

08-032

Descriptive analysis of the tender of projects of design and construction of railway vehicles.

Javier Gallardo Forés; Jose Luis Fuentes Bagues; M^a Carmen González Cruz

Universitat Politècnica València ;

Companies that carry out projects for the design and construction of rail vehicles participate in contracting procedures, both public and private, in different countries of the world. This means that they are affected in each of the procedures by different technical, economic, social and regulatory requirements, which creates different risks, which must be identified and analyzed, in order to have more information to decide the participation or not in procurement procedures.

The objective of this communication is to present, through a case study, a methodology for the identification, analysis and subsequent evaluation of the risks that appear during the preparation phase of the tenders for projects of design and construction of railway vehicles. Given the influence of many factors as well as the uncertainty of the available data, the methodology is based on the combination of fuzzy logic and a multicriteria decision-making technique, such as the Analytic Hierarchy Process (AHP)

The proposed methodology will determine the risk level of the project, providing the company with information to make decisions about participation in the tendering process.

Keywords: Tendering; Railway Vehicle; Fuzzy; AHP; Risks

Apreciación de Riesgos en la licitación de proyectos de diseño y construcción de vehículos ferroviarios

Las empresas que realizan proyectos de diseño y construcción de vehículos ferroviarios participan en procedimientos de contratación, tanto públicos como privados, en diferentes países del mundo. Esto significa que se ven afectados en cada uno de los procedimientos por prescripciones técnicas, económicas, sociales y normativas diferentes, lo que genera riesgos de diferente índole, que deben ser identificados y analizados, con objeto de disponer de mayor información para decidir la participación o no en los procedimientos de contratación.

El objetivo de esta comunicación es presentar, a través de un caso de estudio, una metodología para la identificación, análisis y posterior evaluación de los riesgos que aparecen durante la fase de preparación de las ofertas de licitación para proyectos de diseño y construcción de vehículos ferroviarios. Dada la influencia de muchos factores así como la incertidumbre de los datos disponibles, la metodología se basa en la combinación de lógica difusa y una técnica de decisión multicriterio, como es el Analytic Hierarchy Process (AHP).

La metodología propuesta determinará el nivel de riesgo del proyecto, aportando a la empresa información para la toma de decisiones sobre la participación en la licitación.

Palabras clave: Licitación; Vehículos Ferroviarios; Lógica difusa; AHP; Riesgos

Correspondencia: Javier Gallardo Forés jagalfo@gmail.com:



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

1.- Introducción

1.1.- Gestión de Riesgos

El riesgo de un proyecto es un evento o condición incierta que, de producirse, tiene un efecto positivo o negativo en uno o más de los objetivos del proyecto, tales como el alcance, el plazo, el costo y la calidad (PMI, 2013).

Todas las actividades de una organización o de un proyecto implican riesgos que deben gestionarse. El proceso de gestión del riesgo ayuda a tomar decisiones teniendo en cuenta la incertidumbre y la posibilidad de futuros sucesos y sus efectos sobre los objetivos acordados. Este proceso consiste en una aplicación sistemática de políticas, procedimientos y prácticas de gestión de las actividades de comunicación, consulta, establecimiento del contexto, apreciación del riesgo y seguimiento y revisión del riesgo (AENOR, 2010). La apreciación del riesgo es la parte de la gestión del riesgo que proporciona un proceso estructurado que identifica la manera en que los objetivos pueden resultar afectados y analiza el riesgo en términos de consecuencias y de probabilidades antes de decidir si se necesita un tratamiento adicional (AENOR, 2011), en definitiva es el proceso de identificación, análisis y evaluación de los riesgos.

1.2.- La licitación de vehículos ferroviarios

Las empresas que realizan proyectos de diseño y construcción de vehículos ferroviarios participan en procedimientos de contratación, tanto públicos como privados, en diferentes países del mundo. Esto significa que se ven afectados en cada uno de los procedimientos por prescripciones técnicas, económicas, sociales y normativas diferentes, lo que genera riesgos de diferente índole, que deben ser identificados y analizados, con objeto de disponer de mayor información para decidir la participación o no en los procedimientos de contratación.

1.3.- Objetivo

El objetivo de esta comunicación es presentar, a través de un caso de estudio, una metodología para la identificación, análisis y posterior evaluación de los riesgos que aparecen durante la fase de preparación de las ofertas de licitación de proyectos de diseño y construcción de vehículos ferroviarios. Dada la influencia de muchos factores así como la incertidumbre de los datos disponibles, la metodología se basa en la combinación de lógica difusa y una técnica de decisión multicriterio, como es el Analytic Hierarchy Process (AHP).

Esta comunicación se divide en cinco apartados. En el apartado dos se realiza una breve descripción de las herramientas en las que se basa la metodología propuesta: AHP y lógica difusa. En el apartado tres se desarrolla la metodología y en el apartado cuarto se aplica a un caso de estudio real durante la preparación de una oferta de diseño y construcción de vehículos ferroviarios. Finalmente en el apartado quinto se presentan las Conclusiones de la comunicación.

2.- Breve Descripción del método AHP y de la lógica difusa

2.1.- El método AHP

El Analysis Hierarchy Process (AHP) es un método de toma de decisiones multicriterio propuesto por Saaty en 1980 (Saaty, 1980), siendo una de las técnicas más utilizadas para la toma de decisiones multicriterio (Wallenius et al. 2008).

El método AHP se basa en la descomposición del problema de decisión en varios niveles de tal modo que se establece una jerarquía con relaciones unidireccionales

entre cada uno de los niveles. El nivel más alto de la jerarquía está formado por el objetivo del problema. En el siguiente nivel se sitúan los criterios, tangibles e intangibles, y subcriterios, en base a los cuales se valorarán las alternativas, las cuales forman el nivel más bajo de la jerarquía.

AHP utiliza comparaciones pareadas para asignar pesos a los elementos de cada nivel, midiendo su importancia relativa mediante la escala 1-9 de Saaty (Tabla 1) y finalmente calcula la prioridad global correspondiente a los elementos del último nivel que son las alternativas del proceso de decisión.

Tabla 1: Escala valoración método AHP. Fuente: Saaty.

Escala	Descripción
1	Igual importancia
3	Moderadamente más importante que el otro elemento
5	Fuertemente más importante que el otro elemento
7	Mucho más importante que el otro elemento
9	Importancia extrema de un elemento frente a otro

2.1.- Lógica Difusa

2.1.1.- Conjuntos Difusos

Se define como conjunto difuso o borroso (Zadeh, 1965) aquel que permite describir el grado de pertenencia (o inclusión de un elemento o el valor de una variable) al concepto dado por la etiqueta que le da nombre, es decir en términos matemáticos se representa mediante la expresión $A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U\}$, donde U es el conjunto universal, x es un elemento de U , A es un conjunto difuso de U y $\mu_A(x)$ es la función de pertenencia de A en x . Cuanto mayor sea el valor de $\mu_A(x)$, mayor es el grado de pertenencia de x en A .

2.2.- Números difusos

Un número difuso (Dubois y Prade, 1978) es un conjunto difuso definido como $A = \{x, \mu_A(x)\}$, donde x es un elemento del conjunto de números reales y la función de pertenencia $\mu_A(x) \in [0, 1]$, que cumple las siguientes propiedades: (i) Constante en $(-\infty, a]$: $\mu_A(x) = 0 \forall x \in (-\infty, a]$; (ii) Estrictamente creciente en el intervalo $[a, b]$; (iii) Constante en $[b, c]$: $\mu_A(x) = 1 \forall x \in [b, c]$; (iv) Estrictamente decreciente en $[c, d]$; y (v) Constante en $[d, \infty)$: $\mu_A(x) = 0 \forall x \in [d, \infty)$; donde a, b, c, d son números reales y eventualmente $a = -\infty$, o $b = c$, o $a = b$, o $c = d$ o $d = \infty$.

Existen diversos tipos de números difusos y la mayor simplicidad de sus funciones de pertenencia se traduce en una menor complejidad en los cálculos, por eso los más habituales son los números difusos triangulares y trapezoidales, definidos con tres o cuatro parámetros respectivamente (Figura 1).

2.3.- Valores Lingüísticos

Se denomina variable lingüística (Zadeh, 1975) a aquella variable que puede tomar por valores los términos del lenguaje natural. Tales términos encajan perfectamente con la idea de un adjetivo calificativo: alto, bajo, moderado, etc. Una variable lingüística no toma valores numéricos sino valores difusos, que a su vez engloban valores numéricos, es decir se produce un proceso que se denomina "fuzzificación".

2.4.- Operaciones aritméticas con números difusos

Las operaciones aritméticas entre dos números difusos trapezoidales $A_1 = (a_1, b_1, c_1, d_1)$ y $A_2 = (a_2, b_2, c_2, d_2)$ se definen como:

$$\text{Suma difusa: } A_1 \oplus A_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2, d_1 + d_2) \quad (1)$$

$$\text{Resta difusa: } A_1 \ominus A_2 = (a_1 - d_2, b_1 - c_2, c_1 - b_2, d_1 - a_2) \quad (2)$$

Producto difuso: $A_1 \otimes A_2 \approx (a_1 \cdot a_2, b_1 \cdot b_2, c_1 \cdot c_2, d_1 \cdot d_2)$ (3)

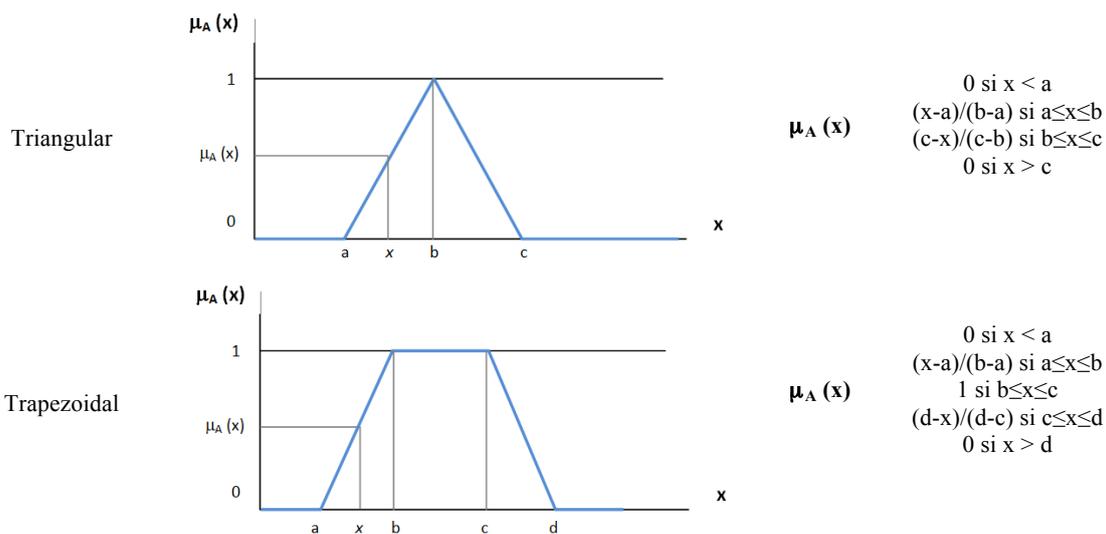
Cociente difuso: $A_1 \oslash A_2 \approx (\frac{a_1}{d_2}, \frac{b_1}{c_2}, \frac{c_1}{b_2}, \frac{d_1}{a_2})$ (4)

La multiplicación y el cociente entre números difusos trapezoidales no es un número difuso trapezoidal, si bien en la mayoría de las aplicaciones prácticas se aproxima a un número trapezoidal. Por otra parte, el producto de un escalar por un número difuso se define como:

$A_1 \cdot k = (a_1 \cdot k, b_1 \cdot k, c_1 \cdot k, d_1 \cdot k)$ si $k > 0$ (5)

$A_1 \cdot k = (d_1 \cdot k, c_1 \cdot k, b_1 \cdot k, a_1 \cdot k)$ si $k < 0$ (6)

Figura 1: Funciones de Pertenencia Triangulares y Trapezoidales. Fuente: Adaptado de Zadeh.



2.5.- Defuzzificación

En la defuzzificación el objetivo final es transformar el número difuso en un número entero. Existen diversos métodos pero el más utilizado es el método del centroide o centro de gravedad, el cual determina el centro de gravedad del conjunto salida, resultante de la unión de las contribuciones de todas las reglas válidas (Yager, 1980).

$$Y = \frac{\int_0^1 x \cdot y_i(x) d(x)}{\int_0^1 y_i(x) d(x)} \quad (7)$$

2.6.- Los números difusos en la gestión de riesgos

La introducción de los riesgos en el proceso de toma de decisiones es un aspecto que despierta mucho interés por parte de las empresas, tanto en el proceso de contratación como durante el proceso de construcción y/o puesta en marcha de la infraestructura, servicio o producto, lo que ha originado un mayor estudio y desarrollo de metodologías con números difusos en los últimos años (Bendaña, Del Caño y De la Cruz, 2008; Nieto-Morote y Ruz-Vila, 2012). La introducción de los números difusos permite evaluar riesgos en escenarios que presentan incertidumbre o cuya cuantificación o simulación numérica es compleja (Shang y Hossen, 2013; Chou, Pham y Wang, 2013).

3.- Metodología

La metodología propuesta determinará el nivel de riesgo del proyecto, aportando a la empresa información para la toma de decisiones sobre la participación en la licitación.

La metodología desarrollada se estructura en siete etapas:

1. Identificación de los riesgos
2. Definición del factor de riesgo
3. Definición de la escala lingüística
4. Evaluación de los riesgos
5. Cálculo del factor de riesgo
6. Ponderación de los riesgos
7. Clasificación de los riesgos

3.1.- Identificación de los riesgos

La identificación de riesgos es una tarea fundamental en la gestión de riesgos del proyecto, ya que supone determinar qué podría afectar al desarrollo del proyecto. Para la determinación de los riesgos es necesario un estudio del contrato o pliego de condiciones detallado por el cliente, además de identificar ciertos riesgos habituales en este tipo de proyectos. Los riesgos, serán clasificados en Riesgos Técnicos, Riesgo de Plazos, Riesgos Financieros, Riesgos Contractuales y Riesgos de Garantía.

3.2.- Definición del Factor de Riesgo

El factor de riesgo es una función que incluye la probabilidad del riesgo y el impacto del mismo (Chia, 2006). La probabilidad del riesgo es la probabilidad de que el riesgo ocurra y el impacto del riesgo es el efecto que sobre los objetivos del proyecto tendría el riesgo. Esta relación se puede presentar mediante la siguiente ecuación, la cual será utilizada en el caso de estudio:

$$F_R = I_R \times P_R \quad (8)$$

3.3.- Definición de la escala lingüística

Valorar la probabilidad y el impacto de un riesgo identificado en un proyecto es complicado, principalmente debido a la incertidumbre sobre la información de que se dispone para realizar dicha valoración. En estos casos cuando no se puede cuantificar numéricamente con exactitud los riesgos se puede recurrir a escalas lingüísticas. En esta metodología se definen las siguientes escalas:

- Probabilidad del riesgo: Muy Baja (MB), Baja (B), Media (M), Alta (A) y Muy Alta (MA).
- Impacto del riesgo: Nulo (N), Mínimo (Mi), Moderado (Mo), Grave (G) y Crítico (C).

Estos términos lingüísticos se convierten en números difusos (Tabla 2 y 3). En este caso se ha optado por funciones de pertenencia trapezoidales, que supone una menor complejidad en el cálculo.

Tabla 2: Definición y graduación del término Probabilidad del Riesgo

Identificación	Nombre	Interpretación	Numero Difuso
MB	Muy Baja	Probabilidad muy baja	(0/0/0,1/0.2)
B	Baja	Probabilidad baja	(0,1/0,25/0,25/0,4)
M	Media	Probabilidad media	(0,3/0,5/0,5/0,7)
A	Alta	Probabilidad Alta	(0,6/0,75/0,75/0,9)

MA	Muy Alta	Probabilidad Muy Alta	(0,8/0,9/1/1)
----	----------	-----------------------	---------------

Tabla 3: Definición y graduación del término Impacto del Riesgo

Identificación	Nombre	Interpretación	Numero Difuso
N	Nulo	Despreciable	(0/0/0,1/0.2)
Min	Mínimo	Impacto de pequeña envergadura	(0,1/0,25/0,25/0,4)
Mo	Moderado	Impacto a tener en cuenta	(0,3/0,5/0,5/0,7)
G	Grave	Impacto con importantes consecuencias	(0,6/0,75/0,75/0,9)
C	Crítico	Impacto muy alto para el proyecto	(0,8/0,9/1/1)

3.4.- Evaluación de riesgos

Con objeto de dotar de mayor rigurosidad a la evaluación de riesgos y abarcar todo el espectro de materias que pueden tener influencia en la evaluación de riesgos, ésta se realizará mediante un equipo multidisciplinar que evaluará de manera individual los diferentes riesgos identificados. Se realizarán las reuniones que se consideren pertinentes con objeto de aclarar conceptos o criterios de evaluación, pero no con objeto de realizar las evaluaciones conjuntas para evitar que alguno de los técnicos pueda influenciar sobre la valoración del resto de técnicos.

3.5.- Cálculo del factor de riesgo

La valoración global de la probabilidad y del impacto de riesgo se realizará a partir de las evaluaciones individuales de los expertos de acuerdo a las expresiones (9) y (10).

$$P_{Ri} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{n=1}^m P_{Ri}^n = \frac{1}{m} \cdot (P_{Ri}^1 \oplus P_{Ri}^2 \oplus \dots \oplus P_{Ri}^m) \quad (9)$$

$$I_{Ri} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{n=1}^m I_{Ri}^n = \frac{1}{m} \cdot (I_{Ri}^1 \oplus I_{Ri}^2 \oplus \dots \oplus I_{Ri}^m) \quad (10)$$

A partir de los valores globales de probabilidad y de impacto se puede calcular el valor del factor de riesgo mediante la expresión (8) y finalmente transformar a un valor real y cuantificable, es decir defuzzificar, a través del método del centroide (expresión (7)).

3.6.- Ponderación de los riesgos

En esta fase de la metodología ya se ha obtenido el factor de riesgo de cada uno de los riesgos, pero se puede dar la circunstancia de que de que hay ciertos riesgos que dependen de otros y por lo tanto tienen interdependencias entre sí, o simplemente que algunos riesgos tengan mayor importancia que otros en la decisión final. Para cuantificar la importancia de cada riesgo sobre el total del proyecto se aplicará el método AHP mediante el software *Super Decisions* (Superdecisions, 2016), donde se determinará un peso específico a cada riesgo en función de la importancia que tenga sobre el proyecto.

3.7. Clasificación de los riesgos

El último paso de la metodología es calcular el valor del Riesgo R_i como producto del factor de riesgo obtenido y del peso específico de cada uno de los riesgos, para posteriormente clasificar los riesgos de acuerdo a una serie de categorías (Tabla 4). Dado que el rango de la probabilidad y el rango de impacto se encuentran entre 0 y 1, el producto de sus valores se encontraría entre 0 y 0,1, por lo que con objeto de ser más intuitivo a la hora de clasificar y jerarquizar se multiplica por 10 para trabajar con valores entre 0 y 1.

Tabla 4: Escala de Clasificación de los Riesgos

Factor de Riesgo (F_R)			
Identificación	Nombre	Interpretación	F_R (x10)
D	Despreciable	Riesgo mínimo para el proyecto, en caso de que suceda no afectaría de una forma significativa al proyecto	[0 - 0,2)
A	Aceptable	Riesgos que puedan afectar al proyecto en mayor o menor medida, pero que son asumibles y que se considera que aunque ocurran el proyecto puede seguir hacia su objetivo final	[0,2 - 0,5)
NA	No Aceptable	Riesgos que una vez evaluados y estimados, no pueden ser aceptados en el proyecto, para ello se debería de tomar ciertas medidas para obtener un valor inferior	[0,5 - 0,8)
IN	Intolerable	Riesgos que no pueden ser aceptados incluso a pesar de existir medidas para reducirlos, se trata de riesgos que provocan la cancelación del proyecto o una medida de sobrecostes no asumibles	[0,8 - 1)

4.- Caso de Estudio

4.1.- Descripción del Contrato

El caso de estudio donde se aplica la metodología descrita consiste en el estudio de riesgos de la licitación para el diseño y suministro de dieciséis vehículos de pasajeros en la ciudad de Porto Alegre (Brasil). El contrato estipula la entrega del primer vehículo en el mes 30 tras la firma del contrato con una cadencia de un vehículo al mes. Se trata de una oferta fija, que se debe establecer en la moneda destino (reales brasileños) y que debe incluir una garantía del vehículo de dos años, aunque ciertos componentes tendrán una garantía mayor. En la Tabla 5 se muestran los principales requisitos técnicos del pliego de condiciones para los vehículos de pasajeros.

La aplicación de la metodología se realiza en una de las empresas ofertantes (fabricante de vehículos), la cual forma un consorcio con una empresa de tecnología eléctrica (70%-30%) para la licitación del diseño, construcción y suministro de los vehículos ferroviarios. El departamento financiero estima para el período del contrato una previsión de cambio de euro a real brasileño de 4,15 y establece el crecimiento del Índice de Precios al Consumo (IPC) del 4,85%. El grupo de expertos que evalúa los riesgos está compuesto por cuatro técnicos del departamento de Estudios de la empresa ofertante.

Tabla 5: Requisitos Técnicos Vehículos Pasajeros Porto Alegre. Fuente: Governo do Brasil

Vehicle length	35660 mm
Vehicle width	2650 mm
Driving design	Bidirectional
Passenger capacity: seats / tip-up seats	96/20
Passenger capacity: standees (at 4 passengers/m ²)	164
Total capacity at 4 passengers/m ²	240
Number of articulations	2 (3 cars)
Floor slopes	≤ 6%
Floor heights (from TOR)	350 / 395 / 450
Number of doors per vehicle and side	3 double and 2 single
Wheel diameters, new and fully worn (mm)	640 / 560 mm
Wheel arrangement	Bo' Bo' Bo' Bo'

4.2.- Identificación de los Riesgos

En la Tabla 6 se identifican los riesgos que pueden afectar al proyecto.

Tabla 6: Riesgos Identificados. Clasificación y Descripción

Grupos de Riesgo	Subgrupos de Riesgos	Descripción del Riesgo
Riesgos Técnicos	Peso del Vehículo	El vehículo sobrepase el peso máximo requerido en las especificaciones
	Prestaciones	Relacionado con el riesgo anterior. Debido al peso y a los motores, el vehículo no sea capaz de recorrer los itinerarios en los tiempos establecidos en las especificaciones
	Normativa estructural	Incumplimiento de algunos requerimientos de ensamble de materiales seleccionados
	Normativa de gálibo	Incumplimiento de los requisitos de gálibo de los vehículos.
	Climatización	Incumplimiento de las condiciones de climatización por errores en la simulación de las condiciones climáticas y de las pérdidas de calor del vehículo.
	Ruido	Alcancen valores de emisión superiores a los requeridos.
	Consumo eléctrico	Se supere el consumo máximo eléctrico establecido.
Riesgos de Plazo	Retraso en los suministradores	Los suministradores se retrasen en la entrega de los suministros
	Fallos en First Article Inspection (FAIs)	Fallos en los componentes diseñados y/o adaptados para los requerimientos del diseño.
	Retrasos en Homologación	El vehículo se destina a un país donde no se han entregado nunca vehículos, lo que exige una homologación, contempla un retraso en ésta
	Retrasos en el transporte	Retraso en los plazos de transporte desde fábrica hasta el país destino
	Retraso del consorte	Retraso en el diseño, suministro de los entregables de la empresa consorte, que pueden afectar a otras partes del vehículo
Riesgos Financieros	Aseguramiento de cobros	Riesgos de incumplimiento de plazos de cobros o incluso de impagos debido a problemas económicos y políticos del país origen
	Derivados del tipo de cambio	Modificación en la estimación del cambio de divisa debido a problemas económicos y políticos del país destino
	Quiebra del Consorte	Problemas financieros del consorte
	IPC variable en el tiempo	Modificación en la estimación del IPC debido a problemas económicos y/o políticos
	Impuestos	Fallos en la estimación de los impuestos derivados de la legislación internacional y/o del país destino
Riesgos Contractuales	Fiabilidad	Incumplimiento de la fiabilidad del vehículo de acuerdo a las prescripciones
	Disponibilidad	Incumplimiento de la disponibilidad (número de horas que están todos los

		vehículos en funcionamiento)
	Mantenibilidad	Sobrecoste en las tareas de mantenimiento especificadas
	Cumplimiento legislativo	Incumplimiento de algún término legislativo
Riesgos de Garantía	Fallos Sistémicos	Aparición de fallos en equipos iguales y que se repiten en varias ocasiones
	Sistema de Tracción	El plazo de garantía es de 5 años. Se trata de un riesgo asociado a los entregables de la empresa consorte.
	Sistema de Freno	El plazo de garantía es de 3 años. Fallos en los sistemas de frenado.
	Aire Acondicionado	El plazo de garantía es de 3 años. Fallos en el sistema de aire acondicionado.
	Motor de Tracción	El plazo de garantía es de 5 años. Se trata de un riesgo asociado a los entregables de la empresa consorte.
	Pintura	El plazo de garantía es de 8 años. Contaminación de la base o de la pintura durante el pintado

4.3.- Evaluación del Riesgo

A continuación, para cada uno de los riesgos y previa consulta a las unidades funcionales de la empresa, se analiza que podría pasar si el riesgo se materializara. Y con esa información y en base a las escalas definidas en las Tablas 2 y 3 cada experto procede a evaluar cada uno de los riesgos. A modo de ejemplo en la Tabla 7 se muestra la evaluación del riesgo "Prestaciones" correspondiente al grupo de riesgos técnicos.

4.3.- Cálculo del Factor de Riesgo

El factor de riesgo FR se calcula mediante la expresión (8), pero al tratarse de números difusos la multiplicación se realiza de acuerdo a la expresión (3). Para el caso del Riesgo de Prestaciones se obtiene un valor de $F_R = (0,0487; 0,1476; 0,1726; 0,3237)$, aplicando el teorema del centroide (expresión 7) se obtiene un Factor de Riesgo cuyo valor numérico es de 0,1688. En la Tabla 9 se presentan los resultados en valores enteros y reales de los factores de riesgos de los riesgos identificados y evaluados.

Tabla 7: Evaluación del riesgo Prestaciones

Riesgo: Prestaciones	Las prestaciones del vehículo corresponden al tiempo que tarda el vehículo en recorrer ciertos itinerarios marcados por el cliente. En este caso el departamento de ingeniería ha estimado que en la peor de las situaciones se podría producir una desviación de 20 segundos en el servicio. Según la estimación de penalizaciones del cliente, eso podría suponer un coste de 912.000 euros adicionales.									
Evaluadores	Probabilidad					Impacto				
	MB	B	M	A	MA	N	Min	Mo	G	C
Evaluador 1		X							X	
Evaluador 2			X						X	
Evaluador 3	X								X	
Evaluador 4			X							X

Estas valoraciones lingüísticas, de acuerdo a las escalas difusas definidas en las Tablas 2 y 3 se convierten en los valores definidos en la Tabla 8. A partir de las expresiones 6 y 7 se calcula el valor global que se presenta en la última fila.

Tabla 8: Evaluación del riesgo Prestaciones

Evaluador	Probabilidad					Impacto				
	Evaluador 1	B	0,1	0,25	0,25	0,4	G	0,6	0,75	0,75
Evaluador 2	M	0	0	0,1	0,2	G	0,6	0,75	0,75	0,9
Evaluador 3	MB	0,1	0,25	0,25	0,4	G	0,6	0,75	0,75	0,9
Evaluador 4	M	0,1	0,25	0,25	0,4	C	0,8	0,9	1	1
Global		0,075	0,1875	0,2125	0,35		0,65	0,7875	0,8125	0,925

Tabla 9: Valores del Factor de Riesgo (F_R)

Riesgos	F_R Difuso				F_R
Técnicos					
Peso	0,0656	0,1758	0,2025	0,3562	0,1964
Prestaciones	0,05	0,15	0,17	0,32	0,1688
Normativa Estructural	0,00	0,00	0,08	0,18	0,0550
Normativa de Gálibo	0,00	0,00	0,10	0,20	0,0666
Climatización	0,03	0,12	0,13	0,28	0,1356
Consumo	0,07	0,19	0,19	0,37	0,1977
Plazos					
Retraso en los Suministradores	0,0038	0,0195	0,0429	0,1187	0,0412
Mala Planificación	0,04	0,12	0,13	0,28	0,1329
Fallos en FAls	0,07	0,20	0,20	0,37	0,2058
Retrasos en la Homologación	0,04	0,11	0,18	0,30	0,1525
Retrasos en el Transporte	0,00	0,00	0,01	0,05	0,0129
Retrasos en el Consorte	0,02	0,08	0,09	0,22	0,0979
Financieros					
Aseguramiento de cobros	0,2111	0,2925	0,4063	0,6243	0,3721
Derivados del tipo de cambio	0,04	0,14	0,14	0,30	0,1468
Quiebra del consorte	0,02	0,05	0,13	0,24	0,1046
Estimación errónea del IPC	0,03	0,11	0,11	0,18	0,1070
Impuestos	0,17	0,35	0,35	0,63	0,3675
Retrasos en el Consorte	0,02	0,08	0,09	0,22	0,0979
Contractuales					
Fiabilidad	0,05	0,1640	0,1406	0,3437	0,1671
Disponibilidad	0,17	0,35	0,35	0,63	0,3675
Mantenibilidad	0,04	0,14	0,14	0,30	0,1500
Legislación local	0,05	0,15	0,17	0,32	0,1688
Cambios legislativos	0,00	0,00	0,10	0,20	0,0666
Garantía					
Fallo sistémico	0,10	0,2734	0,2734	0,50	0,2822
Sistema de Tracción	0,03	0,09	0,13	0,26	0,1225
Sistema de Frenos	0,03	0,10	0,14	0,27	0,1293
Aire Acondicionado	0,11	0,28	0,28	0,53	0,2937
Motor de Tracción	0,01	0,04	0,09	0,33	0,0985
Pintura	0,08	0,22	0,22	0,44	0,2312

4.4.- Cálculo de la importancia de los Riesgos

Aplicando la metodología AHP sobre los diferentes riesgos y utilizando el software Superdecisions, mediante el juicio de los cuatro evaluadores se obtiene la importancia de los grupos y subgrupos de riesgos. En este ejemplo se ha considerado que todas los grupos de riesgos son igual de importantes entre sí. Los datos se muestran en la columna w_i de la Tabla 10.

4.5.- Cálculo del valor del Riesgo Final y Clasificación

Finalmente en la Tabla 10 se muestra el valor final del Riesgo R_i , obtenido de la multiplicación del valor del Factor de Riesgo F_R por el peso del Riesgo w_i en el global

del análisis y se categoriza de acuerdo a la clasificación establecida previamente en la Tabla 4.

Tabla 10: Valor y Clasificación del Riesgo R_i

Riesgos	F_R	w_i	R_i	$R_i (x10)$	Clasificación
Técnicos					
Peso	0,1964	0,1666	0,03272	0,3272	Aceptable
Prestaciones	0,1688	0,1624	0,02742	0,2742	Aceptable
Normativa Estructural	0,0550	0,1883	0,01035	0,1035	Despreciable
Normativa de Gálibo	0,0666	0,1883	0,01255	0,1255	Despreciable
Climatización	0,1356	0,1435	0,02014	0,2014	Aceptable
Consumo	0,1977	0,1507	0,02979	0,2979	Aceptable
Plazos					
Retraso en los Suministradores	0,0412	0,1422	0,00586	0,0586	Despreciable
Mala Planificación	0,1329	0,1673	0,02223	0,2223	Aceptable
Fallos en FAIs	0,2058	0,1666	0,03430	0,3430	Aceptable
Retrasos en la Homologación	0,1525	0,1563	0,02384	0,2384	Aceptable
Retrasos en el Transporte	0,0012	0,2067	0,00026	0,0026	Despreciable
Retrasos en el Consorte	0,0097	0,1607	0,00157	0,0157	Despreciable
Financieros					
Aseguramiento de cobros	0,3721	0,2000	0,07443	0,7443	No Aceptable
Derivados del tipo de cambio	0,1487	0,1903	0,02831	0,2831	Aceptable
Quiebra del consorte	0,1046	0,2463	0,02578	0,2578	Aceptable
Estimación errónea del IPC	0,1070	0,1840	0,01970	0,1970	Aceptable
Impuestos	0,3675	0,1792	0,06588	0,6588	No Aceptable
Contractuales					
Fiabilidad	0,1671	0,1869	0,03126	0,3126	Aceptable
Disponibilidad	0,3675	0,1752	0,06441	0,6441	No Aceptable
Mantenibilidad	0,1500	0,2000	0,03000	0,3000	Aceptable
Legislación local	0,1688	0,2188	0,03695	0,3695	Aceptable
Cambios legislativos	0,0666	0,2188	0,01459	0,1459	Aceptable
Garantía					
Fallo sistémico	0,2822	0,1553	0,04385	0,4385	Aceptable
Sistema de Tracción	0,1225	0,1762	0,02159	0,2159	Aceptable
Sistema de Frenos	0,1293	0,1762	0,02280	0,2280	Aceptable
Aire Acondicionado	0,1293	0,1666	0,02156	0,2156	Aceptable
Motor de Tracción	0,0985	0,1762	0,01736	0,1736	Despreciable
Pintura	0,2315	0,1492	0,03450	0,3450	Aceptable

De acuerdo a la evaluación realizada y a la clasificación establecida se deberían establecer salvaguardas o medidas preventivas para los riesgos Financieros: Aseguramiento de Cobros e Impuestos y para el riesgo Contractual: Disponibilidad.

Respecto a los riesgos financieros, la inestabilidad político-económica de Brasil genera un elevado nivel de riesgo en los cobros, en la fluctuación monetaria e incluso en los impuestos nacionales, lo que genera que este riesgo se deba asumir por parte de la empresa o que se interpongan cláusulas en la negociación de los términos de contrato que permitan dotar de mayor seguridad financiera al adjudicatario. En cuanto a los riesgos contractuales, el riesgo "Disponibilidad de los vehículos" está asociado a la mantenibilidad y a la fiabilidad del vehículo. Se trata de un producto totalmente nuevo, de modo que existe un porcentaje de componentes de nuevo desarrollo, por lo que

existe una mayor posibilidad de fallos o de mayores necesidades de mantenimiento, en especial en zonas con climas tropicales y con gran afluencia de pasajeros.

5.- Conclusiones

En esta comunicación se ha desarrollado una metodología para la apreciación de riesgos en la fase de preparación de ofertas de contratación de diseño y construcción de vehículos ferroviarios. Esta metodología se basa en la identificación de la probabilidad de la ocurrencia del riesgo y en el impacto que tendría éste en caso de suceder. Dado que para proyectos de este tipo (en la gran mayoría de ocasiones no se ha diseñado/fabricado ningún vehículo similar o no se ha trabajado en el país destino o con el órgano contratante) la estimación de estos parámetros se realiza en escenarios de incertidumbre se utiliza la lógica difusa para la determinación de los parámetros que definen el nivel de riesgo. La importancia de los diferentes riesgos en el global de la decisión se obtiene mediante la aplicación del método AHP.

Esta metodología de gestión de riesgos puede ser reproducible para otro tipo de actividades en fases tempranas del proyecto y/o con niveles de incertidumbre en las probabilidades o en los impactos de los riesgos del proyecto.

6.- Referencias

- Asociación Española de Normalización (AENOR). (2010). UNE-ISO 31.000:2010. Gestión del Riesgo. Principios y Directrices.
- Asociación Española de Normalización (AENOR). (2011). UNE-EN 31.010:2011. Gestión del Riesgo. Técnicas de Apreciación del Riesgo.
- Bendaña, R., Del Caño, A., De la Cruz, P. (2008). Contractor selection: fuzzy control approach. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 35 (5), 473-486.
- Chia, S. E. (2006). Risk assessment framework for Project Management. *IEEE*
- Chou, J.S., Pham, A.D., Wang, H. (2013) Bidding strategy to support decision-making by integration Fuzzy AHP and Regression based simulation. *Automation in Construction*, 35(11), 517-527.
- Dubois, D. & Prade, H. (1994). Fuzzy Sets: A Convenient Fiction for Modeling Vagueness and Possibility. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2, 6-21.
- Nieto-Morote, A., Ruz-Vila, F. (2012). A fuzzy multi-criteria decision-making model for construction contractor prequalification. *Automation in Construction*, 25, 8-19.
- Project Management Institute. (2013). Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK). 5ª Edición. Project Management Institute Inc.: Newtown Square, Pensilvania
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process* (p. 287). Ed. McGraw-Hill.
- Shang, K. & Hossen, Z. (2013). Applying Fuzzy Logic to Risk Assessment and Decision-Making. Ed: Casualty Actuarial Society. Canadian Institute of Actuaries. Society of Actuaries.
- Superdecisions (2015). Obtenido de: www.superdecisions.com/Downloads.
- Wallenius, J., Dyer, J.S., Fishburn, P.C., Steuer, R.E., Zionts, S. & Deb, K. (2008). Multiple criteria decision making multiattribute utility theory: recent accomplishments and what lies ahead. *Management Science*, 54, 1336-1349.
- Yager, R.R. (1980). On a general class of fuzzy connectives. *Fuzzy Sets & Systems*, 4, 235-242.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information Control*, 8, 338-353.

Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning. Part I. *Information Science*, 8, 199-249; Part II. *Information Science*, 8, 301-357; Part III, *Information Science*, 9, 43-80.