

Selección de proveedores en la minería. Caso litieras en Argentina

Selection of suppliers in mining. Litieras case in Argentina

Martin Thames Cantolla^{1*}  <https://orcid.org/0000-0002-2229-2046>

Silvana Karina Valdez²  <https://orcid.org/0000-0002-2379-1111>

Agustina Orce Schwarz²  <https://orcid.org/0000-0002-5640-2899>

Recibido 23 de febrero de 2023, aceptado 28 de diciembre de 2023

Received: February 23, 2023 Accepted: December 28, 2023

RESUMEN

En la minería del litio en el Noroeste Argentino, las empresas mineras se encuentran ubicadas en lugares estratégicos según la disponibilidad de salmueras, pero alejados de los centros urbanos. Por ello, a la hora de seleccionar el proveedor adecuado, es necesario considerar múltiples criterios. En este trabajo se presenta el primero modelo de decisión multicriterio para la selección de proveedores en la industria del litio en el Noroeste Argentino, en el que se considera un criterio de gran importancia para la región y que resulta novedoso para el sector. A partir del mismo, las empresas pueden seleccionar el mejor proveedor a través de un ranking de calificaciones sin la variación que supone la preferencia de quien toma la decisión. Se integraron los métodos de proceso de jerarquía analítica difusa (FAHP) junto a la lógica difusa (Fuzzy Logic) y el modelo SCOR. Esto permitiría su empleo en ambientes de incertidumbre y ambigüedad, combinando información cuantitativa y cualitativa. Se definieron 6 criterios con 3 niveles de valoración: Calidad, Precio, Solidez Financiera, Desempeño, Servicio Postventa y Pertenencia. Se obtuvieron 729 combinaciones con los posibles resultados de selección. Este modelo fue aplicado a cuatro proveedores locales mediante la valoración de los criterios de entrada, se obtuvo el resultado de la variable de salida Preferibilidad del Proveedor y a partir de ello se estableció cuál de ellos debía ser seleccionado. Con este modelo se espera contribuir a la toma de decisiones de las empresas mineras de la zona.

Palabras claves: Selección de proveedores, litio, FAHP, SCOR.

ABSTRACT

In lithium mining in the Argentine Northwest, mining companies are located strategically, depending on the availability of brines, but far from urban centers. Therefore, when selecting the right provider, it is necessary to consider multiple criteria. This paper presents the first multi-criteria decision model for the selecting suppliers in the lithium industry in the Argentine Northwest, in which a criterion of great importance for the region is considered and which is novel for the sector. From it, companies can select the best supplier through a ranking of qualifications without the variation that the preference of the person making the decision supposes. Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) methods were integrated with Fuzzy Logic and the SCOR model. Therefore, it can be used in environments of uncertainty and ambiguity, combining quantitative and qualitative information. 6 criteria were defined with 3 levels of assessment: Quality, Price, Financial Solidity, Performance, After-sales Service, and Belonging.

¹ INBEMI-Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina. E-mail: core.mtc@hotmail.com

² NIQUI-CONICET, INBEMI-Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina.

E-mail: skvaldez@gmail.com; agustina.orce@gmail.com

* Autor para correspondencia: core.mtc@hotmail.com

729 combinations with possible selection results were obtained. This model was applied to four local suppliers by evaluating the input criteria. The result of the output variable Supplier Preferability was obtained, and from this, it was established which of them should be selected. This model it is expected to contribute to the decision-making of mining companies in the area.

Keywords: *Supplier selection, lithium, FAHP, SCOR.*

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, el mercado mundial del litio se ha visto incrementado debido a la creciente demanda por parte de los fabricantes de baterías para distintas aplicaciones, en donde la industria automotriz lidera abarcando un 39% del mercado; de acuerdo con proyecciones para el 2025, esta industria sería la responsable de más de dos tercios de la demanda mundial de litio. Desde esta visión, los salares sudamericanos enriquecidos en litio, resultan muy atractivos para su explotación ya que presentan una gran disponibilidad de recursos y costos operativos competitivos [1], [2]. En Sudamérica, la cuarta reserva mundial de litio se localiza en Argentina (país integrante del “triángulo del litio” junto a Bolivia y Chile).

Por su parte, en la zona del Noroeste Argentino (NOA), existen numerosas empresas abocadas a la producción de sales de litio, sin embargo, solo 3 de ellas se encuentran en producción (una en Catamarca, otra en Jujuy y una tercera en Salta) con una planta piloto ya en funcionamiento y realizando inversiones para instalar la planta industrial más grande del mundo [3], [4].

De acuerdo con la Secretaría de Minería de Salta, en la provincia existen 50 proyectos de extracción de litio en desarrollo, de los cuales dos se encuentran en fase avanzada para estar en producción próximamente. Las principales expectativas del gobierno nacional para que el país se convierta en el segundo productor mayoritario de litio a nivel mundial están puestas en Salta [4].

Por su lado, la cadena de valor del litio se encuentra integrada por distintos actores y eslabones, quienes a su vez conforman otras cadenas de valor que se vinculan entre sí tanto de forma directa como indirecta. Por ello, optimizar cada eslabón permitirá a su vez incrementar el valor que cada uno ofrece a la cadena en su totalidad. La selección de proveedores es una actividad de gran

importancia para el éxito de una empresa. Esto es debido a que el precio y la calidad de los bienes y servicios ofrecidos al mercado, están directamente relacionados con el costo y la calidad de aquellos adquiridos a los proveedores. En consecuencia, la selección de proveedores tiene un papel importante en la cadena de valor. Ante los entornos altamente competitivos de hoy en día, el objetivo de cualquier departamento de compra debería ser comprar un producto/servicio de calidad; para ello debe tener en cuenta, además del precio, el proveedor y el momento óptimo de adquisición. Una buena selección de proveedores permite obtener una disminución de los costos operativos y cumplir con la demanda del mercado, manteniendo una ventaja competitiva [1], [2]. La selección de proveedores se encuentra relacionada con la toma de decisiones de criterios múltiples (Multi-Criteria Decision Making, MCDM) en donde la persona que toma las decisiones debe analizar factores de carácter cuantitativo y cualitativo [5], [6], [7]. En la industria minera, estos aspectos no pasan desapercibidos, puntualmente, en la minería del litio en el NOA, las empresas mineras se localizan en lugares estratégicos para sus procesos productivos pero alejados de los grandes centros urbanos. Por lo cual, se deben considerar ciertos criterios al momento de elegir los proveedores adecuados y es por ello que se emplearon los conceptos de la lógica difusa y el modelo de referencia de operaciones de la cadena de suministro (Supply Chain Operations Reference, SCOR) [8].

En este trabajo se presenta un modelo de selección de proveedores basado en la lógica difusa. En el mismo se consideran criterios que nacen del modelo SCOR; como así también un criterio único y particular para la minería en el NOA llamado “Pertenencia” que permite tener en cuenta la incorporación de mano de obra local, lo que resulta novedoso en el sector. Estos criterios fueron ponderados de manera cuantitativa y cualitativa de acuerdo con los requisitos del sector, utilizando la metodología FAHP. Este modelo se desarrolló en Matlab incorporando las

funciones de agregación y las reglas lógicas IF-THEN definidas previamente. Finalmente, se validó su utilidad a partir de la aplicación de un ejemplo con cuatro proveedores. Los resultados obtenidos permiten optimizar el proceso de toma de decisiones disminuyendo la ambigüedad y la incertidumbre al momento de seleccionar uno o varios proveedores.

Lógica difusa

La lógica difusa es utilizada en los procesos de toma de decisión debido a su versatilidad para trabajar con valores imprecisos a partir del empleo de variables lingüísticas (expresiones de sentido común usadas para describir situaciones o condiciones) [9], [10], [11]. Es una extensión de la lógica booleana y está basada en la teoría matemática de conjuntos difusos, que a su vez constituyen una generalización de la teoría de conjuntos clásica. Se parte de la noción de “grado de verificación” o “grado de pertenencia” de una condición, lo que permite que esta última pueda encontrarse en un estado distinto del “verdadero” o “falso”, propios de la lógica booleana [12], [13]. Todo esto brinda flexibilidad al momento de tomar decisiones, permitiendo trabajar con cierto grado de inexactitud y/o incertidumbre. Una de las ventajas de trabajar con lógica difusa es que las reglas lógicas se establecen en lenguaje natural, lo que permite formalizar el razonamiento humano. Es así que la lógica difusa trabaja con conceptos tales como: conjuntos difusos, funciones de pertenencia, reglas IF-THEN, entre otros [14].

Conjuntos difusos

Son aquellos conjuntos en donde se contempla la pertenencia parcial de un elemento (x) al conjunto (A), es decir que, cada elemento del conjunto se encuentra asociado a un grado de pertenencia que se define mediante una función característica $\mu_A(x)$. Esta última, toma valores entre 0 y 1, donde 0 representa la no pertenencia absoluta y 1 representa pertenencia absoluta al conjunto [15], [16]. De esta forma, un conjunto difuso se puede representar como la ecuación (1).

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x) \rangle \mid x \in U \} \quad (1)$$

donde:

x = elemento del conjunto.

$\mu_A(x)$ = función de pertenencia, también llamada función de membresía.

U = universo de discurso o dominio.

Función de pertenencia o membresía

La función de membresía puede tener diferentes formas, y la seleccionada para analizar un problema en particular, dependerá del problema en sí. Es así como las funciones más utilizadas por su simplicidad matemática son: triangular, trapezoidal, gaussiana, sigmoideal, gamma, pi y campana [17].

La única condición que debe cumplir una función de membresía es que sea continua y tome valores entre 0 y 1 como se observa en la ecuación (2).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } (x < a) \text{ ó } (x > d) \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{si } a \leq x \leq b \\ 1, & \text{si } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{si } c \leq x \leq d \end{cases} \quad (2)$$

Sistema de inferencia difusa. IF-THEN

Las reglas difusas IF-THEN son un conjunto de proposiciones que modelan el problema que se está analizando y que se busca resolver. Relacionan variables lingüísticas difusas de entrada para convertirlas en variables difusas de salida [12], [13], [17].

Proceso de jerarquía analítica difusa (FAHP)

El FAHP es una combinación del proceso de jerarquía analítica (AHP) [18] y la lógica difusa. Su origen fue en la década del 80 y desde entonces, varios autores han estudiado el tema y lo han aplicado a diferentes escenarios [19]-[22]. Su empleo, representa una solución al método clásico, que es determinista y no puede reflejar la incertidumbre y ambigüedad de los tomadores de decisiones. En el proceso tradicional de análisis, las comparaciones por pares se realizan utilizando una escala de nueve puntos, que expresa el juicio o preferencia de la persona que toma la decisión entre diferentes opciones. Aunque la escala del 1 al 9 es simple y fácil de usar, no considera la incertidumbre asociada con el juicio humano.

Los términos del lenguaje que las personas usan para expresar sus sentimientos o juicios son vagos y subjetivos, y también pueden ser inciertos debido a los niveles de preferencia, información incompleta o falta de conocimiento de las personas que toman las decisiones. Por lo tanto, el proceso de jerarquía

analítica y la lógica difusa se combinan para expresar el juicio del lenguaje, y la teoría de conjuntos difusos se utiliza para tratar la ambigüedad en el sistema. Este método se utilizó para determinar el nivel de importancia (% peso) que tendrá cada uno de los criterios propuestos en el modelo.

Modelo SCOR

El modelo SCOR es una herramienta de gestión que ayuda a mejorar el rendimiento de las cadenas de suministro y la integración entre los diferentes eslabones de estas. El modelo identifica las mejores prácticas de la industria, las métricas de rendimiento y requisitos funcionales de cada proceso central, subproceso y operaciones de la cadena de suministro. A su vez, proporciona una estructura y una terminología estándar para ayudar a las empresas a unificar una amplia gama de herramientas de gestión. El modelo SCOR ayuda a las empresas a desarrollar y gestionar la estructura de su cadena de suministro de forma eficaz [23], [24].

Entre los atributos de rendimiento competitivo que considera el modelo [23]-[26], tenemos:

- Confiabilidad: se busca que se envíe el producto solicitado por el cliente al lugar y momento adecuado, teniendo en cuenta la calidad, cantidad y documentación requerida.
- Capacidad de respuesta: velocidad que tiene la cadena de suministro para proporcionar los productos a los clientes.
- Agilidad: rapidez que tenga la cadena de suministro para responder ante cambios que se den en el mercado. Busca mantener la ventaja competitiva. Aquí se tiene en cuenta la flexibilidad y adaptabilidad de la cadena.
- Costos: vinculado a los costos que se generan en las operaciones de la cadena de suministro, incluye costos de mano de obra, costos de materiales, costos de administración y transporte.
- Eficiencia de la gestión de activos: garantiza una organización efectiva para satisfacer la demanda.

De esta manera, la metodología empleada se desarrolla en el siguiente apartado.

METODOLOGIA

Tomando de referencia la bibliografía [17], [23]-[27] donde se emplea la lógica difusa para desarrollar

modelos de selección de proveedores, se definieron los criterios a considerar para la selección de proveedores en la industria litiera.

Criterios de selección

En función de las características principales que presentan los sistemas logísticos de compras y teniendo en cuenta los atributos de rendimiento que considera el modelo SCOR se seleccionaron aquellos criterios que fueran representativos para la toma de decisiones [8]:

- Calidad del producto/servicio ofrecido por el proveedor.
- Precio del producto/servicio ofrecido por el proveedor.
- Solidez financiera del proveedor.
- Servicio postventa del proveedor.
- Desempeño histórico del proveedor (si cumplió en tiempo y forma en pedidos anteriores, si respetó lo acordado, etc.)

Estos criterios fueron validados a partir de la revisión bibliográfica [25], [26], [27] que trata el tema de la selección de proveedores y en los cuales se utilizaron modelos multicriterio con ponderaciones de los criterios.

Dados los requerimientos gubernamentales que las empresas mineras en el NOA deben seguir, y teniendo en cuenta la responsabilidad social empresarial (RSE), se adicionó un quinto criterio. Este último, tiene especial importancia ya que las empresas mineras se encuentran comprometidas con el desarrollo local. En consecuencia, tanto ellas como todas aquellas empresas que deseen formar parte de su cartera de proveedores deben incorporar mano de obra de la zona de influencia [1], [3], [4], [28], [30].

- Pertenencia, referente a la incorporación de mano de obra local por parte de la empresa proveedora.

Ponderación de criterios y variables lingüísticas

Habiendo seleccionado los 6 criterios para la toma de decisiones, se realizó la ponderación de estos a partir de la información recopilada de otros autores [17], [31], [32], consultando a responsables del sector de compras de diferentes empresas mineras de litio y considerando además que el criterio

Pertenencia debía poseer una ponderación mayor por su importancia para las empresas mineras salteñas. A partir de esto, se empleó el método FAHP para determinar los pesos de cada criterio elaborando la matriz de comparación por pares a partir de la información recabada previamente. Posteriormente se realizó la fuzzyficación y desfuzzyficación utilizando los índices de incertidumbre α y de optimismo λ [33], [34] que toman valores entre 0 (baja incertidumbre/bajo optimismo) y 1 (alta incertidumbre/alto optimismo). Junto a éstos, se definieron las variables lingüísticas que cada uno los criterios puede tener. Los mismos se observan en la Tabla 1 y corresponden a las entradas del modelo.

La fuzzyficación se lleva a cabo a partir de un valor $\alpha = 1$ que representa el mayor nivel de incertidumbre y la desfuzzyficación se realiza a partir de un valor de $\lambda = 0,5$ que representa un valor intermedio. Para ambos casos, el cálculo de los nuevos valores de la matriz de comparación se realiza a partir de la ecuación (3) y la ecuación (4). [22], [34], [35]

$$x_a = [x - a, x + a]; \frac{1}{x_a} = \left[\frac{1}{x + a}, \frac{1}{x - a} \right] \quad (3)$$

donde:

x es el valor actual de cada uno de los elementos de la matriz.

x_a es el nuevo valor de cada uno de los elementos de la matriz

$$x_{ij} = \lambda x_{ij-sup} + (1 - \lambda) x_{ij-inf} \quad (4)$$

donde:

x_{ij-inf} valores inferiores para cada x_{ij}

x_{ij-sup} valores superiores para cada x_{ij}

Una vez realizada la desfuzzyficación, se debe verificar el ratio de consistencia de la matriz de comparación. Se sigue la metodología de cálculo propuesta por Saaty [18], considerando que este valor debe ser menor a 0,1 [36] para evitar la inconsistencia de las comparaciones realizadas.

Finalmente, para determinar el peso de los criterios, se empleó el método de la media geométrica [22], [33], [34], cuyo cálculo se realiza con la ecuación (5).

$$GM_i = \left[\prod_{j=1}^E b_{ij} \right]^{1/E} \quad (5)$$

donde:

GM_i es la media geométrica de la fila i en la matriz desfuzzyficada.

b_{ij} es el valor ubicado en la columna i fila j .

E es el número de elementos en la fila.

Luego, el peso w_i del parámetro i se calcula con la ecuación (6).

$$w_i = \frac{GM_i}{\sum_{i=1}^N GM_i} \quad (6)$$

donde:

N es el número de medias geométricas que se tiene por matriz.

Cabe destacar que, la ponderación de los criterios podría variar de empresa en empresa, dependiendo de los requerimientos que se tengan en cada caso y, por ende, de la matriz de comparación que resulte de tales consideraciones.

Variable de salida

Además de haber establecido los criterios de selección que constituyen las variables de entrada al modelo, se

Tabla 1. Criterios seleccionados, ponderaciones, nomenclaturas y variables lingüísticas asociadas.

Criterio	Nomenclatura para el modelo	Variables lingüísticas
Calidad	CAL	Baja, Media, Alta
Precio	PRE	Bajo, Medio, Alto
Desempeño	DES	Deficiente, Bueno, Excelente
Solidez financiera	SFI	Regular, Buena, Excelente
Servicio postventa	SPO	Deficiente, Bueno, Excelente
Pertenencia	PEA	NoApto, En Tramite, Apto

Tabla 3. Variables de entrada y salida, junto a las variables lingüísticas y el valor asignado a cada una.

Variables de entrada y salida	Variable lingüística y valor asignado
CAL	Baja (BAJ) = 1 Media (MED) = 3 Alta (ALT) = 5
PRE	Bajo (BAJ) = 5 Medio (MED) = 3 Alto (ALT) = 1
DES	Deficiente (DEF) = 1 Bueno (BUE) = 3 Excelente (EXC) = 5
SFI	Regular (REG) = 1 Buena (BUE) = 3 Excelente (EXC) = 5
SPO	Deficiente (DEF) = 1 Bueno (BUE) = 3 Excelente (EXC) = 5
PEA	No Apto (NAP) = 1 En Tramite (TRA) = 3 Apto (APT) = 5
PREF	No Preferible = valor dentro de [1,2) Poco Preferible = valor dentro de [2,3) Preferible = valor dentro de [3,4) Muy Preferible = valor dentro de [4,5]

Tabla 4. Resultados de las reglas IF-THEN junto a la cantidad de cada tipo.

Tipo de resultado	Cantidad de reglas que arrojan el resultado
No Preferible	50
Poco Preferible	293
Preferible	318
Muy Preferible	38
Total	729

Simulación en MATLAB

Para el desarrollo del modelo, se empleó el simulador Matlab en su versión R2017b, junto al paquete Fuzzy Logic Designer. En el mismo se cargaron las 6 funciones de membresía de los criterios más la función de membresía para la variable de salida. Adicionalmente, se establecieron las reglas IF-THEN de la Figura 1. La metodología de resolución empleada para la lógica difusa es la de Mamdani, la cual ha sido utilizada por otros autores para la resolución de problemas de gestión y logística [17], [23]-[25], [27], [31], [32], [36]. En la Figura 4, se pueden apreciar las funciones dentro de Matlab.

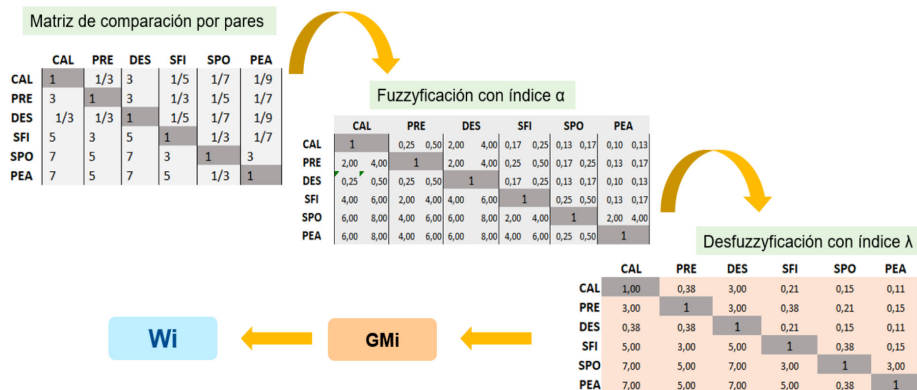


Figura 2. Metodología FAHP para determinar la ponderación de criterios.

CRITERIOS Y PONDERACIÓN

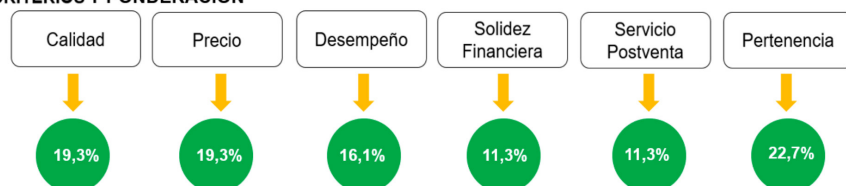


Figura 3. Ponderación de criterios del modelo de selección de proveedores.

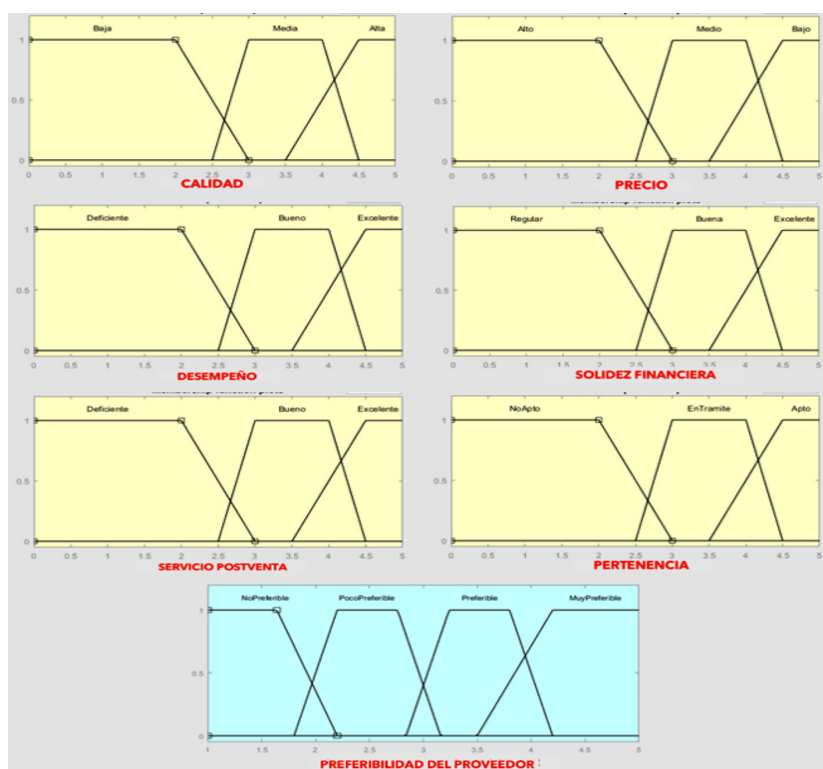


Figura 4. Funciones de membresía trapezoidales para cada variable de entrada y la variable de salida.

Por otro lado, las reglas difusas (IF-THEN), se presentan como se observa en la Figura 5.

La metodología desarrollada para la selección de proveedores a partir de lógica difusa junto a criterios definidos del modelo SCOR y los requerimientos propios de la industria minera del NOA, fue aplicada con cuatro proveedores a

modo de evaluar su aplicación y los resultados que puede arrojar. De esta manera, se establecieron valoraciones para cada uno de los criterios, estableciendo una calificación que la persona que toma las decisiones podría asignar para cada criterio y proveedor; con esto se obtuvieron los resultados correspondientes para cada proveedor tal como se observa en la Tabla 5.

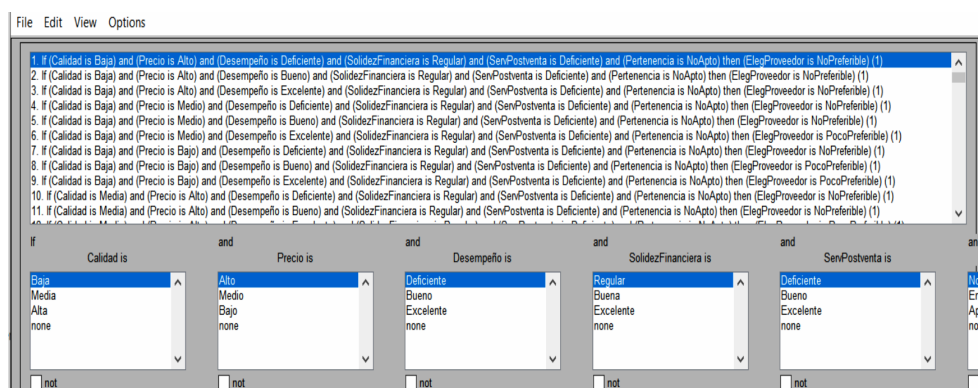


Figura 5. Reglas difusas (IF-THEN) cargadas dentro de Matlab.

Tabla 5. Valoración asignada a cada proveedor en función de cada criterio de análisis.

Criterio	Proveedor 1	Proveedor 2	Proveedor 3	Proveedor 4
Calidad	4,0	5,0	1,0	5,0
Precio	3,5	5,0	2,0	5,0
Desempeño	3,0	4,0	5,0	3,5
Solidez financiera	5,0	5,0	3,5	4,0
Servicio postventa	5,0	5,0	4,0	3,0
Pertenencia	2,0	4,5	3,0	1,0
Pref.	2,87	4,42	2,48	3,52

De esta forma, estableciendo un orden de preferencia y colocando la variable lingüística que se definió, la selección de proveedores debería seguirse como se observa en la Tabla 6 en donde el proveedor con mejores condiciones es el número 2; en este caso la variable lingüística asignada toma el valor de Muy Preferible por tener una calificación de 4,42. El resultado obtenido sigue la ponderación de criterios propuesta ya que como se observa, el proveedor 2 presenta las máximas calificaciones posibles en los criterios Calidad, Precio y Servicio Postventa; adicionalmente para los criterios de Desempeño y Pertenencia, la calificación es de 4 y 4,5 respectivamente.

Además del valor final que toma la variable de salida Preferibilidad del Proveedor, con el software es posible analizar las superficies de respuestas del modelo. A partir de las mismas se puede realizar una comparación de a pares, asignando un valor arbitrario a los criterios que no serán comparados. Con esto se analizan seis casos, como se observa en la Figura 6.

Aquí se pueden analizar los valores “ideales” que deberá tener un proveedor para garantizar una máxima calificación en la variable de salida.

En el CASO I, se analizan los criterios Precio y Calidad, de allí se observa que a partir de una

calificación de 2,5 (o superior) para ambos criterios, se obtiene el máximo valor posible de la variable de salida (coloreado con amarillo). En el CASO II, se comparan los criterios Desempeño y Solidez Financiera, en donde solo un valor máximo en los atributos garantiza obtener el máximo valor posible a la salida. En el CASO III, donde se comparan los criterios Precio y Pertenencia, se observa que para calificaciones del precio de entre 0 y 4,5, solo una calificación máxima en el criterio pertenencia, resultará en un máximo valor de la variable de salida; mientras que una calificación del precio superior a 4,5, permitirá que incluso con una valoración de 2,5 (o superior) de la pertenencia, se obtenga el máximo valor posible de la variable de salida. Para el CASO IV, en donde se comparan los criterios Solidez Financiera y Pertenencia, se observa que independiente de la calificación asignada al proveedor con respecto a la solidez financiera, sólo una valoración superior a 4,5 en pertenencia, permitirá que se obtenga el máximo valor posible de la variable de salida.

En el CASO V, en donde se comparan los criterios Servicio Postventa y Pertenencia, se observa una similitud con respecto a la superficie de respuesta del CASO IV; aquí independiente de la calificación que se tenga en el servicio posventa, solo una valoración de 4,5 para pertenencia permitirá que el proveedor obtenga el máximo valor para la variable salida. Finalmente, para el CASO VI, en donde se analizan los criterios Pertenencia y Calidad, se observa cierta similitud de la superficie con respecto al CASO III; aquí el máximo valor posible de la variable de salida se observa para los casos en los cuales la calidad tiene una calificación de 0 hasta 4,5 y pertenencia 4,5 o superior. Adicionalmente la calificación de pertenencia podría bajar hasta una calificación de 3 siempre y cuando el valor de calidad sea de 4.5 o superior.

Tabla 6. Orden de selección de los proveedores.

Orden	Proveedor	Variable Lingüística asociada
1°	Proveedor 2	Muy Preferible
2°	Proveedor 4	Preferible
3°	Proveedor 1	Poco Preferible
4°	Proveedor 3	Poco Preferible

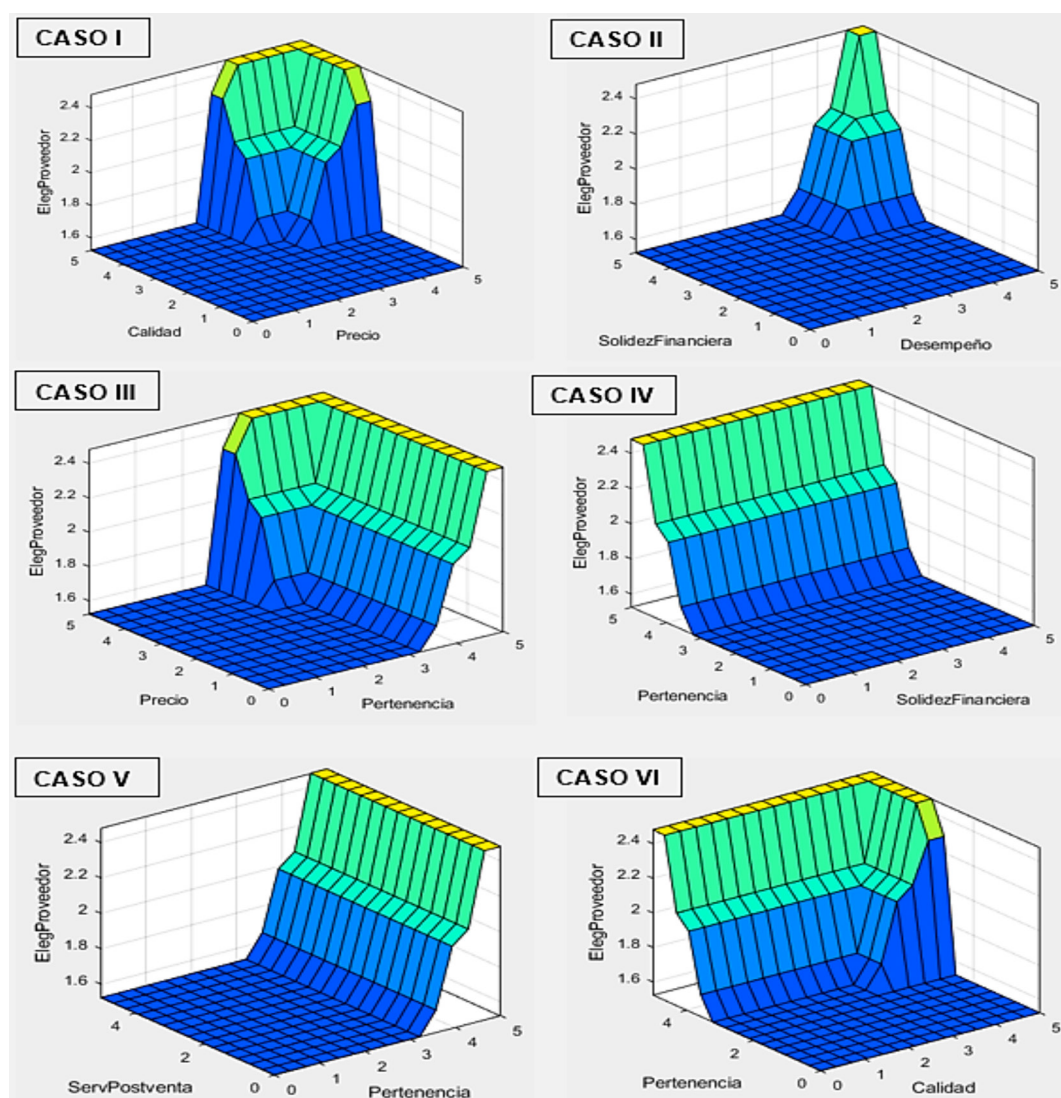


Figura 6. Superficies de respuesta del modelo de selección de proveedores propuesto. (Los colores visualizados son asignados por el propio software, y sirven para una mejor interpretación de los resultados).

La pequeña diferencia de importancia en el criterio Pertenencia, hace de este un aspecto a tener en consideración ya que de la Figura 6 se observa que obtener la máxima valoración de la variable de salida, se logra con una calificación superior a 4,5 aun ante diferentes valores de los criterios Precio, Calidad y Solidez Financiera.

Finalmente, como resultado del modelo se podrían obtener, ante diferentes proveedores con calificaciones similares, un valor de salida muy cercanos o incluso

iguales. Ante estos escenarios, la persona que toma las decisiones debe seleccionar igualmente el proveedor con la calificación superior, considerando los valores decimales de la variable de salida, ya que de esta forma se estaría asegurando la selección del mejor proveedor. Adicionalmente, si ocurriese que 2 o más proveedores obtienen un resultado igual, la selección de uno de ellos dependerá de la experiencia de la persona que toma las decisiones, quien podrá adoptar un nuevo criterio para seleccionar al proveedor adecuado.

CONCLUSIONES

Se pudo desarrollar un modelo de decisión multicriterio de fácil y rápida aplicación para las mineras de litio. La incorporación del criterio Pertenencia, permite que además de los criterios tradicionales de selección de proveedores, se considere un aspecto de gran importancia en la región del NOA. La secuencia de trabajo presentada representa una novedad para el sector, ya que permite modificar la ponderación de los criterios de acuerdo a las necesidades específicas de cada empresa.

El cálculo de las ponderaciones o nivel de importancia de cada criterio a partir del método FAHP permite su empleo en ambientes de incertidumbre y ambigüedad, combinando información cuantitativa y cualitativa.

La incorporación de criterios de selección provenientes del modelo SCOR, posibilita, además de optimizar el proceso de selección, que se logre una mejora en la cadena de suministro de la empresa. La aplicación de este modelo permite optimizar el proceso de toma de decisiones, lo que se relaciona con una mejora en la cadena de valor de la minería, y puntualmente en la minería del litio en el NOA. A futuro se prevé la incorporación de nuevos criterios y subcriterios para desarrollar modelos que puedan aplicarse a los diversos escenarios que se presentan a la hora de seleccionar proveedores para la industria litiera.

REFERENCIAS

- [1] A. Castello y M. Kloster, "Industrialización del Litio y Agregado de Valor Local: Informe Tecno-Productivo", CIECTI, CABA. 2015.
- [2] Comisión Chilena de Cobre (COCHILCO), "Antecedentes para una Política Pública en Minerales Estratégicos: Litio", 2009.
- [3] Conciencia Minera, "El litio en Argentina". 2013.
- [4] Diario El Tribuno. "El desarrollo que viene para Salta estará de la mano de la minería", 2021.
- [5] S.H. Huan, S.K. Sheoran, and G. Wang, "A review and analysis of supply chain operations reference (SCOR) model," *Supply Chain Manag.*, vol. 9, no. 1, pp. 23-29, 2004, doi: 10.1108/13598540410517557.
- [6] N. Wang, Y.F. Huang, I.F. Cheng, and N. van Thanh, "A Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) Approach Using Hybrid SCOR Metrics, AHP, and TOPSIS for supplier evaluation and selection in the gas and oil industry," *Processes*, vol. 6, no. 252, 2018, doi: 10.3390/pr6120252.
- [7] N. Wang, H.T. Tsai, T.P. Ho, V.T. Nguyen, and Y.F. Huang, "Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Model for Supplier Evaluation and Selection for Oil Production Projects in Vietnam", *Processes*, vol. 8, no. 134, 2020, doi: 10.3390/pr8020134.
- [8] R.G. Poluha, *Application of the SCOR Model in Supply Chain Management*, New York, USA: Cambria Press, 2007.
- [9] F. Derroncourt, "Introduction to fuzzy logic", Massachusetts Institute of Technology (MIT), 2013.
- [10] M.M. Hasan, M.A. Shohag, A. Azeem, and S. Paul, "Multiple criteria supplier selection: A fuzzy approach," *International Journal of Logistics Systems and Management*, vol. 20, no. 4, pp. 429-446, 2015, doi: 10.1504/IJLSM.2015.068488.
- [11] J. Mayor, S. Botero y J.D. González-Ruiz, "Modelo de decisión multicriterio difuso para la selección de contratistas en proyectos de infraestructura: caso Colombia", *Obras y Proyectos*, no. 20, pp. 56-74, 2016, doi: 10.4067/S0718-28132016000200005.
- [12] O.G. Duarte Velasco, "Sistemas de lógica difusa. Fundamentos", *Revista Ingeniería e Investigación*, no. 42, pp. 22-30, 1999.
- [13] C. Felten y L. Caballero, "Principios de lógica difusa", Universidad Nacional de Misiones Facultad de Ingeniería, 2016.
- [14] Y. Bai and D. Wang, "Fundamentals of Fuzzy Logic Control - Fuzzy Sets, Fuzzy Rules and Defuzzifications," in *Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications. Advances in Industrial Control*, Y. Bai, H. Zhuang, and D. Wang, Eds., London, UK: Springer, 2007, doi: 10.1007/978-1-84628-469-4_2.
- [15] L. Zadeh, "Fuzzy Sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338-353, 1965, doi: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
- [16] K. Shaw, R. Shankar, S. Yadav, and L. Thakur, "Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain," *Expert Systems with Applications*, vol. 39,

- no. 9, pp. 8182-8192, 2012, doi: 10.1016/j.eswa.2012.01.149.
- [17] R.A. Gómez, J.A. Cano y E.A. Campo, "Selección de proveedores en la minería de oro con lógica difusa", *Revista Venezolana de Gerencia (RVG)*, vol.21, no. 75, pp. 530-548, 2016, doi: 10.37960/revista.v21i75.21897.
- [18] T.L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*, New York, USA: McGraw-Hill, 1980.
- [19] J.J. Buckley, "Fuzzy hierarchical analysis," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 17, no. 3, pp. 233-247, Dec. 1985, doi: 10.1016/0165-0114(85)90090-9.
- [20] C.G.E. Boender, J.G. de Graan, and F.A. Lootsma, "Multi-criteria decision analysis with fuzzy pairwise comparisons," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 29, no. 2, pp. 133-143, 1989, doi: 10.1016/0165-0114(89)90187-5.
- [21] S. Kubler, J. Robert, W. Derigent, A. Voisin, and Y. le Traon, "A state-of-the-art survey & testbed of fuzzy AHP (FAHP) applications," *Expert Systems with Applications*, vol. 65, pp. 398-422, 2016, doi: 10.1016/j.eswa.2016.08.064.
- [22] C.M. Yan Liu and C.E. Eckert, "A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements," *Expert Systems with Applications*, vol. 161, 2020, doi: 10.1016/j.eswa.2020.113738.
- [23] R. Abdullah Nazim and R. A. Iskandar Yaacob, "Criteria for Supplier Selection: An Application of AHP-SCOR Integrated Model (ASIM)," *International Journal of Supply Chain*, vol. 6, no 3, 2017, doi: 10.59160/ijscm.v6i3.1885.
- [24] R. Nazim, S. Yahya, and M. Rozi Malim, "A new approach to supplier selection problem: An introduction of AHP-SCOR integrated model," *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, vol. 3, no. 1, pp. 338-340, 2015, doi: 10.17762/ijritcc.v3i1.3817.
- [25] R. Lima Junior and G. Carvalho, "A methodology based on fuzzy inference and SCOR® model for supplier performance evaluation", *Gestão & Produção*, vol. 23, no. 3, pp. 515-534, 2016, doi: 10.1590/0104-530X2625-15.
- [26] S. Gómez Jaramillo, "Revisión del Uso de la Lógica Difusa Aplicada a Modelos de Puntuación Crediticia", *Cuaderno Activa*, vol. 3, no. 1, pp. 37-44, 2012.
- [27] D. Kumar, J. Singh, O. Singh, and Seema, "A fuzzy logic based decision support system for evaluation of suppliers in supply chain management practices," *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 57, no. 11, pp. 2945-2960, 2012, doi: 10.1016/j.mcm.2013.03.002.
- [28] Gobierno de Salta, "Trabajo articulado para incorporar más PyMES salteñas a la cadena de valor minera", 2020. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3feLEcS>
- [29] MiningPress, "Infraestructura minera: Qué dice la ley de Salta", 2019. [En línea]. Disponible en: <http://miningpress.com/nota/322712/infraestructura-minera-que-dice-la-ley-de-salta>
- [30] Dirección Nacional del Sistema Argentino de Información Jurídica (SAIJ), "Ley de Promoción Minera", 2019. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/rfphOIB>
- [31] A. Pablos Ortega, M.A. Villa Cerda y M. Ávila Ortega, "Definición de metodología para selección de proveedores a través, de la lógica difusa para una empresa de la industria eléctrica en Monterrey, Nuevo León", *Trascender, Contabilidad y Gestión*, vol. 11, pp. 62-88, 2020, doi: 10.36791/tcg.v11i0.65.
- [32] N. Tabares-Urrea, G. Ramírez-Flórez y J. C. Osorio-Gómez, "AHP difuso y TOPSIS para la selección de un proveedor 3PL considerando el riesgo operacional", *Revista EIA*, vol. 17, no. 33, pp. 1-17, 2020, doi: 10.24050/reia.v17i33.1329.
- [33] A.K. Gorai, A. Upadhyay, F. Tuluri, P. Goyal, and P.B. Tchounwou, "An innovative approach for determination of air quality health index," *Science of the Total Environment*, vol. 533, no. 22, pp. 495-505, 2015, doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.06.133.
- [34] B. Balusa and A. Gorai, "Design of a multi-criteria decision making model using fuzzy-AHP for selection of appropriate underground metal mining method," *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, vol. 9, no. 4, pp. 259-301, 2018, doi: 10.1504/IJMME.2018.097425.
- [35] T.L. Saaty, "Theory and applications of the analytical network process: decision making with benefits, opportunities, costs, and risk", 3rd ed., Pittsburgh, PA, USA: RWS Publications, 2005.
- [36] M. Arango, J. Cano y K. Álvarez, "Modelos de sistemas MRP cerrados integrando incertidumbre", *Revista EIA*, no. 18, pp. 61-76, 2012.