



industriales  
etsii

Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Industrial

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Industrial

## Análisis cualitativo de riesgos del proyecto utilizando técnicas fuzzy.

TRABAJO FIN DE MASTER

MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Autor:** Antonio García Bermúdez  
**Director:** Ana Nieto Morote

Cartagena, Junio de 2019



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



## **AGRADECIMIENTOS**

A mi tutora Ana Nieto Morote por su paciencia y buen hacer. Por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo y por las clases impartidas en el Máster.

A mi padre y a mi madre por darme una educación de calidad y enseñarme el placer de la lectura, sobre todo de la ciencia ficción.

A mis hermanos por ser un ejemplo a seguir.

Y también a todos los académicos del mundo habidos y por haber. Porque como ya dijo el célebre Isaac Newton: "si he visto más lejos es porque estoy sentado sobre hombros de gigantes."



## INFORMACIÓN

Autor	Antonio García Bermúdez
Director	Ana María Nieto Morote
Titulación	Máster en Ingeniería Industrial
Departamento	Electrón.,Tecnol. Computadoras y Proyectos
Título del trabajo	Análisis cualitativo de riesgos del proyecto utilizando técnicas fuzzy.
Title of the work	Qualitative risk analysis by fuzzy techniques

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es aplicar a un proyecto de construcción un sistema de riesgos mediante el uso de los principios de la lógica difusa, es decir, valorar en términos lingüísticos la probabilidad y el impacto de cada uno de los diferentes riesgos para posteriormente clasificarlos en función de su prioridad.

Para lograrlo se ha llevado a cabo una revisión de las metodologías de Gestión de Riesgos y de las propuestas que se han realizado previamente en este campo de la mano de diferentes autores. Ha sido también necesario desarrollar los principios básicos relativos a la Lógica Difusa, necesarios para transformar la matriz de probabilidad-impacto, usada en las propuestas convencionales, en una "matriz fuzzy".

Después, se ha implementado el modelo definido mediante la Fuzzy Logic Toolbox de Matlab y se ha aplicado el sistema implementado a un caso concreto de un proyecto de construcción.

**Palabras clave:** construcción, fuzzy, gestión de riesgos.

## ABSTRACT

The aim of this project is to apply a Risk system to a building project using fuzzy logic principles. This means assessing the probability and impact of the different risk to rank them.

To reach this, a review of the main Risk Management Methods and a bibliographic review of the proposals previously in this field by different authors have been realized. It has also been necessary to develop the basic principles related to Fuzzy Logic, needed to transform the impact-probability matrix used in the conventional methods to a fuzzy matrix.

Then, an implementation of the defined system using the Fuzzy Logic Toolbox in Matlab has been realized. Finally the system has been applied to a particular building project case.

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	3
INFORMACIÓN .....	5
RESUMEN .....	5
ABSTRACT .....	5
1. ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE GESTIÓN DE RIESGOS .....	5
1.1. PRINCE2.....	5
1.1.1. IDENTIFICACIÓN .....	7
1.1.2. EVALUACIÓN .....	7
1.1.3. PLANIFICACIÓN.....	7
1.1.4. IMPLEMENTACIÓN .....	8
1.1.5. COMUNICACIÓN.....	9
1.2. PMBOK .....	9
1.2.1. PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN DE RIESGOS.....	10
1.2.2. IDENTIFICACIÓN .....	11
1.2.3. ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS .....	12
1.2.4. ANÁLISIS CUANTITATIVO.....	12
1.2.5. PLANIFICACIÓN DE LA RESPUESTA A LOS RIESGOS.....	13
1.2.6. CONTROL DE LOS RIESGOS.....	14
1.3. RAMP .....	15
1.3.1. INICIALIZACIÓN DEL PROCESO .....	16
1.3.2. REVISIÓN DE LOS RIESGOS .....	16
1.3.3. RESPUESTA A LOS RIESGOS .....	17
1.3.4. MONITOREO Y CONTROL .....	18
1.3.5. CIERRE DEL PROCESO .....	19
1.4. IRM .....	19
1.4.1. ANÁLISIS .....	19
1.4.2. EVALUACIÓN .....	20
1.4.3. INFORME DEL RIESGO Y COMUNICACIÓN .....	20
1.4.4. TRATAMIENTO DEL RIESGO.....	21
1.4.5. MONITORIZACIÓN.....	22
1.5. COMPARATIVA .....	22
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS.....	25

2.1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS .....	25
2.2. PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS .....	30
3. LÓGICA DIFUSA.....	34
3.1. CONJUNTOS DIFUSOS.....	34
3.2. NÚMEROS DIFUSOS.....	36
3.3. VALORES LINGÜÍSTICOS .....	37
3.4. OPERACIONES ARITMÉTICAS CON NÚMEROS DIFUSOS .....	37
3.5. REGLAS IF-THEN .....	38
3.5.1. Fuzzyficación de las entradas.....	39
3.5.2. Aplicación de los operadores difusos.....	39
3.5.3. Aplicación del método de implicación .....	40
3.5.4. Agregación de todas las salidas.....	41
3.5.5. Defuzzyficación .....	42
3.5.5. El diagrama de inferencia difusa .....	44
4. MÉTODO DIFUSO PROPUESTO .....	46
4.1. FASE PRELIMINAR: ESTABLECIMIENTO DEL GRUPO DE EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS .....	46
4.2. DEFINICIÓN DE LA ESCALA LINGÜÍSTICA-DIFUSA Y DE LAS REGLAS IF-THEN.....	46
4.2.1 VALORACIONES LINGÜÍSTICAS-DIFUSAS DE LAS VARIABLES .....	46
4.2.1.2 Definiciones lingüísticas y difusas .....	46
4.2.2. REGLAS IF-THEN .....	47
4.3. APLICACIÓN DEL ALGORITMO DE EVALUACIÓN .....	49
4.3.1 AGREGACIÓN DE LAS ENTRADAS .....	50
4.3.2. AGREGACIÓN DE LAS SALIDAS .....	50
4.3.3. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN .....	50
5. APLICACIÓN PRÁCTICA .....	52
5.1. FASE PRELIMINAR: ESTABLECIMIENTO DEL GRUPO DE EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS .....	52
5.2. DEFINICIÓN DE LA ESCALA LINGÜÍSTICA-DIFUSA Y DE LAS REGLAS IF-THEN.....	52
5.3. APLICACIÓN DEL ALGORITMO DE EVALUACIÓN .....	53
5.3.1. APLICACIÓN UNIEXPERTO .....	53
5.3.2. APLICACIÓN MULTIEXPERTO.....	55
5.4. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	56
6. CONCLUSIONES .....	59
7. BIBLIOGRAFÍA .....	60

ANEXO 1. ENTRADAS EN LA GESTIÓN DE RIESGOS .....	62
A1.1. Plan para la dirección del proyecto.....	62
A1.2. El Acta de constitución.....	62
A1.3. Registro de interesados .....	62
A1.4. Factores ambientales de la empresa .....	62
A1.5. Activos de los procesos de la organización.....	62
A1.6. Plan de gestión de costos.....	62
A1.7. Plan de gestión del cronograma .....	63
A1.8. Plan de gestión de calidad: .....	63
A1.9. Plan de gestión de recursos humanos .....	63
A1.10. Línea base del alcance .....	63
A1.11. Estimación de los costos de las actividades:.....	63
A1.12. Estimación de la duración de las actividades.....	64
A1.13. Documentos del proyecto.....	64
A1.14. Documentos de las adquisiciones.....	64
A1.15. Datos de desempeño del trabajo.....	64
A1.16. Informes de desempeño del trabajo.....	64
ANEXO 2. TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DE LA GESTIÓN DE RIESGOS .....	65
A2.1. Técnicas Analíticas .....	65
A2.2. Juicio de Expertos .....	65
A2.3. Revisiones a la documentación.....	65
A2.4. Técnicas de recopilación de información.....	65
A2.5. Análisis con lista de verificación .....	65
A2.6. Análisis de supuestos .....	65
A2.7. Técnicas de diagramación .....	65
A2.8. Análisis FODA .....	66
A2.9. Matriz de probabilidad e impacto.....	66
A2.10. Evaluación de la calidad de los datos sobre riesgos .....	66
A2.11. Categorización de riesgos .....	66
A2.12. Técnicas de recopilación y representación de datos .....	66
A2.13. Estrategias para riesgos negativos o amenazas.....	66
A2.14. Estrategias para riesgos positivos u oportunidades .....	67
A2.15. Estrategias de respuesta contingentes .....	67
A2.16. Reevaluación de los riesgos .....	67



A2.17. Auditorías de riesgos:.....	67
ANEXO 3. INTRODUCCIÓN A LA HERRAMIENTA DE MATLAB PARA CONJUNTOS DIFUSOS ...	68
A3.1. Las 5 herramientas de la Fuzzy Logic Toolbox .....	68
A2.2. Introducción a la Fuzzy Logic Toolbox mediante un ejemplo .....	69
2.6.3. Funciones de display del sistema .....	72

## 1. ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE GESTIÓN DE RIESGOS

Un **Riesgo** es un evento o una cadena de eventos surgida de la incertidumbre del proyecto que, en el caso de ocurrir, tiene un efecto positivo o negativo en la consecución de los objetivos de dicho proyecto, como pueden ser el alcance, el coste, la planificación, la calidad o el rendimiento. Está compuesto por dos características esenciales: la probabilidad de su ocurrencia y magnitud de impacto en los objetivos del proyecto.

La **Gestión de Riesgos** se usa para actuar proactivamente sobre estos riesgos en vez de esperar su ocurrencia. De esta manera se reducen y se incrementa la posibilidad de éxito del proyecto.

En la actualidad existen 4 propuestas distintas de la Gestión de Riesgos:

- PRINCE2.
- PMBOK.
- RAMP.
- IRM.

A continuación se verán en detalle cada una de las propuestas mencionadas.

### 1.1. PRINCE2

Acrónimo de PProjects IN a Controlled Environment, PRINCE2 tomó las ideas de la antigua metodología PRINCE, ampliando el método para poder ser usado en todos los tipos de industrias y proyectos. Así, define la Gestión de Riesgos como *la aplicación del sentido común que el ser humano usa en el día a día para evitar posibles riesgos en nuestra vida*. La última revisión relevante al método fue en el año 2009.

La propuesta plantea las siguientes preguntas:

- ¿Qué puede ir mal?
- ¿Qué puede hacer el equipo (o el plan) para reducir los efectos de los riesgos en el proyecto?
- ¿Qué oportunidades se pueden presentar?
- ¿Qué puede hacer el equipo para aumentar los efectos de estas oportunidades en el proyecto?

Por otro lado, explica que pueden presentarse dos tipos de eventos inciertos: las **amenazas** (efecto negativo en el proyecto) y las **oportunidades** (efecto positivo). La palabra *riesgo* la usa tanto para posibles oportunidades como amenazas.

Por otra parte, PRINCE2 define la **proximidad** como el marco temporal en el que puede ocurrir el riesgo. De esta manera, la proximidad puede ser distinta en función de si hablamos de riesgos inminentes, riesgos dentro del escenario, dentro del proyecto o más allá del proyecto. En ciertos casos también puede indicar la probabilidad de suceso (por ejemplo, en invierno la probabilidad de que llueva será mayor).

Este método incrementa la posibilidad de detección de nuevos posibles problemas mediante la distribución de los riesgos en distintas áreas, centrándose en un rango determinado. Esto es ordenarlos en **categorías**. Así, en función del tipo de respuesta, los riesgos se dividen en las siguientes categorías:

- **Evitar:** evade la ocurrencia del riesgo o se asegura de que no afecte de ninguna manera al proyecto.
- **Reducir:** disminuye la probabilidad de ocurrencia o el impacto del riesgo.

A continuación, se define una metodología a seguir para la Gestión de Riesgos cuyas etapas vienen representadas en la figura 1.1 y son las siguientes:

1. Identificación de los riesgos.
2. Evaluación de los riesgos.
3. Planificación de las respuestas a los riesgos.
4. Implementación de las respuestas.
5. Comunicación de la situación del riesgo.

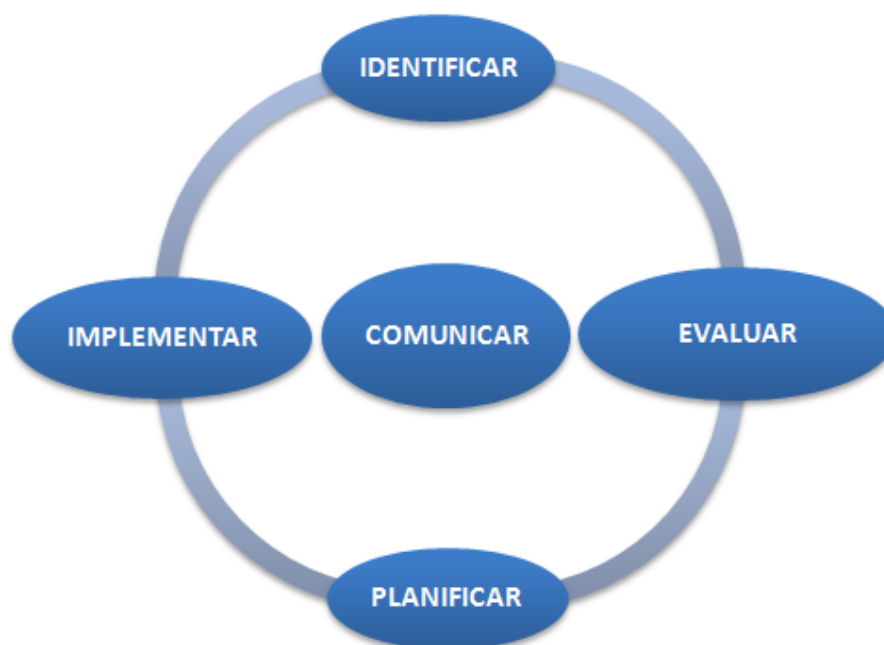


Figura 1.1 - Fases del proceso PRINCE2.

### 1.1.1. IDENTIFICACIÓN

A lo largo del ciclo de vida del proyecto, el equipo debe asegurarse de que las amenazas y oportunidades potenciales queden identificadas y mencionadas en el Registro de Riesgos mediante las siguientes acciones:

- Identificación del contexto del riesgo atendiendo a las características generales del proyecto y al medio que lo rodea para así decidir como de arriesgado es.
- Identificación de cada uno de los riesgos individuales del proyecto.

Es importante tener en cuenta que en algunos proyectos unos objetivos pueden ser más arriesgados que otros, como por ejemplo aquellos que involucren terceras partes o sean internacionales.

Para la correcta realización de esta fase, PRINCE2 recomienda identificar primero la **causa** de cada riesgo, el **evento** o posibles consecuencias que le seguirán y el **efecto** (cómo pueden ser afectados los objetivos del proyecto).

### 1.1.2. EVALUACIÓN

En esta fase se establecen dos tareas principales:

- Estimar la probabilidad de ocurrencia, impacto y proximidad de cada riesgo individualmente.
- Evaluar la exposición conjunta a riesgos del proyecto.

Al principio, es necesario medir cada riesgo individualmente para decidir cuales presentan una amenaza más seria o una mejor oportunidad para los objetivos del proyecto. Después se evalúa en conjunto la exposición del proyecto a esos riesgos.

### 1.1.3. PLANIFICACIÓN

En tercer lugar, se llevará a cabo la planificación de una o más respuestas. PRINCE2 sugiere una serie de contramedidas para los riesgos que quedan reflejadas en la siguiente tabla:

Respuestas a la amenaza	Respuestas a la oportunidad
Evitar	Explotar
Reducir (probabilidad o impacto)	Aumentar
Retirada	
Transferir (solo reduce el impacto financiero)	
Compartir	Compartir
Aceptar	Rechazar

Tabla 1.1 - Respuestas en función del tipo de riesgo

- Evitar: anula el impacto y/o la probabilidad de ocurrencia del riesgo.
- Reducir: disminuye el impacto y/o probabilidad de ocurrencia del riesgo.
- Retirada: lleva a cabo una acción planeada cuando sucede el riesgo.
- Transferir: transmite una parte del potencial de impacto del riesgo a una tercera parte.
- Compartir: comparte el riesgo con una tercera parte. Se puede aplicar tanto a oportunidades como amenazas.
- Aceptar: cuando el coste de respuesta al riesgo es superior a su impacto, se decide aceptarlo para monitorearlo.
- Explotar: se asegura de que la oportunidad ocurra y tenga un impacto favorable en el proyecto.
- Aumentar: incrementa la probabilidad o el impacto de la oportunidad.
- Rechazar: se decide de manera deliberada no aumentar o explotar la oportunidad.

#### 1.1.4.IMPLEMENTACIÓN

En esta fase, el Project Manager recopila todas las buenas ideas que han sido generadas durante la fase planificación y las aplica al proyecto. Debido a ello, es importante que cada entrada del Registro de Riesgo presente las siguientes figuras:

- **Propietario de riesgo:** debe haber uno por cada riesgo, encargándose de monitorearlo y gestionar cualquier acción correctiva o contramedida. Un requisito imprescindible es que posea experiencia previa en el área en cuestión (por ejemplo, el propietario de un riesgo legal será un abogado de la compañía).
- **Ejecutor de riesgo:** es la figura que realmente ejecuta la acción correctiva.

Por otra parte, como se puede ver en la Figura 1.2, la respuesta a un riesgo inherente o inicial puede eliminar parcialmente el problema, dejando un riesgo residual o incluso introducir un nuevo riesgo de naturaleza secundaria.



Figura 1.2 - Tipos de riesgos en función de su procedencia.

### 1.1.5. COMUNICACIÓN

Esta fase está posicionada en el centro del diagrama representado en la Figura 1.1 debido a que es vital para la eficiente gestión de los riesgos. Así, el Project Manager deberá asegurarse de que durante el resto de fases haya una buena comunicación y se le pregunte su opinión a cada uno de los miembros del equipo de gestión de riesgos u otros involucrados en el proyecto.

En definitiva, para que el proceso de monitoreo sea efectivo, es necesario que el Project Manager se comunique de manera cercana con todos los involucrados.

## 1.2. PMBOK

La Guía de los Fundamentos para la Dirección de proyectos (Guía del PMBOK) proporciona directrices para la dirección de los proyectos, además de describir su ciclo de vida y los procesos relacionados. En esta propuesta, la gestión de los riesgos del proyecto incluye los procesos necesarios para llevar a cabo la planificación de riesgos, así como la identificación, análisis, planificación de la respuesta y el **control** de los riesgos. Todos estas fases interactúan entre sí.

Según PMBOK, los riesgos tienen su origen en la incertidumbre que caracteriza los proyectos. Así, las organizaciones perciben el riesgo como un efecto positivo (oportunidades) o negativo (amenazas) sobre los objetivos del proyecto (alcance, cronograma, costo y calidad). En cuanto a la actitud de la organización y los interesados frente al riesgo, esta se ve afectada por unos factores que se clasifican en las siguientes tres categorías:

- **Apetito de riesgo:** grado de incertidumbre el cual la entidad se dispone a aceptar a cambio de la recompensa.
- **Tolerancia al riesgo:** grado, cantidad o volumen de riesgo que podrá resistir la organización o el individuo.
- **Umbral de riesgo:** nivel de impacto del riesgo en el que un interesado puede tener particular interés. Por encima del umbral de riesgo será aceptado, mientras que por debajo lo contrario.

Para alcanzar el éxito, la organización debe comprometerse a abordar la gestión de riesgos del proyecto de una manera proactiva y consistente durante el desarrollo del mismo. De lo contrario, se encontrarán con un mayor número amenazas no gestionadas, y por ende, de problemas. Al igual que PRINCE2, el proceso de gestión de riesgos del PMBOK se divide en las siguientes fases:

1. Planificación de la Gestión de los Riesgos.
2. Identificación de los Riesgos.
3. Análisis Cualitativo de Riesgos.
4. Análisis Cuantitativo de Riesgos.
5. Planificación de la Respuesta a los Riesgos.
6. Control de los Riesgos.

### 1.2.1. PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN DE RIESGOS

Esta fase se realiza para asegurar que el nivel, el tipo y la visibilidad de la Gestión de Riesgos son acordes tanto a los distintos riesgos como a la importancia del proyecto para la organización. De este modo se obtiene un Plan de Gestión de los Riesgos que describe (mediante una metodología, roles y responsabilidades de los miembros del equipo, presupuesto y calendario) el modo en el que se estructurarán y se llevarán a cabo las actividades de la Gestión de Riesgos. Además, también facilita la ordenación de las causas potenciales de los riesgos en unas categorías, así como la matriz probabilidad-impacto que prioriza los riesgos en función de su importancia (alta, moderada o baja).

Para elaborar correctamente este Plan de Gestión de Riesgos, es necesaria la aplicación de técnicas analíticas, juicios de expertos y reuniones a una serie de datos de partida concernientes al proyecto que son explicados en el **Anexo 1**. En cuanto a las herramientas y técnicas, estas aparecen descritas en el **Anexo 2**.

Para sintetizar, la figura 1.3 muestra el diagrama de flujo de la fase:

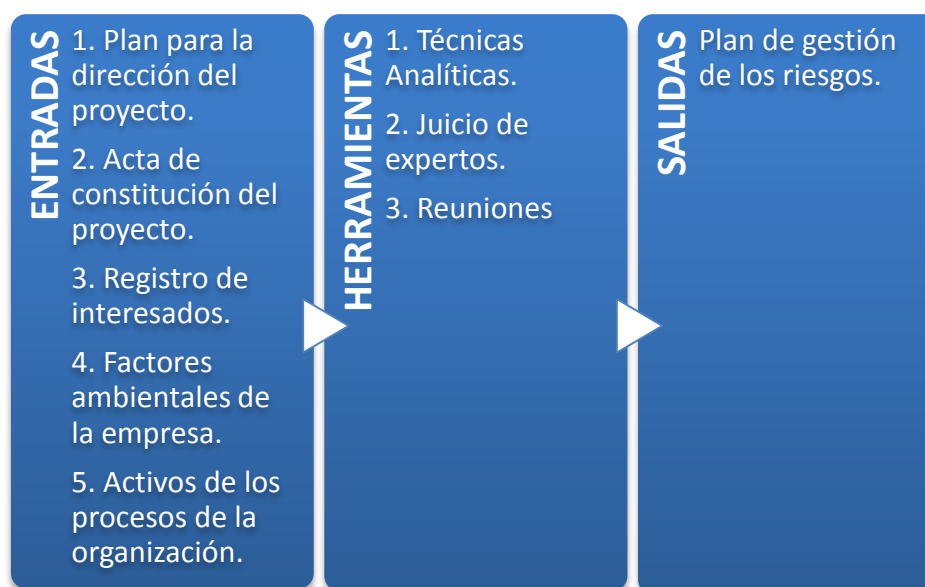


Figura 1.3 - Diagrama de flujo de la fase de planificación de la gestión de riesgos

### 1.2.2. IDENTIFICACIÓN

En segundo lugar, a partir de una serie de planes de gestión y datos de entrada, se determinan y documentan los riesgos por los que puede ser afectado el proyecto mediante otra serie de herramientas de trabajo. Así, se obtiene el **Registro de Riesgos**, que confiere al equipo del proyecto la capacidad de anticipar los eventos. En la figura 1.4 se presenta un diagrama de flujo de esta fase. De nuevo, las entradas y herramientas de esta fase quedan descritas en los Anexos 1 y 2.

Además, esta fase destaca por su naturaleza iterativa ya que está sujeta a una continua evolución y un descubrimiento de nuevos riesgos a lo largo del ciclo de vida.

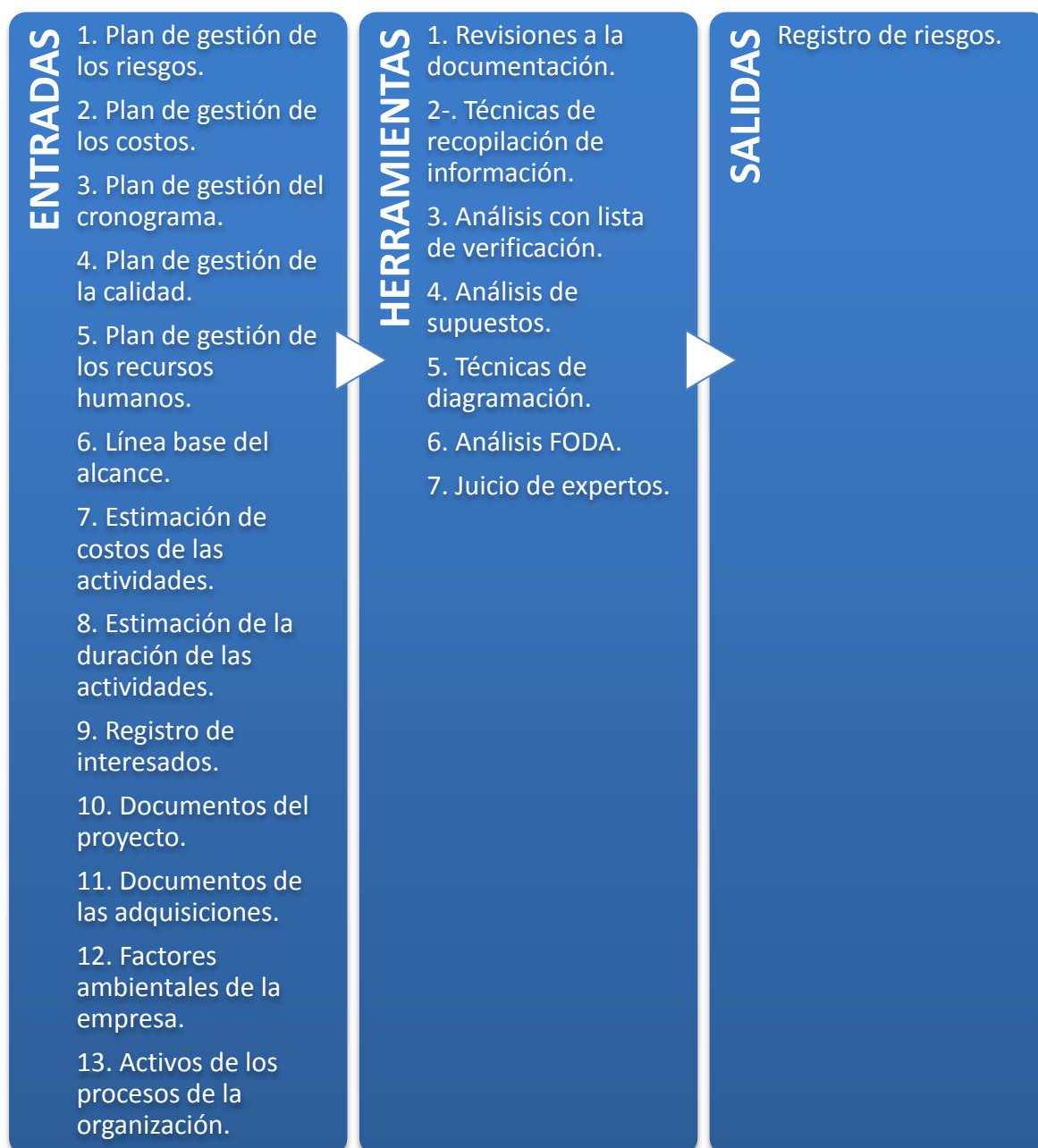


Figura 1.4 - Diagrama de flujo de la fase de identificación.



### 1.2.3. ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS

En esta etapa se evalúan los riesgos tras combinar sus probabilidades de ocurrencia e impactos, obteniendo una jerarquización por prioridades que permite a los Project Managers reducir el nivel de incertidumbre y concentrarse en los riesgos con prioridad más alta. Tras la aplicación, se obtienen las **actualizaciones a los documentos del proyecto**: al registro de riesgos (evaluaciones de probabilidad e impacto, clasificación y calificación de riesgos, etc.) y al registro de supuestos.

De nuevo, en la figura 1.5. tenemos el diagrama de flujo de la fase de análisis cualitativo. Las entradas y herramientas implicadas quedan descritas en los Anexos 1 y 2.

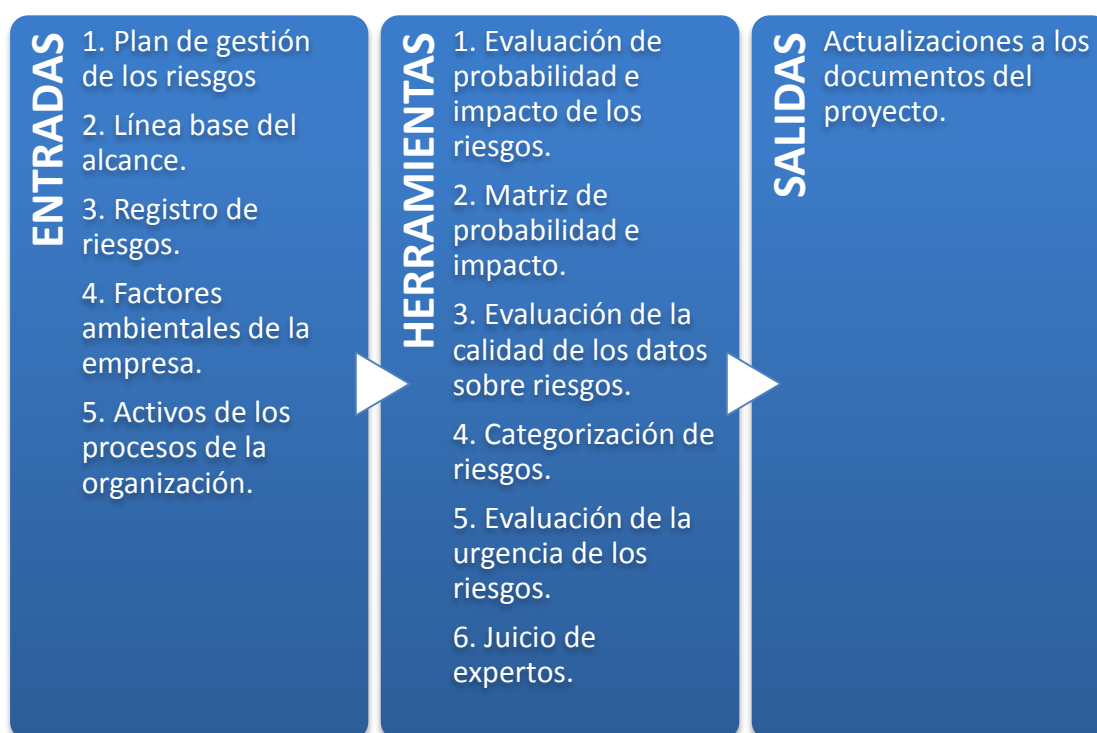


Figura 1.5 - Diagrama de flujo de Análisis Cualitativo de Riesgos.

### 1.2.4. ANÁLISIS CUANTITATIVO

En esta fase se analiza numéricamente el efecto de los riesgos identificados sobre los objetivos generales del proyecto, obteniendo un flujo de información cuantitativa útil para reducir la incertidumbre del proyecto y realizar una correcta toma de decisiones. Cabe destacar la imposibilidad de realizar esta etapa en algunos casos debido a la ausencia de datos.

Al igual que la fase anterior, se completan las actualizaciones a los documentos del proyecto que proporcionan:

- Análisis probabilístico del proyecto.
- Probabilidad de alcanzar los objetivos de costo y tiempo.
- Lista priorizada de riesgos cuantificados.
- Tendencias en los resultados del análisis cuantitativo de riesgos.

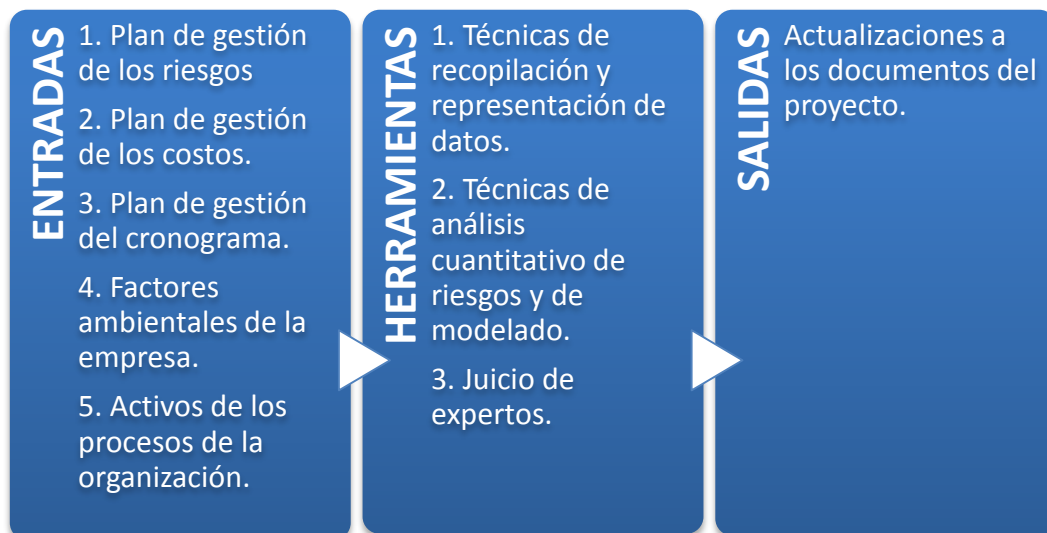


Figura 1.6 - Diagrama de flujo de Análisis Cuantitativo de Riesgos.

### 1.2.5. PLANIFICACIÓN DE LA RESPUESTA A LOS RIESGOS

Mediante la aplicación de distintas estrategias al Plan de Gestión de Riesgos y al Registro de Riesgos obtenidos y actualizados en las fases anteriores, esta fase pretende desarrollar distintas opciones de respuesta con el objetivo de reducir las amenazas y mejorar las oportunidades provocadas por los riesgos, ya que los aborda en función de su prioridad y mediante la introducción de recursos y actividades en el presupuesto, en el cronograma y en el plan para la dirección del proyecto en función de la necesidad.

Así, se obtienen dos tipos de actualizaciones:

- **Actualizaciones al plan para la dirección del proyecto:** modifican documentos como el plan de gestión del cronograma, de costos, de calidad, de gestión de recursos humanos, la línea base del alcance, del cronograma y de costos, entre otros.
- **Actualizaciones a los documentos del proyecto:** modifican información como los propietarios del riesgos y responsabilidades asignadas, estrategias de respuesta acordadas, planes de contingencia, registro de supuestos, documentación técnica, etc.

Para finalizar, en la siguiente figura se representa el diagrama de flujo:

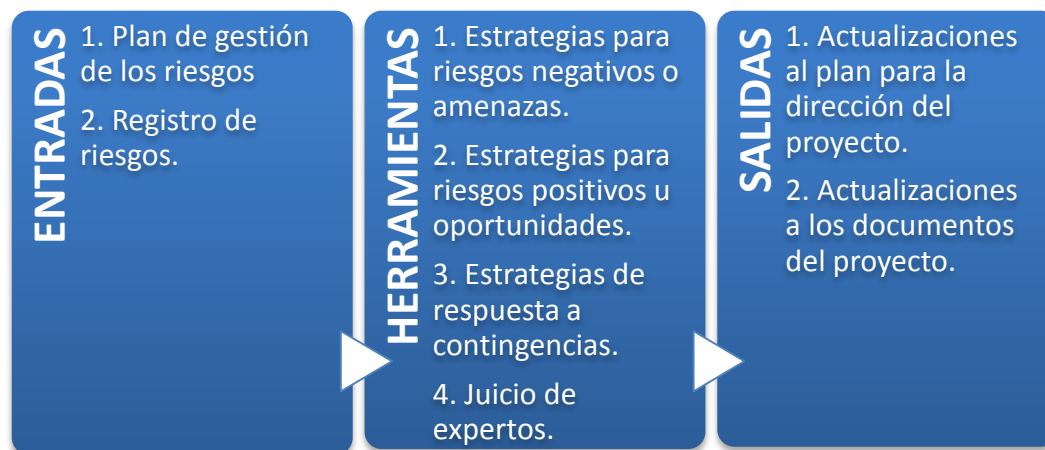


Figura 1.7 - Diagrama de flujo de Planificación de la respuesta a los riesgos

### 1.2.6. CONTROL DE LOS RIESGOS

Por último, aquí se engloba una serie de actividades a realizar con el objeto de optimizar las respuestas a los riesgos de manera continua. Estas son: implementación de los planes de respuesta a los riesgos obtenidos anteriormente, seguimiento de los riesgos identificados, identificación de los nuevos riesgos, monitorización de los riesgos residuales y evaluación de la efectividad del proceso de gestión de los riesgos.

Entre las salidas, obtenemos:

- **Información de desempeño del trabajo:** brinda un mecanismo para comunicar y apoyar la toma de decisiones del proyecto.
- **Solicitudes de cambio:** incluyen acciones recomendadas correctivas o preventivas.
- Actualizaciones al Plan para la dirección del proyecto.
- Actualizaciones a los documentos del proyecto.
- **Actualizaciones a los Activos de los procesos de la organización:** plantillas para el plan de gestión de los riesgos, estructura de desglose de riesgos y lecciones aprendidas procedentes de las actividades de gestión de los riesgos del proyecto.

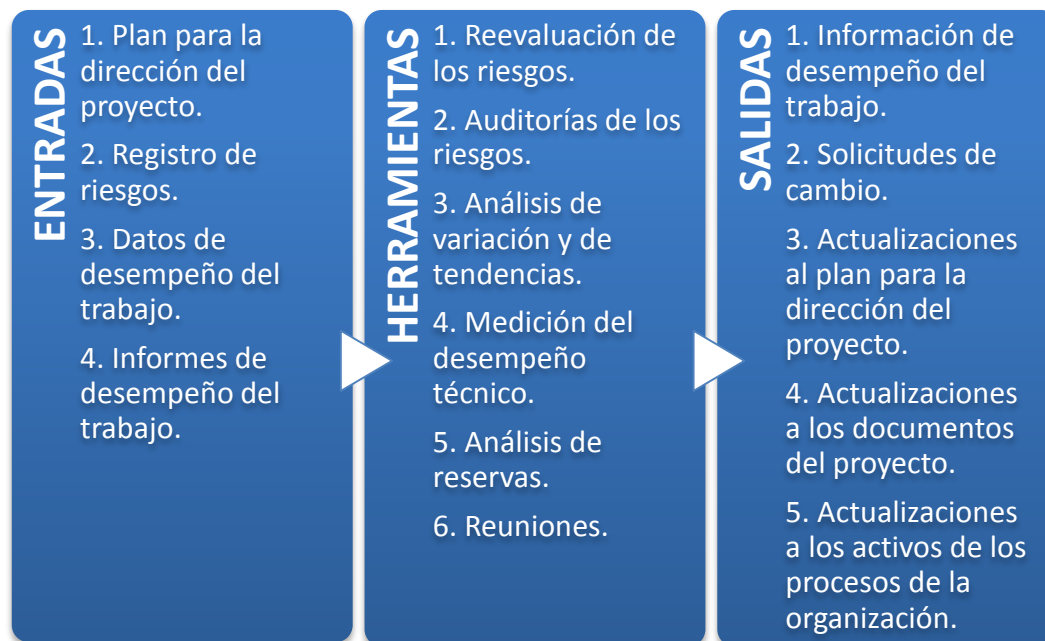


Figura 1.8 - Diagrama de flujo de Control de los Riesgos

### 1.3. RAMP

En tercer lugar está la propuesta de gestión de riesgos **RAMP** (Risk Analysis and Management for Projects), desarrollada por el sector de ingenieros civiles. Dicha propuesta se aplica a las distintas partes del ciclo de vida del proyecto para poder identificar, analizar, responder y asignar un valor económico a los riesgos que le afectan.

Entre sus principales beneficios se encuentran algunos tales como: reducción de la exposición al riesgo gracias a una mejor información y gestión efectiva, guía hacia la toma de mejores decisiones; y énfasis en el papel de los ingenieros en las fases de análisis y gestión de los riesgos.

A continuación se describirán las fases seguidas en la estrategia RAMP, compuesta por:

1. Inicialización del proceso RAMP.
2. Revisión de los riesgos.
3. Respuesta a los riesgos.
4. Monitoreo y control.
5. Cierre del proceso RAMP.

### 1.3.1. INICIALIZACIÓN DEL PROCESO

#### 1.3.1.1. Definición de la estrategia RAMP

En primer lugar es necesario identificar a los principales inversores interesados en el objetivo del proyecto y asignar la figura del **Gestor de Riesgo**, la cual se encargará de dirigir y coordinar el análisis de riesgos y la gestión del proceso, así como de informar sobre sus resultados. Una vez realizado esto, se llevará a cabo la revisión inicial de los objetivos, el alcance y los tiempos del proyecto mediante una reunión en la que deben de quedar establecidos los siguientes puntos:

- Objetivo de la RAMP.
- Nivel del análisis de riesgos: qué nivel de detalle y esfuerzo se aplicará al proyecto.
- Alcance de la revisión: qué fases del ciclo de vida se van a considerar.
- Etapas/cronograma: en qué momento o etapa se van a llevar a cabo las revisiones de los riesgos.
- Presupuesto de la RAMP.

Después se formará un Equipo RAMP que, en función del nivel de análisis, asignará un determinado número de analistas encargados de identificar los riesgos.

#### 1.3.1.2. Establecimiento de la línea base

Se define la línea base a partir de los objetivos, información y planes que refuercen la evaluación de los riesgos del proyecto y por tanto su gestión.

#### 1.3.1.3. Revisión del proceso de inicialización

Se revisan y se someten a juicio los resultados y objetivos durante esta etapa. A pesar de ello, es recomendado seguir sometiéndolos a revisión continua a lo largo del ciclo de vida.

### 1.3.2. REVISIÓN DE LOS RIESGOS

#### 1.3.2.1. Planificación

Durante esta fase, el Gestor de Riesgo y su equipo se encargan de decidir el objetivo, el alcance y la planificación de la revisión mediante los siguientes puntos:

- Redactar el plan de acción.
- Definir los recursos necesarios.
- Establecer un presupuesto y un horario.

Una vez realizados estos pasos, se obtiene el plan de revisión de riesgos. Además, se informa a los principales interesados e involucrados sobre el objetivo, horario e identidades de aquellos que vayan a participar en la fase.

### *1.3.2.2. Identificación de los riesgos*

Entre los objetivos de esta etapa se encuentran la identificación de todos los tipos y fuentes posibles de riesgo y de los parámetros clave, aseguración de las causas de cada riesgo y evaluación de la relación de los riesgos entre sí, así como su clasificación. Esto se consigue mediante la ayuda de listas y matrices. Además, RAMP destaca que ningún riesgo debe ser descartado por muy insignificante que parezca.

Tras identificar todos los riesgos posibles, es necesario clasificarlos mediante la determinación y registro de sus posibles causas, desencadenantes, frecuencias de ocurrencia, consecuencias, objetivo afectado, riesgos relacionados, propietario del riesgo, respuesta inicial al riesgo, etc. Como el resto de propuestas, RAMP distingue entre riesgos con consecuencias favorables o desfavorables para el proyecto.

### *1.3.2.3. Evaluación de los riesgos*

En esta fase se lleva a cabo un análisis para cada riesgo que tenga una consecuencia significativa o posiblemente significativa mediante la revisión de las siguientes características:

- La frecuencia de ocurrencia del riesgo por unidad de tiempo.
- La consecuencia del riesgo en relación a uno o más parámetros o flujo de dinero.
- La frecuencia de ocurrencia más posible durante el ciclo de vida.
- La duración más probable del impacto del riesgo.
- La puntuación de aceptación, mediante la combinación de su probabilidad y consecuencia.

## **1.3.3. RESPUESTA A LOS RIESGOS**

Para actuar eficazmente sobre los riesgos es necesario mitigar o reducir aquellos que tengan consecuencias desfavorables mediante lo que denominamos "acciones de respuesta". Dichas acciones se pueden llevar a cabo en todas las fases del proyecto, considerando en primer lugar la estrategia de **mitigación** y posteriormente la **optimización** de riesgos positivos.

### *1.3.3.1. Mitigación*

Implementada de forma correcta y aunque sea necesario considerar que su implementación conlleve un coste, una estrategia de mitigación de riesgos reducirá

cualquier adversidad en el retorno financiero del proyecto. Así, existen cuatro formas de mitigar los riesgos: reducir o eliminar, transferir, evitar y absorber.

#### **1.3.3.2. Optimización**

Por otro lado, la correcta implementación de la estrategia de optimización garantizará una mayor posibilidad del aumento del retorno financiero con un coste de implementación.

Entre las formas de optimización más usadas se encuentran algunas tales como: aumento del alcance del proyecto, maximización de los beneficios esperados, extensión de la vida esperada del proyecto, búsqueda de la mejor estructura financiera, etc.

#### **1.3.3.3. Desarrollo de la respuesta**

Seguidamente, cada posible respuesta de mitigación u optimización debe evaluarse teniendo en cuenta su efecto, consecuencia, valor esperado, facilidad y coste de implementación e impacto global de cada opción en el presupuesto.

También, es necesario tener en cuenta para la elaboración de la estrategia que una respuesta puede ocasionar un riesgo secundario, o que tras actuar sobre un riesgo, este puede dejar un riesgo residual que afecte a los objetivos del proyecto.

#### **1.3.4. MONITOREO Y CONTROL**

En esta siguiente fase se lleva a cabo una verificación de que el plan de respuesta de riesgos está correctamente implementado, además de una monitorización regular de los riesgos necesarios a lo largo del ciclo de vida, informando de cualquier cambio que se detecte y actuando en consecuencia.

Para la correcta monitorización de dichos riesgos, es necesario estudiar las tendencias (eventos, situaciones o cambios que se presenten) que pueden afectarlos. Por ello serán identificadas, analizadas y monitorizadas frecuentemente mediante informes, notas, conversaciones telefónicas o reuniones. Dichas tendencias se clasifican en:

- Tendencias potenciales (categoría P): es necesario evaluar u observarlas en detenimiento.
- Tendencias esperadas (categoría E): son aquellas sobre las que se lleva a cabo una respuesta.
- Tendencias comprometidas (categoría C): se toman medidas y después se las trata como cambios en la línea base o previstas en el plan de respuesta.

De este modo y tras sucesivas reuniones, se irán eliminando o moviendo de categoría las tendencias que se vayan introduciendo.

### 1.3.5. CIERRE DEL PROCESO

Por último y al final del ciclo de vida del proyecto, se llevará a cabo una revisión de la inversión y contribución del proceso RAMP al proyecto. Junto a ello se registrarán las lecciones aprendidas y los resultados de la revisión serán guardados en un informe que podrá ser accedido para consulta en futuros proyectos.

## 1.4. IRM

La última propuesta analizada es la presentada por el Institute of Risk Management (IRM) del Reino Unido. Hace especial énfasis en que los riesgos que afronta una organización o proyecto suelen provenir de factores internos o externos, clasificándolos en: estratégicos, financieros, operacionales y de peligro.

Al igual que en las anteriores metodologías, existen riesgos con posibilidad de constituir oportunidades de beneficio o amenazar el éxito del proyecto. Estos últimos se consideran negativos y la gestión de riesgos tiene como objetivo la prevención y mitigación de daños mediante las siguientes fases:

1. Análisis.
2. Evaluación.
3. Informe del riesgo.
4. Decisión.
5. Tratamiento del riesgo.
6. Monitorización.

Cabe destacar que cada una de estas fases va precedida por la realización de una auditoría formal. A continuación, se profundizará ligeramente en cada etapa a lo largo del proceso de gestión de riesgos.

### 1.4.1. ANÁLISIS

#### 1.4.1.1. *Identificación del riesgo*

En primer lugar, se establece la exposición de la empresa a la incertidumbre. Esto requiere un amplio conocimiento de la organización, el mercado en el que opera, el ámbito legal, social, político y cultural en el que existe y también los objetivos, factores críticos para el éxito, amenazas y oportunidades.



#### ***1.4.1.2. Descripción del riesgo***

En esta fase se representan los aspectos más importantes del riesgo en un formato estructurado, como por ejemplo el de una tabla. Así, consideramos las consecuencias y probabilidades de cada uno de los riesgos representados en la tabla.

#### ***1.4.1.3. Estimación del riesgo***

La estimación del riesgo puede ser cuantitativa, semi-cuantitativa o cualitativa en términos de probabilidad de ocurrencia y posible consecuencia. Por ejemplo, las consecuencias de amenazas y oportunidades pueden ser altas, medias o bajas. La probabilidad puede ser alta, media o baja pero requiere una definición diferente si nos referimos a oportunidad o amenaza. Esto puede hacerse mediante una matriz 3x3 o 5x5, por ejemplo.

#### ***1.4.1.4. Métodos de análisis y técnicas***

Existe un ejemplo de técnicas para el análisis de los riesgos que IRM comparte con el resto de metodologías y que pueden encontrarse descritas en el Anexo 1.

#### ***1.4.1.5. Perfil del riesgo***

El resultado de la fase de análisis puede ser usado para producir un perfil de riesgo que capaz de asignar una puntuación a cada riesgo, así como una herramienta adecuada para priorizar el tratamiento del riesgo.

### **1.4.2. EVALUACIÓN**

En este apartado, es necesario llevar a cabo una comparación de los riesgos estimados a partir de los criterios de riesgo que la organización ha establecido, como por ejemplo costes asociados, beneficios, requerimientos legales, etc. Por ello, se tomarán decisiones acerca de la significancia de los riesgos a la organización para saber si deben de ser aceptados o rechazados.

### **1.4.3. INFORME DEL RIESGO Y COMUNICACIÓN**

#### ***1.4.3.1. Informe interno***

Diferentes niveles dentro de la organización requerirán distinta información del proceso de gestión de riesgos. Por ejemplo, la Junta Directiva deberá de conocer la información relativa a los riesgos más significativos a los que se enfrenta la organización, cómo administrar las comunicaciones con la comunidad de inversores, cómo administrar una crisis, asegurar el nivel de alerta adecuado en la organización, asegurarse de que el proceso de gestión de riesgos funciona adecuadamente y publicar

una política de gestión de riesgos que cubra las responsabilidades de la empresa, entre otras.

Por otra parte, los individuos deberán ser capaces de entender su responsabilidad a los riesgos individuales, cómo pueden mejorar continuamente la respuesta a la gestión de riesgos, la importancia de la conciencia del riesgo e informar sistemáticamente y lo antes posible a sus superiores cualquier nuevo riesgo o fallo existente en el control percibido.

#### **1.4.3.2. Informe externo**

La empresa necesita informar regularmente a sus inversores mediante políticas de gestión de riesgos y la efectividad que han tenido alcanzando los objetivos. Otro aspecto necesario es la evidencia de una gestión efectiva de la organización en áreas no financieras como pueden ser derechos humanos, salud y seguridad en el trabajo.

Para obtener un buen gobierno corporativo es necesaria una protección eficaz de los intereses de los inversores y la dirección de la estrategia, así como el monitoreo de la Junta Directiva y unas buenas medidas de control. En resumen, el informe externo deberá hacer énfasis en los siguientes aspectos:

- Los métodos de control, en particular la responsabilidad de la administración para la gestión de riesgos.
- Los procesos usados para identificar los riesgos y cómo son abordados por el sistema de gestión de riesgos.
- Los sistemas de control primarios que gestionan los riesgos prioritarios.

Además, cualquier deficiencia significativa no cubierta por el sistema y que esté dentro debe ser reportada.

#### **1.4.4. TRATAMIENTO DEL RIESGO**

Este punto se encarga de seleccionar e implementar una serie de medidas que actúen sobre los riesgos, pudiendo mitigarlos, evitarlos, transferirlos, etc.

Así, se define efectividad del control interno como el grado en el que el riesgo ha sido eliminado o reducido por las medidas de control propuestas. Es importante que las acciones de control sean medidas en términos económicos para así obtener la eficiencia de su coste de implementación, que está relacionada con las pérdidas de beneficios reducidas tras su actuación.

De esta manera y gracias a esta fase, la administración puede decidir si implementar o no el sistema de control del riesgo.

### 1.4.5. MONITORIZACIÓN

Un sistema de gestión de riesgos efectivos requiere una estructura de informe y análisis que se asegure de que los riesgos son eficazmente identificados y evaluados, además de que se toman las acciones necesarias para tratarlos. Para ello, es necesario llevar a cabo auditorias de manera regular, identificando posibles oportunidades y mejoras.

En esta fase, uno debe asegurarse que los sistemas de control sean los apropiados y que sus procedimientos sean entendidos y llevados a cabo, determinando si:

- Las medidas adoptadas dieron como resultado lo que se pretendía.
- Los procedimientos y la información recopilada empleados en la evaluación fueron los apropiados.
- Un conocimiento mejorado de la situación hubiera ayudado a alcanzar una mejor decisión y a identificar las lecciones aprendidas para futuros procesos de Gestión de Riesgos.

## 1.5. COMPARATIVA

Una vez exploradas detalladamente las distintas propuestas de Gestión de Riesgos, se ha representado en la tabla 1.2 una comparación de las diferentes fases usadas, siendo marcadas con una "X" en el caso de que sean tenidas en cuenta por la propuesta.

FASE/PROPUESTA	PRINCE2	PMBOK	RAMP	IRM
PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN		X	X	
IDENTIFICACIÓN	X	X	X	X
EVALUACIÓN	X		X	X
ANÁLISIS CUALITATIVO		X		X
ANÁLISIS CUANTITATIVO		X		X
PLANIFICACIÓN DE LA RESPUESTA	X	X	X	
IMPLEMENTACIÓN RESPUESTA	X		X	X
COMUNICACIÓN	X			X
CONTROL RIESGOS		X	X	
INFORME DE RIESGO				X
MONITOREO RIESGOS			X	X

Tabla 1.2 - Comparación de fases entre las propuestas

Por otra parte, en la tabla 1.3 podemos encontrar un resumen de los objetivos de cada una de esas fases.

FASE	OBJETIVO
PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN	Establecer cómo se estructuran y se van a realizar las actividades de Gestión de Riesgos.
IDENTIFICACIÓN	Identificar los riesgos con su causa, evento y efecto propios.
EVALUACIÓN	Estimar la probabilidad de impacto, ocurrencia y proximidad del riesgo.
ANÁLISIS CUALITATIVO	Combinar la probabilidad de impacto y ocurrencia para priorizar los riesgos.
ANÁLISIS CUANTITATIVO	Determinar numéricamente el efecto de los riesgos sobre los objetivos generales del proyecto.
PLANIFICACIÓN DE LA RESPUESTA	Planificar una o más respuestas con el objeto de reducir las amenazas y mejorar las oportunidades.
IMPLEMENTACIÓN RESPUESTA	Poner en acción las ideas generadas durante la fase de planificación de la respuesta.
COMUNICACIÓN	Comunicación cercana del Gestor del proyecto con los interesados.
CONTROL RIESGOS	Implementar las respuestas, dar seguimiento a los riesgos, identificar los nuevos riesgos y monitorear posibles riesgos residuales
INFORME DE RIESGO	<ul style="list-style-type: none"> <li>Informe <b>Interno</b>: registro de información de la Gestión de Riesgos para los distintos niveles dentro de la organización.</li> <li>Informe <b>Externo</b>: informe de políticas y efectividad de la Gestión de Riesgos a los inversores.</li> </ul>
MONITOREO RIESGOS	Asegurar que los sistemas de control son los apropiados y que sus procedimientos son entendidos y llevados a cabo.

Tabla 1.3 - Comparación de fases entre las propuestas

En vista a la primera tabla, podemos observar que la fase de **Identificación** y **Evaluación** de los riesgos se lleva a cabo en todas las propuestas, mientras que la **Planificación** solo en PMBOK y metodología RAMP. Por otro lado, la propuesta IRM no tiene en cuenta una **Planificación de la respuesta al riesgo**, sino que la implementa directamente, pero sí realiza un **Informe de Riesgo**. Además, PMBOK implementa la **Respuesta al riesgo** durante la fase de Control de Riesgos. Cabe destacar que pese a que PMBOK Y RAMP no tengan una fase explícita de **Comunicación**, la comunicación se realiza dentro de la fase de **Control de Riesgos**. Por último, en cuanto al **Monitoreo de los Riesgos**, PMBOK y PRINCE2 no lo llevan a cabo; y PRINCE2 tampoco realiza un **Control de los Riesgos**.

En definitiva y a vista de los resultados comparativos, las propuestas **IRM** y **RAMP** son las más completas, ya que no dejan pendientes las fases más críticas de la Gestión de Riesgos, como pueden ser Identificación, Evaluación, Implementación de la respuesta, Análisis cualitativo y cuantitativo (solo en IRM), Control y Monitoreo. Así mismo, las

fases de Identificación y Evaluación de riesgos son comunes a todas las propuestas descritas y por lo tanto particularmente indispensables.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS

Como se ha podido comprobar en el apartado anterior, las fases de identificación y evaluación son de tremenda importancia en las metodologías de Gestión de Riesgos ya que de ellas depende el tratamiento eficaz de los riesgos y por tanto el éxito del proyecto.

A continuación se ha incluido una revisión bibliográfica de los riesgos que se pueden encontrar en los proyectos de construcción, así como su clasificación. Después se ha llevado a cabo otra revisión del estado del arte de los procedimientos de evaluación de riesgos.

### 2.1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Los riesgos que se presentan en un proyecto de construcción pueden tener distinta naturaleza. A grandes rasgos, se podrán clasificar en función de ella en:

- Riesgos Técnicos
- Riesgos de Gestión
- Riesgos Financieros
- Riesgos Legales
- Riesgos Ambientales
- Riesgos Políticos

En base a estos seis tipos distintos de riesgos, en la tabla 2.1 se recogen los ejemplos extraídos de la bibliografía así como los autores de su propuesta.

RIESGO	AUTORES
<b>RIESGOS TÉCNICOS</b>	
Fallo del equipo	Kuo-Feng Chien et al (2014) Remon Fayek Aziz (2013)
Información de diseño insuficiente o incorrecta	Kuo-Feng Chien et al (2014) Ghaffari et al (2014) Osman Taylan et al (2014)
Falta de habilidades o técnicas	Kuo-Feng Chien et al (2014)
Control de calidad insuficiente	S. Mohammad H. Mojtahedi et al (2009) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Mala definición o cambios del alcance del proyecto	S. Mohammad H. Mojtahedi et al (2009) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Especificaciones poco claras	Kuo-Feng Chien et al (2014)
Conflicto en documentos	S. Mohammad H. Mojtahedi et al (2009) Tserng et al (2009)

	Kuo-Feng Chien et al (2014)
Errores de dibujo del diseño	Dikmen et al (2007) Zayed et al (2008) S. Mohammad H. Mojtahedi et al (2009) Yao-Chen Kuo, Shih-Tong Lu (2012) Nieto-Morote, Ruz-Vila (2011) Remon Fayek Aziz (2013)
Insuficiente experiencia y habilidad en trabajos de construcción	Yao-Chen Kuo, Shih-Tong Lu (2012) Nieto-Morote, Ruz-Vila (2011) Remon Fayek Aziz (2013) Ghaffari et al (2014)
Diseño e ingeniería inapropiados	Tah, Carr (2000) Dey (2001) Yao-Chen Kuo, Shih-Tong Lu (2012) Kou, Lu (2013) Remon Fayek Aziz (2013) Ghaffari et al (2014) Samantra et al (2017)
Malos estudios de situación del emplazamiento	Shen et al (2001) Bunni (2003) Zeng et al (2007) Yao-Chen Kuo, Shih-Tong Lu (2012) Remon Fayek Aziz (2013) Osman Taylan et al (2014)
Retraso en la recolocación de tuberías e instalaciones	Zayed et al (2008) Yao-Chen Kuo, Shih-Tong Lu (2012) Kou, Lu (2013)
Cambios en el diseño innecesarios o excesivos debido a un diseño defectuoso o bien demandados por los clientes	Remon Fayek Aziz (2013) Osman Taylan et al (2014)
Complejidad de una nueva tecnología y de su interfaz	Iye, Jha (2005) Lee et al (2008) Kou, Lu (2013) Samantra et al (2013)
Falta de uso de nuevas tecnologías	Samantra et al (2013)
Trabajadores de proyecto pocos cualificados	Tserng et al (2009) Samantra et al (2013) Osman Taylan et al (2014)
<b>RIESGOS DE GESTIÓN</b>	
Malgaste de tiempo debido a la excesiva intervención del cliente	Osman Taylan et al (2014)
Insuficiente experiencia en gestión de proyectos	Zou et al (2007) Zayed et al (2008) Wang, Yuan (2011) Nieto-Morote, Ruz-Vila (2011) Osman Taylan et al (2014)
Falta de coordinación entre los participantes del proyecto	S. Mohammad H. Mojtahedi et al (2009) Remon Fayek Aziz (2013) Osman Taylan et al (2014)

	Ghaffari et al (2014)
Petición especial del cliente. Excesivas expectativas de calidad	Osman Taylan et al (2014)
Falta de motivación	Nieto-Morote, Ruz-Vila (2011) Ghaffari et al (2014)
Retraso debido a procedimientos de aprobación excesivos	Remon Fayek Aziz (2013) Osman Taylan et al (2014)
Ausencia de estudios profesionales de pre-planificación por parte de los participantes	Osman Taylan et al (2014)
Programación del proyecto demasiado ajustada debida a una deficiencia en la planificación	Lee et al (2008) Osman Taylan et al (2014) Ghaffari et al (2014)
Daños causados por el error humano	Kuo-Feng Chien et al (2014)
Planificación del proyecto de construcción deficiente	Shen et al (2001) Dikment et al (2007) Kou, Lu (2013) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Mala relación con los inversores	Kuo-Feng Chien et al (2014)
Baja productividad	Lee et al (2008) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Accidentes	Nieto-Morote, Ruz-Vila (2011) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Baja coordinación	Kuo-Feng Chien et al (2014)
Aseguramiento inadecuado	Kuo-Feng Chien et al (2014)
Huelgas y disputas en el trabajo	Lee et al (2008) S. Mohammad H. Mojtahedi et al (2009) Remon Fayek Aziz (2013) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Suministro inestable de materiales de construcción	Tah, Carr (2000) Zayed et al (2008) Lee et al (2008) S. Mohammad H. Mojtahedi et al (2009) Nieto-Morote, Ruz-Vila (2011) Eyboosh et al (2011) Yao-Chen Kuo, Shih-Tong Lu (2012) Remon Fayek Aziz (2013) Ghaffari et al (2014)
Lesiones en el trabajo	Carr, Tah (2001) Zayed et al (2008) Kou, Lu (2013) Remon Fayek Aziz (2013) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Protección inefectiva de los edificios adyacentes y alrededores	Car, Tah (2001) Bunni (2003) Kou, Lu (2013)
Control inefectivo del tráfico	Car, Tah (2001) Kou, Lu (2013)
Robo	Remon Fayek Aziz (2013) Kuo-Feng Chien et al (2014)



Retraso en la toma de decisiones	Remon Fayek Aziz (2013)
Errores debidos a la falta de coordinación y de espíritu de equipo	Osman Taylan et al (2014)
<b>RIESGOS FINANCIEROS</b>	
Inflación	S. Mohammad H. Mojtahedi et al (2009) Lee et al (2008) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Fondo de presupuesto	Kuo-Feng Chien et al (2014)
Flujo de activos desbalanceado	Lee et al (2008) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Falta de experiencia financiera	Samantra et al (2013)
Aumento del coste del trabajo, materiales y salario de los empleados	Tah, Carr (2000) Dey (2001) Baloi, Price (2003) Assaf, Al-Heiji (2006) Zou et al (2007) Lee et al (2008) Tserng et al (2009) Samantra et al (2013) Remon Fayek Aziz (2013) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Fallo financiero de los subcontratistas	Samantra et al (2013) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Incremento en el trabajo y los salarios de los empleados	Yao-Chen Kuo, Shih-Tong Lu (2012)
Retrasos en la programación debido a retrasos en los pagos	Osman Taylan et al (2014) Remon Fayek Aziz (2013)
Alto coste debido a prácticas de oferta injustas o poco profesionales	Remon Fayek Aziz (2013) Osman Taylan et al (2014)
<b>RIESGOS LEGALES</b>	
Ruptura del contrato	Remon Fayek Aziz (2013) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Cambios en leyes y regulaciones	Samantra et al (2013) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Disputas legales entre los participantes del proyecto	Remon Fayek Aziz (2013)
Ley de protección intelectual	Kuo-Feng Chien et al (2014)
<b>RIESGOS AMBIENTALES</b>	
Clima	S. Mohammad H. Mojtahedi et al (2009) Remon Fayek Aziz (2013) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Diferencias culturales	Kuo-Feng Chien et al (2014)
Falta de recursos humanos	Kuo-Feng Chien et al (2014)
Falta de material	Kuo-Feng Chien et al (2014)
Condiciones del emplazamiento imprevistas	Remon Fayek Aziz (2013) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Presencia de masas de agua bajo tierra	Ghosh, Jintanapakanont (2004) Zayed et al (2008) Yao-Chen Kuo, Shih-Tong Lu (2012) Kou, Lu (2013) Kuo-Feng Chien et al (2014)

Tifones	Car, Tah (2001) Dey (2001) Lee et al (2008) Yao-Chen Kuo, Shih-Tong Lu (2012) Kou, Lu (2013) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Lluvias intensas	Car, Tah (2001) Dey (2001) Yao-Chen Kuo, Shih-Tong Lu (2012) Kou, Lu (2013) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Terremotos	Car, Tah (2001) Dey (2001) Yao-Chen Kuo, Shih-Tong Lu (2012) Kou, Lu (2013) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Retraso del suministro de agua y electricidad	Remon Fayek Aziz (2013)
Enfermedades contagiosas	S. Mohammad H. Mojtahedi et al (2009)
Protestas e interferencias de residentes cercanos	Dey (2001) Baloi, Price (2003) Yao-Chen Kuo, Shih-Tong Lu (2012) Kou, Lu (2013) Remon Fayek Aziz (2013)
<b>RIESGOS POLÍTICOS</b>	
Guerra	Remon Fayek Aziz (2013) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Políticas inconsistentes	Remon Fayek Aziz (2013) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Corrupción	Kuo-Feng Chien et al (2014)
Soborno	Remon Fayek Aziz (2013) Kuo-Feng Chien et al (2014)
Interferencia política	Tah, Carr (2000) Dey (2001) Zayed et al (2008) Lee et al (2008) Zavadskas et al (2010) Yao-Chen Kuo, Shih-Tong Lu (2012) Remon Fayek Aziz (2013) Kou, Lu (2013)

Tabla 2.1 - Tipos de riesgos considerados

## 2.2. PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS

A continuación se explicarán algunas de las técnicas de evaluación de riesgos recogidas en la bibliografía en función de la naturaleza del proyecto y de dichos riesgos.

Tserng et al (2009) proponen un marco de Gestión de Riesgos basado en la Ontología (**ORM**) para facilitar la identificación, el análisis y la respuesta de los riesgos del proyecto. Así, en primer lugar recopilan el conocimiento sobre los riesgos de otros proyectos de construcción con el objetivo de elaborar un perfil específico de todos los tipos presentes en el sector. Después, clasifican dichos riesgos en categorías y son evaluados de acuerdo a un modelo numérico que se ha formulado mediante la realización de distintos cuestionarios que recopilan los criterios y opiniones de varios Project Managers. De esta manera, han alcanzado una mejora de la efectividad de la toma de decisiones del proceso de Gestión de Riesgos.

Por otro lado, Mojtahedi et al (2009) presentan una metodología basada en las técnicas de toma de decisiones multi-atributo grupales (**MAGDM**), impulsada por el hecho de que la evaluación de los riesgos realizada de forma individual tiende a ser menos efectiva. En primer lugar, se recopila información previa sobre los riesgos del proyecto y después esta información se usa para clasificarlos de manera jerárquica y así definir bien las áreas del proyecto que requerirán especial atención. Por último, se construye una matriz de decisión grupal que incluye los múltiples expertos y se finaliza identificando y evaluando simultáneamente los riesgos.

Prasanta Kumar Dey (2010) desarrolla un marco conceptual de Gestión de Riesgos mediante la aplicación de un proceso de jerarquización analítica (**AHP**) y un mapa de riesgos. Se identifican y se separan las características del proyecto en distintos niveles: el primero es el objetivo, el segundo los factores de riesgo, después los subfactores y por último los proyectos alternativos. Después se comparan las alternativas y se elige el la ruta de proyecto que presenta menos riesgo de todas ellas. Este enfoque compartimentado se logra mediante cabo cuestionarios o procesos de decisión grupales. Además, resulta muy eficaz en proyectos complejos y facilitan la ayuda a los gestores durante el ciclo de vida.

Después, Fang y Marle (2011) establecen un sistema de soporte de decisiones integrado (**DDS**) para modelar y gestionar los riesgos de un proyecto así como sus interacciones. La primera fase consiste en la identificación de la red de riesgos mediante una matriz de diseño estructural que relaciona los riesgos, las tareas, personas y productos del proceso. Seguidamente, se evalúan la probabilidad y el impacto mediante una escala cardinal, ordinal o financiera y por último se lleva a cabo una segunda evaluación con una matriz que representa las distintas interacciones entre riesgos. Este modelo permite re-evaluar los riesgos y sus prioridades para sugerir

y simular acciones de mitigación, así como apoyar al gestor del proyecto en la toma de decisiones.

Comes et al (2011) construyen un árbol de decisiones para apoyar a los Project Managers en situaciones de incertidumbre mediante la generación de posibles desarrollos de la evolución del proyecto (o alternativas). Se evalúan usando técnicas de análisis multi-criterio con la ayuda de diversos expertos.

Por otro lado, Cui et al (2016) presentan por su parte un árbol de fallos (FTA) extendido. De esta manera, se construye de manera inversa un diagrama de las posibles causas y el efecto que pueden desencadenarse, listando también las posibles medidas de prevención o corrección para cada una de ellas. Por ejemplo, un derrumbamiento en un proyecto de construcción podrá ser debido a varias causas: inadecuado establecimiento de los cimientos, calidad de los materiales baja, fallo en los operarios, etc.

Otro ejemplo es la matriz de probabilidad e impacto. En ella, cada riesgo se califica de acuerdo a su probabilidad de ocurrencia y al impacto que tiene sobre un objetivo. Así, se deben determinar las combinaciones de probabilidad e impacto que puedan dar lugar a una clasificación de riesgo alto, moderado y bajo mediante su combinación en una matriz. En la figura 2.1 podemos encontrar un ejemplo de matriz de probabilidad e impacto para amenazas y oportunidades, también representada en el Anexo 2.

**Matriz de Probabilidad e Impacto**

Probabilidad	Amenazas					Oportunidades				
	0,90	0,05	0,09	0,18	0,36	0,72	0,72	0,36	0,18	0,09
0,70	0,04	0,07	0,14	0,28	0,56	0,56	0,28	0,14	0,07	0,04
0,50	0,03	0,05	0,10	0,20	0,40	0,40	0,20	0,10	0,05	0,03
0,30	0,02	0,03	0,06	0,12	0,24	0,24	0,12	0,06	0,03	0,02
0,10	0,01	0,01	0,02	0,04	0,08	0,08	0,04	0,02	0,01	0,01
	0,05/ Muy Bajo	0,10/ Bajo	0,20/ Moderado	0,40/ Alto	0,80/ Muy Alto	0,80/ Muy Alto	0,40/ Alto	0,20/ Moderado	0,10/ Bajo	0,05/ Muy Bajo

Figura 2.1 - Matriz Probabilidad e impacto

Sin embargo, cuando no es posible utilizar valores decimales con precisión debido a la incertidumbre y subjetividad que se haya presente en los proyectos de construcción, ha sido necesario usar métodos de evaluación de riesgos distintos a los tradicionales.

Así, recientemente, se han aplicado los principios de la **Teoría de los Conjuntos Difusos** (Zadeh, 1965) para evaluar mediante valoraciones lingüísticas los riesgos en los

proyectos de construcción. Se han propuesto por tanto algunos métodos de evaluación de riesgos basados en valoraciones lingüísticas en vez de números exactos gracias a los principios de la Teoría de los Conjuntos Difusos. A continuación se mostraran algunos de ellos a pesar de que se entre en profundidad en la lógica difusa en el próximo capítulo.

Entre los nuevos métodos podemos encontrar un modelo basado en una estructura jerárquica de riesgos en el que las descripciones de dichos riesgos y sus consecuencias son definidas mediante variables lingüísticas. Esta metodología fue definida por Carr y Tah (2001) que hicieron especial énfasis en la relación lógica entre la probabilidad de ocurrencia (L), la gravedad (V) y el efecto de un factor de riesgo (E) en el proyecto mediante las reglas del tipo "Si L y V, entonces E". Analizando lógicamente a partir de las reglas los tres factores de cada riesgo y su influencia en el tiempo, coste, calidad y seguridad del proyecto, es posible ordenar los riesgos en función de su importancia.

Liu et al (2002) usan un razonamiento evidencial basado en las reglas difusas (**FURBER**) que tras identificar los riesgos y asignarles a su frecuencia y severidad un valor difuso, les aplica un conjunto de reglas evidenciales causa y efecto en forma de matriz que provienen del sistema de conocimiento que usa como punto de partida este método. De esta manera, una de las principales ventajas consiste en que es capaz de manejar con eficacia información incompleta o incluso situaciones de ignorancia, siendo especialmente útil en las fases de diseño del proyecto.

Por otro lado, Dikmen et al (2006) propusieron un método orientado a la clasificación de riesgos en proyectos internacionales. Los riesgos eran identificados y analizados mediante diagramas de influencia capaces de mostrar su influjo en las características del proyecto, siendo más tarde evaluados en términos lingüísticos. Después, se establecía una relación entre el riesgo y el factor de influencia usando operaciones difusas y unas "reglas de agregación" del aspecto "si... entonces". Dichas reglas recopilaban el conocimiento de los expertos o información histórica sobre la naturaleza y la influencia de los riesgos en proyectos similares.

Zeng et al (2007) presentan un **modelo difuso de la metodología de jerárquica analítica**, estructurando los riesgos en función de tres parámetros esenciales: probabilidad de riesgo (RL), gravedad de riesgo (RS) y el índice de factor (FI). Estos parámetros son definidos como variables lingüísticas que se transforman en números difusos trapezoidales o triangulares. Así, las relaciones entre los parámetros de entrada FI, RS y RL y salida (riesgo de magnitud, RM) se establecen en forma de reglas de "si...entonces" también usadas en otras de las propuestas. Primero, Zeng et al establecen la necesidad de formar un equipo que se encargue de evaluar los riesgos, compuesto por expertos relacionados con el proyecto y los tipos de riesgos vinculados. Después y tras establecer una correlación entre los términos lingüísticos y los difusos, cada uno de los expertos evalúa los tres parámetros anteriormente citados para cada

riesgo. Sintetizando los distintos resultados, se obtiene la información necesaria para ordenar los riesgos de mayor a menor importancia respecto al proyecto.

Más adelante, Taylan et al (2014) introducen un método combinando las metodologías **AHP Y TOPSIS**. La primera les sirve para crear pesos que reflejen la importancia de los riesgos mediante variables lingüísticas, mientras que la segunda continúa el proceso resolviendo los conflictos que pueden surgir en la toma de decisión grupal de ese entorno difuso. Ambos procesos se combinan evaluando el conjunto de riesgos y jerarquizándolos en función de su prioridad, y por tanto resolviendo su problemática.

Por último, Samantra et al (2017) utilizan una estructura jerárquica de riesgos y parámetros como probabilidad e impacto para obtener una matriz de factores de riesgo. Tras identificar los riesgos y seleccionar la escala lingüística a ser usada, así como sus valores difusos equivalentes, se transforman las opiniones de evaluación de los expertos en conjuntos difusos, estos son agregados y a través de los resultados ordena los riesgos en función de su prioridad.

En resumen, como se ha podido observar desde los últimos años, la Lógica Difusa juega un papel importante en la evaluación de riesgos y su posterior ordenación en prioridades.

### 3. LÓGICA DIFUSA

Como hemos podido ver en el anterior apartado, la importancia de los métodos de evaluación de riesgos que se basan en la Teoría de Conjuntos Difusos hace necesario profundizar en los aspectos de la Lógica Difusa.

La mayoría de las situaciones de toma de decisión en la vida real tienen lugar en ambientes de incertidumbre en los que las restricciones, objetivos y consecuencias de las posibles actuaciones no son conocidas con exactitud. Esto es debido a que en muchas ocasiones se manejan datos cualitativos que están sujetos a una valoración subjetiva, o bien la información es incompleta o imposible de obtener. Por ello, en los ambientes de incertidumbre ha sido necesario desarrollar los métodos difusos de decisión basados en los principios de la Teoría de la Lógica Difusa.

#### 3.1. CONJUNTOS DIFUSOS

Uno de los ejemplos más comunes de la lógica difusa sería el de la clasificación de un recipiente en base a su capacidad. Sería poco razonable decir que un recipiente está bastante lleno si supera un determinado volumen mientras que otro no lo está solamente porque su volumen sea ligeramente inferior. ¿Cuál es la forma correcta de establecer qué objetos están muy llenos y cuáles no?

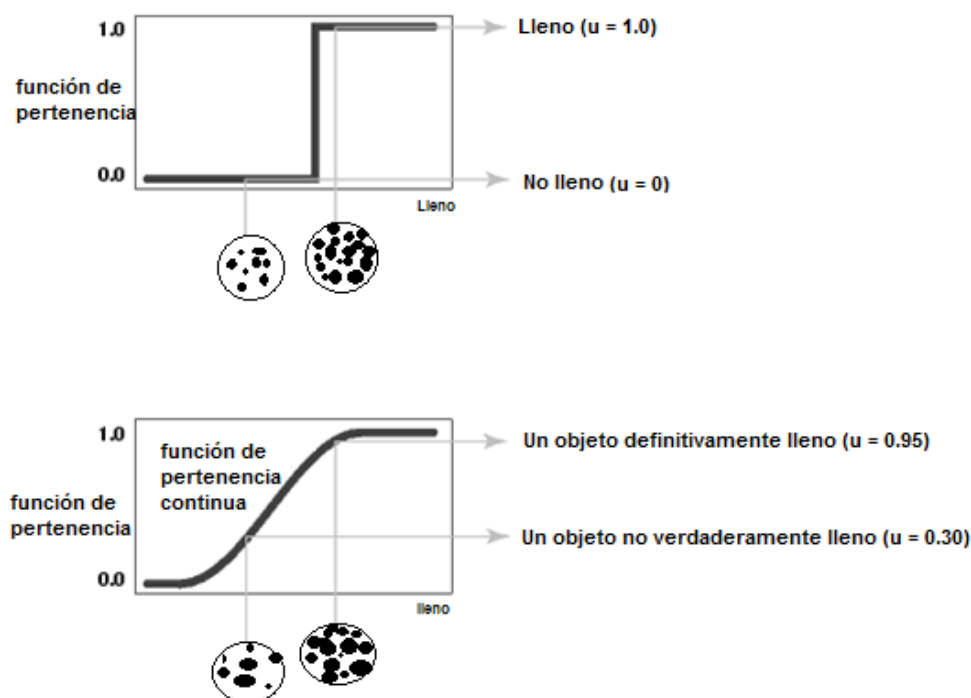


Figura 3.1 - Ejemplo de la lógica difusa

La curva de la figura 3.1. se conoce como la **función de pertenencia** y define la transición de "no lleno" a "lleno" cuando ambos objetos están llenos pero uno lo está significativamente más que el otro. De esta manera, los conjuntos difusos describen conceptos vagos, como por ejemplo: día caluroso, persona alta, recipiente lleno, etc. Estos conceptos son los llamados **variables difusas**.

La función característica de un conjunto clásico da valores 0 ó 1 a cada elemento del conjunto universal, mientras que la función de pertenencia asigna valores del intervalo  $[0,1]$ , indicando el grado de pertenencia de ese elemento al conjunto en cuestión.

En cuanto a las funciones de pertenencia más simples y comunes, estas tienen la forma triangular como puede verse en la figura 3.2. Aun así, también es posible encontrarse con geometría trapezoidal, gaussiana o de campana.

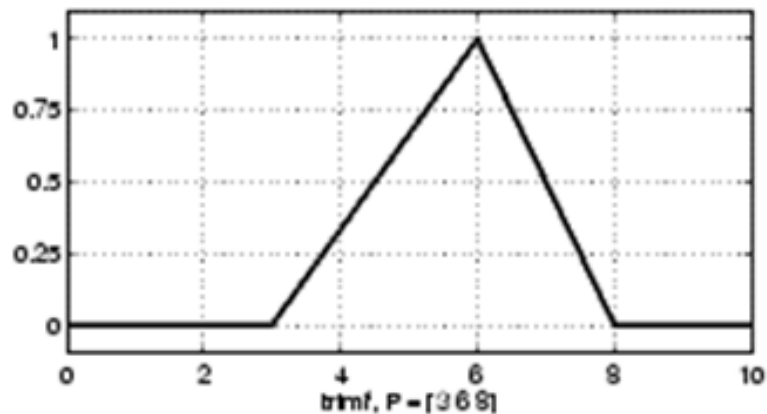


Figura 3.2 - Función de pertenencia triangular

Representamos un **conjunto difuso**  $A$  mediante la expresión:  $A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U\}$ , siendo  $U$  el conjunto universal,  $x$  un elemento de  $U$  y  $\mu_A(x)$  la función de pertenencia de  $A$  en  $x$ . Así, el grado de pertenencia aumentará conforme  $\mu_A(x)$  sea mayor. El nivel en el que el objeto pertenece al conjunto difuso es denotado por la función de pertenencia que oscila entre 0 y 1.

La principal ventaja de los conjuntos difusos es que admiten la posibilidad de una pertenencia parcial: el día es más bien caluroso, esa persona es bastante alta, el recipiente está definitivamente lleno, etc. Dicho de otro modo: se pueden representar conceptos vagos mediante un lenguaje natural en función del contexto en el que se usa.



### 3.2. NÚMEROS DIFUSOS

Según Dubois & Prade, un número difuso es un conjunto que se define de la siguiente manera:

$$A = \{x, \mu_A(x) \mid x \in \mathbb{R}\}$$

siendo  $x$  un elemento perteneciente al conjunto de los números reales y la función de pertenencia  $\mu_A(x)$  cumple una serie de características tales como:

1. Constante en  $(-\infty, a]$  y  $[d, \infty)$ :  $\mu_A(x) = 0 \quad \forall x \in (-\infty, a] \cup [d, \infty)$ .
2. Estrictamente decreciente en el intervalo  $[a, b]$  y estrictamente creciente en el intervalo  $[c, d]$ .
3. Constante en el intervalo  $[b, c]$ :  $\mu_A(x) = 1 \quad \forall x \in [b, c]$ , donde  $a, b, c, d$  son números reales que eventualmente serán:  $a = -\infty$ , or  $b = c$ , or  $a = b$ , or  $c = d$  or  $d = \infty$ .

Además, los números difusos trapezoidales se puede representar con cuatro valores  $A = [a, b, c, d]$  tal que  $a < b < c < d$  y una función de pertenencia de la forma:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{for } x < a \\ \mu_{lA}(x) = \frac{x-a}{b-a} & \text{for } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{for } b \leq x \leq c \\ \mu_{rA}(x) = \frac{x-d}{c-d} & \text{for } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{for otherw ise} \end{cases}$$

Se puede observar como tiene un valor cuantitativo y puede ser vista como un número difuso o intervalo difuso bajo ciertas condiciones. Para ello, es necesario recurrir a la concepción intuitiva de números o intervalos aproximados.

En cuanto al conjunto difuso, se define como tal mientras posea las siguientes características.

1.  $A$  debe ser un conjunto difuso normal.
2.  ${}^\alpha A$  debe ser un intervalo cerrado para cada  $\alpha \in (0,1]$ .
3. la base de  $A$ ,  ${}^{0+}A$ , tiene que ser limitada.

O lo que es lo mismo: el conjunto difuso debe ser normal debido a que la concepción del conjunto de "números reales próximos a  $r$ " es cumplida (los números difusos son próximos a un número real dado); la base de un conjunto difuso y de todos sus cortes  ${}^\alpha A$  para  $\alpha \neq 0$  deben ser intervalos cerrados para poder definir operaciones aritméticas significativas con números difusos en intervalos cerrados.

### 3.3. VALORES LINGÜÍSTICOS

Una variable lingüística es aquella cuyo valor puede ser expresado en términos lingüísticos, siendo especialmente relevante para situaciones que no pueden ser descritas mediante las expresiones cuantitativas tradicionales (Zadeh, 1975). Así, la variable "importante" es una variable lingüística cuyos valores pueden ser SI (Sin importancia), PI (Poco importante), AI (Algo importante), I (Importante) y MI (Muy importante). Además, estos valores se representan mediante números trapezoidales difusos: SI = (0.0, 0.0, 0.1, 0.2), PI = (0.1, 0.25, 0.25, 0.4), AI = (0.3, 0.5, 0.5, 0.7), I = (0.6, 0.75, 0.75, 0.9) y MI = (0.8, 0.9, 0.9, 1.0) en la figura 3.3.

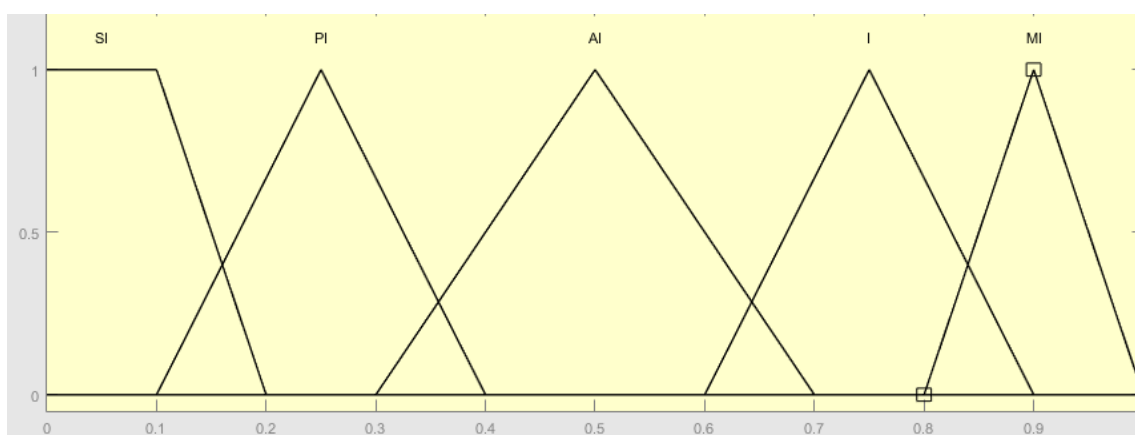


Figura 3.3 - Valores lingüísticos

### 3.4. 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 según el principio de la extensión (Zadeh, 1975), de la siguiente manera:

$$\text{Suma difusa: } A_1 \oplus A_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2, d_1 + d_2) \quad (3.1)$$

$$\text{Resta difusa: } A_1 \ominus A_2 = (a_1 - d_2, b_1 - c_2, c_1 - b_2, d_1 - a_2) \quad (3.2)$$

$$\text{Producto difuso: } A_1 \otimes A_2 \approx (a_1 \cdot a_2, b_1 \cdot b_2, c_1 \cdot c_2, d_1 \cdot d_2) \quad (3.3)$$

$$\text{Cociente difuso: } A_1 \oslash A_2 \approx (a_1/d_2, b_1/c_2, c_1/b_2, d_1/a_2) \quad (3.4)$$

A pesar de que en la mayoría de las aplicaciones prácticas se aproximen a un número trapezoidal, la multiplicación y el cociente entre números difusos trapezoidales no da un número trapezoidal.

En cuanto al producto de un escalar por un número difuso se define de la siguiente manera:

$$A_1 \times k = (a_1 \times k, b_1 \times k, c_1 \times k, d_1 \times k) \text{ si } k > 0 \quad (3.5)$$

$$A_1 \times k = (d_1 \times k, c_1 \times k, b_1 \times k, a_1 \times k) \text{ si } k < 0 \quad (3.6)$$

Para finalizar este apartado, cabe destacar que las operaciones estándar de Zadeh se adaptan a determinadas situaciones y contextos, así que la solución al problema sobre qué operador se debe seleccionar es prácticamente inmediata.

### 3.5. REGLAS IF-THEN

Las reglas if-then son usadas para formular declaraciones condicionales de las que son sujetos los conjuntos y operaciones difusas. Así, por ejemplo, una regla if-then simple puede poseer la siguiente estructura:

- "Si X es A, entonces Y es B"  
           PREMISA                    CONSECUENCIA

Siendo A y B valores lingüísticos definidos por el conjunto difuso en los rangos x e y. Podemos observar como la parte "if" es "Si x es A" (*antecedente o premisa*) y la parte "then" es "y es B" (*consecuencia*). Un ejemplo aplicado a la lógica difusa sería:

- "¿Cómo de buena ha sido la comida de un restaurante?"

Podemos observar como este caso presenta más de una consecuencia, pudiendo también haber varias premisas.

Por otro lado, para interpretar una regla if-then se deben seguir las siguientes instrucciones: en primer lugar se evalúa la **premisa** *fuzzyficando* la entrada y aplicando las operaciones difusas necesarias; después se aplica el resultado del anterior paso a la **consecuencia**.

Dichas premisas y consecuencias pueden tener varias partes. De este modo, en el caso de lógica binaria (verdadero o falso), estas reglas no presentan complicaciones. Si la premisa es verdadera para cierto grado de pertenencia, entonces la consecuencia también será verdadera para el mismo grado. O lo que es lo mismo:

- En lógica binaria:  $p \Rightarrow q$  (p y q son ambas verdaderas o falsas).
- En lógica difusa:  $0,5p \Rightarrow 0,5q$  (premisa y consecuencia parcialmente verdaderas o parcialmente falsas) .

En general, la entrada o "input" de una regla if-then es el valor de la variable de entrada mientras que el "output" o salida es un conjunto difuso. Dicho conjunto será defuzzyficado más tarde asignándole un solo valor a la salida.

A modo de guía paso a paso, la aplicación de las reglas if-then puede llevarse a cabo siguiendo las fases que se exponen a continuación.

### 3.5.1. Fuzzyficación de las entradas.

Se resuelven inicialmente todas las declaraciones difusas de la premisa para un grado de pertenencia entre 0 y 1. En el ejemplo usado, cada regla depende de resolver las entradas en conjuntos difusos lingüísticos: el servicio es bueno, la comida es mala, la comida es deliciosa, etc. Antes de que las reglas puedan ser evaluadas, hay que *fuzzyficar* las entradas en relación a su respectivo valor lingüístico. Por ejemplo: *¿cómo de buena es la comida?* Esto se hace numerando la entrada del 0 al 10 (por ejemplo con un valor de 8), obteniendo una función de pertenencia ( $\mu=0,7$ ). De esta manera, la respuesta será: *"la comida es deliciosa para un grado de 0,7"*. En la figura 3.4 podemos observar el procedimiento.



Figura 3.4 - Fuzzyficación de las entradas

### 3.5.2. Aplicación de los operadores difusos

A continuación y en el caso de que también haya múltiples premisas, se aplican los operadores difusos para obtener un resultado entre 0 y 1 que represente dicho antecedente. Independientemente de una o varias premisas, el número se aplica a la función de salida. De esta manera, las entradas del operador difuso son dos o más

funciones de pertenencia que provienen de las variables de entrada *fuzzyficada* mientras que la salida es un único valor.

En la Lógica Difusa se usan dos métodos **AND**: *min* (mínimo) y *prod* (producto); además de dos métodos **OR**: *max* (máximo) y *probor* (probabilístico). Este último también es conocido como la suma algebraica y cumple la siguiente ecuación:  $probor(a, b) = a + b - ab$ .

En la figura 3.5 encontramos un ejemplo del operador OR, *max*, en el que se evalúa el antecedente anterior visto junto a otro ("el servicio es excelente") para calcular la propina (output) a dejar en el restaurante. Así, tenemos dos tipos de grado de antecedentes: que la comida sea deliciosa (en este caso presenta un valor difuso de 0,7) y el grado de excelencia del servicio (es bajo y en este caso tiene una función de pertenencia de 0,0). Al aplicar el operador difuso OR, este actúa seleccionando el máximo de los dos valores de la función de pertenencia, en este caso 0,7.

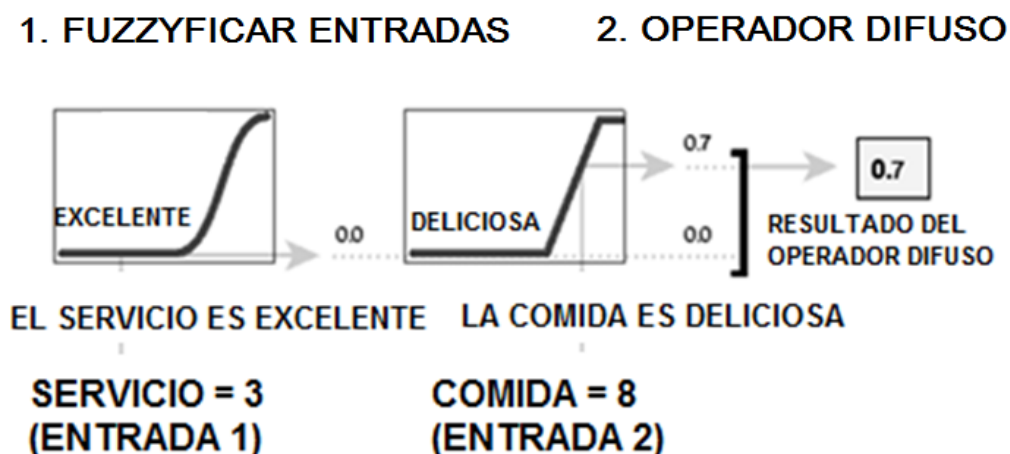


Figura 3.5 - Aplicación de los operadores difusos

### 3.5.3. Aplicación del método de implicación

Antes de aplicar el método, se evalúa el peso de la regla. Se trata de un valor específico de la regla que oscila entre 0 y 1 y que se aplica al valor subyacente de la premisa. Generalmente y también en este caso particular, el peso de la regla es de 1 por lo que no influye de ninguna manera en el resultado. Si el antecedente es parcialmente verdadero (tiene asignado un valor menor de 1), entonces el conjunto de salida se trunca de acuerdo con el método.

Así, la consecuencia cambia de forma usando una función de pertenencia asociada con el antecedente (un número del 0 al 1); y de esta manera la entrada al proceso de implicación es un número dado por la premisa (0,7), mientras que la salida es un

conjunto difuso que es **truncado** (Método AND: función *min*) o **escalado** (Método AND: función *product*) por el peso de la regla. En la figura 3.6 podemos observar la realización de esta etapa mediante la función *min*.

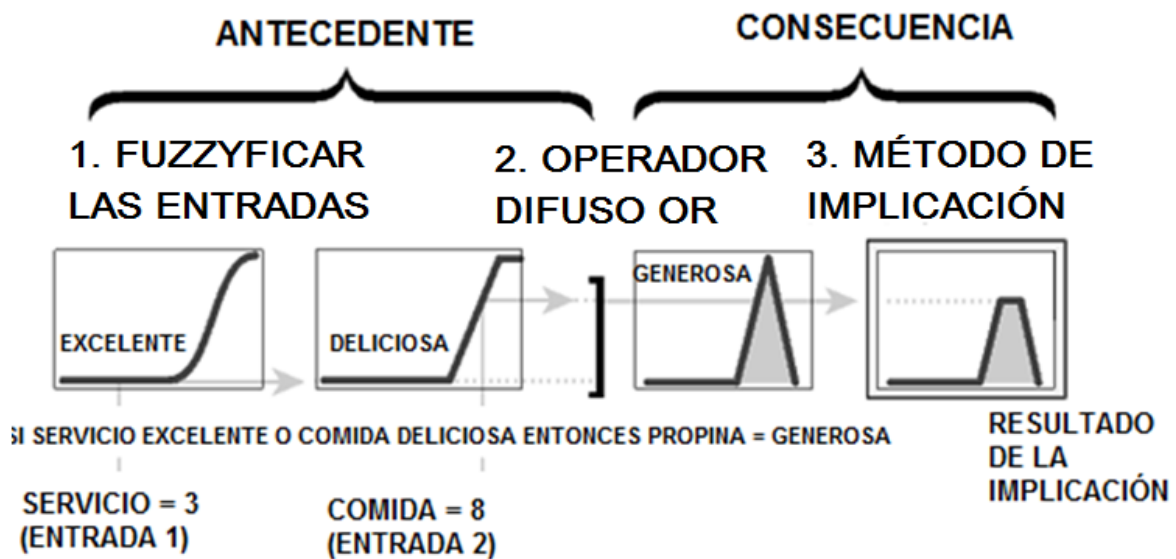


Figura 3.6 - Método de implicación

#### 3.5.4. Agregación de todas las salidas

En esta etapa se combinan todos los conjuntos difusos truncados obtenidos anteriormente y que representan las salidas de cada regla con el objeto de obtener un único conjunto difuso para cada variable de salida antes de la defuzzyficación.

Los métodos soportados por esta fase son: **max** (maximo), **probor** (probabilistic OR) y **sum** (suma). Así, en el diagrama de la figura 3.7 podemos observar como las salidas de cada regla (servicio y comida bajos, solamente buen servicio y servicio bajo y buena comida) se combinan en un solo conjunto difuso cuya función de pertenencia asigna un valor para cada salida, en este caso la propina (baja, normal y generosa), usando el método max:

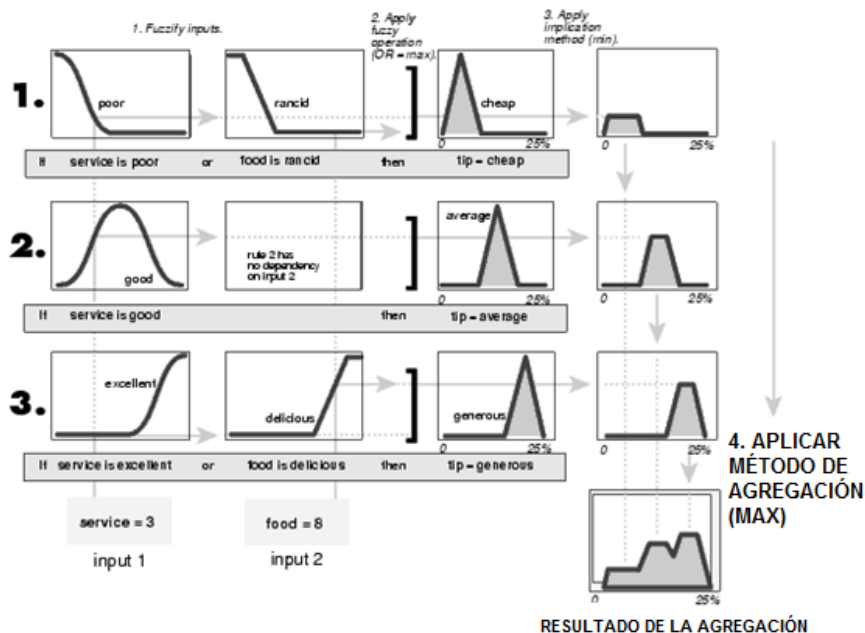


Figura 3.7 - Agregación de las salidas

### 3.5.5. Defuzzyficación

A pesar de que los conjuntos difusos ayudan a evaluar la regla durante los pasos intermedios, el resultado final para cada variable debe ser **un único valor numérico**. Como el agregado formado por un conjunto difuso engloba un rango de valores, es necesario *defuzzyficarlo* para obtener un único valor de salida del conjunto. Así, en función del método de *defuzzyficación* con el que resolvamos el Sistema de Inferencia difusa, se pueden usar los procedimientos de Mamdani o Sugeno. La diferencia entre ambas metodologías estriba en que la primera es la más aceptada para expresar con precisión y de manera más humana la información, mientras que la segunda calcula de forma más eficiente y funciona bien con técnicas de optimización en problemas de control de sistemas dinámicos y no lineales.

Entre los métodos de Mamdani usados en esta etapa del ejemplo, se encuentran: cálculo del centroide (el más conocido), bisector, media del máximo, mayor valor del máximo y menor valor del máximo. A continuación se explicarán algunos de los métodos Mamdani más usados:

#### 2.5.5.1 Cálculo del centroide

Esta técnica toma el agregado de la etapa anterior y calcula su centro de masas para obtener un número clásico según la siguiente fórmula:

$$z = \frac{\sum_{j=1}^q Z_j u_c(Z_j)}{\sum_{j=1}^q u_c(Z_j)}$$

Donde Z es el centro de masas y  $u_c$  es la función de pertenencia del valor  $Z_j$ . En la siguiente figura se puede apreciar la aplicación gráfica de esta técnica.

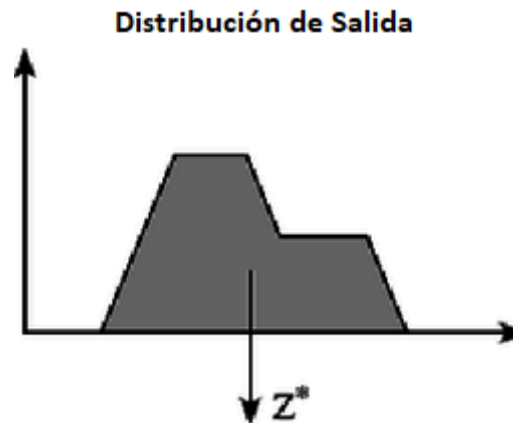


Figura 3.8 – Defuzzificación mediante la técnica del cálculo del centroide

#### 2.5.5.2. Media del máximo

En este caso, usa la agregación para encontrar la media del máximo y obtener un número clásico según la siguiente fórmula:

$$z = \frac{\sum_{j=1}^l z_j}{l}$$

Donde Z es la media del máximo,  $Z_j$  es el punto en el cual la función de pertenencia es máximo y l es el número de veces que la función de distribución de salida alcanza el máximo nivel.

#### 2.5.5.3. Bisector

Consiste en aplicar la técnica del bisector, una línea vertical que divide la región en dos sub-regiones de igual área y que en ciertas ocasiones coincide con el centroide. En la figura 3.9 puede observarse un ejemplo de esta técnica.



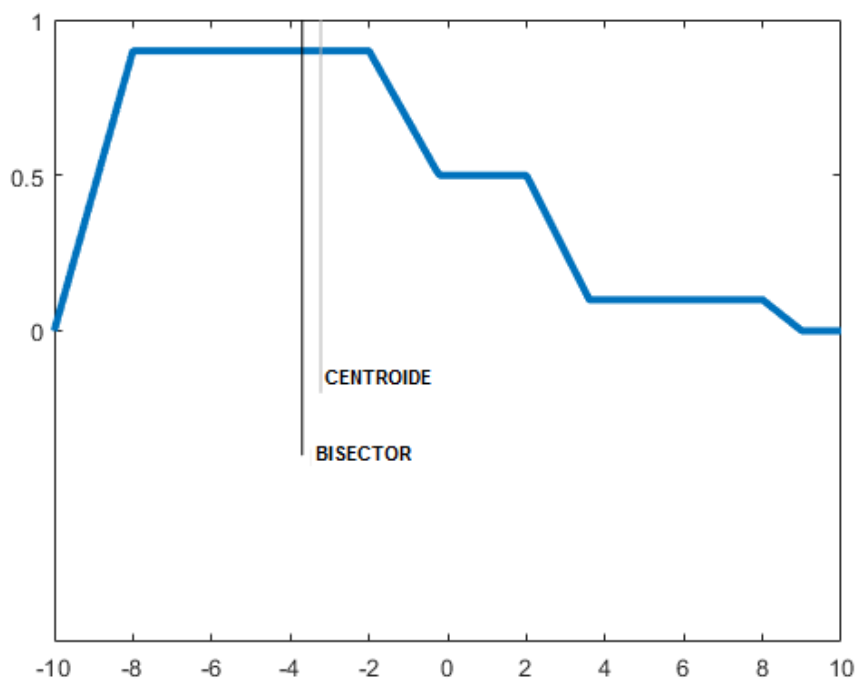


Figura 3.9 – Defasificación mediante la técnica del bisector

Volviendo al ejemplo, en la figura 3.10 podemos ver cómo se lleva a cabo esta etapa con el método del centroide dando como resultado el centro del área de la curva obtenida en la etapa anterior.

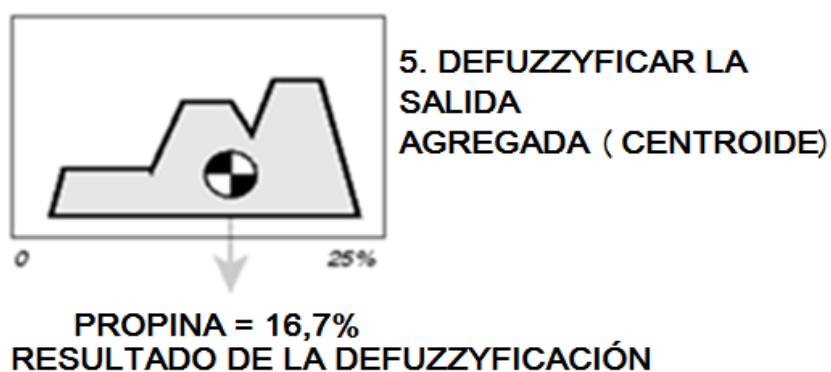


Figura 3.10 – Defuzzificación del ejemplo

### 3.5.5. El diagrama de inferencia difusa

Para finalizar, la siguiente figura representa el diagrama de inferencia difusa, que sintetiza las fases anteriormente vistas y muestra de manera eficaz el flujo de información.

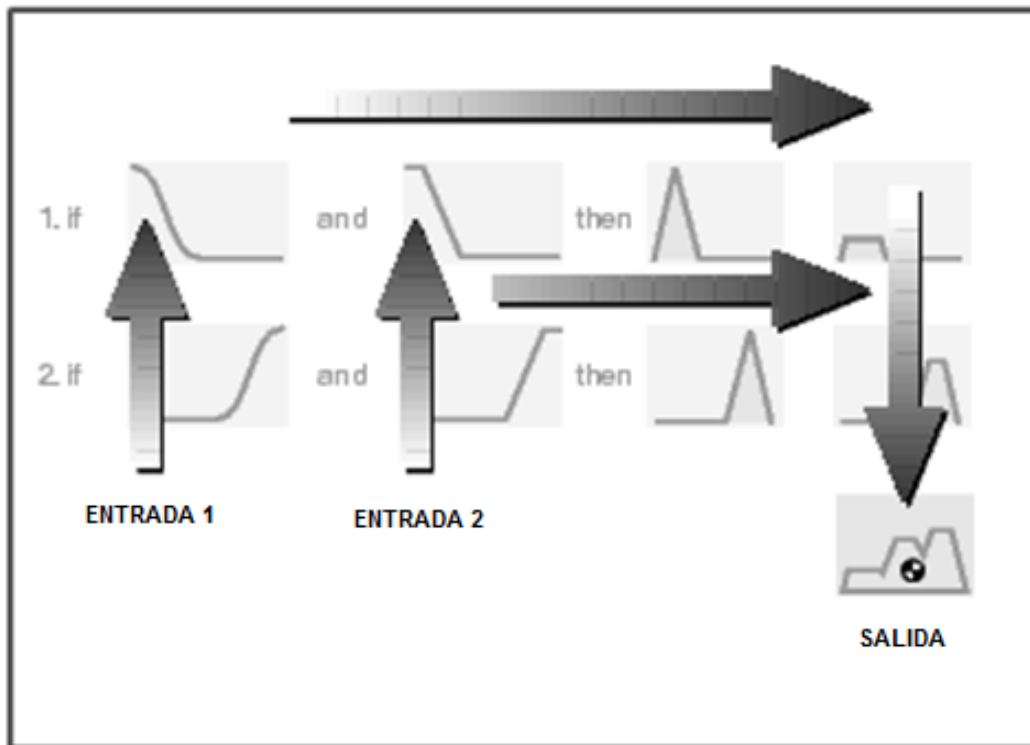


Figura 3.11 - Diagrama de inferencia difusa (Reglas IF-THEN)

Asimismo, podemos observar como la información fluye desde la entrada (esquina izquierda) a través de cada regla y después desciende por las salidas de la regla para finalizar en el agregado de la esquina inferior derecha. De esta manera se presentan las distintas fases, desde la *fuzzyficación* de la variable lingüística hasta la *defuzzyficación* del agregado de salida.

## 4. MÉTODO DIFUSO PROPUESTO

Tras la revisión que se ha hecho previamente de los métodos de evaluación de riesgos difusos así como de la Lógica Difusa, se definirá a continuación el método usado en el presente trabajo compuesto por las siguientes fases:

- Fase preliminar: establecimiento del grupo de evaluación e identificación de los riesgos.
- Definición de la escala lingüística-difusa y de las reglas If-Then.
- Aplicación del algoritmo de evaluación.

### 4.1. FASE PRELIMINAR: ESTABLECIMIENTO DEL GRUPO DE EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS

En primer lugar será necesario seleccionar un conjunto de expertos con un alto nivel de conocimiento y experiencia previa en proyectos similares al que se va a aplicar, incluyendo: Project Managers, miembros del equipo de proyecto, clientes, expertos en la materia del exterior e inversores.

Todos los miembros del proyecto, incluidos los integrantes del grupo de evaluación, podrán tomar partido en la identificación de los riesgos, investigando las posibles fuentes de riesgos del proyecto con técnicas como las descritas en el Anexo 2.

### 4.2. DEFINICIÓN DE LA ESCALA LINGÜÍSTICA-DIFUSA Y DE LAS REGLAS IF-THEN

#### 4.2.1 VALORACIONES LINGÜÍSTICAS-DIFUSAS DE LAS VARIABLES

##### 4.2.1.1. *Factor de Riesgo, probabilidad e impacto*

El Factor de Riesgo(R) de cada uno de los riesgos que afectan al proyecto puede ser evaluado atendiendo a la probabilidad (P) e impacto (I) mediante la siguiente fórmula:

$$R = P * I \quad (4.1)$$

Así, por cada riesgo tendremos dos variables de entrada que serán su probabilidad e impacto. Como el aumento de riesgos implica un incremento de entradas y por ende un mayor número de reglas If-Then (ver apartado 4.1.2). este modelo asumirá que no existe interacción entre los distintos riesgos para así evitar una mayor complejidad.

##### 4.2.1.2 *Definiciones lingüísticas y difusas*

En siguiente lugar, es necesario construir una escala que refleje los distintos valores lingüísticos que pueden tomar las variables, así como su valor difuso asociado a ellos. Esta aproximación será especialmente útil para tratar casos en los que los miembros

del grupo de evaluación del proyecto no tengan los datos suficientes para operar con ausencia de incertidumbre en las situaciones de riesgo del proyecto.

Es por ello que a continuación se han definido las distintas valoraciones lingüísticas, así como los números difusos correspondientes a ellas para cada probabilidad, impacto y factor de riesgo de acuerdo a las funciones de pertenencia difusas de geometría triangular vistas en el apartado anterior. En la tabla 4.1 podemos observar las cinco valoraciones lingüísticas: "Muy baja", "baja", "media", "alta" y "muy alta" que describen las tres variables del proceso (Zeng et al, 2004):

<b>ENTRADA 1: PROBABILIDAD DEL RIESGO (P)</b>		
(0.0, 0.0, 0.3)	Muy Baja (MB)	Es poco probable que ocurra
(0.1, 0.3, 0.5)	Baja (B)	Es probable que ocurra una vez durante el ciclo de vida del proyecto
(0.3, 0.5, 0.7)	Media (M)	Ocurre ocasionalmente
(0.5, 0.7, 0.9)	Alta (A)	Ocurre con frecuencia
(0.7, 1.0, 1.0)	Muy Alta (MA)	Es casi inevitable que ocurra
<b>ENTRADA 2: IMPACTO DEL RIESGO (I)</b>		
(0.0, 0.0, 0.3)	Muy Bajo (MB)	No existe retraso ni daño a la estructura
(0.1, 0.3, 0.5)	Bajo (B)	Ligero daño o retraso
(0.3, 0.5, 0.7)	Medio (M)	Algunos retrasos. Daño intermedio
(0.5, 0.7, 0.9)	Alto (A)	Retrasos y daños considerables
(0.7, 1.0, 1.0)	Muy Alto (MA)	Daños irrecuperables
<b>SALIDA: FACTOR DE RIESGO (R)</b>		
(0.0, 0.0, 0.3)	Muy Bajo (MB)	Despreciable
(0.1, 0.3, 0.5)	Bajo (B)	Tolerable
(0.3, 0.5, 0.7)	Medio (M)	Nivel medio. Requiere gestión de riesgos
(0.5, 0.7, 0.9)	Alto (A)	Sustancial e intolerable
(0.7, 1.0, 1.0)	Muy Alto (MA)	Riesgo prioritario

Tabla 4.1 - Valoraciones lingüísticas y conjuntos difusos de probabilidad, impacto y factor de riesgo

#### 4.2.2. REGLAS IF-THEN

Como ya se ha podido observar en el capítulo 3, las reglas If-Then son la base de la inferencia difusa ya que proporcionan una salida a partir de varias entradas, en este caso permiten obtener el factor de riesgo a partir de las funciones triangulares de probabilidad e impacto. Así pues, a continuación se enumeran las reglas If-Then (Si...entonces) del modelo y en la tabla 4.2, se recoge una representación matricial de este conjunto de reglas. Como tenemos cinco valoraciones para cada entrada, habrá un total de veinticinco combinaciones con sus correspondientes reglas (Zeng et al, 2004).

- Si la **Probabilidad** es Muy Baja y el **Impacto** es Muy Bajo, el **Factor de Riesgo** es Muy Bajo.
- Si la **Probabilidad** es Baja y el **Impacto** es Muy Bajo, el **Factor de Riesgo** es Muy Bajo.
- Si la **Probabilidad** es Media y el **Impacto** es Muy Bajo, el **Factor de Riesgo** es Muy Bajo.
- Si la **Probabilidad** es Alta y el **Impacto** es Muy Bajo, el **Factor de Riesgo** es Muy Bajo.
- Si la **Probabilidad** es Muy Alta y el **Impacto** es Muy Bajo, el **Factor de Riesgo** es Bajo.
- Si la **Probabilidad** es Muy Baja y el **Impacto** es Bajo, el **Factor de Riesgo** es Muy Bajo.
- Si la **Probabilidad** es Baja y el **Impacto** es Bajo, el **Factor de Riesgo** es Muy Bajo.
- Si la **Probabilidad** es Media y el **Impacto** es Bajo, el **Factor de Riesgo** es Bajo.
- Si la **Probabilidad** es Alta y el **Impacto** es Bajo, el **Factor de Riesgo** es Bajo.
- Si la **Probabilidad** es Muy Alta y el **Impacto** es Bajo, el **Factor de Riesgo** es Medio.
- Si la **Probabilidad** es Muy Baja y el **Impacto** es Medio, el **Factor de Riesgo** es Bajo.
- Si la **Probabilidad** es Baja y el **Impacto** es Medio, el **Factor de Riesgo** es Bajo.
- Si la **Probabilidad** es Media y el **Impacto** es Medio, el **Factor de Riesgo** es Bajo.
- Si la **Probabilidad** es Alta y el **Impacto** es Medio, el **Factor de Riesgo** es Medio.
- Si la **Probabilidad** es Muy Alta y el **Impacto** es Medio, el **Factor de Riesgo** es Alto.
- Si la **Probabilidad** es Muy Baja y el **Impacto** es Alto, el **Factor de Riesgo** es Bajo.
- Si la **Probabilidad** es Baja y el **Impacto** es Alto, el **Factor de Riesgo** es Bajo.
- Si la **Probabilidad** es Media y el **Impacto** es Alto, el **Factor de Riesgo** es Medio.
- Si la **Probabilidad** es Alta y el **Impacto** es Alto, el **Factor de Riesgo** es Alto.
- Si la **Probabilidad** es Muy Alta y el **Impacto** es Alto, el **Factor de Riesgo** es Alto.
- Si la **Probabilidad** es Muy Baja y el **Impacto** es Muy Alto, el **Factor de Riesgo** es Bajo.
- Si la **Probabilidad** es Baja y el **Impacto** es Muy Alto, el **Factor de Riesgo** es Bajo.
- Si la **Probabilidad** es Media y el **Impacto** es Muy Alto, el **Factor de Riesgo** es Medio.
- Si la **Probabilidad** es Alta y el **Impacto** es Muy Alto, el **Factor de Riesgo** es Alto.
- Si la **Probabilidad** es Muy Alta y el **Impacto** es Muy Alto, el **Factor de Riesgo** es Muy Alto.

		PROBABILIDAD				
		MB	B	M	A	MA
IMPACTO	MB	MB	MB	MB	B	B
	B	MB	MB	B	B	M
	M	B	B	B	M	A
	A	B	B	M	A	A
	MA	B	B	M	A	MA

Tabla 4.2 - Reglas If-then

Para finalizar esta fase preparatoria del método, se incluye en la siguiente figura un diagrama que muestra los distintos elementos del sistema y como interactúan.

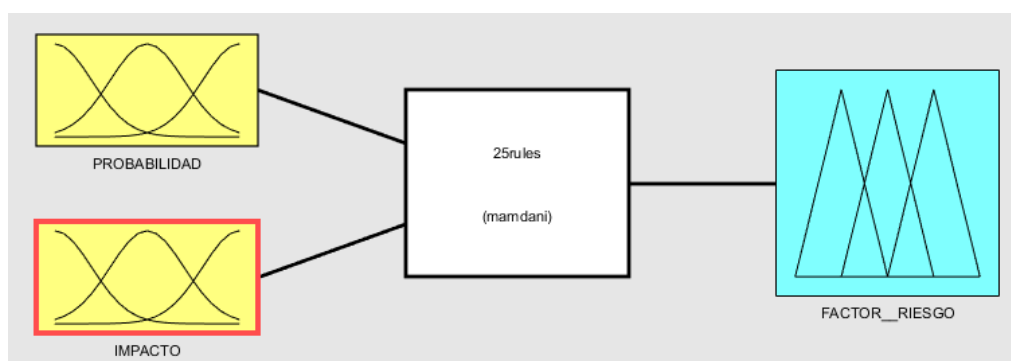


Figura 4.1 - Diagrama del sistema

### 4.3. APLICACIÓN DEL ALGORITMO DE EVALUACIÓN

Tras la definición y establecimiento de los parámetros del modelo en el apartado anterior y en el caso de que el modelo propuesto tenga en cuenta las valoraciones de los distintos expertos pertenecientes al grupo de evaluación, la fase de agregación tomará las distintas evaluaciones individuales de cada uno de los individuos y las acoplará formando una unidad de información colectiva.

La decisión principal dependerá por tanto de la conveniencia de realizar la agregación de las entradas (media de los valores difusos de probabilidad e impacto evaluados por los distintos expertos para cada riesgo), o de las salidas (media aritmética de los factores de riesgo). Dicho de otro modo, la diferencia entre ambas formas de proceder se hallará en que una agregación anterior a la aplicación de las reglas if-then combinará los valores difusos mientras que una posterior por el contrario agregará los números clásicos.

Como ya hemos visto que el grupo de decisión multiexperto debe estar formado por una serie de individuos con distintos conocimientos y por lo tanto con una capacidad de análisis parcial y distinta al resto, lo más razonable sería agregar las entradas en vez de las salidas. Sin embargo, en este trabajo se enfocará dicho problema multiexperto

mediante la evaluación de ambas formas de agregación posibles, para así posteriormente comparar los resultados obtenidos junto a los del procedimiento con un solo experto. Además, como el marco de evaluación es el mismo para cada uno de los expertos (mismas funciones de pertenencia y valores lingüísticos vistos en el apartado 4.2.1), será favorable realizar una agregación tanto a la entrada como a la salida del sistema.

#### 4.3.1 AGREGACIÓN DE LAS ENTRADAS

Para poder realizar la agregación de las entradas de un riesgo, primero sumaremos aritméticamente los distintos valores representados mediante números difusos para cada uno de los expertos, y después dividiremos entre el número de expertos total. Se usará una de las ecuaciones vistas en el apartado 3.4:

$$\text{Suma difusa: } A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = (a_1 + a_2 + a_3 + a_4, b_1 + b_2 + b_3 + b_4, c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + d_1 + d_2 + d_3 + d_4) \quad (4.2)$$

siendo  $A_1$  la probabilidad o el impacto evaluados por un experto y  $A_2, A_3$  y  $A_4$  por los otros expertos para el mismo riesgo. Después se dividirá entre el número de expertos (4 en este caso), concluyendo así la agregación para ese riesgo.

#### 4.3.2. AGREGACIÓN DE LAS SALIDAS

En esta otra situación, el procedimiento es más sencillo ya que estamos operando con números clásicos. La obtención del Factor de Riesgo (R) se llevaría a cabo mediante la media aritmética de los resultados obtenidos por cada experto, como se puede ver en la ecuación siguiente.

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{n} \quad (4.3)$$

siendo  $n$  el número de expertos,  $R_i$  el Factor de Riesgo obtenido por cada experto  $i$ -ésimo y  $R$  el Factor de Riesgo resultado de la agregación.

#### 4.3.3. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

A continuación y después de haber visto las distintas agregaciones que pueden tener lugar, se enumeran los pasos del método propuesto. Cabe destacar de nuevo que se realizarán cuando se hayan establecido los expertos del grupo de evaluación, identificado los riesgos y construido las escalas lingüísticas-difusas y las reglas If-Then como hemos visto en los apartados previos.

1. Cada uno de los expertos calificará la probabilidad e impacto de acuerdo a la escala lingüística-difusa ya definida.
2. Agregación de las entradas si procede o no, según lo visto en 4.3.1.
3. Introducción de los valores de Probabilidad (P) e Impacto (I) en la Fuzzy Logic Toolbox.
4. Obtención del Factor de Riesgo (R).
5. Agregación de las salidas según lo visto en 4.3.2. y en caso de que no se haya realizado a la entrada.
6. Jerarquización de los riesgos en función de sus Factores de Riesgo (R).



## 5. APLICACIÓN PRÁCTICA

Para ilustrar cómo funciona el método difuso descrito en el capítulo anterior, la aplicación práctica se ha llevado a cabo usando los datos concernientes al caso de un proyecto de rehabilitación de un edificio de la Universidad de Cartagena (Nieto Morote A., Ruz-Vila F., 2010).

### 5.1. FASE PRELIMINAR: ESTABLECIMIENTO DEL GRUPO DE EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS

De acuerdo a los requerimientos del proyecto, su duración se ha especificado como un objetivo crítico y por ello se han identificado cuatro riesgos distintos que pueden llevar al retraso del proyecto:

<b>RIESGOS DEL PROYECTO</b>
Ausencia de un proceso adecuado
Falta de recursos
Insuficiente experiencia de los integrantes del equipo
Falta de motivación y actitudes

Tabla 5.1 - Riesgos del proyecto

Podemos comprobar que es complicado evaluar estos riesgos de manera convencional debido a la subjetividad involucrada en el proceso. De esta manera y para evaluarlos según el método difuso, se ha empleado la opinión de cuatro expertos distintos con experiencia en rehabilitación de edificios:

<b>EXPERTOS DE EVALUACIÓN</b>
INGENIERO CIVIL
ARQUITECTO
ARQUEÓLOGO
PROJECT MANAGER

Tabla 5.2 - Expertos de evaluación

### 5.2. DEFINICIÓN DE LA ESCALA LINGÜÍSTICA-DIFUSA Y DE LAS REGLAS IF-THEN

Se ha realizado la construcción del modelo y sus reglas IF-Then en la herramienta Fuzzy Logic Toolbox de Matlab. Una explicación y ejemplo de su uso viene descrita en el Anexo 3.

### 5.3. APLICACIÓN DEL ALGORITMO DE EVALUACIÓN

A continuación y con el objeto de realizar una comparativa, primero se aplicará el modelo propuesto para el caso de un solo experto y seguidamente para varios expertos realizando la agregación a la entrada o a la salida.

#### 5.3.1. APLICACIÓN UNIEXPERTO

En este caso tendremos en cuenta la opinión individual de solamente un experto a la hora de evaluar cada riesgo. En las tablas 5.3 y 5.4 podemos observar las distintas valoraciones lingüísticas en función del experto y su transformación a números difusos según el modelo del apartado 4.

<b>PROBABILIDAD (P). EXPERTO: INGENIERO CIVIL.</b>		
<b>RIESGO</b>	<b>TÉRMINO LINGÜÍSTICO</b>	<b>NÚMERO DIFUSO</b>
Ausencia de proceso adecuado	"Baja" (B)	(0.1,0.3,0.5)
Falta de recursos	"Media" (M)	(0.3,0.5,0.7)
Insuficiente experiencia de los integrantes del equipo	"Media" (M)	(0.3,0.5,0.7)
Falta de motivación y actitudes	"Media" (M)	(0.3,0.5,0.7)
<b>PROBABILIDAD (P). EXPERTO: ARQUITECTO</b>		
<b>RIESGO</b>	<b>TÉRMINO LINGÜÍSTICO</b>	<b>NÚMERO DIFUSO</b>
Ausencia de proceso adecuado	"Baja" (B)	(0.1,0.3,0.5)
Falta de recursos	"Media" (M)	(0.3,0.5,0.7)
Insuficiente experiencia de los integrantes del equipo	"Media" (M)	(0.3,0.5,0.7)
Falta de motivación y actitudes	"Alta" (A)	(0.5, 0.7, 0.9)
<b>PROBABILIDAD (P). EXPERTO: ARQUEÓLOGO</b>		
<b>RIESGO</b>	<b>TÉRMINO LINGÜÍSTICO</b>	<b>NÚMERO DIFUSO</b>
Ausencia de proceso adecuado	"Media" (M)	(0.3,0.5,0.7)
Falta de recursos	"Alta" (A)	(0.5, 0.7, 0.9)
Insuficiente experiencia de los integrantes del equipo	"Baja" (B)	(0.1,0.3,0.5)
Falta de motivación y actitudes	"Alta" (A)	(0.5, 0.7, 0.9)
<b>PROBABILIDAD (P). EXPERTO: PROJECT MANAGER</b>		
<b>RIESGO</b>	<b>TÉRMINO LINGÜÍSTICO</b>	<b>NÚMERO DIFUSO</b>
Ausencia de proceso adecuado	"Media" (M)	(0.3,0.5,0.7)
Falta de recursos	"Media" (M)	(0.3,0.5,0.7)
Insuficiente experiencia de los integrantes del equipo	"Media" (M)	(0.3,0.5,0.7)
Falta de motivación y actitudes	"Alta" (A)	(0.5, 0.7, 0.9)

Tabla 5.3 - Probabilidad de los riesgos

<b>IMPACTO (I). EXPERTO: INGENIERO CIVIL.</b>		
<b>RIESGO</b>	<b>TÉRMINO LINGÜÍSTICO</b>	<b>NÚMERO DIFUSO</b>
Ausencia de proceso adecuado	"Bajo" (B)	(0.1,0.3,0.5)
Falta de recursos	"Muy bajo" (MB)	(0.0, 0.0, 0.3)
Insuficiente experiencia de los integrantes del equipo	"Medio" (M)	(0.3,0.5,0.7)
Falta de motivación y actitudes	"Medio" (M)	(0.3,0.5,0.7)
<b>IMPACTO (I). EXPERTO: ARQUITECTO</b>		
<b>RIESGO</b>	<b>TÉRMINO LINGÜÍSTICO</b>	<b>NÚMERO DIFUSO</b>
Ausencia de proceso adecuado	"Muy bajo" (MB)	(0.0,0.0,0.3)
Falta de recursos	"Medio" (M)	(0.3,0.5,0.7)
Insuficiente experiencia de los integrantes del equipo	"Alto" (A)	(0.5,0.7,0.9)
Falta de motivación y actitudes	"Bajo" (B)	(0.1,0.3,0.5)
<b>IMPACTO (I). EXPERTO: ARQUEÓLOGO</b>		
<b>RIESGO</b>	<b>TÉRMINO LINGÜÍSTICO</b>	<b>NÚMERO DIFUSO</b>
Ausencia de proceso adecuado	"Medio" (M)	(0.3,0.5,0.7)
Falta de recursos	"Medio" (M)	(0.3,0.5,0.7)
Insuficiente experiencia de los integrantes del equipo	"Medio" (M)	(0.3,0.5,0.7)
Falta de motivación y actitudes	"Medio" (M)	(0.3,0.5,0.7)
<b>IMPACTO (I). EXPERTO: PROJECT MANAGER</b>		
<b>RIESGO</b>	<b>TÉRMINO LINGÜÍSTICO</b>	<b>NÚMERO DIFUSO</b>
Ausencia de proceso adecuado	"Alto" (A)	(0.5, 0.7, 0.9)
Falta de recursos	"Bajo" (B)	(0.1,0.3,0.5)
Insuficiente experiencia de los integrantes del equipo	"Alto" (A)	(0.5, 0.7, 0.9)
Falta de motivación y actitudes	"Alto" (A)	(0.5, 0.7, 0.9)

Tabla 5.4 - Impacto de los riesgos.

Después, tras introducir los valores de las distintas probabilidades y riesgos en la Fuzzy Logic Toolbox, se han obtenido los factores de riesgo, que se recogen en la tabla 5.5.

<b>FACTOR DE RIESGO</b>	Ausencia de proceso adecuado	Falta de recursos	Insuficiente experiencia de los integrantes del equipo	Falta de motivación y actitudes
INGENIERO CIVIL	0,0967	0,1060	0,3000	0,3000
ARQUITECTO	0,1060	0,3000	0,5000	0,3000
ARQUEÓLOGO	0,3000	0,5000	0,3000	0,5000
PROJECT MANAGER	0,5000	0,3000	0,5000	0,7000

Tabla 5.5 - Factor de riesgo según el experto

### 5.3.2. APLICACIÓN MULTIEXPERTO

#### 5.3.2.1. Multiexperto agregando las entradas

Este procedimiento se llevará a cabo tal y como aparece descrito en el apartado 4.3.1, quedando reflejados los resultados obtenidos en las siguientes tablas. Se ha obtenido primero la probabilidad e impacto agregados para cada riesgo y después el factor de riesgo resultante:

PROBABILIDAD AGREGADA (P)	
RIESGO	NÚMERO DIFUSO
Ausencia de proceso adecuado	(0.2,0.4,0.6)
Falta de recursos	(0.35,0.55,0.75)
Insuficiente experiencia de los integrantes del equipo	(0.25,0.45,0.65)
Falta de motivación y actitudes	(0.6, 0.65, 0.85)

Tabla 5.6 - Probabilidad agregada de los riesgos

IMPACTO AGREGADO (I)	
RIESGO	NÚMERO DIFUSO
Ausencia de proceso adecuado	(0.225, 0.375, 0.6)
Falta de recursos	(0.175,0.325,0.550)
Insuficiente experiencia de los integrantes del equipo	(0.4, 0.6, 0.8)
Falta de motivación y actitudes	(0.3,0.5,0.7)

Tabla 5.7 - Impacto agregado de los riesgos

RIESGO	Ausencia de proceso adecuado	Falta de recursos	Insuficiente experiencia de los integrantes del equipo	Falta de motivación y actitudes
FACTOR DE RIESGO	0,2240	0,3580	0,4000	0,5000

Tabla 5.8 - Factor de riesgo multiexperto. Agregación de las entradas.

#### 5.3.2.2. Multiexperto agregando las salidas

En este caso se ha llevado a cabo el procedimiento aplicando el modelo para cada experto (resultados del apartado 5.3.1.) y después se ha realizado la agregación de las salidas mediante la media aritmética de los factores de riesgo obtenidos, como se describe en el apartado 4.3.2.

<b>FACTOR DE RIESGO</b>	Ausencia de proceso adecuado	Falta de recursos	Insuficiente experiencia de los integrantes del equipo	Falta de motivación y actitudes
INGENIERO CIVIL	0,0967	0,1060	0,3000	0,3000
ARQUITECTO	0,1060	0,3000	0,5000	0,3000
ARQUEÓLOGO	0,3000	0,5000	0,3000	0,5000
PROJECT MANAGER	0,5000	0,3000	0,5000	0,7000
<b>AGREGADO</b>	<b>0,2507</b>	<b>0,3015</b>	<b>0,4000</b>	<b>0,4500</b>

Tabla 5.9 - Factor de Riesgo multiexperto. Agregación de las salidas

#### 5.4. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

A la vista de los resultados obtenidos mediante el método multiexperto, la tabla 5.10 recoge los distintos Factores de Riesgo (R) en función de si la agregación ha tenido lugar al principio o al final del proceso:

<b>FACTOR DE RIESGO</b>	Ausencia de proceso adecuado	Falta de recursos	Insuficiente experiencia de los integrantes del equipo	Falta de motivación y actitudes
AGREGACIÓN ENTRADAS	0,2240	0,3580	0,4000	0,5000
AGREGACIÓN SALIDAS	0,2507	0,3015	0,4000	0,4500

Tabla 5.10 - Comparación entre métodos multiexperto

Podemos observar como la diferencia cuantitativa entre ambos procedimientos multiexperto es menor a 0,5 para todos los riesgos, ya que las mayores discrepancias tendrán como causa la subjetividad que presenta cada experto.

Por otra parte, para analizar y cuantificar estas diferencias, se ha llevado a cabo una comparativa gráfica entre los factores de riesgo de cada experto (método uniexperto) y la solución agregada (multiexperto) en la siguiente gráfica.

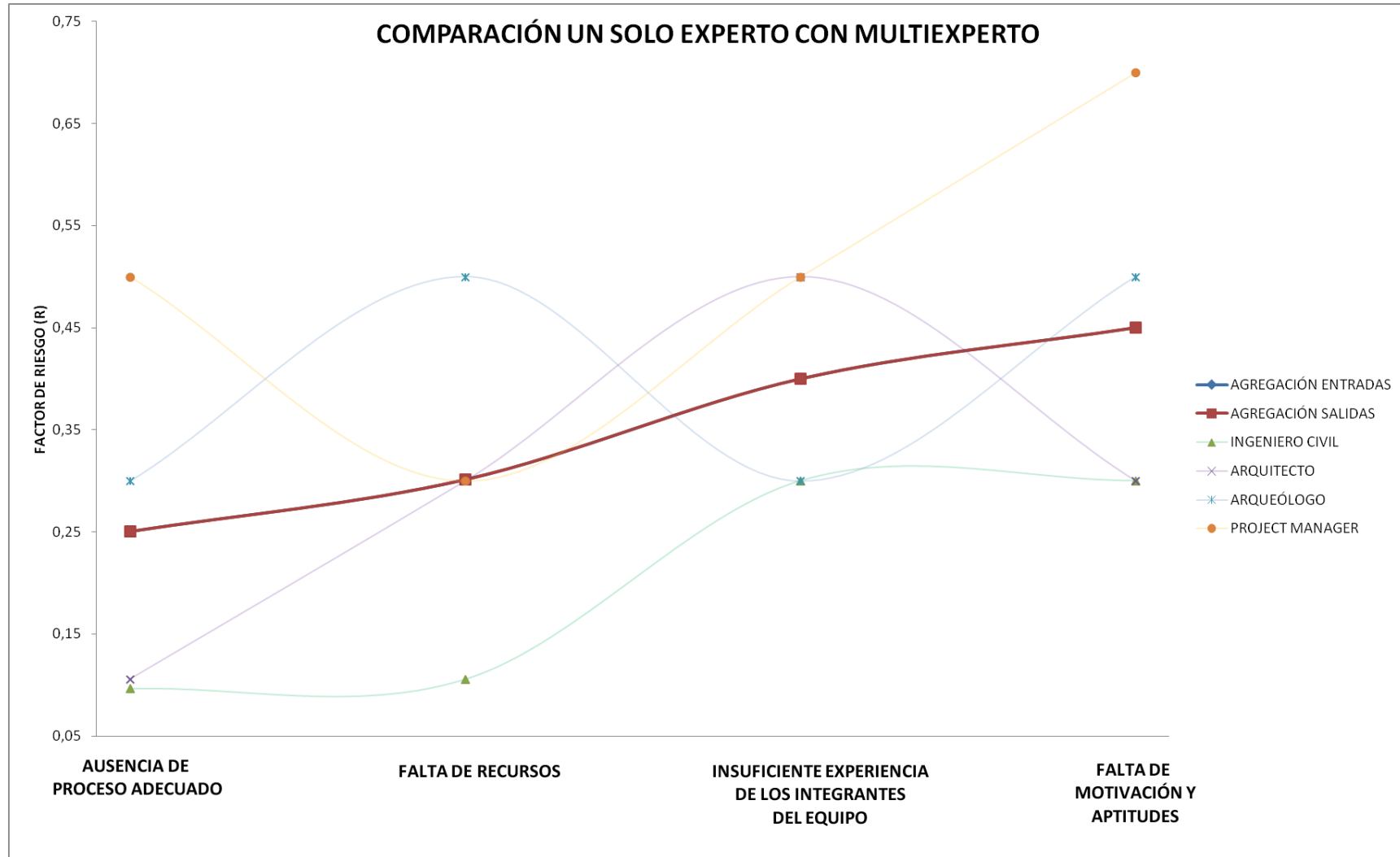


Figura 5.1 - Comparación gráfica entre los expertos y la solución agregada

Por último, en la siguiente tabla se ha calculado el porcentaje de variación de cada factor de riesgo respecto a la solución agregada para cada experto:

<b>VARIACIÓN RESPECTO A LA SOLUCIÓN AGREGADA</b>	Ausencia de proceso adecuado	Falta de recursos	Insuficiente experiencia de los integrantes del equipo	Falta de motivación y actitudes
INGENIERO CIVIL	59,26%	67,85%	25,00%	36,84%
ARQUITECTO	55,34%	9,02%	25,00%	36,84%
ARQUEÓLOGO	26,40%	51,63%	25,00%	5,26%
PROJECT MANAGER	110,66%	9,02%	25,00%	47,37%

Tabla 5.11 - Variación respecto a la solución agregada

Como podemos observar en la tabla 5.11 y la gráfica comparativa anterior, podemos observar que: los expertos que más se alejan en general de la solución agregada de los factores de riesgo de este proyecto son el ingeniero civil y el Project Manager.

Para el riesgo de "ausencia de proceso adecuado", el experto que más se aproxima es el arqueólogo. En cuanto a la "falta de recursos", el Project Manager. En el riesgo de "insuficiente experiencia de los integrantes del equipo", la desviación es la misma para todos los expertos. Por último, en la "falta de motivación y actitudes", el experto que más se acerca al factor de riesgo agregado es el arqueólogo de nuevo.

## 6. CONCLUSIONES

Como se ha podido comprobar, las fases de identificación y evaluación de la Gestión de Riesgos son críticas para un correcto desarrollo de la misma. Una vez los riesgos han sido identificados satisfactoriamente, es importante utilizar métodos de evaluación fundamentados en la Lógica Difusa para resolver situaciones de incertidumbre como las que se encuentran en los proyectos de construcción. Esto se hace asignando valores lingüísticos a la probabilidad e impacto de dichos riesgos mediante juicios realizados por expertos y convirtiéndolos a un número triangular difuso asociado que representa su significado cuantitativo y permite ser operado matemáticamente para así jerarquizar los riesgos en función de su prioridad.

Del mismo modo, se ha verificado que la agregación de factores a la entrada y a la salida proporcionan unos resultados cuantitativos con bastante similitud entre sí por lo que será más razonable realizar la agregación a la entrada a no ser que los distintos expertos no tengan el mismo marco de evaluación. Por otro lado, siempre nos alejaremos más de la subjetividad de los resultados si evaluamos usando la opinión de varios con varios expertos en lugar de la de uno solo.

A la vista de los resultados obtenidos en el apartado anterior, se ha llevado a cabo una ordenación de mayor a menor prioridad de actuación de los riesgos evaluados en función de ambas soluciones agregadas.

FACTOR DE RIESGO		PRIORIDAD DE LOS RIESGOS DEL PROYECTO
AGR. ENTRADAS	AGR. SALIDAS	
0,5000	0,4500	Falta de motivación y actitudes
0,4000	0,4000	Insuficiente experiencia de los integrantes del equipo
0,3580	0,3015	Falta de recursos
0,2240	0,2507	Ausencia de proceso adecuado

Tabla 6.1 - Prioridad de los riesgos del proyecto

Podemos observar como el riesgo "falta de motivación y actitudes" es aquel con más importancia, seguido por "insuficiente experiencia de los integrantes del equipo". Se trata de riesgos más relacionados con los individuos que participan en el proyecto que con el aspecto técnico de la rehabilitación del edificio.

Con los resultados obtenidos, un buen Project Manager se encargará de disminuir la probabilidad y el impacto de estos riesgos en el presente proyecto, haciendo especial énfasis en el aspecto humano de su equipo.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Zadeh, L.A. (1965). "Fuzzy sets". Information Control, Vol. 8, pp 338-353.
- [2] Zadeh, L. A. (1975). "The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning". Part I, Information Science Vol. 8, pp 199-249; Part II, Information Science Vol. 8, pp 301-357; Part III, Information Science Vol. 9, pp 43-80.
- [3] Liu et al (2002). "Fuzzy rule-based evidential reasoning approach for safety analysis".
- [4] AIRMIC, ALARM (2002). A Risk Management Standard (IRM).
- [5] Zeng et al (2004). "A methodology for assessing risks in the construction process".
- [6] Institution of Civil Engineers (2005). Risk Analysis and Management for Projects (RAMP).
- [7] Li et al (2005). "An integrated fuzzy-stochastic modeling approach for risk assessment of groundwater contamination".
- [8] Dikmen et al (2006). "Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects".
- [9] Zeng et al (2007). "Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment".
- [10] Lee et al (2008). "Large engineering project risk management using a Bayesian belief network".
- [11] S. Mohammad H. Mojtahedi et al (2009). " Project risk identification and assessment simultaneously using multi-attribute group decision making technique".
- [12] Tserng et al (2009). "A study of ontology-based risk management framework of construction projects through project life cycle".
- [13] Nieto-Morote A., Ruz-Vila F. (2010). "A fuzzy approach to construction project risk assessment".
- [14] Prasanta Dumar Dey (2010) "Managing project risk using combined analytic hierarchy process and risk map".
- [15] Comes et al (2011). "Decision maps: A framework for multi-criteria decision support under severe uncertainty".

**[16]** Fang y Marle (2011). "A simulation-based risk network model for decision support in project risk management".

**[17]** Nieto-Morote A., Ruz-Vila F. (2012). "Evaluación de riesgos del proyecto mediante valoraciones lingüísticas".

**[18]** Risk Management. Hinde, D. (2012). PRINCE2 Study Guide.

**[19]** Yao-Chen Kuo, Shih-Tong Lu (2012). "Using fuzzy multiple criteria decision making approach to enhance risk assessment for metropolitan construction projects".

**[20]** Project Management Institute (2013). Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK).

**[21]** Remon Fayek Aziz (2013) "Ranking of delay factors in construction projects after Egyptian revolution".

**[22]** Samantra et al (2013). "Risk assessment in IT outsourcing using fuzzy decision-making approach: An Indian perspective".

**[23]** Kuo-Feng Chien et al (2014). "Identifying and assessing critical risk factors for BIM projects: Empirical study".

**[24]** Ghaffari et al (2014). "Modeling and risk analysis of virtual project team through project life".

**[25]** Taylan et al (2014). "Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies".

**[26]** Cui et al (2016). "Product quality accidents risk analyzing approach based on the extended FTA and failure cost".

**[27]** Samantra et al (2017). "Fuzzy based risk assessment module for metropolitan construction project: An empirical study".

**[28]** Peeters et al (2017). "Improving failure analysis efficiency by combining FTA and FMEA in a recursive manner".

## ANEXO 1. ENTRADAS EN LA GESTIÓN DE RIESGOS

### A1.1. Plan para la dirección del proyecto

Recoge el estado de las diferentes áreas que pueden ser afectadas por el riesgo: alcance, planificación y coste.

### A1.2. El Acta de constitución

Recopila varias de las entradas de alto nivel, como pueden ser los riesgos, las descripciones del proyecto y los requerimientos. Es emitida por el patrocinador o el que inicia el proyecto y permite al Project Manager distribuir los recursos de la organización a las actividades del proyecto.

### A1.3. Registro de interesados

Contiene y dispone de todos los detalles relativos a los interesados en el proyecto, entre ellos una descripción de los roles de cada uno de ellos. Este documento debe de ser consultado y actualizado regularmente ya que los interesados pueden cambiar o ser identificados a lo largo del proyecto.

### A1.4. Factores ambientales de la empresa

Un conjunto de aspectos que no están bajo el control del equipo del proyecto y que influyen o dirigen el proyecto. Un ejemplo de ellos serían las actitudes frente a los riesgos y los umbrales y tolerancias que describen el grado del riesgo que la empresa puede soportar. Otros serían algunos tales como:

- Estructura organizacional.
- Distribución geográfica de las instalaciones y los recursos.
- Normas y estándares de la industria.
- Infraestructura.
- Recursos humanos existentes.
- Administración de personal.
- Condiciones del mercado.
- Ambiente político.
- Sistema de información del proyecto.

### A1.5. Activos de los procesos de la organización

Incluyen entre otros categorías de riesgos, definiciones comunes de conceptos y términos, plantillas estándar, roles, responsabilidades, niveles de autoridad en la toma de decisiones y lecciones aprendidas. Son usados para gobernar el proyecto y como entrada en la mayoría de los procesos de planificación.

### A1.6. Plan de gestión de costos

Documento que ayuda a determinar el formato y los criterios necesarios para planificar, estructurar, estimar y controlar los costos del proyecto. El plan de gestión de costos puede establecer los siguientes apartados entre otros:

- Unidades de medida: temporales (horas, días), metros, litros, kilómetros, etc.

- Nivel de precisión: basado en el alcance de las actividades y la magnitud del proyecto (por ejemplo: 10.000€ - 100.000€).
- Nivel de exactitud: el rango aceptable usado para determinar de manera realista los costes de las actividades (por ejemplo +10%).

#### **A1.7. Plan de gestión del cronograma**

Proporciona información necesaria para proyectar los objetivos del cronograma afectados por los riesgos, como por ejemplo:

- Desarrollo del modelo: se trata de la metodología y la herramienta de programación que van a ser usadas para la realización del cronograma.
- Nivel de exactitud: el rango aceptable usado para determinar duraciones realistas de las actividades. Pueden incluir contingencias.
- Unidades de medida: temporales (horas, días), metros, litros, kilómetros, etc.
- Mantenimiento del modelo de programación del proyecto: se trata del proceso usado para actualizar el estado y registrar el progreso del proyecto durante su ejecución.
- Formatos de informe: los formatos y frecuencia para los informes de programación definidos.
- Descripciones de los procesos de gestión de programación.

#### **A1.8. Plan de gestión de calidad:**

Recoge una serie de medidas que establecen cómo se van a implementar las políticas de calidad durante el proyecto. Así, describe cómo el equipo de gestión planifica la obtención de los requerimientos de calidad del proyecto. El estilo, que puede ser formal o informal, con poco o mucho nivel de detalle, vendrá determinado por los requerimientos del proyecto.

#### **A1.9. Plan de gestión de recursos humanos**

Se encarga de dar una guía sobre cómo deben ser usados y definidos los recursos humanos. Puede contener también roles, responsabilidades, autoridades, competencias, diagramas de organización, planes de adquisición de empleados, formación necesaria, reconocimientos y premios, seguridad y un calendario de recursos.

#### **A1.10. Línea base del alcance**

Está formada por la declaración del alcance que incluye una descripción del proyecto, asunciones y restricciones, una descomposición jerárquica del alcance total del trabajo (WBS) y un diccionario asociado que proporciona toda la información concerniente a cada uno de los elementos de la estructura mencionada.

#### **A1.11. Estimación de los costos de las actividades:**

Recoge los datos cuantitativos sobre el coste de cada una de las actividades programadas para completar el proyecto. Los costes pueden presentarse resumidos o en detalle y son estimados para todos los recursos que se aplican también (materiales, trabajo directo, equipamiento, instalaciones, tecnologías de información, tarifas de intercambio, etc.). Los costes indirectos pueden ser incluidos o no.

#### **A1.12. Estimación de la duración de las actividades**

Indica el tiempo necesario para completar cada una de las actividades programadas del proyecto (por ejemplo: 2 semanas  $\pm$  2 días).

#### **A1.13. Documentos del proyecto**

Mejoran la comunicación entre los interesados y el equipo del proyecto e incluyen el cronograma, registro de problemas, lista de verificación de calidad y otra información útil para identificar riesgos.

#### **A1.14. Documentos de las adquisiciones**

Recogen las propuestas solicitadas de los vendedores.

#### **A1.15. Datos de desempeño del trabajo**

Dan información relativa a la ejecución de las actividades, como por ejemplo: estado de entrega de la actividad, programación del proceso y costos incurridos.

#### **A1.16. Informes de desempeño del trabajo**

Proporcionan el análisis de los datos de desempeño del trabajo en forma de datos sobre el rendimiento de las actividades del proyecto.

## ANEXO 2. TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DE LA GESTIÓN DE RIESGOS

### A2.1. Técnicas Analíticas

Se usan para evaluar, analizar o pronosticar los resultados potenciales del riesgo en base a posibles cambios de variables del producto o ambientales. Varios ejemplos serían análisis del perfil de riesgo de los interesados, plantillas estratégicas de puntuación de riesgos.

### A2.2. Juicio de Expertos

Se lleva a cabo una evaluación de los riesgos en base a la experiencia de un grupo o persona especializada en un área de aplicación, conocimiento, disciplina, etc. en función de la actividad sobre la que se está llevando a cabo. Entre los expertos destacados se encuentran:

- Gestores sénior.
- Interesados del proyecto.
- Project Managers que hayan trabajado en proyectos del mismo ámbito y puedan usar las lecciones aprendidas.
- Expertos en la disciplina del proyecto.
- Grupos de industria o consultores.
- Asociaciones técnicas y profesionales.

### A2.3. Revisiones a la documentación

Se lleva a cabo una revisión estructurada de la documentación del proyecto, incluidos los planes, supuestos, archivos de proyectos anteriores, acuerdos y otra información

### A2.4. Técnicas de recopilación de información

- a. **Tormenta de ideas:** se identifican riesgos o soluciones mediante la participación de un grupo de miembros del equipo.
- b. **Técnica Delphi:** solicitud de ideas sobre los riesgos del proyecto mediante un cuestionario cuyas respuestas son recirculadas más tarde entre los expertos para llevar a cabo un consenso.
- c. **Entrevistas** a participantes del proyecto con experiencia, inversores y expertos en la materia para ayudar a identificar riesgos.

### A2.5. Análisis con lista de verificación

Se realiza una "checklist" basada en la información histórica y conocimiento acumulado de proyectos similares previos u otras fuentes de información.

### A2.6. Análisis de supuestos

Identifica los riesgos desde cero basándose en una serie de hipótesis o escenarios que mediante el análisis son validados o no.

### A2.7. Técnicas de diagramación

- a. **Diagramas de causa-efecto:** Técnica de descomposición que ayuda a rastrear un efecto no deseado hasta su causa raíz.

- b. **Diagramas de flujo:** señalan la interrelación entre los distintos elementos del sistema, así como su causalidad.
- c. **Diagramas de influencia:** representaciones básicas de la influencia que tiene los distintos elementos del sistema entre sí.

### A2.8. Análisis FODA

Se identifican las fortalezas y debilidades de la organización y después cualquier oportunidad o amenaza con origen en ellas. Por último se compara el grado en el que las fortalezas contrarrestan las amenazas, señalando las oportunidades necesarias para paliar el efecto de las debilidades.

### A2.9. Matriz de probabilidad e impacto

Cada riesgo se califica de acuerdo a su probabilidad de ocurrencia y de impacto sobre un objetivo. Se deben determinar las combinaciones de probabilidad e impacto que dan lugar a una clasificación de riesgo alto, moderado y bajo mediante su combinación en una matriz.

**Matriz de Probabilidad e Impacto**

Probabilidad	Amenazas					Oportunidades				
	<b>0,90</b>	0,05	0,09	0,18	0,36	0,72	0,72	0,36	0,18	0,09
<b>0,70</b>	0,04	0,07	0,14	0,28	0,56	0,56	0,28	0,14	0,07	0,04
<b>0,50</b>	0,03	0,05	0,10	0,20	0,40	0,40	0,20	0,10	0,05	0,03
<b>0,30</b>	0,02	0,03	0,06	0,12	0,24	0,24	0,12	0,06	0,03	0,02
<b>0,10</b>	0,01	0,01	0,02	0,04	0,08	0,08	0,04	0,02	0,01	0,01
	0,05/ Muy Bajo	0,10/ Bajo	0,20/ Moderado	0,40/ Alto	0,80/ Muy Alto	0,80/ Muy Alto	0,40/ Alto	0,20/ Moderado	0,10/ Bajo	0,05/ Muy Bajo

Figura A2 - Matriz de probabilidad e impacto

### A2.10. Evaluación de la calidad de los datos sobre riesgos

Es una técnica que evalúa la utilidad de los datos concernientes a los riesgos que son usados en la Gestión, como por ejemplo mediante la precisión, calidad, confianza e integridad.

### A2.11. Categorización de riesgos

Clasificación de los riesgos en función de su fuente, área del proyecto al que afectan, fase en la que se produce, etc.

### A2.12. Técnicas de recopilación y representación de datos

El ejemplo más usado es el de la representación gráfica de la distribución de probabilidades de los riesgos.

### A2.13. Estrategias para riesgos negativos o amenazas

- **Evitar:** eliminación del riesgo o protección del proyecto frente a su impacto.

- **Transferir:** cambio del impacto del proyecto a terceros, generalmente el propietario de la respuesta.
- **Mitigar:** reducción de la probabilidad de ocurrencia o impacto del riesgo.
- **Aceptar:** reconocimiento del riesgo sin actuar hasta que ocurra.

#### A2.14. Estrategias para riesgos positivos u oportunidades

- **Explotar:** Eliminación de la incertidumbre asociada a una oportunidad para asegurarse de que ocurre.
- **Aumentar:** incremento de la posibilidad o el impacto de una oportunidad identificando y maximizando los conductores clave de ella.
- **Compartir:** redistribución de una parte de la propiedad de la oportunidad a un tercero que sea capaz de capturarla para el beneficio del proyecto.
- **Aceptar:** aprovechamiento de la oportunidad cuando se presente sin perseguirla.

#### A2.15. Estrategias de respuesta contingentes

Elaboración de un plan de respuesta que solo será ejecutado en caso de que se cumplan ciertas condiciones predefinidas (por ejemplo en caso de que un evento ocurra).

#### A2.16. Reevaluación de los riesgos

Se realiza regularmente y el nivel de detalle de la repetición varía en función de cómo progresen los objetivos del proyecto.

#### A2.17. Auditorías de riesgos:

Examen y documentación de la efectividad de las respuestas a los riesgos, identificando sus causas y la eficacia del proceso de Gestión de Riesgos.



## ANEXO 3. INTRODUCCIÓN A LA HERRAMIENTA DE MATLAB PARA CONJUNTOS DIFUSOS

### A3.1. Las 5 herramientas de la Fuzzy Logic Toolbox

En este apartado se llevará a cabo una introducción a la interfaz gráfica de la herramienta Fuzzy Logic Toolbox del software Matlab.

Existen 5 herramientas primarias que sirven para construir, editar y observar los sistemas de inferencia difusa. Están conectadas y por tanto los cambios realizados en cada una de ellas afectan a las demás (figura A3.1).

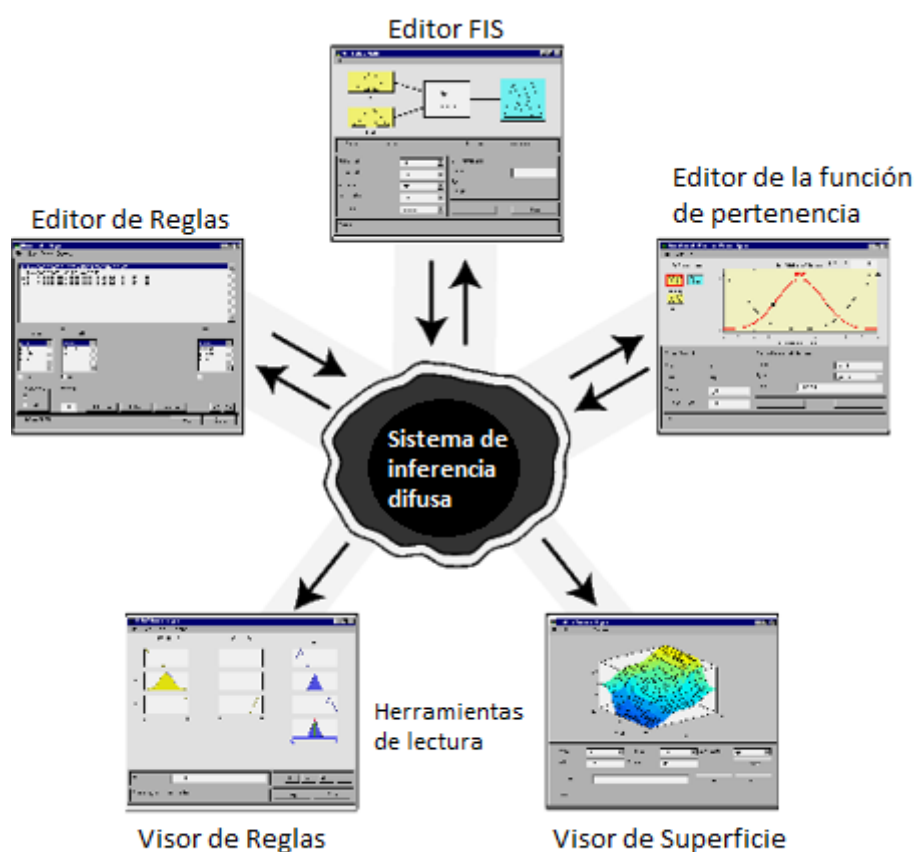


Figura A3.1 – Las 5 herramientas primarias de la Fuzzy Logic Toolbox

El **Editor FIS** se encarga de gestionar cuestiones de alta prioridad del sistema como: “¿Cuántas variables de entrada y salida hay?” o “¿Qué nombre tienen?”. De esta manera el número de variables de entrada quedará limitado por la memoria del ordenador.

El **Editor de la Función de Pertenencia** se usa para definir la forma de todas las funciones de pertenencia asociadas a cada variable.

Por otro lado, el **Editor de Reglas** modifica la lista de reglas que definen el comportamiento del sistema.

El **Visor de Reglas** y el **Visor de Superficie** se encargan de observar el *Sistema de Inferencia Difusa* (SID). El primero es una interfaz de Matlab que representa el diagrama de inferencia difusa, pudiendo mostrar qué reglas están activas como cada función de pertenencia afecta de forma individual al resultado. En cuanto al segundo, se usa para representar la dependencia de una de las salidas respecto a una o dos de las entradas, generando un gráfico de superficie para el sistema.

Así, todas estas herramientas interaccionan e intercambian información entre sí. Los editores modifican y leen información del Sistema de Inferencia Difusa pero los visores solamente pueden leer sin llegar a modificar.

### A2.2. Introducción a la Fuzzy Logic Toolbox mediante un ejemplo

Se puede iniciar la herramienta escribiendo en la línea de comando de Matlab la palabra "fuzzy". Obtendremos la vista del **Editor FIS** presentada en la figura A3.2. Podemos comprobar que viene por defecto la metodología Mandani, aunque usando "File" podemos crear un nuevo sistema y asignarle la de Sugeno.

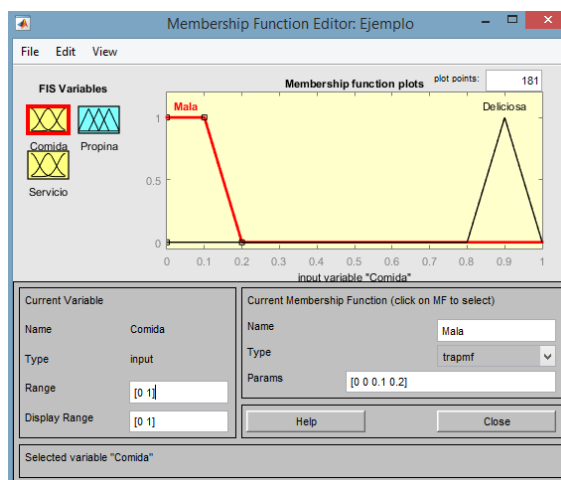


Figura A3.2 – Vista de la herramienta difusa

En primer lugar, a la izquierda podemos seleccionar mediante pestañas los distintos métodos de implicación, agregación y defuzzyficación. Después, en *Edit => Add Variable* especificamos nuestras variables de entrada y de salida. Haciendo doble click en la figura que representa el gráfico de cada variable, abrimos el **Editor de la Función de Pertenencia**, donde es posible asignar a cada entrada o salida su función de pertenencia.

En "type" es posible cambiar la geometría de la función de pertenencia, sin embargo en nuestro caso usaremos solo triangulares para el caso de la variable "servicio" y "propina" ("trimf") y trapezoidales para "comida" ("trapmf"). En *Edit=> Add a custom MF* podemos añadir una función de pertenencia para cada posible estado de nuestras entradas, por ejemplo:

NOMBRE DE LA FUNCIÓN DE PERTENENCIA	VARIABLE LINGÜÍSTICA	FUNCIÓN DE PERTENENCIA
Insuficiente	"EL SERVICIO INSUFICIENTE"	[0 0.1 0.2]
Mala	"LA COMIDA ES MALA"	[0 0 0.1 0.2]
Baja	"PROPINA BAJA"	[0 0.1 0.2]
Bueno	"EL SERVICIO ES BUENO"	[0.5 0.6 0.7]
Normal	"LA PROPINA ES NORMAL"	[0.5 0.6 0.7]
Excelente	"EL SERVICIO ES EXCELENTE"	[0.8 0.9 1.0]
Deliciosa	"LA COMIDA ES DELICIOSA"	[0.8 0.9 0.9 1.0]
Generosa	"LA PROPINA ES GENEROSA"	[0.8 0.9 1.0]

Tabla A3.1 – Funciones de pertenencia

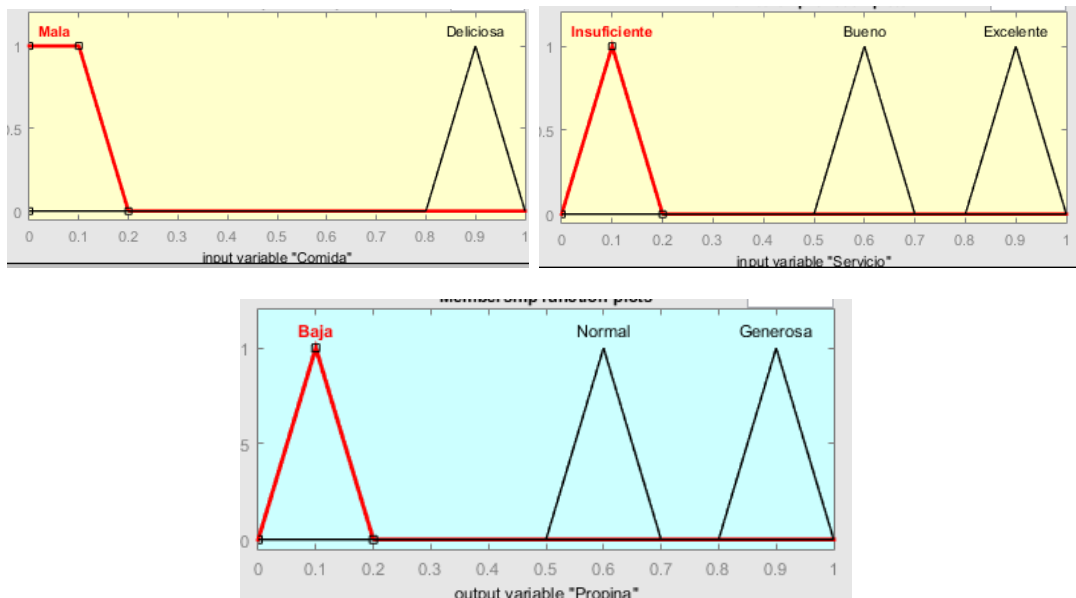


Figura A3.3 – Vista de los valores de las variables lingüísticas

Seguidamente, en *Edit => Rules*, podemos añadir nuevas reglas al sistema. Este es el llamado **Editor de Reglas**. Empezaremos definiendo las siguientes a partir de las funciones de pertenencia añadidas anteriormente:

1. If (Comida is Mala) and (Servicio is Insuficiente) then (Propina is Baja) (1)
2. If (Servicio is Bueno) then (Propina is Normal) (1)
3. If (Comida is Deliciosa) and (Servicio is Excelente) then (Propina is Generosa) (1)

Nótese que el peso de todas las reglas es la unidad, de ahí ese 1 entre paréntesis al final de cada regla.

De esta manera, en *View => Rules* se presenta el **Visor de Reglas** donde podemos observar la función de pertenencia de la propina para unos valores de entrada de servicio y comida. Estos valores pueden modificarse escribiéndolos directamente o moviendo el cursor en la gráfica. Por ejemplo, supongamos que la comida ha sido deliciosa y el servicio bueno, como podemos observar en la figura A3.4. Así, y basándose en las reglas ya definidas, obtendremos una función de pertenencia para la propina de 0,6 (propina normal).

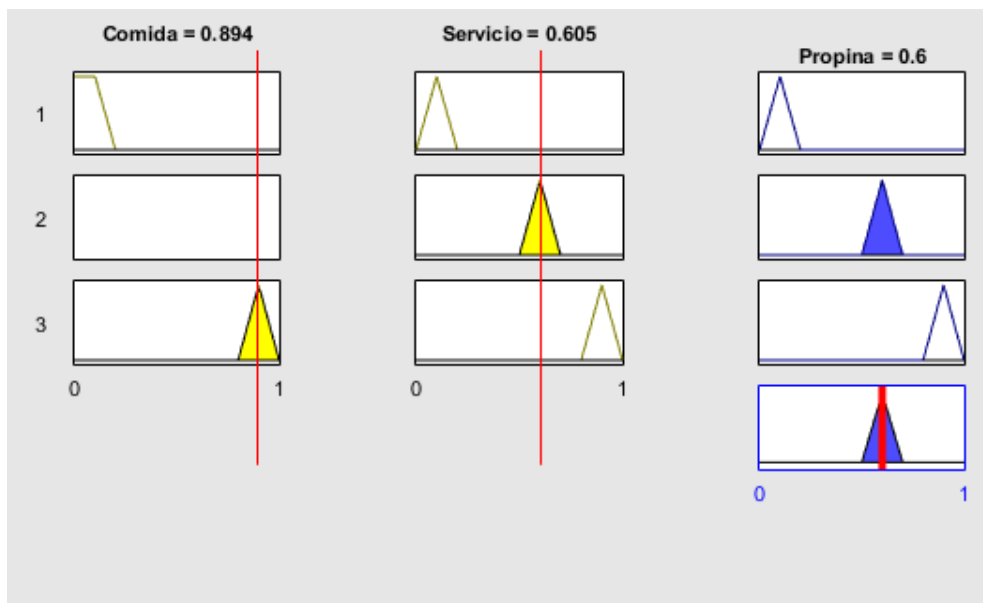


Figura A3.4 – Visor de Reglas

Por otro lado, en *View => Surface (Visor de Superficie)* podemos obtener una representación gráfica tridimensional del Sistema de Inferencia Difusa:

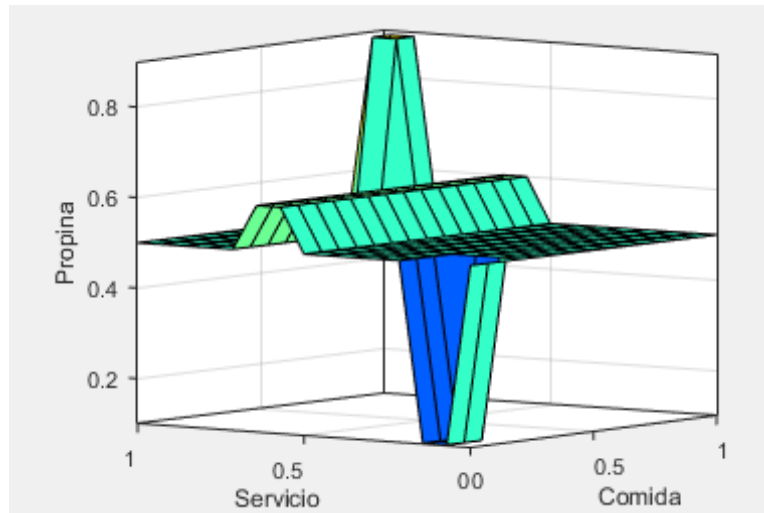


Figura A3.5 – Visor deSuperficie

Para finalizar, en *File => Export* podemos guardar el archivo con extensión .fis. Esto nos será útil en el siguiente punto. En este caso se llamará "Ejemplo".

### 2.6.3. Funciones de display del sistema

A continuación se definen los tres tipos de funciones para obtener un alto nivel de visión del sistema de inferencia difusa: *plotfis*, *plotmf* y *gensurf*. Para usarlas correctamente, es necesario crear un archivo en matlab con la siguiente cabecera:

```
fis = readfis('Ejemplo');
```

De esta manera estamos definiendo la variable *fis* como el Sistema de Inferencia Difusa correspondiente a leer el archivo guardado anteriormente.

- *plotfis(fis)*: presenta el sistema mediante un diagrama de bloques, como podemos observar en la figura A3.6.

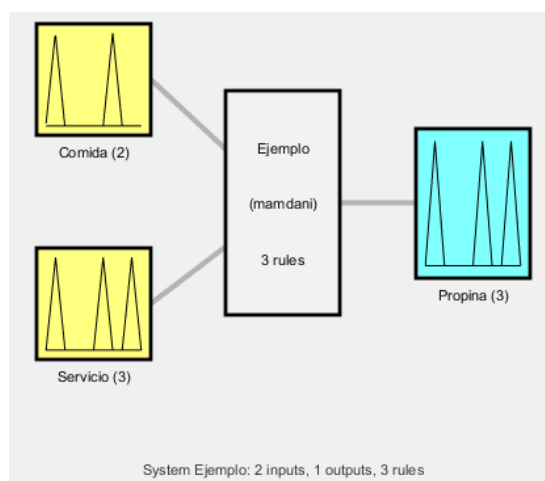


Figura A3.6 – Función plotfis

- $plotmf(fis, variableType, variableIndex)$ : Se pueden representar cada una de las entradas o la salida.

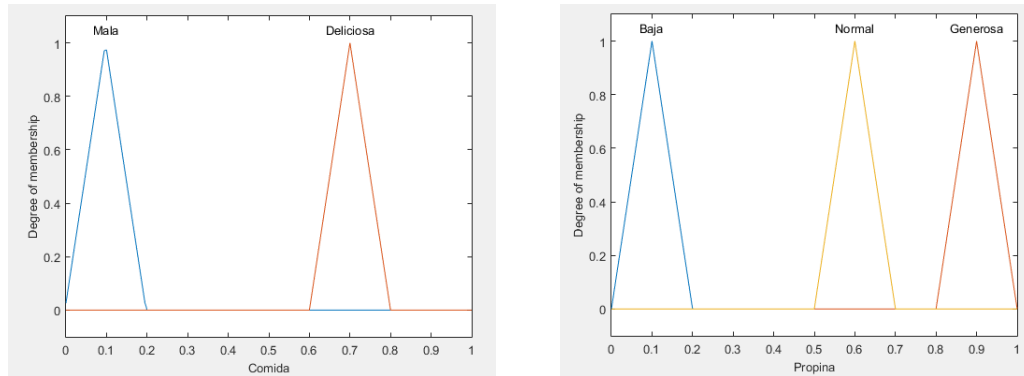


Figura A3.7 – Función plotmf (input y output)

- $gensurf(fis)$ : proporciona un gráfico de superficie bidimensional o tridimensional de una o dos entradas frente a una de las salidas del sistema

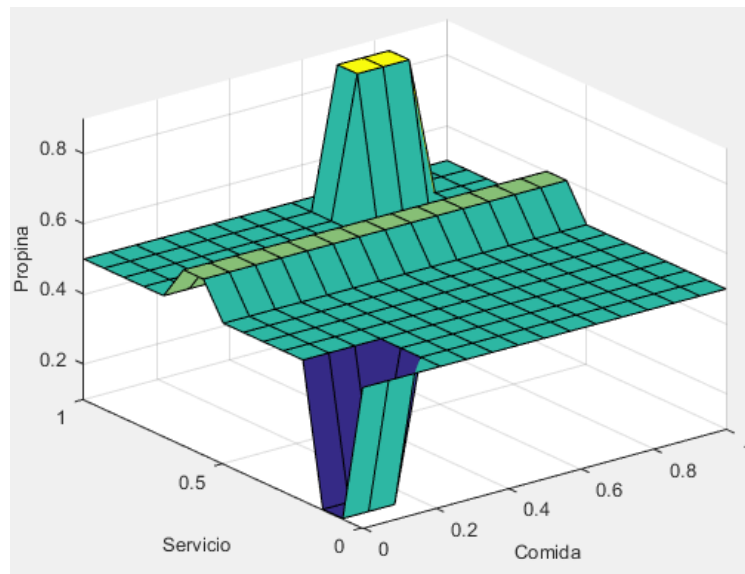


Figura A3.8 – Función gensurf