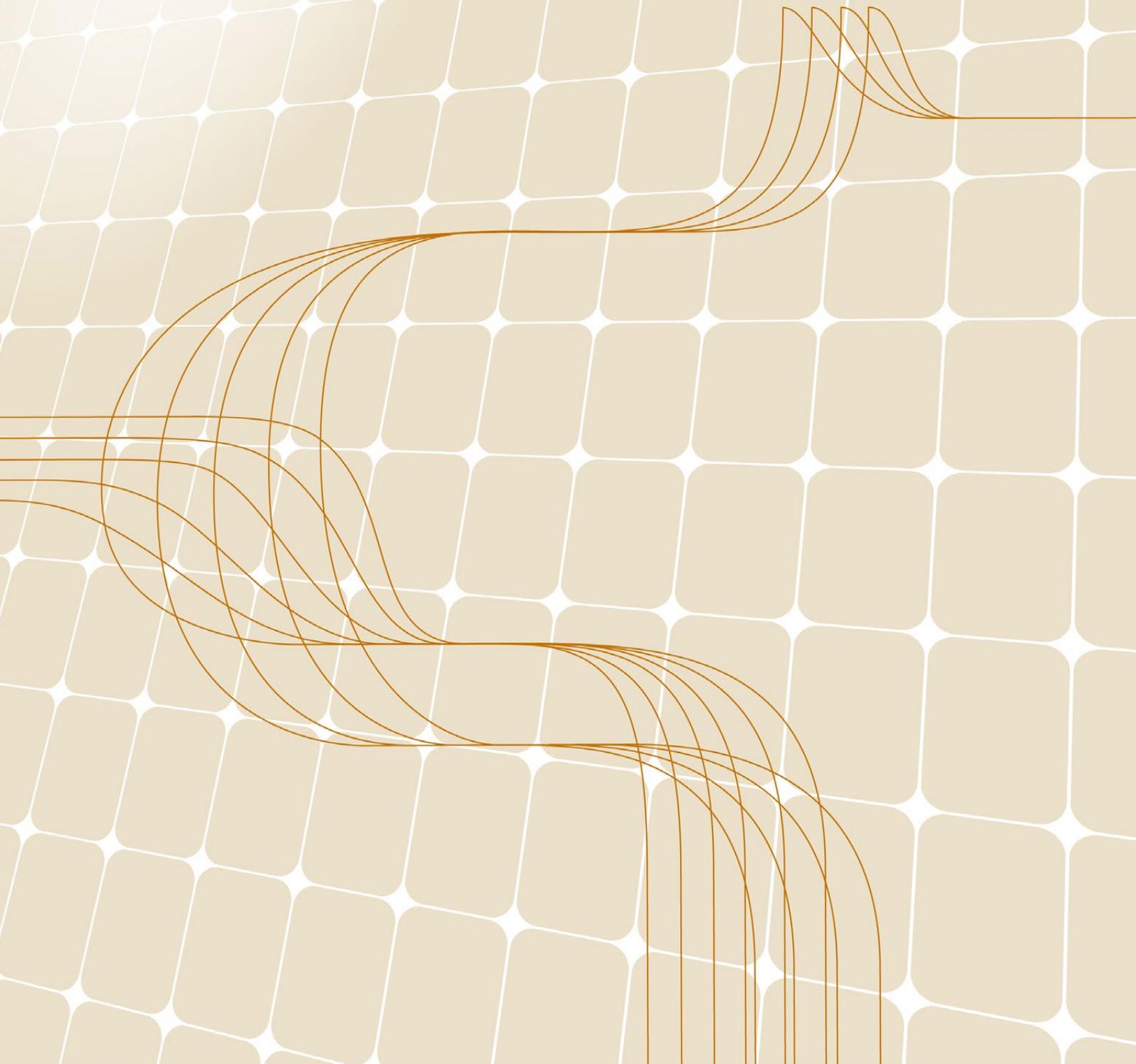


<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/index>  
www.ucr.ac.cr / ISSN: 2215-2652

# Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica  
JULIO/DICIEMBRE 2023 - VOLUMEN 33 (2)



# Evaluación de Riesgos (ER) en un terminal de buques tanqueros, basada en la norma ISO-31000:2018 y técnicas cuali-cuantitativas

## Risk Assessment (RA) in a tanker ships terminal, based on the ISO-31000:2018 standard and qualitative-quantitative techniques

*Miguel López García*

*Sede Regional del Caribe*

*Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica*

*Email: miguel.lopezgarcia@ucr.ac.cr*

*ORCID: 0000-0002-0834-8891*

*Reynaldo Montes de Oca Rivera*

*Investigador de Accidentes Marítimos*

*Ciudad de México, México*

*Email: montesdeocar44@gmail.com*

*ORCID: 0000-0003-2365-7972*

*María Ramírez Ramírez*

*Sede Regional del Caribe*

*Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica*

*Email: maria.ramirezramirez18@ucr.ac.cr*

*ORCID: 0000-0002-0591-3955*

**Recibido:** 7 de marzo de 2022

**Aceptado:** 4 de mayo de 2023

### Resumen

Este estudio tiene como propósito evaluar los riesgos de un muelle que forma parte de un terminal de buques tanqueros; la evaluación consideró la norma ISO-31000:2018. En concordancia con el objeto de estudio, se aplicaron las fases: alcance, contexto, criterios y evaluación del riesgo<sup>1</sup>. Se identificaron las siguientes áreas: seguridad y salud ocupacional, ambiente, fenómenos de la naturaleza e integridad de los bienes. Para la fase de identificación, se realizó una combinación de técnicas, que incluyó la observación *in situ*, torbellino de ideas e identificación de peligros (HAZID). En cuanto al análisis, se utilizó el método simplificado de la ER y, para la valoración el modelo, Tolerabilidad de Riesgo (ToR). Los resultados determinaron el nivel para cada uno de los riesgos, a saber: fuego, explosión, daños corporales, polución por residuos sólidos, polución por residuos líquidos, tormentas tropicales, corrosión y daños a la infraestructura y equipos.

### Palabras Clave:

Evaluación de riesgo, HAZID, método simplificado, modelo ToR, muelle de buques tanqueros, nivel de riesgo, norma ISO-31000:2018.

---

<sup>1</sup> La evaluación de riesgo contiene la identificación, el análisis y la valoración.



**Abstract**

The purpose of this study is to evaluate the risks of a dock that is part of a ship tankers terminal; the evaluation considered the ISO-31000:2018 standard. In accordance with the object of study, the next phases were applied: scope, context, criteria and risk assessment. The following areas were identified: occupational health and safety, environment, natural phenomena and integrity of assets. For the identification phase, a combination of techniques was used, including on-site observation, brainstorming, and hazard identification (HAZID). Regarding the analysis, the simplified RE method was used and the Tolerability of Risk (ToR) model was employed for the assessment. The results determined the level for each of the risks, namely: fire, explosion, bodily harm, solid waste pollution, liquid waste pollution, tropical storms, corrosion, and damage to infrastructure and equipment.

*Keywords:*

HAZID, ISO-31000:2018 standard, risk assessment, risk level, simplified method, tankers ships pier, ToR model.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las instalaciones portuarias para buques tanqueros, donde se efectúan operaciones de carga y descarga de productos derivados del petróleo y otras operaciones, suelen contratar una póliza de seguro para compensar los daños que pudiese ocasionar la presencia de algún riesgo. Asimismo, las compañías de seguro, antes de emitir la póliza, solicitan la evaluación de las instalaciones para identificar el nivel de los riesgos y cómo son tratados para su control.

Antes de la evaluación de riesgos, en primera instancia, se deben considerar los posibles requerimientos no establecidos por el cliente, las obligaciones regulatorias aplicables y un aspecto determinante: la definición de la metodología a aplicar y las técnicas para cada fase del proceso de evaluación. En relación con la metodología, se identificaron, entre otras, tres mundialmente aceptadas: la primera, desarrollada por la Organización Marítima Internacional (OMI) [1], denominada Formal Safety Assessment (FSA), cuyo propósito es mejorar la seguridad de los buques mercantes; la segunda, diseñada por la Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación (acrónimo en inglés IACS) [2], cuya guía para la evaluación de riesgos es para las operaciones de buques y la tercera, elaborada por la sociedad de clasificación Det Norske Veritas (DNV) [3] para la evaluación de riesgos en plataformas de perforación costa afuera. Debe destacarse que las tres metodologías fueron elaboradas para ser aplicadas en buques y plataformas costa afuera, pero cualquiera de ellas puede ser adaptada y empleada en una instalación portuaria. En el caso particular de estudio, se seleccionó la metodología y las técnicas a aplicar, al incorporar elementos de las citadas.

Si bien es cierto que estas metodologías y otras han sido ampliamente aceptadas por la comunidad marítima internacional, de ningún modo están exentas de ser mejoradas; por ejemplo, Kontovas y Psaraftis realizaron una revisión crítica de la metodología FSA y concluyeron, entre otros aspectos, que: “Hasta ahora, la mayoría de los estudios de FSA no han sido tan transparentes como deberían ser y, en cualquier caso, no podían justificar sin ambigüedades las medidas propuestas” [4, p. 57].

En este contexto, al considerar el alcance mundial y la vigencia, se asume como metodología la norma ISO-31000:2018 [5], la cual está basada en principios, marco de referencia y el *proceso para la gestión de riesgo*, de este último, se manejó lo relativo a la evaluación de riesgo. Debe destacarse que la norma aplica a la gestión como un todo; sin embargo, el objetivo del trabajo se enfocó en la evaluación, por lo tanto, solo se consideró ese aspecto que contiene la norma.

Cuando se aborda el tema de los riesgos hay que precisar el ámbito que se va a evaluar, porque el término es polisémico, es decir, el vocablo “riesgo” tiene varios significados y sobre todo aplicaciones, así pues, en el caso de estudio se proponen cuatro áreas, a saber: seguridad y salud ocupacional, ambiente, fenómenos naturales e integridad de la infraestructura y equipos. La comprensión del contexto interno y externo en el cual el muelle opera permite desestimar el área: protección, debido a que se encuentra en el interior de una instalación portuaria petrolera, la cual es responsable de la prevención de riesgos provenientes de actos ilícitos, de acuerdo con el Código Internacional para la Protección de Buques e Instalaciones Portuarias (PBIP).

Posterior a establecer el contexto interno y externo de la entidad (Muelle) objeto de estudio, se identifican los riesgos potenciales para cada área; en tal sentido, emergen los riesgos asociados a cada una de las áreas. El Cuadro I muestra la estructura del trabajo desarrollado:

**CUADRO I**  
**ESTRUCTURA PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS EN UN MUELLE DE**  
**BUQUES TANQUEROS**

| Contexto interno/externo                  |   | Metodología                              | Técnicas   |
|---|---|--|--|
| Áreas                                     | Riesgos   | Norma ISO-31000:2018                     |  |
| Seguridad y Salud Ocupacional             | Fuego<br>Explosión<br>Daños corporales                          |  | Observación<br>Torbellino de ideas<br>HAZID        |
| Ambiente                                  | Polución por residuos sólidos<br>Polución por residuos líquidos | IDENTIFICACIÓN<br>ANÁLISIS<br>VALORACIÓN |  |
| Fenómenos Naturales                       | Tormentas tropicales  |  | Método simplificado de la ER                       |
| Integridad de la Infraestructura y Equipo | Corrosión<br>Daños a la infraestructura y equipos               |  | Modelo ToR con criterios ALARP<br>Matriz de Riesgo |

Entonces, la ER se justifica en virtud de que la organización tenga la capacidad de anticiparse a diversos peligros, al contribuir a la prevención de pérdidas.

## 2. REFERENCIAS CONCEPTUALES

Vinculado a la definición de riesgo, en primera instancia, es menester precisar el término en función del abordaje del tema y la diversidad de conceptualizaciones existentes. Al respecto, el vocablo suele vincularse a averías de equipos e infraestructuras, actos ilícitos, deterioros financieros, catástrofes naturales, daños corporales, entre otros. De esta manera, de ningún modo se observa una definición única, por el contrario, la realidad muestra variedad de enunciaciones. En [6], se citan diez, las cuales se concentran en dos grupos; en el primero, el riesgo es referido en términos de probabilidades y valores deseados y, en el segundo grupo, el riesgo es una combinación de eventos/consecuencias e incertidumbres. Los autores fijan su posición y expresan que el riesgo se refiere a la incertidumbre y la gravedad de las consecuencias (o resultados) de una actividad con respecto a algo que los humanos valoran [6].

Además, se debe considerar que en [5, p.7] se define riesgo como “efecto de la incertidumbre sobre los objetivos” y después se describen tres notas para aclarar la definición. Entonces, en el marco de esta disquisición sobre el tema, se entiende por riesgo, para efectos de este artículo, a la teórica “probabilidad de daño” ante particulares peligros, cuya presencia ocasionaría

consecuencias negativas para el ente (muelle). En este sentido, se observará en los resultados del trabajo cómo se determina el nivel de riesgo en función del nivel de probabilidad y consecuencias.

En relación con el tema del riesgo, en [7], se presenta una crítica a las matrices de riesgo, no obstante, se reconoce que es el método más utilizado mundialmente para la gestión de riesgos en la industria del petróleo y gas; también se destaca que fueron revisados treinta documentos de SPE<sup>2</sup> y varios estándares de gestión de riesgos. Por ello, [7] sostiene que las matrices de riesgo (MR) presentan tres fallas que no habían sido previamente identificadas y que eventualmente originan recomendaciones improcedentes. Esta contundente afirmación se centra, primeramente, en una clasificación infundada y cuestiona “¿cómo puede una metodología que exhibe una deficiencia tan grave ser considerada la mejor de la industria?” [7, p. 61]. Además, [7] expresa que las MR categorizan los valores de consecuencia y probabilidad, pero no existen reglas sobre cómo hacer la categorización. Por último, como tercera crítica, menciona un “factor de mentira” [7], que demuestra aspectos tales como que “la consecuencia de una explosión es cuatro veces mayor que la del control de pozos (50/12.5). Sin embargo, la proporción de sus puntajes en el MR es solo 1.2 (6/5)”.

Así pues, después de las críticas a las MR, [7] hace algunas referencias para lo que considera un enfoque coherente para la gestión de riesgos; a partir de esas reseñas, destacan que la gestión de riesgos se trata fundamentalmente de la toma de decisiones. El objetivo del proceso de gestión de riesgos es identificar, evaluar, clasificar e informar las decisiones de gestión para mitigar los riesgos, y los objetivos se logran mejor con técnicas que apuntalan la toma de decisiones. Debe destacarse una vez más que, en el marco de la gestión de riesgos, para efectos de esta investigación, el aspecto de interés es el referido a la evaluación de riesgos como parte de la gestión de estos.

En otro orden de ideas, en [8], se define la ER como un “proceso total de identificación del riesgo (3.3.9), análisis del riesgo (ver 3.3.15) y valoración del riesgo (3.3.25)”, es decir, que la definición lo que expresa en sí son las tres etapas ya identificadas en [5]. Además, [3, p.13] argumenta que la ER “es una revisión de la aceptabilidad del riesgo basada en la comparación, estándares o criterios, y el ensayo de diversas medidas de reducción del riesgo”.

Dentro de este marco, pero llevado a la industria marítima, la evaluación de riesgos es una actividad ampliamente desarrollada y con plena vigencia. En 2017, [9] realizó un trabajo en el que se aporta una descripción de la ER para los navegantes en el transporte marítimo, por tanto, se enfoca en los riesgos que están involucrados en la seguridad de un buque. Llama la atención, la aseveración que hace acerca de la ER, la cual se afirma que se aplica normalmente como una ayuda para el proceso de toma de decisiones, coincidiendo con [7], al destacar que la gestión de riesgos es fundamental para la toma de decisiones.

En [9], se proponen cinco pasos para la ER, a saber: identificar los riesgos, determinar las consecuencias y probabilidades, establecer el nivel de riesgo, la mejora para llevar los riesgos a un nivel aceptable y archivar la documentación. Resulta enigmático que se considere un paso de la ER el registrar la documentación, pues archivar la documentación es una actividad

---

2 SPE= Society of Petroleum Engineers.

administrativa. Debe destacarse que en [9] se recomienda, para la identificación de riesgos, la técnica HAZID y, para la demostración de que los riesgos han sido controlados a un nivel tan bajo como sea razonablemente practicable, se sugiere el uso del diagrama ALARP, técnicas manejadas en la evaluación de riesgos objeto de este estudio.

CUADRO II  
COMPARACIÓN DE PROPUESTAS DE METODOLOGÍAS Y TÉCNICAS PARA LA ER

| Proponente - Denominación   | Metodología   | Técnicas  |
|---|---|---|
| OMI - Formal Safety Assessment (FSA)  | Identificación de peligros<br>Análisis de riesgo<br>Opciones de control de riesgo<br>Evaluación de costo/beneficio<br>Recomendaciones para toma/decisiones              | Análisis Árbol de Fallas, FMEA, HAZOP, SWIF, Diagramas de influencia, Curvas F-N, Análisis de Sensibilidad/ Incertidumbre |
| IACS - Guía para la Evaluación de Riesgos en Operaciones de buques                  | Identificación de peligros<br>Evaluación de los riesgos asociados<br>Aplicación controles para reducir riesgos<br>Seguimiento eficacia de controles                     | Indeterminadas  |
| DNV - Guía para la Evaluación de Riesgos en Plataformas de perforación costa afuera | Varios enfoques para la evaluación de riesgos   | Análisis Árbol de Fallas, HAZIP, HAZOP, FMEA, SWIF, ISO Risk Matrix, Análisis datos históricos, ALARP                     |
| [9] - Evaluación de Riesgos para los Navegantes en el Transporte Marítimo           | Identificar los riesgos<br>Determinar consecuencias/probabilidades<br>Establecer el nivel de riesgo<br>Llevar riesgo a un nivel aceptable<br>Registrar la documentación | HAZIP, Consecuencia/ Probabilidad   |
| Autores de este estudio - Evaluación de Riesgos en Muelle de Buques Petroleros      | ISO-31000:2018:<br>Identificación de riesgos<br>Análisis de riesgos<br>Valoración de riesgos  | Observación, Torbellino de ideas, HAZIP, Método simplificado de la ER, Modelo ToR, Matriz de riesgo                       |

En el Cuadro II, se observa la comparación de metodologías y técnicas entre cuatro opciones citadas y la utilizada en este estudio. Las técnicas presentadas en [1] y [3] son un conjunto de opciones, que de ningún modo ofrecen preferencias para algún conjunto de riesgos en particular. En el caso objeto de estudio, sí se precisan las técnicas para cada etapa de la ER.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Descripción general

Para la evaluación de riesgos, se toma como basamento la norma ISO-31000:2018 [5], que proporciona una guía para la gestión de riesgos, de esta se extrae lo correspondiente al alcance, contexto, criterios y ER, aspectos necesarios para la realización de esta investigación. Como parte inicial, se efectúa una reunión con el responsable del muelle para confirmar el alcance del servicio de evaluación de riesgos. Adicionalmente, se explica la metodología y técnicas a emplear, y se solicitan los siguientes documentos: mapa del área geográfica objeto de la evaluación, datos de evaluaciones anteriores, plano de líneas y equipos contra incendios, plano de instalación eléctrica, registro de mantenimiento de los equipos de amarre del muelle (bitas, duques de alba, defensas), plano de estructuras del muelle, informe de buzo para conocer condiciones de las estructuras sumergidas y reportes de mantenimiento de los equipos de lucha contraincendios.

#### 3.2. Contexto externo e interno

Se establece el contexto externo e interno de la ER en el cual opera el muelle, todo como paso previo para iniciar el proceso de la identificación de riesgos.



Fig.1. Contexto geográfico externo. Imagen de la vista general de la refinera, suministrada por el responsable del muelle.

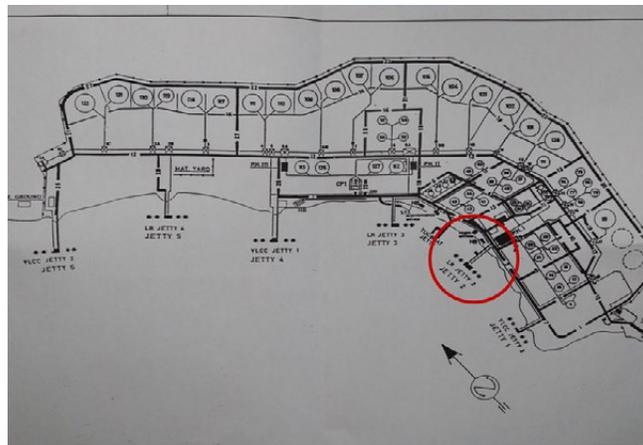


Fig.2. Contexto geográfico externo al muelle. Plano general suministrado por el responsable del muelle.

El terminal de buques tanqueros se encuentra geográficamente en el mar Caribe dentro de una refinería petrolera y posee seis muelles de atraque. La bahía es espaciosa (ver Fig. 1 y Fig. 2), además, los puestos de atraque y la batimetría de la bahía permiten recibir buques mundialmente conocidos como Very Large Crude Carriers (VLCC por sus siglas en inglés), los cuales tienen capacidad de carga hasta 250.000 t.

En cuanto al contexto interno (el muelle propiamente), presenta como estructura central la denominada plataforma principal, además, cuenta con un puente de aproximación, una línea de agua contra incendios y válvulas con parada rápida, defensas cónicas de goma, bitas de amarre, duques de alba, caseta con paneles eléctricos, postes de luz nocturna y bomba contraincendios, distribuidos de acuerdo con lo mostrado en la Fig.3.

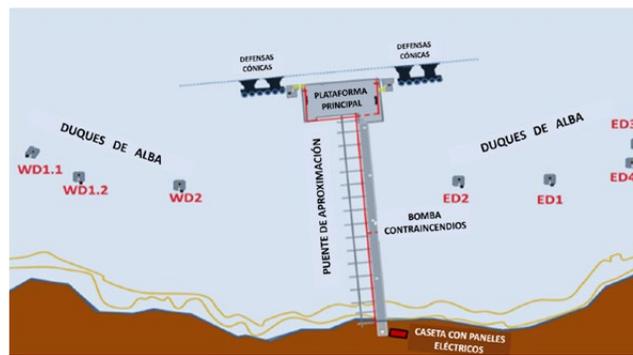


Fig.3. Contexto geográfico interno. Esquema del muelle.

La plataforma principal es una superficie lisa y sin obstáculos, su parte central está a un nivel superior (un escalón), tiene barandillas de protección personal en ambos lados y parcialmente en el borde trasero. Está sustentada por sesenta y seis pilotes, de los cuales treinta y ocho son verticales y veintiocho inclinados 6:1 (de acuerdo con los datos suministrados por el responsable del muelle, que a su vez extrajo la información de un informe de pilotes de buceo industrial que se refiere a los planos de construcción CUR 61120/505). También posee diez defensas en el borde delantero, formadas por cilindros huecos de goma maciza, sujetos en su lugar por cadenas. Dispone en ambos lados de su borde delantero de una defensa especial en forma de cono de goma (tapones de absorción de energía de impacto) para amortiguar el contacto del buque durante la maniobra de atraque y mantener la embarcación en posición alineada al muelle.

Para maniobrar, posicionar y amarrar dispone de siete Duques de Alba (Delfín) (ver Fig.3). De un lado, el ED1, ED2, ED3 y ED4, y del otro lado el WD1.1, WD1.2 y el WD2. Todos ellos con bolardo, poste de iluminación y escalera de acceso lateral.

Sobre la plataforma principal, se ubican los extremos (lado del mar) de las líneas contra incendios (en proceso de instalación de monitores y válvulas). En cada lado del borde frontal, hay postes de mediana altura para iluminación y tiene un poste de luz de posicionamiento.

En relación con la descripción del puente de aproximación (ver Fig.4.) a la plataforma principal, este presenta un plano liso y de tránsito libre, que está construido con un suave declive desde su extremo superior en tierra hasta el extremo inferior en la plataforma principal. Es

soportado por cincuenta y tres pilotes de los cuales diecinueve son verticales y treinta y cuatro inclinados 6:1 (de acuerdo con los datos suministrados por el responsable del muelle, que a su vez extrajo la información de un informe de pilotes de buceo industrial que se refiere a los planos de construcción CUR 61120/505). Tiene a lo largo cinco postes altos para alumbrado; cuenta con rejas de protección personal a ambos lados, en todo su recorrido. Existe en el lado abierto del puente de acceso, aproximadamente a dos tercios de su largo (desde el borde de tierra), una plataforma independiente en la que se instalan equipos (bombas) para el combate de incendios, que impulsan agua de mar a todo el sistema contra incendios de las instalaciones en tierra, así como al muelle, pero no está bajo la responsabilidad del personal del muelle.



Fig.4. Imagen que muestra el puente de aproximación a la plataforma principal del muelle.

### Identificación de riesgos (IR)

Esta es la primera etapa de la ER, la cual requiere contar con información adecuada y vigente, para ello, se aplican tres técnicas: torbellino de ideas, la observación *in situ* y HAZID. El propósito de la IR es generar la lista de riesgos para las áreas previamente determinadas e identificadas en el Cuadro I, con base en eventos que podrían perjudicar la consecución del servicio portuario. La identificación completa es fundamental, puesto que el riesgo no identificado en esta etapa de ningún modo podría ser incluido en el análisis posterior.

Para la identificación de riesgos, la instalación portuaria se divide en zonas de afectación, tal como recomienda [10], que señala: “la instalación en cuestión se dividirá en secciones lógicas y manejables”, las cuales se conforman por las siguientes: plataforma principal, puente de acceso, caseta de tableros eléctricos, sistema eléctrico, defensas y sistema de amarre.

La primera actividad que se realiza es el torbellino de ideas entre los investigadores y el representante del terminal portuario para intercambiar impresiones en un clima de armonía y sinceridad; a partir de esa reunión de promoción de ideas, surgen aspectos novedosos que orientan el trabajo de campo.

Posteriormente, se procede con la observación, método que permite establecer una relación directa entre los investigadores y el ente (muelle) objeto de estudio. De la actividad, se obtiene información valiosa en forma de iconografías y datos que luego se esquematizan para desarrollar el estudio. A continuación, se presenta la Fig.5, que contiene un conjunto de imágenes del muelle.

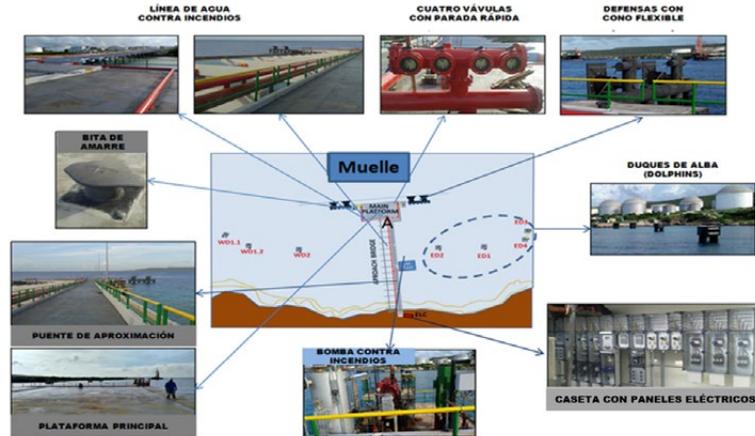


Fig. 5. Imágenes de las áreas, equipos e instalaciones del muelle, producto de la observación.

En cuanto a la técnica HAZID, esta se utiliza a nivel mundial con resultados positivos; por ejemplo, [11] afirma haber realizado más de quinientos HAZID, entonces, el método es aceptado como una de las mejores prácticas para la identificación de peligros potenciales. Esta técnica se circunscribe para la identificación de los riesgos, sus fuentes, causas, y consecuencias, incluido el examen de los efectos en cadena. Adicionalmente, considera una gama de consecuencias para cada riesgo, cuya información se plasma tal como se observa en el Cuadro III, que muestra como ejemplo el riesgo: fuego.

CUADRO III  
IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO FUEGO, MEDIANTE LA TÉCNICA HAZID

| Identificación del riesgo: Fuego |                            |  |   |   |
|----------------------------------|----------------------------|--|---|---|
| Riesgo                           | Fuentes                    | Causas   | Consecuencias   | Zona de afectación  |
| Fuego                            | Reacciones químicas        | Calentamiento espontáneo y por combustión.<br>Utilización de herramientas de encendido. Sustancias reactivas y antioxidantes.                          | Daños corporales:<br>Uno o más fallecidos<br>Lesiones irreversibles<br>Lesiones con incapacidad temporal para el trabajo<br>Lesiones leves, sin reclusión | Muelle,<br>puente de acceso,<br>caseta de tableros eléctricos,<br>sistema eléctrico,<br>defensas y sistema de amarre. |
|                                  | Fuente eléctrica           | Calentamiento por corrientes de fuga, descargas eléctricas, cortocircuitos, calentamiento dieléctrico, calor por arco eléctrico y relámpagos, y rayos. | Daños materiales:<br>Pérdida total del muelle<br>Pérdida parcial del muelle<br>Suspender operaciones del muelle para reparaciones                         |   |
|                                  | Rozamiento fuente mecánica | Descargas eléctricas de herramientas, fricciones mecánicas y máquinas de motor.  | Reparable sin necesidad de cesar operaciones del muelle.  |   |

## Análisis de riesgos

En esta fase, se utiliza el método denominado: “sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente” [12] con el cual de ningún modo se pretende determinar el valor exacto, sino una aproximación en términos de nivel de riesgo, recurriendo a escalas ordinales que orientan la toma de decisiones para el posterior tratamiento. En este método, los dos componentes que determinan el riesgo son la probabilidad y las consecuencias, entonces, lo que se trata es de cuantificar el riesgo para su análisis y valoración. Con el fin de fortalecer el análisis, se pretende comparar el nivel de probabilidad de riesgo obtenido mediante la técnica utilizada con el nivel de probabilidad estimable a partir de datos estadísticos de siniestralidad del muelle, lo cual resulta más preciso para el análisis; sin embargo, esos datos no estaban disponibles.

En [12], se explica que la técnica presenta ausencia de valores absolutos de riesgo, probabilidad y consecuencias, debido a ello, se maneja el vocablo “nivel de riesgo (NR)” en una escala de cuatro posibilidades, a saber: No aceptable, No aceptable con condición, Mejorable y Aceptable. Por tanto, se determina el "nivel de riesgo", "nivel de probabilidad" y "nivel de consecuencias". El nivel de riesgo (NR) se determina en función del nivel de probabilidad (NP) y del nivel de consecuencias (NC) y puede formularse como:

$$NR = NP \times NC \quad (1)$$

Ahora bien, el nivel de probabilidad (NP) se determina con [12], en función del nivel de deficiencia (ND) y del nivel de exposición (NE) al riesgo, el cual se formula como el producto de ambos términos:

$$NP = ND \times NE \quad (2)$$

CUADRO IV  
DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE DEFICIENCIA,  
EXPOSICIÓN, PROBABILIDAD, CONSECUENCIAS Y RIESGO CON BASE EN LOS  
CUADROS DE [12]

| Nivel de deficiencia (ND) | Nivel de exposición (NE) | Nivel de probabilidad (NP) | Nivel de consecuencias (NC) |              |     |     | Nivel de Riesgo (NR) |   |                            |
|---------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|-----|-----|----------------------|---|----------------------------|
| 0                         | 1                        | Muy alto (MA)              | 40-24                       | Catastrófico | 100 | I   | 2000 - 4000          |  | No aceptable               |
| 2                         | 2                        | Alto (A)                   | 20-10                       | Crítico      | 60  | II  | 500 - 150            |  | No aceptable / Condiciones |
| 6                         | 3                        | Medio (M)                  | 8-6                         | Moderado     | 25  | III | 120 - 40             |  | Mejorable                  |
| 10                        | 4                        | Bajo (B)                   | 4-2                         | Tolerable    | 10  | IV  | 20                   |   | Aceptable                  |

Se ajusta el nivel de deficiencia (ND) a la medida de la escala de 0, 2, 6, o 10 ligada a los factores de riesgo y su correspondencia causal directa con el potencial riesgo. Los valores numéricos indicados en la primera columna del Cuadro IV corresponden a los distintos niveles de deficiencia y los factores de riesgo asociados están en [12].

En cuanto al nivel de exposición (*NE*), es una magnitud del tiempo de exposición al riesgo, los valores (1, 2, 3 y 4) son tenuemente menores a los valores que adquieren los niveles de deficiencias, véase la columna 1 y 2 del Cuadro IV; lógicamente, esto se comprueba cuando el contexto del riesgo está controlado, y aun cuando haya una exposición alta, esta, en ningún modo, produciría el mismo nivel de riesgo que obteniéndose una elevada deficiencia con exposición de 0 o 1.

En relación con el nivel de consecuencias, este supone una escala con cuatro niveles: tolerable, moderado, crítico y catastrófico, tal como se aprecia en el Cuadro IV, la gradación numérica de consecuencias es superior a la de probabilidad. Desde el punto de vista empírico, es razonable que el nivel de consecuencias sea más elevado que el de probabilidad.

### 3.3. Valoración de riesgos

Para la valoración, se utiliza el modelo Tolerabilidad del Riesgo (ToR) que, en 2001, fue desarrollado por Health and Safety Executive (HSE) [13]. Este se simboliza mediante un triángulo invertido según [14] y, de acuerdo con [13], se señala que el vértice en la parte inferior constituye el riesgo en el rango más bajo y su sección superior significa el riesgo más elevado. Debe resaltarse que, para significar los niveles de riesgo, se utiliza una escala logarítmica. En este artículo, se sigue la taxonomía presentada por HSE [13] citada por [14, p. 254], la cual contempla tres niveles, a saber:

- Riesgo Inaceptable: Riesgo que no es aceptable para la sociedad.
- Riesgo Tolerable: Es el riesgo con el que la sociedad está dispuesta a convivir a cambio de unos beneficios determinados, siempre que se considere que el riesgo esté bajo control.
- Riesgo Aceptable: Es el riesgo que se entiende como trivial o insignificante para la sociedad.

Es importante distinguir que la técnica utilizada para el análisis de riesgos según la metodología “Sistema Simplificado de Evaluación de Riesgos de Accidente” contempla cuatro niveles de riesgo: no aceptable, no aceptable con condición, mejorable y aceptable; mientras que el modelo ToR para la valoración de riesgos presenta tres niveles: inaceptable, tolerable y aceptable. Debe destacarse que el nivel tolerable del triángulo es la región que se conoce comúnmente como criterio ALARP (tan bajo como sea razonablemente factible, conocido en inglés como: As Low As Reasonable Practicable). Ahora bien, para equiparar la técnica y el modelo, en cuanto a niveles de riesgo, se fusionan los niveles “aceptable con condición y mejorable”, como si fuese el nivel “tolerable” del modelo ToR; para una mejor comprensión, obsérvese la Fig. 6.

Asimismo, debe subrayarse que, al aplicar el criterio ALARP, debería realizarse un análisis de costo-beneficio para determinar la eventualidad de minimizar los niveles de riesgos; sin embargo, este aspecto se encuentra fuera del alcance del trabajo, debido a la ausencia de información presentada por la organización para desarrollar dicho análisis.

### 3.4. Evaluación de riesgos

El desarrollo de esta etapa implica alcanzar el objetivo del trabajo, para ello se despliega una matriz de riesgo, véase el Cuadro V:

CUADRO V  
MATRIZ DE RIESGO QUE MUESTRA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS  
(INTEGRA LAS FASES DE IDENTIFICACIÓN, ANÁLISIS Y VALORACIÓN)

| Riesgo | Fuentes | Causas | Zona de afectación | Escenario | Nivel de deficiencia (ND) | Nivel de exposición (NE) | Nivel de probabilidad (NP=NDxNE) | Interpretación del NP | Nivel de consecuencia (NC) | Nivel de Riesgo NR=NPxNC | Interpretación del NR | Aceptabilidad del riesgo |
|--------|---------|--------|--------------------|-----------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
|        |         |        |                    |           |                           |                          |                                  |                       |                            |                          |                       |                          |

## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Primeramente, debe reiterarse, que la evaluación de riesgos se basó en la metodología contenida en [5], en particular, la identificación, análisis y valoración de riesgos de la Norma ISO-31000:2018. Para cada una de las tres etapas se utilizaron técnicas que se señalaron en el Cuadro II.

Del torbellino de ideas, surgen áreas de riesgos, a saber: seguridad y salud ocupacional, ambiente, fenómenos de la naturaleza e integridad de los bienes, posteriormente, mediante la observación y el HAZID, descritos en la sección anterior, se identifican ocho riesgos objeto de la evaluación y los posibles escenarios; para cada uno de ellos se determinaron las fuentes, causas, consecuencias y zona de afectación, tal como se indicó en el Cuadro III, como ejemplo para el riesgo fuego.

Acto seguido, se procede con el análisis de riesgos, para ello, se aplicó el Sistema Simplificado de Evaluación de Riesgos de Accidente, definido en [12], esto conlleva a la obtención de los niveles de deficiencia, exposición, probabilidad, consecuencia y riesgo para los ocho riesgos reconocidos y sus respectivos escenarios. Para la fase de valoración, se utilizó el modelo de Tolerabilidad al Riesgo (ToR), el cual se observa en [13] (véase la fig.6):

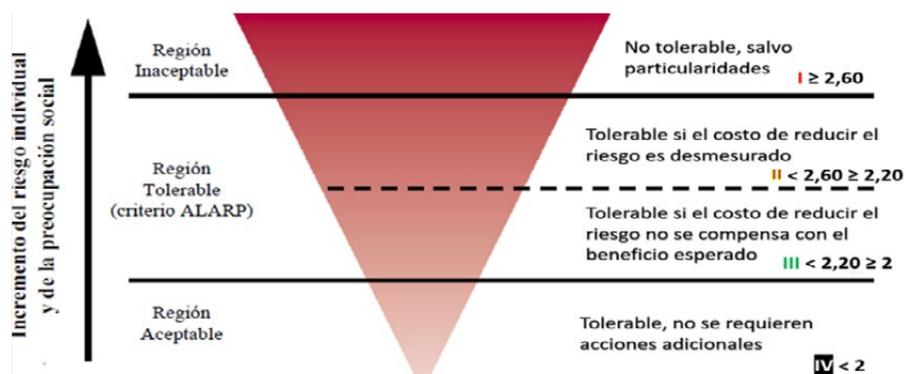


Fig. 6. ALARP con diagrama basado en [13 p.45].

Los valores indicados en las regiones de la Fig. 6 muestran los logaritmos de los niveles de riesgos determinados en el análisis. La intención de ello obedeció a presentar datos mejor diferenciados a vista del lector.

Obsérvense en el Cuadro VI los datos que fueron extraídos de las matrices de riesgos, al mostrar los niveles de cada riesgo analizado según el significado del nivel de intervención de [12] y el logaritmo de los NR.

CUADRO VI  
DATOS EXTRAÍDOS DE LAS MATRICES DE RIESGOS Y DETERMINACIÓN  
DE LOGARITMOS DE NIVELES DE RIESGOS

| Riesgo                               | Escenario               | Nivel de<br>deficiencia<br>(ND) | Nivel de<br>exposición<br>(NE) | Nivel de<br>probabilidad<br>(NP) | Nivel de<br>consecuencia<br>(NC) | Nivel de<br>riesgo<br>(NR) | Logaritmo<br>(NR) |
|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-------------------|
| Fuego                                | En operación            | 2                               | 1                              | 2                                | 70                               | 140                        | 2,14              |
|                                      | Sin operación           | 0                               | 1                              | 0                                | 60                               | 00                         | --                |
| Explosión                            | En operación            | 2                               | 2                              | 4                                | 70                               | 280                        | 2,44              |
|                                      | Sin operación           | 0                               | 1                              | 0                                | 60                               | 00                         | --                |
| Daños corporales                     | En operación            | 2                               | 2                              | 4                                | 80                               | 320                        | 2,51              |
|                                      | Sin operación           | 0                               | 1                              | 1                                | 60                               | 00                         | --                |
| Polución desechos sólidos            | En operación            | 2                               | 2                              | 4                                | 40                               | 160                        | 2,20              |
|                                      | Sin operación           | 2                               | 1                              | 2                                | 10                               | 20                         | 1,30              |
| Polución desechos líquidos           | En operación            | 2                               | 2                              | 4                                | 60                               | 240                        | 2,38              |
|                                      | Sin operación           | 2                               | 1                              | 2                                | 15                               | 30                         | 1,48              |
| Tormentas tropicales                 | En operación            | 2                               | 2                              | 4                                | 75                               | 300                        | 2,48              |
|                                      | Sin operación           | 2                               | 1                              | 2                                | 60                               | 120                        | 2,07              |
| Corrosión                            | En operación            | 2                               | 2                              | 4                                | 25                               | 100                        | 2,00              |
|                                      | Sin operación           | 2                               | 1                              | 2                                | 18                               | 36                         | 1,56              |
| Daños a la infraestructura y equipos | En operación            | 2                               | 3                              | 6                                | 60                               | 360                        | 2,56              |
|                                      | Sin operación           | 2                               | 0                              | 0                                | 0                                | 00                         | --                |
|                                      | Defensa muy deteriorada | 6                               | 4                              | 24                               | 100                              | 2400                       | 3,38              |

En el Cuadro VII, se muestran los resultados de la evaluación de los riesgos y se observa el riesgo “daños a la infraestructura y equipos”, escenario: “defensas con cono flexible muy deterioradas”, resultado de la evaluación 3,38 (inaceptable), el cual es el único riesgo evaluado no-tolerable (I).

CUADRO VII  
EVALUACION DE RIESGOS

| Regiones del nivel de riesgo (Según modelo TOR) | Descripción de las regiones (Modelo TOR)                            | Riesgos evaluados                    | Escenario                                   | NR (Logaritmo) | Aceptabilidad |
|---|---|--------------------------------------|---|----------------|---------------|
| INACEPTABLE (I)                                 | Riesgo inaceptable, a menos que existan razones excepcionales       | Daños a la infraestructura y equipos | Defensas con cono flexible muy deterioradas | 3,38           | I             |
|   |   | Daños a la infraestructura y equipos | En operación                                | 2,56           |               |
|   |   | Polución desechos líquidos           | En operación                                | 2,51           |               |
| TOLERABLE, CRITERIO ALARP (II) Y (III)          | Tolerable solo si el costo de reducir el riesgo es desproporcionado | Daños corporales                     | En operación                                | 2,48           | II            |
|   |   | Explosión                            | En operación                                | 2,44           |               |
|   |   | Tormentas tropicales                 | En operación                                | 2,38           |               |
|   |   | Polución desechos sólidos            | En operación                                | 2,20           |               |
|   |   | Fuego                                | En operación                                | 2,14           |               |
|   |   | Tormentas tropicales                 | Sin operación                               | 2,07           |               |
|   |   | Polución desechos sólidos            | Sin operación                               |                |               |
| ACEPTABLE (IV)                                  | No se requieren esfuerzos adicionales para reducir el riesgo        | Corrosión                            | Sin operación                               | 2,00           | IV            |
|   |   | Polución desechos líquidos           | Sin operación                               | 1,56           |               |
|   |   | Polución desechos sólidos            | Sin operación                               | 1,48           |               |

## 5. CONCLUSIONES

Como se expuso al inicio, este estudio tuvo como propósito evaluar los riesgos de un muelle que forma parte de un terminal de buques tanqueros, basándose en la norma ISO-31000:2018 y técnicas cuali-cuantitativas.

En relación con la identificación de riesgos, esta gravitó en torno a cuatro áreas que surgieron del torbellino de ideas, las cuales fueron tipificadas como: seguridad y salud ocupacional, ambiente, fenómenos de la naturaleza e integridad de los bienes. Mediante la observación y el

HAZID, fueron identificados ocho riesgos, a saber: daños a la infraestructura y equipos, polución de desechos líquidos, daños corporales, explosión, tormentas tropicales, polución de desechos sólidos, fuego y corrosión, cada uno con sus posibles escenarios; además, se determinaron las fuentes, causas y zonas de afectación del muelle en caso de presentarse el riesgo.

En cuanto al análisis de riesgos, se produjeron los resultados mostrados en la quinta columna del Cuadro VII, en la que destaca el riesgo “daños a la infraestructura y equipos”, cuyo escenario: “defensas con cono flexible muy deterioradas” arrojó un nivel de riesgo intolerable, lo cual se infiere que representaría para la organización un tratamiento acorde al nivel declarado en la evaluación.

Acercas de la valoración y evaluación de riesgos, se jerarquizaron en una escala que representa las regiones del nivel de riesgo (según modelo ToR), mostrada en la Fig.6, que se resume a continuación:

- INACEPTABLE (I):  $\geq 2,60$
- TOLERABLE, Criterio ALARP (II):  $< 2,60 \geq 2,20$  y (III):  $< 2,20 \geq 2,00$
- ACEPTABLE (IV):  $< 2,00$

Debe destacarse la multiplicidad de metodologías y técnicas cuali-cuantitativas existentes para evaluar riesgos en el sector marítimo-portuario a nivel mundial, por tanto, en este artículo, se presenta y justifica el uso de determinados métodos en función de las características del ente (muelle) objeto de la evaluación. Por otro lado, la exigua información y datos disponibles restringieron las opciones en el campo cuantitativo para el desarrollo de la labor. Debe resaltarse que, si bien la evaluación de riesgos de ningún modo considera la existencia de un método exacto, la variedad de metodologías existentes puede permitir una elección apropiada a las circunstancias, que posteriormente ofrezca resultados considerados válidos para la toma de decisiones y así prevenir la presencia de riesgos que puedan afectar negativamente la organización.

Sobre la Norma ISO-31000:2018, debe indicarse la utilidad de esta para la evaluación de riesgos, puesto que proporcionó el marco de referencia para los procesos de identificación, análisis y valoración de cada uno de los riesgos. Obviamente, la precisa descripción de estos procesos permitió la escogencia y aplicación de técnicas cuanti-cualitativas apropiadas para la determinación de los niveles de riesgo.

Para finalizar, debe señalarse que los resultados de la evaluación de riesgos se consideran los insumos básicos para el tratamiento de los riesgos que debería implementar la organización, a fin de prevenir la presencia de un suceso que genere la ocurrencia de daños a las personas o los bienes.

## ROLES DE AUTORES

*Miguel López-García:* Conceptualización, Análisis formal, Redacción - borrador original, Redacción – revisión y edición, Investigación – recolección de datos/evidencia. Visualización.

*Reynaldo Montes de Oca-Rivera*: Conceptualización, Análisis formal, Investigación – recolección de datos/evidencia.

*María Ramírez-Ramírez*: Metodología, Análisis formal, Recursos – Suministro de materiales de estudio.

## REFERENCIAS

- [1] MSC, “Guidelines for formal safety assessment (FSA)”, International Maritime Organization, Londres, Reino Unido, MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2, 2018.
- [2] IACS, “Guide to risk assessment in ship operations”, International Association of Classification Societies, Londres, Reino Unido, A.IACS Rec.2012/Rev.1, 2021.
- [3] DNV, “Marine risk assessment”, Det Norske Veritas, Londres, Reino Unido, Offshore Technology Report 2001/063, 2002.
- [4] C.A. Kontovas y H.N. Psaraftis, “Formal safety assessment: a critical review”, *Marine Technology and Sname News*, vol.46, no. 1, pp. 45-59, 2009, doi:10.5957/mtsn.2009.46.1.45.
- [5] IOS. “Norma ISO-31000:2018 risk management”, shahrdevelopment.ir, <https://shahrdevelopment.ir/wp-content/uploads/2020/03/ISO-31000.pdf> (accesado en Feb. 2, 2023).
- [6] T. Aven y O. Renn, “Introduction: Concept of Risk”, en *Risk Management and Governance – Concepts, Guidelines and Applications*, cap. I, vol.16. Berlin, Alemania: Springer, 2010, pp. 01–14. [en línea]. Disponible en: <https://books.google.co.cr/books?id=0eTe0E4mWMC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- [7] P. Thomas, R.B. Bratvol y J.E. Bickel, “The Risk of Using Risk Matrices”, *SPE Economics and Management*, vol. 6, no. 2, pp. 56-66, 2013 [en línea]. Disponible en: <http://maverisk.nl/wp-content/uploads/TheRiskofUsingRiskMatrices.pdf> (accesado en Feb. 4, 2023).
- [8] IOS. “Norma ISO 31073:2022(en) gestión de riesgos – vocabulario”, <https://www.iso.org>, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31073:ed-v1:en> (accesado en Feb. 5, 2023).
- [9] M. Mousavi, I. Ghazi y B. Omarae, “Risk Assessment in the Maritime Industry”, *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol.7, no.1, pp. 1377-1381, 2017 [en línea]. Disponible en: <https://www.etasr.com/index.php/ETASR/article/view/836/447>
- [10] GL. “Hazard identification studies (HAZID)”, Germanischer Lloyd – Service/Product Description, Hamburgo, Alemania, pp. 1-16, operating 24/7, 2008.
- [11] BV. “Hazid – Hazard identification study”, <https://www.bureauveritas.it>, <https://www.bureauveritas.it/needs/hazid-hazard-identification-study> (accesado en Feb. 5, 2023).
- [12] INSST. “NTP 330: sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente”, <https://www.insst.es>, [https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp\\_330.pdf/e0ba3d17-b43d-4521-905d-863fc7cb800b](https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp_330.pdf/e0ba3d17-b43d-4521-905d-863fc7cb800b) (accesado en Feb. 7, 2023).
- [13] HSE. “Reducing risk, protecting people – HSE’s decision making process”, <https://www.hse.gov.uk>, <https://www.hse.gov.uk/managing/theory/r2p2.pdf> (accesado en Feb. 10, 2023).
- [14] J. Conesa, S. García y M. Lamata, “Gestión eficiente de riesgos laborales: aplicación del criterio TOR (Tolerability of Risk) a la fase de construcción de los proyectos”, presentado en *XIV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*, 2010, pp. 250-261 [en línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8212291>