

Mapa de riesgos tecnológicos asociados al manejo de mercancías peligrosas en los puertos de Barranquilla

Technological risks map associated with dangerous goods management in ports of Barranquilla

Luis Carlos Valdés L.¹, Gustavo Adolfo Ortega B.², Jesús María Consuegra G.³

¹Especialista en Gestión de la Calidad, Ingeniero Químico, Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigaciones "Proquibios", Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia

²Ingeniero Químico, Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigaciones "Proquibios", Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia

³Magister en Ciencias Ambientales, Profesor Asociado Tiempo Completo, Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigaciones "Proquibios", Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia
Email: lcvaldesl@gmail.com

Recibido: 15/11/2018
Aceptado: 25/01/2019

Cite this article as: L. C. Valdés L., G. A. Ortega B., J. M. Consuegra G. "Technological risks map associated with dangerous goods management in ports of Barranquilla", *Prospectiva*, Vol 17, N° 1, 45-50, 2019.

RESUMEN

En este estudio se presentan los aspectos fundamentales para la elaboración del mapa de riesgos tecnológicos en los puertos de Barranquilla, de acuerdo a las directrices para la Gestión del Riesgo, ISO 31000 de 2018. Por medio del desarrollo de un análisis de vulnerabilidad, se estudiaron las amenazas de origen antrópico y, los niveles de riesgos presentes en las operaciones de carga, descarga y almacenamiento de mercancías peligrosas en los entornos portuarios objeto de investigación. Se evaluaron setenta escenarios de potenciales emergencias tecnológicas teniendo en cuenta su probabilidad de ocurrencia, la severidad de daño para las víctimas, el medio ambiente y el alcance geográfico de las zonas expuestas a las amenazas. Los resultados simulados en el software ALOHA y GNOME, evidencia los escenarios con mayor vulnerabilidad y establece un diagnóstico preliminar para la gestión del riesgo de desastres tecnológicos en los puertos de la ciudad. Se pudo concluir la factibilidad de los mapas de riesgos tecnológicos como herramienta para la administración de los riesgos de desastre en los entornos portuarios y su papel preponderante para el diseño de planes de emergencia en las organizaciones.

Palabras clave: Mapa de riesgos; Riesgo tecnológico; Análisis de vulnerabilidad; Continuidad del negocio; Puerto; Mercancía peligrosa

ABSTRACT

This study presents the fundamental aspects for the preparation of the technological risks map in the ports of Barranquilla, according to the guidelines for Risk Management, ISO 31000 of 2018. Through the development of a vulnerability analysis, threats of anthropogenic origin and, the levels of risks present in the loading, unloading and storage of dangerous goods in the port environments under investigation were studied. Seventy scenarios of potential technological emergencies were evaluated considering their probability of occurrence, the severity of damage for the victims, the environment and the geographic scope of the areas exposed to the threats. The results simulated in the software ALOHA and GNOME, show the most vulnerable scenarios and establish a preliminary diagnosis for the management of technological disaster risk in the city's ports. It was possible to conclude the feasibility of technological risk maps as a tool for the management of disaster risks in port environments and its preponderant role for the design of emergency plans in organizations.

Key words: Risk map; Technological risk; Vulnerability analysis; Business continuity; Port; Dangerous goods

1. INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de la humanidad, el hombre ha tenido que afrontar los riesgos que surgen de la necesidad de obtener los recursos indispensables para su subsistencia y optimizar la disponibilidad de los mismos. Por tanto, ha quedado expuesto a fenómenos destructivos producto de accidentes en el desarrollo de actividades técnicas, generando afectaciones como la contaminación atmosférica, los derrames de materiales peligrosos en el suelo y cuerpos de agua, incendios y explosiones.

Las preocupaciones acerca de los accidentes industriales y la administración de la seguridad industrial han sido relevantes en las últimas décadas, debido a desastres como los presentados el 24 de marzo de 1989: el petrolero Exxon Valdez, que transportaba 177.000 toneladas de petróleo crudo, encalló en el arrecife de Bligh Island, Alaska, lo que produjo un derrame de aproximadamente 35.500 toneladas métricas de crudo que se extendió por el mar [1]. Las operaciones para contener y recuperar los hidrocarburos se iniciaron inmediatamente, utilizando y probando todo tipo de equipos y técnicas diferentes. Los resultados y la experiencia adquirida en la atención de estos accidentes, han servido principalmente para incentivar políticas de prevención y respuesta, instaurando la necesidad de elaborar planes de prevención y respuesta a emergencias, con el fin de aumentar la capacidad de mitigación de los impactos negativos de los potenciales desastres.

Frente a estos acontecimientos que incrementan la sensibilidad pública hacia los desastres tecnológicos, la sociedad ha desarrollado la percepción de que los riesgos tecnológicos escapan del control gubernamental, surgiendo así movimientos activistas que demandan el “derecho a saber” y el “derecho a saber más”. Sin embargo, la abundancia de información que ha surgido alberga un grado alto de incertidumbre científica y suscita diversas interpretaciones con implicaciones económicas considerables. El creciente interés en la evaluación de riesgos no se debe a la eliminación de la incertidumbre ni sus efectos, el interés radica en que la evaluación de riesgos proporciona un marco sistemático basado en principios científicos para comprender y administrar los riesgos; es decir, es una guía para la administración de recursos nacionales para proteger la salud pública y el medio ambiente [2].

Toda actividad industrial, por trivial que parezca, implica un riesgo y, desde luego, las actividades de carga, descarga y almacenamiento de mercancías peligrosas no son la excepción. El manejo de mercancías peligrosas en instalaciones portuarias, es una actividad expuesta a condiciones operativas especiales que, debido a sus características, se constituyen en amenazas para las personas y el entorno. Por providas que sean las medidas preventivas en materia de seguridad, cualquier operación de manejo de mercancías peligrosas constituye un riesgo y eliminarlo sólo se conseguiría a expensas de eliminar la actividad en sí misma [3].

Este estudio resulta de la necesidad de conocer los riesgos tecnológicos a los que están sometidas las instalaciones portuarias y las comunidades circunvecinas de los puertos de

Barranquilla. El mapa de riesgos tecnológicos permite identificar geográficamente las zonas de mayor vulnerabilidad a eventos de derrame, escape, incendio y explosión de mercancías peligrosas. El soporte para las simulaciones es el software ALOHA 5.4.5, herramienta que cuenta con una base de datos de sustancias químicas comunes en las industrias. Se emplearon metodologías como la expuesta por el índice DOW para la evaluación de la posibilidad de incendio y explosión e información toxicológica de cada una de las sustancias objeto de estudio; así también, se utilizó el software GNOME 1.3.10 para la evaluación del impacto ambiental de derrame de hidrocarburos en el río Magdalena. Los resultados obtenidos se consolidaron en una matriz de riesgo y en los mapas de las zonas más vulnerables a las amenazas identificadas.

1.1 Revisión de requisitos nacionales y otros requisitos

En la tabla 1, se consolida el marco jurídico que regula, controla, resuelve o decreta el manejo de mercancías peligrosas en los puertos o zonas portuarias del país para asegurar la prevención de desastres y el bienestar personal y ambiental en áreas circunvecinas de estas instalaciones donde se realicen actividades con este tipo de mercancías.

1.2 Gestión del riesgo asociado al uso de sustancias químicas

En Colombia se han evidenciado debilidades en la implementación de los procesos de gestión del riesgo para cada una de las etapas del ciclo de vida de las sustancias químicas [4]. Por lo tanto, los esfuerzos del Estado se han encaminado a la integración, de manera coherente, de los procesos de gestión del riesgo y las etapas del ciclo de vida de las sustancias químicas para cubrir el amplio espectro de los problemas asociados con su uso, es decir, la sustancia química y las instalaciones donde se usan; promoviendo simultáneamente, el fortalecimiento, la articulación y el compromiso de las entidades responsables del proceso de gestión.

En este sentido, las acciones propuestas en la Política de Gestión del Riesgo Asociado al Uso de Sustancias Químicas de 2016, buscan reducir los efectos adversos a la salud y al medio ambiente a través de la puesta en marcha de los **programas de gestión de sustancias químicas de uso industrial** y de **prevención de accidente mayor**, los cuales se fundamentan en la identificación de peligros de las sustancias químicas a través del *Sistema Globalmente Armonizado*, así como en la evaluación de los riesgos para la definición de las medidas de manejo.

La Ley 1523 de 2012 y la Ley 1562 de 2012 aún no reconocen escenarios de potencial accidentalidad con base en la cantidad y número de sustancias químicas presentes en las industrias, así como los riesgos a la salud y al medio ambiente derivados de las actividades. Además, no se ha desarrollado la experticia técnica para identificar los peligros, evaluar y tratar el riesgo de accidentes con sustancias químicas y no se han definido los parámetros (por ejemplo, sustancias y cantidades umbral) que permitan administrar los recursos y focalizar los esfuerzos en los casos que potencialmente pue-

Tabla 1. Marco legal y normativo aplicable al manejo de mercancías peligrosas en los puertos de Colombia.
Table 1. Legal and regulatory framework applicable to the handling of dangerous goods in the ports of Colombia.

La legislación colombiana en materia de seguridad y salud en el trabajo establece en varias normas, la obligatoriedad que tienen las empresas para implementar el Programa Integral para la Prevención y el Control de Emergencias, todas fundamentadas en la obligación de los empleadores de garantizar la salud de los trabajadores.	Numeral 348 del Código Sustantivo del Trabajo, modificado por el Decreto 13 de 1967, Artículo 10. Medidas de Higiene y Seguridad.
Consagra que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano y que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente y conservar las áreas de especial importancia ecológica.	Artículo 79 de la Constitución Política de Colombia.
Por la cual se dictan medidas sanitarias, reglamenta las actividades y competencias de salud pública para asegurar el bienestar de la población. Se constituye en la Ley Marco de la Salud Ocupacional en Colombia. Hace referencia a la protección de los trabajadores y de la población contra los riesgos generados por las sustancias químicas, tóxicas y peligrosas.	Ley 9 del 24 de enero de 1979
Por medio de la cual se aprueba el “Convenio No. 170 y la Recomendación número 177 sobre la Seguridad en la Utilización de los Productos Químicos en el trabajo”, adoptados por la 77a Reunión de la Conferencia General de la O.I.T., Ginebra, 1990.	Ley 55 de 1993
Por medio de la cual se determina el reglamento de condiciones técnicas de operación de los puertos, la Superintendencia General de Puertos establece las normas sobre carga peligrosa.	Numeral 2 del artículo 8, de la Resolución número 0071 de febrero 11 de 1997.
Estipula que Las Sociedades Portuarias, beneficiarios de autorizaciones, los operadores de puertos de servicio público o privado, los operadores o administradores de las bodegas de tránsito, están en la obligación de cumplir las normas aduaneras expedidas por la Dirección General de Aduanas, previstas en las leyes o reglamentos, en todos los aspectos relacionados con el cargue y descargue, almacenamiento, entrega y recibo de las mercancías, entrada y salida de las mismas de sus instalaciones.	Literal a, del artículo 8, de la Resolución número 0071 de febrero 11 de 1997
Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Transporte, en la sección 8 presenta las disposiciones por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera. Este reglamento aplica a todos los actores que intervienen en la cadena del transporte, es decir, el remitente y/o dueño de la mercancía, destinatario (personas que utilizan la infraestructura del transporte de acuerdo con lo establecido en el artículo 9 de la Ley 105 de 1993), empresa transportadora, conductor del vehículo y propietario o tenedor del vehículo de transporte de carga.	Decreto 1079 de mayo 26 de 2015
Por el cual se reglamenta el manejo de los residuos o desechos peligrosos en el marco de la gestión integral. En su artículo 2.2.6.1.3.1 inciso H, se exige contar con un plan de contingencia actualizado para atender cualquier accidente o eventualidad que se presente y contar con personal preparado para su implementación.	Artículo 2.2.6.1.1.1, Decreto 1076 de 2015
Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones, en su artículo 42 establece que toda entidad pública o privada que realice actividades que puedan significar riesgo de desastre para la sociedad, entre estas la actividad industrial, deben realizar análisis específicos de riesgos y con base en este diseñar e implementar, de forma obligatoria, planes de emergencia y contingencias.	Ley 1523 de 2012
Establece trece (13) aspectos que debe considerar el plan de prevención, preparación y respuesta ante emergencias. Los dos primeros aspectos son 1) identificar sistemáticamente todas las amenazas que puedan afectar a la organización, 2) identificar los recursos disponibles, incluyendo las medidas de prevención y control existentes al interior de la organización para prevención, preparación y respuesta ante emergencias, así como las capacidades existentes en las redes institucionales y de ayuda mutua.	Artículo 2.2.4.6.25, Decreto 1072 de 2015
El Convenio Internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, 1974 (SOLAS), enmendado, trata de diversos aspectos de la seguridad marítima, y contiene, en la parte A del capítulo VII, las disposiciones obligatorias que rigen el transporte de mercancías peligrosas en bultos o en forma sólida a granel. El transporte de mercancías peligrosas está prohibido a menos que se efectúe de conformidad con las disposiciones del capítulo VII, disposiciones que se amplían en el Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (Código IMDG).	Código Marítimo Internacional para Mercancías Peligrosas IMDG, 2016.
En su numeral 8.2. Preparación y Respuesta a Emergencias, establece que: la organización debe establecer, implementar y mantener uno o varios procedimientos para identificar situaciones potenciales de emergencia y accidentes potenciales que pueden tener impactos en el medio ambiente y cómo responder ante ellos.	Norma ISO 14001 de 2015
(Seguridad de la Sociedad: Sistemas de Gestión de la Continuidad del Negocio) exige cierta documentación obligatoria que una empresa debe tener de acuerdo a su alcance; dentro de las cuales se exige la evaluación de los riesgos a los que está expuesta la empresa, incluido un perfil del riesgo y la estructura de respuesta a incidentes.	ISO 22301 de 2012
Establece el criterio mínimo para el manejo de desastres y emergencias, y programas para la continuidad de los negocios para los sectores públicos y privados en las áreas de programas de mitigación efectiva de desastres y emergencias, preparación, respuesta, recuperación, y continuidad de negocios.	NFPA 1600 de 2007

dan generar las mayores consecuencias a la salud, al medio ambiente y la continuidad del negocio.

El presente estudio ofrece una estrategia para la determinación de las zonas de riesgo donde coinciden conglomerados

humanos, actividades e infraestructura portuaria, medio ambiente y proyectos de desarrollo vulnerables a amenazas tecnológicas, con la probabilidad de que dichas amenazas asociados al manejo de mercancías peligrosas en los puertos marítimos y fluviales de Barranquilla, se materialicen y

generen daños y pérdidas en las comunidades y el territorio [5, 6].

2. METODOLOGÍA

Este estudio sigue los lineamientos que establece la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 31000 de 2018, la cual presenta los principios y directrices para la realización de la gestión del riesgo en las organizaciones. Los elementos que conforman el proceso de gestión del riesgo se han contextualizado en virtud de la problemática planteada.

2.1 Determinación del contexto e identificación de las amenazas tecnológicas

Teniendo en cuenta las delimitaciones y alcances del estudio se realizó la determinación del contexto. El estudio se focalizó en las instalaciones portuarias que conforman la Ciudad Puerto de Barranquilla, que abarca el territorio ubicado en la ribera oriental y occidental del río Magdalena, i.e. ciudad de Barranquilla, municipios de Soledad, Malambo y Palermo, los cuales manejan mercancías peligrosas; el criterio de determinación e identificación de las mismas es la cantidad almacenada o la cantidad que transita por el puerto, bajo la premisa de que estas son las que ofrecen mayor grado de amenaza [7]. Algunas de estas organizaciones se encuentran adheridas al proceso APELL Barranquilla [8].

La identificación de los peligros para la salud, de seguridad y para el medio ambiente de cada sustancia peligrosa involucrada, se desarrolló utilizando los siguientes instrumentos: la Hoja de Seguridad de los Materiales (MSDS) [9]; el Sistema de Identificación de Riesgos de Materiales Peligrosos [10], el Sistema Globalmente Armonizado de Sustancias químicas [11].

Se recopiló información documentada general, que permitió determinar las cuestiones internas y externas del contexto de las instalaciones portuarias, especialmente información que permitió determinar las mercancías peligrosas manejadas y las condiciones de cargue, descargue y almacenamiento para obtener una caracterización de los procesos portuarios.

2.2 Simulación de los escenarios, análisis y evaluación del riesgo

ALOHA, por sus siglas *Areal Locations of Hazardous Atmospheres*, es un software computarizado diseñado por la US EPA, *Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos*, específicamente para usuarios que responden a accidentes químicos, así como para la planificación y entrenamiento de emergencias [12]. ALOHA puede predecir las tasas a las cuales los vapores químicos pueden escapar a la atmósfera, hacer ignición o explotar desde tuberías de gas rotas, fugas de tanques, y charcos en evaporación. Entonces puede predecir cómo una nube de gas peligrosa podría dispersarse en la atmósfera después de una descarga química accidental.

Para la elaboración de esta etapa del estudio se analizó la información del contexto de cada instalación portuaria (e.g. la clase de sustancia química peligrosa, las condiciones operativas dentro de la instalación y las condiciones meteorológicas suministradas por el IDEAM).

GNOME por sus siglas *General NOAA Operational Modeling Environment*, es un software diseñado por la NOAA, *Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica*, para el modelado operacional de derrames y contaminación marítima y fluvial; es la herramienta de modelado que utiliza la División de Respuesta de Emergencia de la Oficina de Respuesta y Restauración (OR & R) para predecir la ruta o trayectoria posible que un contaminante podría seguir en un cuerpo de agua, como en un derrame de petróleo [13]. En el cauce del río Magdalena se carga un campo vectorial que permite predecir el comportamiento dinámico de la sustancia en el río. De esta manera, la evaluación dinámica del riesgo incorpora nuevas pruebas para actualizar el riesgo [14].

Los criterios de valoración de riesgos son el alcance del diagrama de dispersión obtenido en el simulador ALOHA y GNOME, la severidad de daño sobre las víctimas y la severidad de daño al medio ambiente. Estos factores seleccionados permiten la evaluación adecuada de los escenarios bajo amenaza [15, 16]. En la tabla 2 se establece la escala de valoración relativa de la probabilidad de ocurrencia de las amenazas y en la tabla 3 se establece la escala de valoración relativa de la severidad de las consecuencias de los escenarios, con lo cual es posible cuantificar el riesgo.

Tabla 2. Escala de valoración relativa de la probabilidad [2].
Table 2. Scale of relative valuation of probability [2].

Frecuencia	Casos anuales	Probabilidad	Valoración
Muy difícil que ocurra	0,0001 casos / año (1 x 10 ⁻⁴)	Imposible	1
Muy baja posibilidad de ocurrencia	0,001 caso / año (1 x 10 ⁻³)	Improbable	2
Limitada posibilidad de ocurrencia	0,01 casos/ año (1 x 10 ⁻²)	Remoto	3
Ha ocurrido pocas veces	0,1 casos / año (1 x 10 ⁻¹)	Ocasional	4
Ha ocurrido varias veces	1 caso / año (1 x 10 ⁰)	Moderado	5
Alta posibilidad de ocurrencia	10 casos / año (1 x 10 ¹)	Frecuente	6

Tabla 3. Escala de valoración relativa de la severidad de las consecuencias [2].
Table 3. Scale of relative valuation of the severity of consequences [2].

Descripción	Evaluación cualitativa	Valoración
Las consecuencias no afectan el funcionamiento del sistema, consecuencias despreciables, pérdidas mínimas para la salud y el ambiente; problemas de operación.	Insignificante	1
Las consecuencias afectan en forma leve al sistema, consecuencias moderadas, heridas reportables en el sitio.	Marginal	2
Las consecuencias afectan parcialmente al sistema en forma grave, consecuencias considerables, daños a la propiedad, parada de planta, accidente con pérdida de tiempo, contaminación de cuerpos de agua.	Crítico	3
Las consecuencias afectan en forma total al sistema, pudiendo afectar la estabilidad del mismo, consecuencias de gran magnitud, muertes o graves daños a la salud o integridad física dentro y fuera del sitio, daños a la propiedad, daños a terceros, contaminación ambiental de alto impacto.	Catastrófico	4

2.3 Elaboración de la Matriz de Riesgos

La matriz consolida la información relevante que permite observar la probabilidad y las posibles consecuencias de cada uno de los eventos analizados [17]. En la tabla 4, se pueden observar los campos que conforman la matriz de probabilidad y consecuencia.

Tabla 4. Campos de la Matriz de Riesgos.
Table 4. Fields of the Risk Matrix.

Descripción	Evaluación cualitativa
Instalación portuaria	Puerto objeto de estudio, al cual se le determinó su contexto.
Clase de sustancia	Clasificación física, química y toxicológica de la mercancía peligrosa.
Operación	Tipo de actividades portuarias realizada y su interacción.
Escenario	Conjugación del sector físico dentro de la instalación portuaria expuesto a cierta amenaza.
Cantidad	Cantidad en toneladas métricas de la mercancía peligrosa manejada en la operación.
Probabilidad de ocurrencia	Probabilidad de que suceda la emergencia
Severidad de daño sobre las víctimas	Impacto desfavorable que tendría la emergencia sobre la salud de las personas
Severidad de daño ambiental	Impacto desfavorable que tendría la emergencia sobre el ambiente
Alcance del diagrama de dispersión	Alcance geográfico logrado por la dispersión en el simulador ALOHA
Nivel de riesgo	Nivel establecido por comparar la probabilidad de ocurrencia, con cada criterio de evaluación de riesgos

2.4 Elaboración del Mapa de Riesgos

Para la elaboración del mapa de riesgos se desarrolló el Visualizador de Escenarios, herramienta que muestra por instalación portuaria los diferentes escenarios evaluados y sus resultados. Para la elaboración del mapa de riesgos se tuvieron en cuenta los escenarios con al menos un criterio de valoración inaceptable, de acuerdo a lo estipulado en la tabla 5.

Tabla 5. Convención de identificación de escenarios de emergencia del mapa de riesgos tecnológicos.

Table 5. Convention of identification of emergency scenarios of the map of technological risks.

Emergencia	Convención
Derrame	Amarillo
Escape	Violeta
Incendio y Explosión	Rojo

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objeto de investigación fueron 12 puertos que conforman la Ciudad Puerto de Barranquilla, en ellas el manejo de mercancías peligrosas se realiza a través de operaciones de carga, descarga, almacenamiento, transporte de contenedores y transporte de isotanques. El 27% de los escenarios evaluados implica operaciones de descarga, el 27% implica operaciones de almacenamiento, el 24% implica operaciones de transporte de contenedores, el 13% implica operaciones de carga y el 9% implica operaciones de transporte de isotanques. Entendiendo el contexto de estas operaciones se consolidó la información que permitió la elaboración de la matriz de probabilidad y consecuencia.

La amenaza de mayor probabilidad de ocurrencia es el derrame, seguido por el incendio, explosión y finalmente, con menor probabilidad, el escape. En la figura 1, se encuentra representada la distribución porcentual de las amenazas tecnológicas en cada una de las instalaciones y la distribución porcentual general de las mismas. En el 34% de los escenarios evaluados existe amenaza de derrame, el 31% existe amenaza de incendio, el 29% existe amenaza de explosión y el 6% existe amenaza de escape. La probabilidad de ocurrencia se definió con base en los accidentes mayores en el territorio nacional reportados del año 2012 al año 2016.

Figura 1. Distribución porcentual de las amenazas tecnológicas en las instalaciones portuarias.
Figure 1. Percentage distribution of technological threats in port facilities.

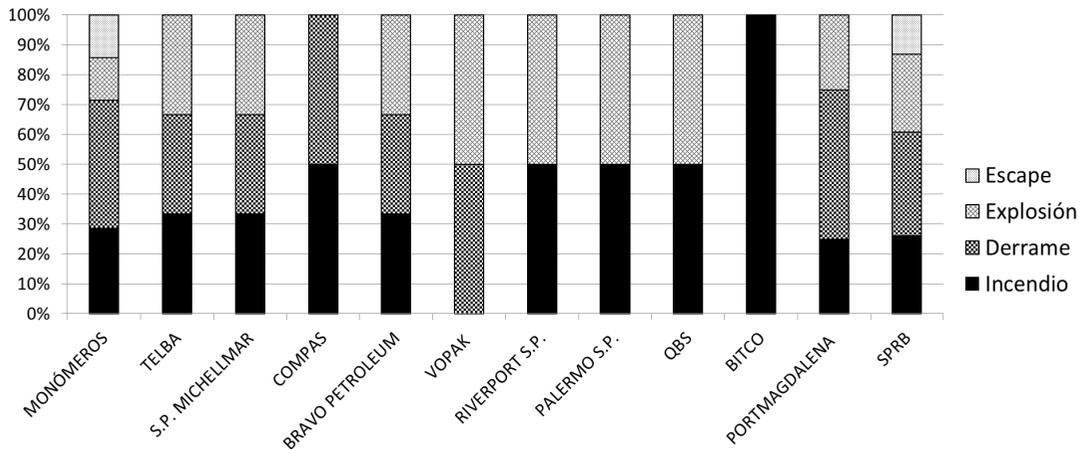
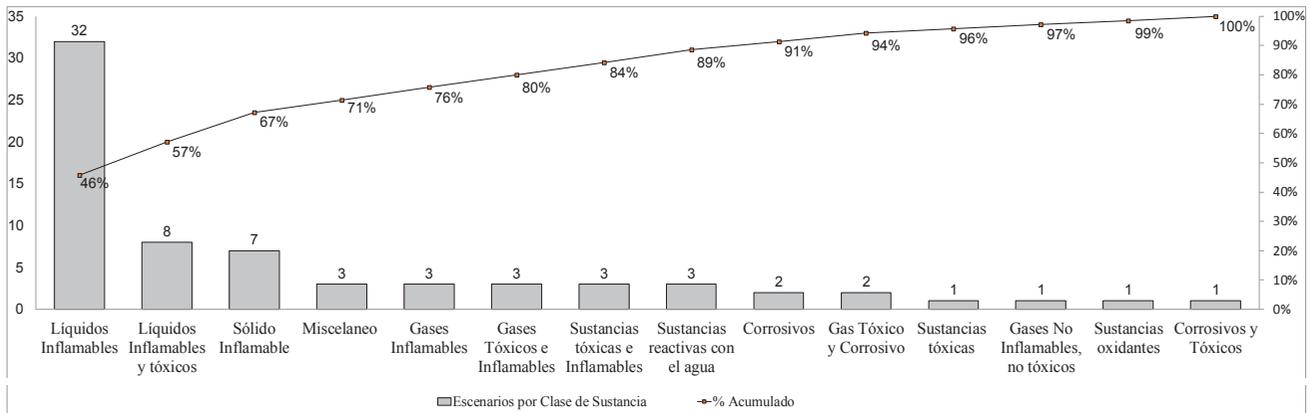


Figura 2. Diagrama de Pareto de los escenarios evaluados según la Clase de Sustancia.
Figure 2. Pareto diagram of the scenarios evaluated according to the Substance Class.

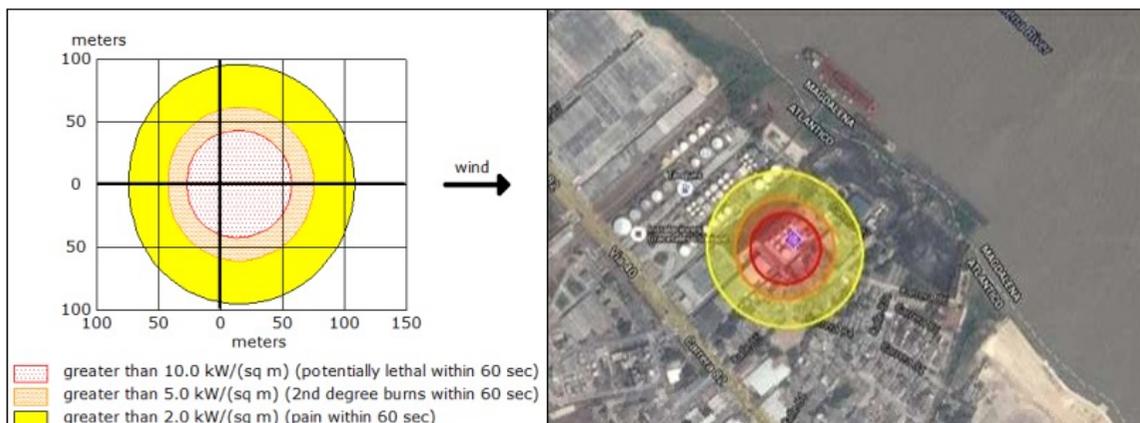


En la figura 2, se puede observar que las sustancias peligrosas más representativas en los escenarios evaluados en las 12 instalaciones portuarias son líquidos inflamables y sólidos inflamables. Dada la amplia población de sustancias químicas y para propósitos de practicidad en el análisis de los escenarios, se optó por agrupar las sustancias químicas teniendo en cuenta la similitud de sus propiedades fisicoquímicas y los

riesgos que representa cada una de ellas.

Esta agrupación se efectuó basándose en la clasificación establecida en el IMDG de 2016. De los setenta (70) escenarios evaluados se puede observar una marcada tendencia al transporte de líquidos inflamables. El 67% de estos escenarios obedece al manejo de materiales inflamable.

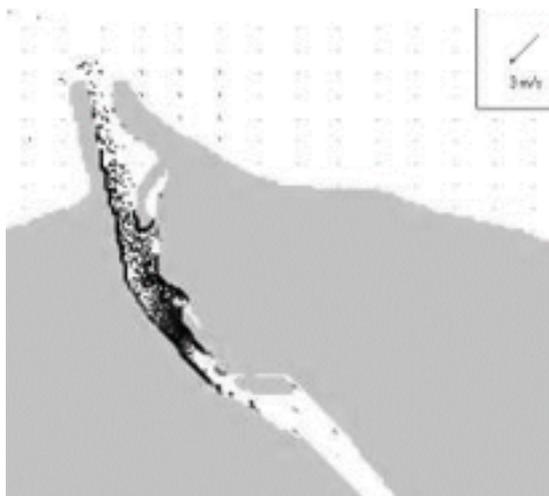
Figura 3. Simulación de incendio de líquido inflamable en almacenamiento del puerto (Escenario No. 12).
Figure 3. Simulation of a flammable liquid fire in the port storage (Scenario No. 12).



En la figura 3 (Software ALOHA 5.4.5.), se observan los resultados de la simulación de un incendio en el patio de almacenamiento del puerto. La cantidad total de líquido quemado es de 134.861 kg durante 1 hora de conflagración. El incendio de esta sustancia genera radiación térmica en un área radial la cual tiene un alcance de 127,0 m, desde el foco del siniestro, en donde la radiación alcanza 2,0 kW/m². La máxima radiación térmica alcanzada cubre una distancia radial de 68,0 m desde el foco del incendio, superando los 10,0 kW/m², con potencial letalidad.

En la figura 4 (Software GNOME 1.3.9 - NOAA Operational Modeling Environment) se puede observar la captura del resultado de la simulación dinámica del derrame de petróleo en el muelle de carga de una instalación portuaria, en la ribera occidental del río Magdalena. Se simula el desplazamiento de la sustancia en la superficie del río durante 48 h de exposición a 7.000 TM de Petróleo Crudo. El 9,9% de la sustancia queda flotando en la superficie del río, el 86,0% queda contenida en la orilla del río y en zonas de caudal bajo, el 4,1% se dispersa y evapora. El impacto ambiental del contaminante es crítico debido a la bioacumulación de la sustancia en la fauna y la flora del río Magdalena, así como la contaminación del cuerpo de agua principal.

Figura 4. Simulación de derrame en muelle de carga de petróleo crudo, a 3 horas de la liberación del material (Escenario No. 32).
Figure 4. Simulation of a spill in the loading dock of crude oil, 3 hours after the release of the material (Scenario No. 32).



El riesgo no se distribuye de manera homogénea, suele afectar comunidades vulnerables, y existen comunidades que tienen que vivir con los riesgos que otros generan [18]. En la figura 5 (Software ALOHA 5.4.5, soportado en archivo Visual Basic Excel 2013, imagen satelital integrada de Google Earth Pro), se puede observar el mapa de riesgos resultante, evidenciándose una herramienta flexible para determinar la tipología y el nivel de riesgo, con el propósito de simplificar los complejos problemas asociados con el riesgo [19].

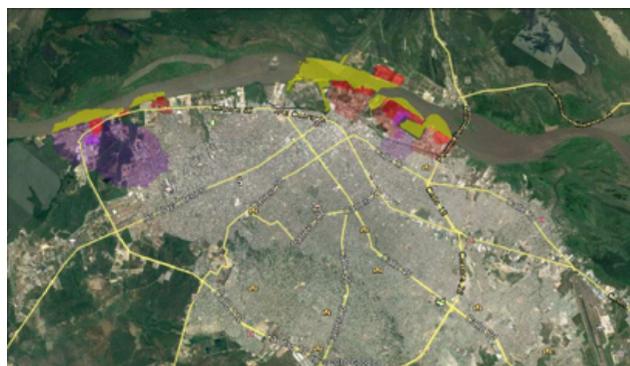
El 67% de los escenarios evaluados involucran el manejo de materiales inflamables: líquidos inflamables, líquidos inflamables y tóxicos y sólidos inflamables. Además, más del

50% de los escenarios evaluados resultan con niveles de riesgos inaceptables en los tres factores de vulnerabilidad evaluados. Específicamente, el 57% de los escenarios tienen potencial de riesgo inaceptable respecto a la severidad de daño para las víctimas, el 61% de los escenarios tiene potencial de riesgo inaceptable respecto a la severidad de daño ambiental. El 70% de los escenarios tiene un potencial de riesgo inaceptable en el alcance de la zona de amenaza.

Las comunidades que presentaron mayor vulnerabilidad por amenaza tecnológica corresponden a los barrios que colindan con los entornos portuarios, tales como: Barrio La Chinita, La Luz, Villanueva, La Bendición de Dios, Siape, San Salvador, Villa Carolina, Villamar, Riomar y Las Flores.

El escenario de derrame de gas tóxico y corrosivo es el de mayor relevancia, debido a los resultados de las gráficas modeladas por el software ALOHA; la distancia aproximada de contaminación (zona de amenaza) tiene un alcance de 9.000 m, de los cuales los primeros 1.300 m alcanzarán niveles letales de concentración superiores a las 1.100 ppm. La probabilidad de ocurrencia de este evento en los tanques de almacenamiento es baja, a causa de los controles de seguridad que se manejan en la Organización; es importante resaltar que el escenario crítico se presenta en el muelle de descargue, en donde ocurriría particularmente la contaminación del río Magdalena.

Figura 5. Mapa de riesgos tecnológicos de los puertos de Barranquilla. En amarillo derrames; en rojo incendios y explosiones; en violeta los escapes.
Figure 5. Technological risk map of the ports of Barranquilla. In yellow spills; in red fires and explosions; in violet escapes.



5. CONCLUSIONES

Para la efectiva prevención y respuesta a emergencias tecnológicas en los puertos se requiere disponer de recursos que permitan mitigar la vulnerabilidad a derrames y potenciales incendios y explosiones. La efectiva planificación en el ordenamiento territorial mitiga la generación de escenarios vulnerables a accidentes mayores. Se puede concluir que los mapas de riesgos tecnológicos son herramientas apropiadas y versátiles para la identificación de zonas vulnerables en materia de gestión de riesgos tecnológicos, logrando georreferenciar los riesgos y señalar aquellas comunidades vecinas que pueden afectarse en una emergencia.

En este estudio se consolidó la información necesaria para la determinación del contexto de las 12 instalaciones portuarias objeto de investigación con el propósito de conocer los aspectos que pueden ofrecer un impacto negativo sobre la salud de los trabajadores, la comunidad y el medio ambiente; por lo que fue necesario establecer una metodología que permitiera el análisis por escenarios, que incluyera sus procesos, actividades, productos y subproductos asociados; así también, analizar las propiedades físicas, químicas, tóxicas y eco tóxicas de los materiales peligrosos involucrados en las operaciones portuarias.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el soporte brindado por el Proceso APELL Barranquilla. Un agradecimiento especial al suboficial Nilson Yan Rueda, investigador de la Dirección General Marítima de Colombia. También, se extiende un agradecimiento especial a Caitlin O'Connor, investigadora de la National Oceanic and Atmospheric Administration; a la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Atlántico y a todas las organizaciones objeto de estudio que contribuyeron al desarrollo de este estudio.

REFERENCIAS

- [1] D. Wolfe, "The Fate of the Oil Spilled from the Exxon Valdez", *Environmental Science & Technology*, 28(13), 560A-568A, 1994.
- [2] R. Kolluru, S. Bartell, *Manual de Evaluación y Administración de Riesgos*. México: McGraw-Hill, 2012.
- [3] P. G. Rao, K. V. Raghavan, "Hazard and risk potential of chemical", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 9(3), 199-204, 1996.
- [4] Consejo Nacional de Política Económica y Social - CONPES, Política de Gestión del Riesgo Asociado al Uso de Sustancias, Bogotá: DNP, 2016.
- [5] A. Lobo Benítez, (2010). Lineamientos para la Gestión de Riesgos Tecnológicos como Elemento de Sostenibilidad Urbana. Tesis de Maestría en Gestión de Recursos Naturales Renovables y Medio Ambiente, Universidad de Los Andes, 2010.
- [6] A. Toscana, P. Hernández, "Gestión de riesgos y desastres socioambientales. El caso de la mina Buenavista del cobre de Cananea", *Investigaciones Geográficas*, 93, 126 - 139, 2017.
- [7] Organización Marítima Internacional, Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas, Londres: IMO Publishing, 2016.
- [8] Proceso Apell Barranquilla (1991) sitio de referencia: Proceso APELL Barranquilla [Internet], Barranquilla. Disponible desde: < <http://apell-barranquilla.org/>> [acceso: 24 de julio 2018].
- [9] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), NTC 4435, Transporte de Mercancías. Hojas de Datos de Seguridad para Materiales Preparación. Bogotá: ICONTEC editores, 2012, pp. 3-47.
- [10] National Fire Protection Association (2017) NFPA 704, Standard System for the Hazardous of Materials for Emergency Response [Internet], Quincy. Disponible desde: <<http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-andstandards?mode=code&code=704>> [Acceso 24 de julio 2018].
- [11] Parlamento Europeo y del Consejo (2008) Reglamento 1272, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas [Internet], Estrasburgo. Disponible desde: <<http://www.eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:353:0001:1355:es:PDF>> [Acceso 24 de julio 2018].
- [12] National Oceanic and Atmospheric Administration (2015): ALOHA 5.4.5 [Internet], Washington. Disponible desde: <<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>> [acceso 24 de julio 2018].
- [13] National Oceanic and Atmospheric Administration, «Office of Response and Restoration,» Noviembre 2017. [Internet]. Disponible desde: <<https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/response-tools/gnome.html>> [acceso: 23 Julio 2018].
- [14] F. Khan, S. J. Hashemi, "Dynamic risk management: a contemporary approach to process safety management", *Current Opinion in Chemical Engineering*, 14, 9-17, 2016.
- [15] J. M. Consuegra, "Guía para la gestión de los riesgos tecnológicos para las empresas adherentes al proceso APELL del D.E.I.P Barranquilla", *Revista Prospectiva*, 15, 96-106, 2017.
- [16] P. L. Pallis, "Port Risk Management in Container Terminals", *Transportation Research Procedia*, 25, 4411-4421, 2017.
- [17] International Organization for Standardization, Técnicas de Valoración del Riesgo, Bogotá: ICONTEC, 2013.
- [18] U. Beck, S. Lash, Modernización reflexiva: política, tradición y estética en el orden social moderno. España: Alianza Editorial, 1997, pp. 1-50
- [19] C. H. Hsieh, "Disaster risk assessment of ports based on the perspective of vulnerability", *Natural Hazards*, 74(2), 851-864, 2014.