

08-003

RISK ANALYSIS OF A SHIP BUNKERING FACILITY IN THE PORT OF VALENCIA

Fuentes Bargues, José Luis ⁽¹⁾; Fuentes Peris, Paula ⁽²⁾; Aragonés Beltrán, Pablo ⁽¹⁾; Lerma Arce, Victoria ⁽²⁾

⁽¹⁾ PRINS Research Center, Universitat Politècnica de València, ⁽²⁾ Universitat Politècnica València

The size, complexity and location of the industrial processes and infrastructures, together with the characteristics of the products and/or equipment used, require a study, analysis and control of the existing risks, which, if they materialise, can have serious economic, social and environmental consequences. The aim of this communication is to analyse the risks of a fuel supply installation for ships in the port of Valencia. For this purpose, a methodology based on a combination of risk identification using the Structured What IF Technique (SWIFT) and risk assessment and classification using fuzzy numbers will be applied. Thus, a risk classification will be obtained and, depending on the risk factor, preventive and/or corrective measures will be prioritised so that these risks do not cause accidents or catastrophic situations.

Keywords: risk assessment; ships; fuel; SWIFT; fuzzy numbers

ANÁLISIS DE RIESGOS DE UNA INSTALACIÓN DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE PARA EMBARCACIONES EN EL PUERTO DE VALENCIA

El tamaño, la complejidad y el emplazamiento de los procesos industriales y de las infraestructuras, junto con las características de los productos y/o equipos que se utilizan, require un estudio, análisis y control de los riesgos existentes, ya que en caso de materializarse pueden tener consecuencias graves, tanto económicas, sociales como medioambientales. El objeto de la presente comunicación es el análisis de riesgos de una instalación de suministro de combustible para embarcaciones en el puerto de Valencia. Para ello se aplicará una metodología basada en la combinación de la identificación de riesgos mediante la técnica Structured What IF Technique (SWIFT) y una evaluación y clasificación de riesgos mediante números difusos. De esta manera se obtendrá una clasificación de los riesgos y en función del factor de riesgo se priorizarán las medidas preventivas y/o correctoras para que estos riesgos no provoquen accidentes o situaciones catastróficas

Palabras clave: evaluación riesgos; embarcaciones; combustible; SWIFT; números difusos



1. Introducción

El tamaño, la complejidad y el emplazamiento de los procesos industriales y de las infraestructuras, junto con las características de los productos y/o equipos que se utilizan, requiere un estudio, análisis y control de los riesgos existentes, ya que en caso de materializarse pueden tener consecuencias graves, tanto económicas, sociales como medioambientales.

La complejidad y la gravedad de las consecuencias de accidentes graves en las plantas industriales hace necesaria la implantación de sistemas de gestión de riesgos. La norma ISO 31.000:2010 define como gestión del riesgo a las actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización en lo relativo al riesgo. Comprende las siguientes fases: comunicación y consulta, establecimiento del contexto, apreciación del riesgo (identificación, análisis y evaluación), tratamiento del riesgo, y seguimiento y revisión.

La apreciación del riesgo es el proceso de identificación, de análisis y de evaluación del riesgo de una determinada instalación industrial, cuyo objetivo principal es la prevención y mitigación de los efectos de los accidentes de las instalaciones potencialmente peligrosas (ISO 2010). La selección de qué técnicas de apreciación del riesgo utilizar es una difícil decisión que dependerá de factores como la complejidad del problema y de los métodos para analizarlo, de la cantidad de información disponible, de las necesidades de datos cuantitativos y de los recursos disponibles (ISO 2011).

Una de las técnicas más utilizadas para la identificación de riesgos es la técnica Structured What If Technique (SWIFT) (Tixier et al. 2002; Marhaviilas et al. 2011). Se trata de una técnica cualitativa que permite examinar, a través de preguntas "What if" y palabras guía/encabezados previamente fijados, los riesgos y peligros del sistema analizado. Entre sus limitaciones se encuentra que no cuantifica los riesgos identificados, lo que no permite, entre otros aspectos, la priorización de las actuaciones para mitigarlos. Para estos aspectos se ha recurrido a técnicas cuantitativas como los árboles de fallos o los árboles de sucesos, o a técnicas semicuantitativas como las matrices probabilidad-consecuencia, pero la incertidumbre de la calidad de los datos o la subjetividad de las valoraciones ha hecho posible la introducción de las valoraciones lingüísticas en las técnicas de apreciación del riesgo. El uso de estas valoraciones en lugar de números exactos, aplicando los principios de la teoría de los conjuntos difusos, se han integrado en metodologías clásicas o han desarrollado nuevas metodologías (Nieto-Morote y Ruz-Vila 2011; Fuentes Bargues et al. 2017).

El objeto de la presente comunicación es el análisis de riesgos de una instalación de suministro de combustible para embarcaciones en el puerto de Valencia. Para ello se aplicará una metodología basada en la combinación de la identificación de riesgos mediante la técnica Structured What If Technique (SWIFT) y una evaluación y clasificación de riesgos mediante números difusos.

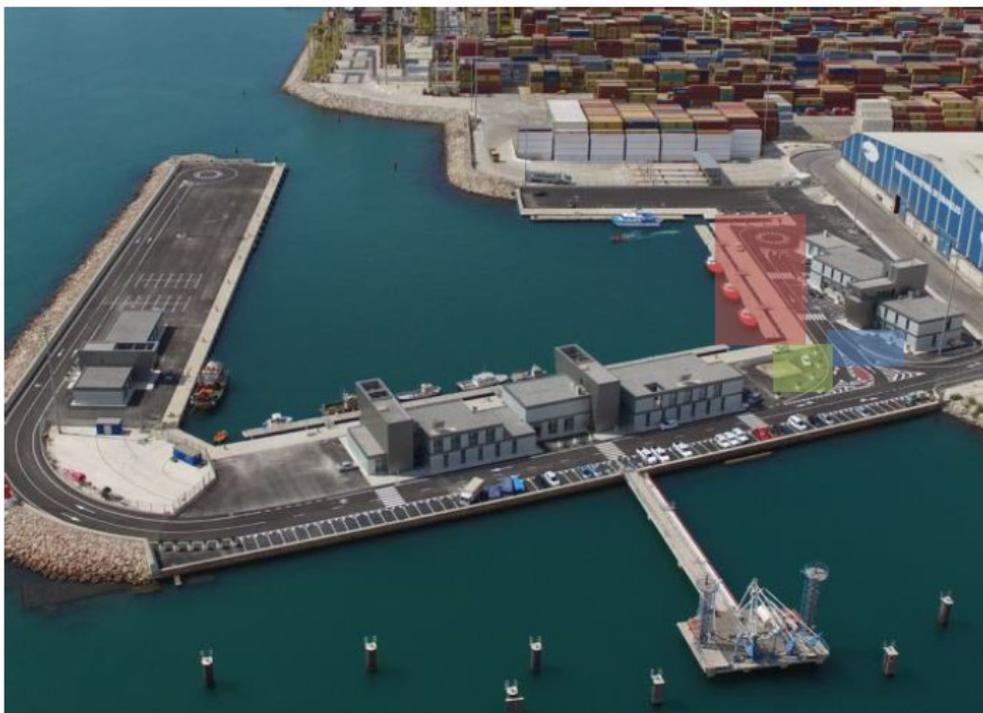
2. Descripción del proyecto

El proyecto objeto de la presente comunicación es una instalación de almacenamiento y suministro de combustible gasóleo B para las embarcaciones de la Corporación de Prácticos de la Nueva Dársena de Servicios Náuticos del Puerto de Valencia (Pascual Navarro, Castellano Noguera y Darder Navarro 2016). La capacidad total de almacenamiento es de 4.000 litros, dispuesta en dos depósitos de polietileno de alta densidad de doble pared de 2000 litros cada uno, contemplándose la posibilidad de la instalación de un tercer depósito de la misma capacidad. En la Figura 1 se muestra la instalación distinguiéndose en color verde la ubicación de la caseta de almacenamiento, en rojo la zona de carga de embarcaciones y en azul la zona de descarga de los camiones cisterna.

El suministro a las embarcaciones se realiza mediante un surtidor y una manguera situada sobre una viga cantil en la zona frente al edificio de Prácticos. El combustible se bombea desde la caseta de almacenamiento hasta el surtidor a través de una tubería enterrada de polietileno de alta densidad.

Las aguas hidro carburadas procedentes de la caseta del depósito de almacenamiento, así como de los posibles vertidos provocados en la zona de abastecimiento se recogerán a través de una red de drenaje de PVC que las conducirá hasta un decantador de lodos de 1000 litros de capacidad y un separador de hidrocarburos. Una vez separados los lodos y los hidrocarburos, las aguas se bombearán hasta la red de aguas residuales del edificio de Amarradores.

Figura 1: Emplazamiento aéreo de la instalación e imagen de esta. Fuente: Adaptado de valenciaport.com. Septiembre 2022



3. Metodología

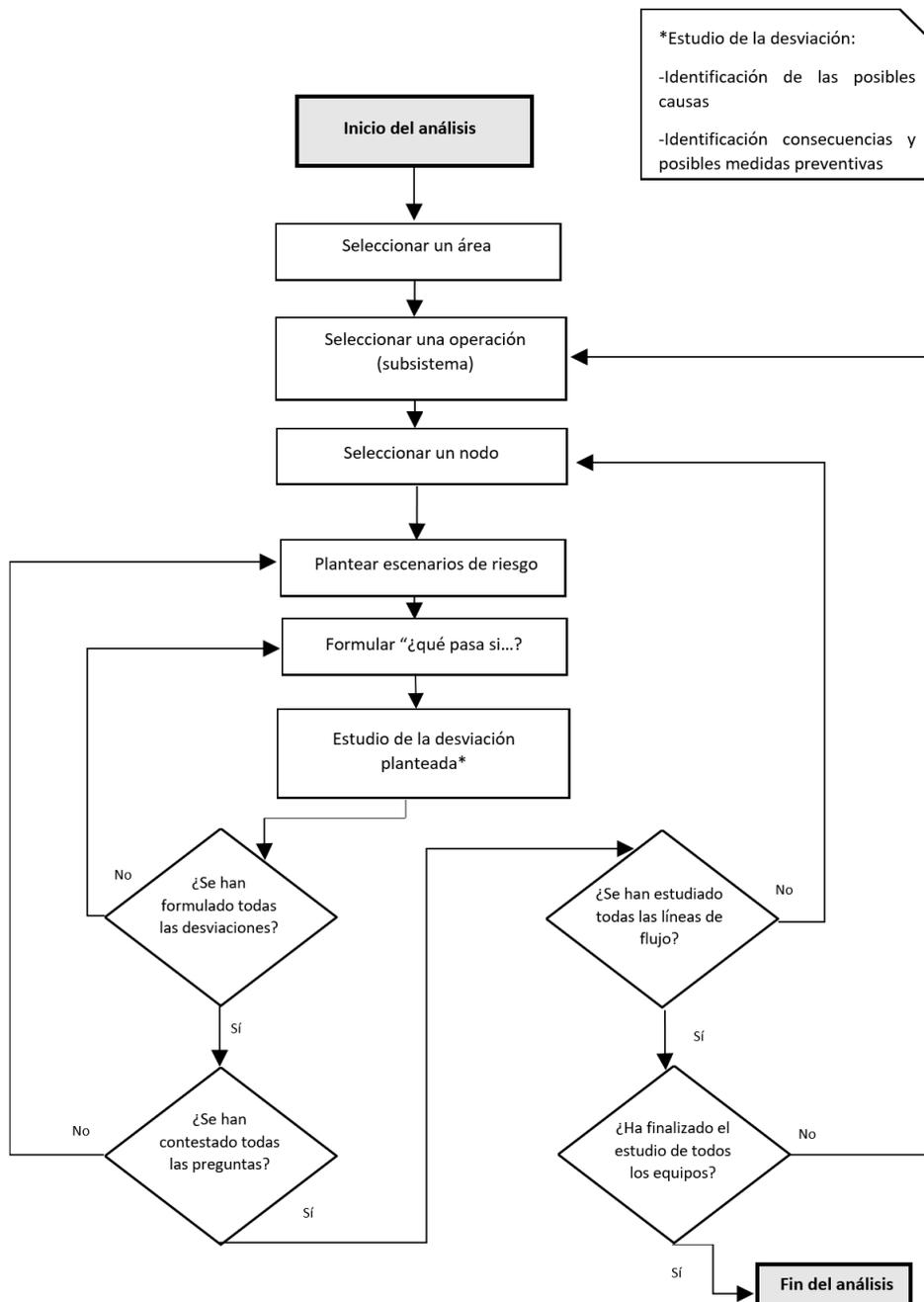
La metodología propuesta para el análisis de riesgos de la instalación de suministro de combustibles para embarcaciones en el puerto de Valencia se ha estructurado en cuatro etapas. La primera etapa (A) comprende el estudio del proceso. La fase (B) comprende la identificación de riesgos mediante la técnica SWIFT, la fase (C) comprende el análisis

de riesgos mediante números difusos y variables lingüísticas y la fase (D) comprende la evaluación de riesgos con los niveles definidos inicialmente.

3.1.- La técnica Structured What If Technique (SWIFT)

La técnica SWIFT es una de las herramientas cualitativas más sencilla del análisis de peligros basada en el estudio sistemático de la instalación donde se utiliza un conjunto de palabras de “efecto inmediato” para motivar que los participantes del análisis identifiquen riesgos. Lo que se busca con esta metodología es dar respuesta a una frase tan común como “¿qué pasa si...?” planteando así desviaciones de las situaciones normales para indicar los posibles peligros y riesgos que tenga la actividad estudiada para así poder clasificarlos y tomar medidas preventivas. En la Figura 2 se muestra el diagrama de flujo de funcionamiento de la técnica.

Figura 2: Diagrama de flujo de la técnica SWIFT. Fuente: Elaboración propia



Antes de empezar el análisis, se debe definir específicamente lo que se quiere estudiar. Los contextos externos e internos los suele definir el coordinador del análisis a través del estudio de documentos, esquemas y planos. También hay que tener una serie de conocimientos técnicos y experiencia en la actividad analizada ya que deben plantearse todas las posibles desviaciones del funcionamiento normal.

3.2.- Teoría de los Conjuntos Difusos

En este subapartado se realiza una breve descripción de la teoría de los conjuntos difusos como base para la aplicación de las variables lingüísticas en la evaluación y priorización de los riesgos identificados mediante la técnica SWIFT.

3.2.1.- Conjuntos Difusos

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

3.2.2.- Números difusos

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

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

Un número difuso trapezoidal puede ser representado por cuatro valores $A = [a, b, c, d]$ tal que $a < b < c < d$ y cuya función de pertenencia es:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{for } x < a \\ \mu_A(x) = \frac{x-a}{b-a} & \text{for } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{for } b \leq x \leq c \\ \mu_A(x) = \frac{x-d}{c-d} & \text{for } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{for otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

3.2.3.- Valores Lingüísticos

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

3.2.4.- Operaciones aritméticas con números difusos

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

Suma difusa: $A_1 \oplus A_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2, d_1 + d_2) \quad (2)$

$$\text{Resta difusa: } A_1 \ominus A_2 = (a_1 - d_2, b_1 - c_2, c_1 - b_2, d_1 - a_2) \quad (3)$$

$$\text{Producto difuso: } A_1 \otimes A_2 \approx (a_1 \cdot a_2, b_1 \cdot b_2, c_1 \cdot c_2, d_1 \cdot d_2) \quad (4)$$

$$\text{Cociente difuso: } A_1 \oslash A_2 \approx \left(\frac{a_1}{d_2}, \frac{b_1}{c_2}, \frac{c_1}{b_2}, \frac{d_1}{a_2} \right) \quad (5)$$

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

$$A_1 \cdot k = (a_1 \cdot k, b_1 \cdot k, c_1 \cdot k, d_1 \cdot k) \quad \text{si } k > 0 \quad (6)$$

$$A_1 \cdot k = (d_1 \cdot k, c_1 \cdot k, b_1 \cdot k, a_1 \cdot k) \quad \text{si } k < 0 \quad (7)$$

3.3.- Evaluación de riesgos mediante valoraciones lingüísticas

3.3.1.- Definición de la función Factor de Riesgo

El factor de riesgo (Fr) es función de la probabilidad del riesgo (Pr) y el impacto del mismo (Ir). La probabilidad del riesgo es la probabilidad de que el riesgo ocurra y el impacto del riesgo es el efecto que sobre los objetivos del proyecto tiene la presencia del riesgo. Esta relación se representa mediante la siguiente ecuación:

$$Fr = Ir \cdot Pr \quad (8)$$

3.3.2.- Definición de las escalas lingüísticas de valoración y sus números difusos asociados.

Los términos lingüísticos que generalmente se utilizan para valorar los parámetros de un problema de evaluación de riesgos son los siguientes:

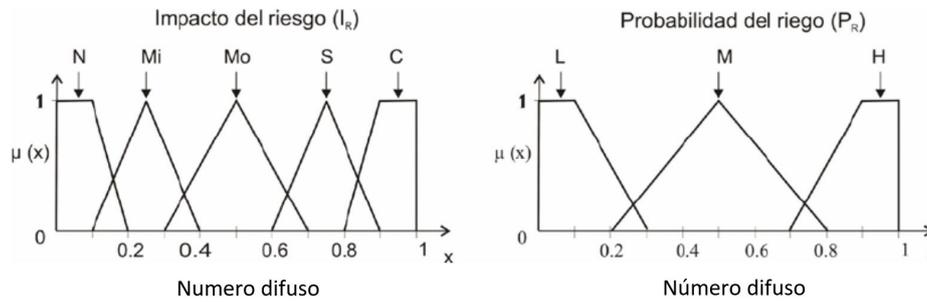
- Evaluar la probabilidad de riesgo: Se define una escala de tres puntos, probabilidad alta (H), media (M) y baja (L).
- Evaluar el impacto del riesgo: Se define una escala de cinco puntos: crítico (C), grave (S), moderado (Mo), menor (Mi) y despreciable (N).

A partir del trabajo de Chen y Hwang (1992) que describen un sistema de aproximación numérica para convertir sistemáticamente los términos lingüísticos en sus correspondientes números difusos, se propone la conversión de los términos lingüísticos definidos con anterioridad a números difusos recogidos en la Tabla 1 y en la Figura 3.

Tabla 1: Variables lingüísticas de impacto y probabilidad de riesgo. Fuente: Chen y Hwang

Valores lingüísticos de Ir	Interpretación general	Número difuso
Crítico (C)	Implica un impacto muy alto	(0.8, 0.9, 1, 1)
Grave (S)	Implica un gran impacto	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)
Moderado (Mo)	Implica un impacto moderado	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)
Menor (Mi)	Implica un impacto pequeño	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)
Despreciable (N)	No hay impacto apreciable	(0, 0, 0.1, 0.2)
Valores lingüísticos de Pr	Interpretación general	Número difuso
Alta (H)	Probabilidad de que ocurra alta	(0.7, 0.9, 1, 1)
Media (M)	Probabilidad de que ocurra media	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
Baja (L)	Probabilidad de que ocurra baja	(0, 0, 0.1, 0.3)

Figura 3: Funciones de pertenencia de Ir y Pr. Fuente: Chen y Hwang



3.3.- Valoración de los Parámetros Pr e Ir

Esta etapa se divide en dos partes:

- Valoraciones individuales: Utilizando las escalas lingüísticas definidas en la Tabla 1 cada uno de los miembros del equipo de trabajo realizará las valoraciones lingüísticas de los parámetros Pr e Ir de cada uno de los riesgos identificados. Posteriormente se transformarán a sus correspondientes números difusos Pr_i^m e Ir_i^m donde i es el número de riesgos identificados y m es el número de miembros del equipo de trabajo.
- Valoraciones globales: Las valoraciones individuales de cada uno de los miembros del grupo de trabajo son agregadas en un número difuso global utilizando la media aritmética difusa como se define en las siguientes ecuaciones:

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

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

donde i es cada uno de los riesgos identificados, m el número de miembros del grupo de trabajo, \cdot es la multiplicación por un escalar definidas en las ecuaciones (6) y (7) y \oplus es la suma difusa definida en la ecuación (2).

3.4.- Valoración difusa del factor de riesgo

Una vez que los parámetros de Ir y Pr están expresados en números difusos, el factor de riesgo de cada riesgo se define como se indica en la ecuación:

$$Fr^i = Ir^i \otimes Pr^i \quad (11)$$

donde i es cada uno de los riesgos identificados y \otimes representa la multiplicación difusa.

3.5.- Transformación a valores reales

Defuzzificar es la operación de transformar un número difuso en un número real. Existen varios métodos propuestos para el proyecto de transformación de entre los cuales se ha seleccionado el método del centroide (Yager 1980):

$$(Fr_i)_r = \frac{\int_0^1 x Fr_i(x) d(x)}{\int_0^1 Fr_i(x) d(x)} \quad (12)$$

3.6.- Clasificación de Riesgos

El último paso del procedimiento de evaluación de riesgos es la clasificación de riesgos en función de su factor de impacto del riesgo en categorías. Las categorías definidas y los riesgos incluidos en ellas son:

- Si $(Fr_i)_T \in [0, 0.1]$, R_i pertenece a la clase I y se clasifica como “Despreciable”.
- Si $(Fr_i)_T \in [0.1, 0.4]$, R_i pertenece a la clase II y se clasifica como “Aceptable”.
- Si $(Fr_i)_T \in [0.4, 0.8]$, R_i pertenece a la clase III y se clasifica como “No Aceptable”.
- Si $(Fr_i)_T \in [0.8, 1]$, R_i pertenece a la clase IV y se clasifica como “Intolerable”.

4. Aplicación al caso de estudio

Una vez analizado el proceso de funcionamiento de la instalación de carga de combustible y de cara al análisis de riesgos se ha dividido el proceso en función de las áreas. En la Tabla 2, para cada una de las áreas, se han identificado los subsistemas y nodos más significativos del proceso productivo.

Tabla 2: Áreas, Subsistema y Nodos del proceso de suministro de combustible para las embarcaciones de prácticos en el puerto de Valencia

Área	Subsistema	Nodos
1. Suministro de combustible a las embarcaciones	1.1 Conexión barco-estación	1.1.1 Atraque del barco en la estación
		1.1.2 Extensión manguera
		1.1.3 Conexión boquerel-tanque de combustible
	1.2 Trasvase hacia embarcaciones	1.2.1 Apertura de tanque
		1.2.2 Circulación producto
		1.2.3 Cerrado tanque
1.2.4 Limpieza residuos		
2. Almacenamiento de producto en depósitos	2.1 Llenado de depósitos	2.1.1 Apertura válvulas depósito
		2.1.2 Llenado depósito
		2.1.3 Cerrado válvulas depósito
	2.2 Depósitos	2.2.1 Almacenaje del producto
		3.1 Llegada a la estación de descarga
3. Descarga de camiones cisterna	3.1 Llegada a la estación de descarga	3.1.1 Posicionamiento del camión
		3.1.2 Conexión manguera-depósito
	3.2 Trasvase desde camión	3.2.1 Apertura de válvulas depósito-cisterna
		3.2.2 Traslado y llenado depósitos
		3.3.3 Cerrado de válvulas

4.1.- Identificación de riesgos mediante la técnica SWIFT.

En la Tabla 3 se muestra la aplicación de la técnica SWIFT para el nodo 1.1.1 Atraque del barco en la estación y en la Tabla 4 se muestran los principales eventos generadores de riesgo identificados en el análisis en todo el proceso.

Tabla 3: Diagrama de flujo de la técnica “SWIFT”. Fuente: elaboración propia

Nodo 1.1.1: Atraque del barco en la estación	
Área 1: Carga de embarcaciones	
Subsistema 1.1: Conexión barco-estación	
PREGUNTAS	COMENTARIOS Y MEDIDAS
¿Qué pasaría si hubiese fuertes vientos en el momento de amarre?	Habría un movimiento excesivo y la tripulación junto con los operarios de la estación deberían comprobar todo el sistema de amarre.
¿Y si hubiese una velocidad excesiva que produjeran un impacto y hubiese derrame?	Las embarcaciones deben diseñarse con doble casco y fondo para facilitar protección en caso de colisión y evitar derrames. Además, utilizan medidores de velocidad de acercamiento al muelle para comprobar que no se exceda la velocidad permitida al acercarse al muelle.
¿Qué pasaría si hubiese fuertes corrientes en el mar?	Se deterioraría la capacidad de retención del freno y habría que sustituir los guinches con frenos para menor desgaste.
¿Qué pasaría si hubiese un fallo de maniobrabilidad?	La embarcación quedaría a la deriva siendo más costoso acceder a la estación. El sistema global de socorro marítimo automáticamente emite señales cuando ocurre una emergencia que precise de asistencia externa.
¿Y si las amarras se hubiesen quedado flojas o demasiado tirantes?	También podría quedarse a la deriva, pero el capitán de la embarcación puede solicitar ayuda de un remolcador adicional para asegurar el amarre.
¿Qué pasaría si hubiese un incorrecto intercambio de comunicación entre la embarcación y la estación?	Deberían comprobarse la comunicación entre el expendedor y el patrón del barco, además de la maniobrabilidad. Pueden comprobarse mediante el equipo de seguridad que incluye radar y posicionamiento para supervisar la posición de la embarcación, tráfico y riesgos próximos.
¿Y si hubiese un fallo en el radar de posicionamiento?	Son sistemas muy sofisticados que si fallan se reestablecerían automáticamente, además de tener en cuenta la experiencia de la tripulación.

Tabla 4: Eventos generadores de riesgo identificados en el análisis SWIFT. Fuente: Elaboración propia

Id.	Riesgo
1	Fuertes vientos y corrientes en el momento de atraque del barco
2	Exceso velocidad en el barco o en el camión cisterna
3	Amarras flojas o tirantes
4	Falta maniobrabilidad
5	Incorrecto intercambio de comunicación entre la embarcación y la estación
6	Vertido del combustible
7	Manguera enredada entre muelle y embarcación
8	Conexión errónea entre boquerel-barco o entre válvulas depósito
9	Presencia de electricidad estática
10	Falta mantenimiento de los equipos
11	Suministro combustible con boquerel en manos libre
12	Caudal nulo o insuficiente
13	Caudal excesivo o cambios de caudales
14	Sobrellenado tanque o depósito
15	Sobrepresiones en taque o depósitos
16	Cerrado incorrecto del tanque
17	Generación de atmósferas inflamables
18	Apertura rápida de válvulas
19	Corrosión válvulas o depósitos
20	Impurezas en el depósito o tanque
21	Choque con obstáculos y accidentes por recorrido mal diseñado, dimensiones de zona descarga ajustadas, neumáticos desgastados o no estaciona adecuadamente
22	Suelos resbaladizos

4.2.- Valoración de Riesgos mediante números difusos y valoraciones lingüísticas

Para cada uno de los riesgos identificados en la etapa anterior (Tabla 4) se le asignan unas valoraciones lingüísticas para la probabilidad e impacto de acuerdo a las escalas definidas en la Tabla 1, obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Valoración lingüística de la probabilidad de riesgo y su impacto. Fuente: Elaboración propia

Id.	Riesgo	I _R	P _R
1	Fuertes vientos y corrientes en el momento de atraque del barco	Menor (Mi)	Media (M)
2	Exceso velocidad en el barco o en el camión cisterna	Moderado (Mo)	Media (M)
3	Amarras flojas o tirantes	Moderado (Mo)	Baja (L)
4	Falta maniobrabilidad	Moderado (Mo)	Media (M)
5	Incorrecto intercambio de comunicación entre la embarcación y la estación	Menor (Mi)	Baja (L)
6	Vertido del combustible	Crítico (C)	Alta (H)
7	Manguera enredada entre muelle y embarcación	Menor (Mi)	Baja (L)
8	Conexión errónea entre boquerel-barco o entre válvulas depósito	Crítico (C)	Baja (L)
9	Presencia de electricidad estática	Crítico (C)	Media (M)
10	Falta mantenimiento de los equipos	Grave (S)	Baja (L)
11	Suministro combustible con boquerel en manos libre	Moderado (Mo)	Baja (L)
12	Caudal nulo o insuficiente	Grave (S)	Baja (L)
13	Caudal excesivo o cambios de caudales	Grave (S)	Baja (L)
14	Sobrellenado tanque o depósito	Crítico (C)	Media (M)
15	Sobrepresiones en taque o depósitos	Crítico (C)	Media (M)
16	Cerrado incorrecto del tanque	Grave (S)	Baja (L)
17	Generación de atmósferas inflamables	Crítico (C)	Alta (H)
18	Apertura rápida de válvulas	Moderado (Mo)	Baja (L)
19	Corrosión válvulas o depósitos	Moderado (Mo)	Media (M)
20	Impurezas en el depósito o tanque	Grave (S)	Media (M)
21	Choque con obstáculos y accidentes por recorrido mal diseñado, dimensiones de zona descarga ajustadas, neumáticos desgastados o no estaciona adecuadamente	Grave (S)	Alta (H)
22	Suelos resbaladizos	Menor (Mi)	Media (M)

Estas valoraciones lingüísticas, de acuerdo con las definiciones de la Tabla 1 y de la Figura 3, equivalen a unos números difusos trapezoidales, a partir de los cuales y mediante la expresión 11 se obtienen los valores difusos del factor de riesgo para cada uno de los riesgos identificados (Tabla 7).

Tabla 7: Impacto, Probabilidad y Factor de Riesgo de los eventos. Fuente: Elaboración propia.

Id.	I _R	P _R	F _R
1	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)	(0.02, 0.125, 0.125, 0.32)
2	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)	(0.06, 0.25, 0.25, 0.56)
3	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.05, 0.21)
4	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)	(0.06, 0.25, 0.25, 0.56)
5	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.025, 0.12)
6	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0.7, 0.9, 1, 1)	(0.56, 0.81, 1, 1)
7	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.025, 0.12)
8	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.1, 0.3)
9	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)	(0.16, 0.45, 0.5, 0.8)
10	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.075, 0.27)
11	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.05, 0.21)
12	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.075, 0.27)
13	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.075, 0.27)
14	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)	(0.16, 0.45, 0.5, 0.8)

15	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)	(0.16, 0.45, 0.5, 0.8)
16	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.075, 0.27)
17	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0.7, 0.9, 1, 1)	(0.56, 0.81, 1, 1)
18	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.05, 0.21)
19	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)	(0.06, 0.25, 0.25, 0.56)
20	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)	(0.12, 0.375, 0.375, 0.72)
21	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	(0.7, 0.9, 1, 1)	(0.42, 0.675, 0.675, 0.9)
22	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)	(0.02, 0.125, 0.125, 0.32)

Finalmente se transforma el número difuso que representa la variable factor de riesgo en un número real mediante la ecuación 12 y se clasifican en función de la escala establecida (Tabla 8).

Tabla 8: Factor de Riesgo y Clasificación. Fuente: Elaboración propia.

Riesgo	(Fr _i) _T	Clase
Fuertes vientos y corrientes en el momento de atraque del barco	0.140	II
Exceso velocidad en el barco o en el camión cisterna	0.270	II
Amarras flojas o tirantes	0.052	I
Falta maniobrabilidad	0.270	II
Incorrecto intercambio de comunicación entre la embarcación y la estación	0.028	I
Vertido del combustible	0.863	IV
Manguera enredada entre muelle y embarcación	0.028	I
Conexión errónea entre boquerel-barco o entre válvulas depósito	0.083	I
Presencia de electricidad estática	0.477	III
Falta mantenimiento de los equipos	0.070	I
Suministro combustible con boquerel en manos libre	0.052	I
Caudal nulo o insuficiente	0.070	I
Caudal excesivo o cambios de caudales	0.070	I
Sobrellenado tanque o depósito	0.477	III
Sobrepresiones en taque o depósitos	0.477	III
Cerrado incorrecto del tanque	0.070	I
Generación de atmósferas inflamables	0.863	IV
Apertura rápida de válvulas	0.052	I
Corrosión válvulas o depósitos	0.270	II
Impurezas en el depósito o tanque	0.390	III
Choque con obstáculos y accidentes por recorrido mal diseñado, dimensiones de zona descarga ajustadas, neumáticos desgastados o no estaciona adecuadamente	0.695	III
Suelos resbaladizos	0.140	II

4.2.- Establecimiento y priorización de medidas preventivas y correctivas

Con la clasificación del nivel de riesgos se establecen y priorizan las medidas correctoras a implantar. En el caso de los riesgos "Intolerables" (clase IV) las medidas correctoras son de implantación inmediata, independientemente de su coste económico. Algunas de las medidas propuestas para el caso de estudio son:

- Realización de inspecciones diarias y antes de cada suministro.
- Se deberá apagar el motor antes de empezar la operación de suministro y apagar o evitar cualquier elemento que pueda significar una fuente de ignición, como, por ejemplo, material de fumar, teléfonos móviles y equipos electrónicos.
- Implantación en la estación un extintor para líquidos combustibles (incendios tipo B y C).
- Utilización de materiales absorbentes en el momento del suministro para evitar los derrames de combustible en las boquillas del depósito de la embarcación.
- Disponer de material de limpieza adecuado para limpiar el suelo en el caso de derrame.

- Se generarán procedimientos de trabajo que contemplen las medidas indicadas, así como se colocará la cartelería recordatoria correspondiente.

4. Conclusiones

La metodología propuesta combina el análisis SWIFT y la valoración de riesgos mediante valoraciones lingüísticas y números difusos. El análisis SWIFT permite una identificación de los riesgos y de la secuencia que los podría originar o desencadenar. Las valoraciones lingüísticas y números difusos permiten la valoración de riesgos de una manera intuitiva y cualitativa, sin necesidad de disponer de datos numéricos de probabilidades o consecuencias como los necesarios para la aplicación de técnicas como los árboles de fallo o los árboles de sucesos.

La metodología genera una clasificación de los riesgos en cuatro categorías de riesgo: Intolerable, No Aceptable, Aceptable y Despreciable. Si el riesgo pertenece a la categoría Intolerable las medidas correctoras serán de aplicación inmediata, independientemente de su coste económico y si el riesgo pertenece a la categoría de No Aceptable, la empresa elaborará un programa para la implantación de las medidas propuestas con el objeto de eliminar los riesgos descritos o convertirlos en riesgos Aceptables. Para los riesgos clasificados como Aceptables y Despreciables se realizará un seguimiento para verificar que su evaluación ha sido correcta y en caso necesario, se procedería a un nuevo estudio de estos.

En el proceso de almacenamiento y suministro de combustibles a las embarcaciones de la corporación de prácticos del puerto de Valencia se debe disponer de los materiales absorbentes para la limpieza en el momento del suministro y evitar así posibles vertidos sobre el mar y/o la formación de charcos sobre el suelo (que puedan generar atmósferas explosivas). Se establecerán procedimientos de trabajo que contemplen la inspección de los diferentes puntos de la instalación, en especial durante la operación del suministro y el control de posibles fuentes de ignición. Del mismo modo se establecerán procedimientos de actuación para la limpieza del combustible en caso de vertido, tanto en el suelo como en el mar.

5. Referencias

- Chen, S.J. & Hwang, C.L. (1992). Fuzzy multiple attribute decision making: methods and applications. Ed. Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-642-46768-4_5
- Dubois, D. & Prade, H. (1978). Operations on fuzzy numbers. *International Journal of Systems Science*, 9(6), 613–626. <https://doi.org/10.1080/00207727808941724>
- Fuentes-Bargues, J.L., Gonzalez-Gaya, C., González-Cruz, M.C. & Cabrelles-Ramirez, V. (2016). Risk Assessment of a compound feed process based on HAZOP analysis and linguistic terms. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 44, 44 - 52. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2016.08.019>
- International Standard Organization (ISO). ISO 31.000:2010. Risk Management. Principles and Guidelines on Implementation.
- International Standard Organization (ISO). ISO 31.010:2011: Risk Management. Risk Assessment Techniques.
- Marhavidas, P.K., Koulouriotis, D. & Gemeni, V. (2011). Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24, 477-523. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2011.03.004>

- Nieto-Morote, A. & Ruz-Vila, F. (2011). A fuzzy approach to construction Project risk assessment. *International Journal of Project Management*, 29, 220-231. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.02.002>
- Pascual Navarro, I., Castellano Noguera, S. & Darder Navarro, S. (2016). Memoria valorada de Instalación de almacenamiento de combustible para suministro a embarcaciones, obra civil y edificación. Autoridad Portuaria de Valencia.
- Tixier, J., Dusserre, G., Salvi, O. & Gaston, D. (2002). Review of 62 analysis methodologies of industrial plants. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 15, 291-303. [https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(02\)00008-6](https://doi.org/10.1016/S0950-4230(02)00008-6)
- Yager, R.R. (1980). On a general class of fuzzy connectives. *Fuzzy Sets & Systems*, 4, 235-242. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(80\)90013-5](https://doi.org/10.1016/0165-0114(80)90013-5)
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information Control*, 8, 338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zadeh, L. A. (1975a). The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning. Part I. *Information Science*, 8, 199-249; Part II. *Information Science Vol. 8*, pp 301-357; Part III, *Information Science Vol. 9*, pp 43-80. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90036-5](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90036-5)
- Zadeh, L. A. (1975b). The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning. Part II. *Information Science*, 8, 301-357. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90046-8](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90046-8)
- Zadeh, L. A. (1975c). The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning. Part III. *Information Science*, 9, 43-80. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90017-1](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90017-1)

**Comunicación alineada con
los Objetivos de Desarrollo
Sostenible**

