicio es deseado (Criterio cualitativo)

Flexibilidad de programación ( $x_6$ ): Calificaciones altas son deseada (Criterio cualitativo)

La importancia de cada decisor se obtiene calificando al grupo de decisores usando los valores de la Tabla 1, posteriormente se procede a defuzificar dichos valores usando la ecuación 2, resultando los valores que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Importancia de los decisores

Decisores	1	2	3	4	5
Término Lingüístico	I	I	I	I	I
Número IF	{0.75,0.2,0.05}	{0.75,0.2,0.05}	{0.75,0.2,0.05}	{0.75,0.2,0.05}	{0.75,0.2,0.05}
Peso	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

También es preciso determinar los pesos que corresponde a cada uno de los criterios que muestra el Tabla 4, los cuales, son evaluados usando los valores NDI que muestra el Tabla 1

Tabla 4. Pesos de los criterios

Decisores	Criterio					
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	x <sub>6</sub>
<b>DM<sub>1</sub></b>	I	VU	I	VU	VI	U
<b>DM<sub>2</sub></b>	U	VI	U	VI	U	I
<b>DM<sub>3</sub></b>	U	I	U	I	I	M
<b>DM<sub>4</sub></b>	M	M	M	M	M	VI
<b>DM<sub>5</sub></b>	U	VI	U	VI	U	M

Entonces, se recurre usar la ecuación 3 y 4, dando como resultado los valores

$$w_{x_1} = 0.130$$

$$w_{x_2} = 0.189$$

$$w_{x_3} = 0.130$$

$$w_{x_4} = 0.189$$

$$w_{x_5} = 0.168$$

$$w_{x_6} = 0.195$$

$$\sum_{j=1}^6 w_j = 0.130 + 0.189 + 0.130 + 0.189 + 0.168 + 0.195 = 1$$

En esta sección se procede a evaluar a cada uno de los proveedores, haciendo uso de los valores de la Tabla 2. Los resultados son mostrados en la Tabla 5

Tabla 5. Evaluaciones de los criterios cualitativos

		DM1	DM2	DM3	DM4	DM5
<b>SE</b>	<b>PR1</b>	VB	G	VG	A	E
	<b>PR2</b>	B	VG	G	MG	VG
	<b>PR3</b>	MB	MG	MG	MB	G
	<b>PR4</b>	E	MG	MG	MG	VB
<b>PF</b>	<b>PR1</b>	E	M	M	MG	L
	<b>PR2</b>	VG	MG	ML	M	ML
	<b>PR3</b>	G	F	MH	MG	F
	<b>PR4</b>	VB	MG	G	M	G

Por lo que, se utiliza la ecuación 5 para realizar el proceso de agregación de las calificaciones emitidas por cada uno de los

decisores. La matriz de decisión final X resulta de la siguiente manera.

$$X = \begin{bmatrix} \{1.8\} & \{90\} & \{9500\} & \{0.40\} & \{0.682, 0.197, 0.120\} & \{0.492, 0.373, 0.135\} \\ \{1.4\} & \{80\} & \{5500\} & \{0.30\} & \{0.675, 0.205, 0.120\} & \{0.536, 0.347, 0.118\} \\ \{0.8\} & \{70\} & \{4000\} & \{0.20\} & \{0.556, 0.339, 0.105\} & \{0.587, 0.310, 0.103\} \\ \{0.8\} & \{60\} & \{4000\} & \{0.15\} & \{0.478, 0.393, 0.129\} & \{0.525, 0.352, 0.124\} \end{bmatrix}$$

También, es necesario establecer la solución ideal siguiendo usando la ecuación 6 y 7

$$S = (\{1.8\}, \{90\}, \{4000\}, \{0.15\}, \{0.682, 0.192, 0.120\}, \{0.587, 0.310, 0.103\})$$

Es necesario calcular el índice difuso intuicionista de similitud siguiendo la ecuación 10

Tabla 6 Índice de Similitud Difuso-Intuicionista Agregado

Proveedores	AIFIS ( $\mu, \nu, \pi$ )
PR <sub>1</sub>	{0.973, 0.010, 0.017}
PR <sub>2</sub>	{0.981, 0.009, 0.010}
PR <sub>3</sub>	{0.938, 0.060, 0.002}
PR <sub>4</sub>	{0.861, 0.105, 0.025}

Se procede a defuzificar los valores del cuadro anterior empleando la ecuación (11)

Tabla 7 Índice de Similitud

Proveedores	IS	Ranking
A <sub>1</sub>	0.973	2
A <sub>2</sub>	0.981	1
A <sub>3</sub>	0.938	3
A <sub>4</sub>	0.866	4

Por último se debe ordenar a los candidatos siguiendo la información que muestra la Tabla 1.6, donde, el que obtuvo el valor más grande es proveedor 2, de esta manera, es considerado el mejor proveedor que debe ser seleccionado.

## Conclusiones

Los resultados demuestran que la aplicación del método IFDA plantea una solución sistemática a la necesidad de selección de proveedores. La complejidad y la implicación de información subjetiva en el proceso de selección de proveedores, indican que se debe recurrir a métodos más

s sofisticados para soportar la decisión de seleccionar al mejor proveedor. Los resultados explican que la mejor alternativa la representa el proveedor tres porque obtuvo el valor más alto según el valor de similitud que se obtuvo en la última fase del proceso de valoración.

## Recomendaciones

Los investigadores interesados en continuar investigando siguiendo el método propuesto podrían concentrarse en el proceso de agregación de las opiniones de los decisores, donde existe un campo muy amplio en etapa temprana de desarrollo. También se sugiere a los expertos y personas que

deseen utilizar IFDA, tomen en cuenta los factores que cada organización plantea en sus políticas de selección de proveedores, dado, que cada una de estas puede depender del tipo de cultura organizacional implantada por los altos mandos o dueños de las compañías, lo cual es completamente

## Referencias

- Aloini, D., Dulmin, R., & Mininno, V. (2014). A peer IF-TOPSIS based decision support system for packaging machine selection. *Expert Systems with Applications*, 41(5), 2157–2165.
- Baležentis, A., Baležentis, T., & Brauers, W. (2012). Personnel selection based on computing with words and fuzzy MULTIMOORA. *Expert Systems with Applications*, 39(9), 7961–7967, 2012.
- Boran, F. E., Genç, S., Kurt, M., & Akay, D. (2009). A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 11363–11368.
- Chai, J., Liu, J. N. K., & Ngai, E. W. T. (2013). Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. *Expert Systems with Applications*, 40, 3872–3885.
- Chen SM, Tan JM. (1994). Handling Multicriteria Fuzzy Decision-making Problems Based on Vague Set Theory, *Fuzzy Sets Syst*, 67, 163–172.
- Dursun, M., & Karsak, E. (2010). A fuzzy MCDM approach for personnel selection. *Expert Systems with Applications*, 37(6), 4324–4330.
- García, A. J. L., Alvarado, I. A., & y Maldonado, M. A. (2012). Selección de proveedores basada en análisis dimensional. *Contaduría Y Administración*, 58(3), 249–278.
- Igoulalene, I., Benyoucef, L., & Tiwari, M. K. (2015). Novel fuzzy hybrid multi-criteria group decision making approaches for the strategic supplier selection problem. *Expert Systems with Applications*, 42(7), 3342–3356.
- Lin, H.-T. Personnel selection using analytic network process and fuzzy data envelopment analysis approaches. *Computers & Industrial Engineering*, 59(4), 937–944, 2010.
- Liou, J. J. H., Chuang, Y.-C., & Tzeng, G.-H. A fuzzy integral-based model for supplier evaluation and improvement. *Information Sciences*, 266, 199–217, 2014.
- Mammadova, M., & Jabrayilova, Z. (2014). Application of Fuzzy Optimization Method in Decision-Making for Personnel Selection, 190–204.
- Mardani, A., Jusoh, A., & Zavadskas, E. K. (2015). Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications – Two decades review from 1994 to 2014. *Expert Systems with Applications*, 42(8), 4126–4148.
- Reza, A., Rosnah, A., & Yusuff, M. (2013). Linguistic Extension of Fuzzy Integral for Group Personnel Selection Problem. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38, 2901–2910.
- Shaw, K., Shankar, R., Yadav, S. S., & Thakur, L. S. (2012). Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain. *Expert Systems with Applications*, 39(9), 8182–8192.
- Xu, Z. (2007). Intuitionistic Fuzzy Aggregation Operators. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(6), 1179–1187.
- Yu, D., Zhang, W., & Xu, Y. (2013). Group decision making under hesitant fuzzy environment with application to personnel evaluation.
- Yin, S., Nishi, T., & Grossmann, I. E. (2015). Optimal quantity discount coordination for supply chain optimization with one manufacturer and multiple suppliers under demand uncertainty. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(5-8), 1173–1184.
- Zadeh L.A. (1965). Fuzzy Set. *Information and Control*, 8, 333-353.
- Zhang, S., & Liu, S. (2011). A GRA-based intuitionistic fuzzy multi-criteria group decision

making method for personnel selection. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 11401–11405.

Willis, T. H., Huston, C. R., & Pohlkamp, F. (1993). Evaluation measures of just-in-time supplier

performance. *Production and Inventory Management Journal*, 34(2), 1.

## Notas Biográficas

El **M.C. Luis A. Pérez Domínguez** es Ingeniero Industrial y Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez. Actualmente estudiante del Doctorado en Ciencia en Ingeniería, adscrito al Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, en Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

El **Dr. Alejandro Alvarado Iniesta** actualmente es profesor investigador en el Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez México. Obtuvo su licenciatura en Ingeniería Electrónica, maestría en Ingeniería Industrial y grado de Ph.D. en Ingeniería con especialidad en Ingeniería Industrial. Sus intereses de investigación están en la optimización y el control del proceso de fabricación, tales como moldeo por inyección de plástico. Sus áreas de investigación se centran en las metodologías tales como la lógica difusa y redes neuronales artificiales empleados como modelos sustitutos, algoritmos evolutivos y la inteligencia de enjambre.

El **Dr. Jorge Luis García Alcaraz** es Ingeniero Industrial y Maestro en Ciencias

en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Colima. Doctor en Ciencias en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez. Sus líneas de investigación son la aplicación de tecnologías a los procesos de producción, estadística industrial y análisis multivariado de problemas. Actualmente se encuentra adscrito al Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura del Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, en Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

El **Dr. Osslán Osiris Vergara Villegas** Actualmente el Dr. Osslán, trabaja como profesor investigador de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). Imparte cátedra en la carrera de Ingeniería en Mecatrónica y en el Doctorado en Ciencias en Ingeniería (DOCI), es Ingeniero en sistemas computacionales por el Instituto Tecnológico de Zacatepec. Maestro en Ciencias en Ciencias Computacionales por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (cenidet). Doctor en Ciencias en Ciencias de la Computación por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (cenidet).