



GOBIERNO DE COLOMBIA

# IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS NATECH EN COLOMBIA 2021—2022



**UNGRD**

Unidad Nacional para la Gestión  
del Riesgo de Desastres

Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres

# IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS NATECH EN COLOMBIA 2021–2022



Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres

©2023 Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres  
Todos los derechos reservados

**Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres**

Calle 26 # 92 - 32, Edificio Gold 4 - Piso 2

Bogotá, Mayo 2023

**[www.gestiondelriesgo.gov.co](http://www.gestiondelriesgo.gov.co)**

Foto de portada: Tom Fisk

(<https://www.pexels.com/es-es/foto/paisaje-edificios-industria-tuberias-6767962/>)

Está prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación con fines comerciales.  
Para utilizar información contenida en ella se requiere citar la fuente.

Gustavo Petro Urrego  
**Presidente de la República**

Javier Pava Sánchez  
**Director General**  
**Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - UNGRD**

Oscar Goyeneche Durán  
**Subdirector General**

Diana Mireya Parra Cardona  
**Secretario General**

Sandra Sotomonte Nopssa  
**Subdirectora para el Conocimiento del Riesgo**

**ELABORADO POR**

María Camila Suárez Paba  
**Subdirección para el Conocimiento de Riesgo**

**Equipo Técnico de la UNGRD**  
Carolina Herrera García  
Johan Stiven Naranjo García  
Jesús Sergei Durán Abella  
Lina Dorado González  
**Subdirección para el Conocimiento de Riesgo**

**Corrección de Estilo**  
Mauricio Romero  
**Subdirección para el Conocimiento de Riesgo**

**Diseño editorial**  
Iván Merchán Rodríguez  
**Subdirección para el Conocimiento de Riesgo**

# CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
<b>1. GENERALIDADES DEL RIESGO NATECH</b>	<b>9</b>
1.1 Tendencia de eventos Natech en el mundo	10
<b>2. PANORAMA GENERAL DE RIESGOS NATECH EN COLOMBIA</b>	<b>14</b>
2.1 Amenazas de origen natural presentes en el territorio nacional	15
2.2 Distribución de actividades industriales en Colombia	22
2.3 Eventos Natech ocurridos en Colombia	28
2.4 Factores de riesgo Natech y causas asociadas a la liberación de sustancias peligrosas	31
<b>3. LECCIONES APRENDIDAS DE EVENTOS NATECH OCURRIDOS EN EL MUNDO</b>	<b>41</b>
<b>4. GESTIÓN DE RIESGOS NATECH</b>	<b>54</b>
4.1 Caracterización de amenazas de origen natural	55
4.2 Identificación de equipos críticos y escenarios accidentales asociados	55
4.3 Estimación del riesgo	55
4.4 Adopción de medidas de reducción del riesgo Natech	56
4.5 Desarrollo de planes de emergencia, recuperación, reconstrucción y continuidad de negocio	56
<b>5. GESTIÓN DE RIESGO NATECH PARA COLOMBIA</b>	<b>58</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>60</b>
<b>SIGLAS</b>	<b>65</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO A: AMENAZAS DE ORIGEN NATURAL EN EL TERRITORIO COLOMBIANO ASOCIADAS A LOS EVENTOS NATECH DE INTERÉS</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO B: CONCENTRACIÓN INDUSTRIAL EN COLOMBIA</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO C: INFRAESTRUCTURA INDUSTRIAL EXPUESTA ANTE AMENAZAS DE ORIGEN NATURAL</b>	<b>77</b>

# LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Características principales de los escenarios Natech. Fuente: Elaboración propia	9
<b>Figura 2.</b>	Tendencia del reporte de eventos de origen natural y tecnológicos en los diferentes continentes. Adaptado de: (EM-DAT, 2023)	11
<b>Figura 3.</b>	Número de eventos por tipo en Colombia con mayores registros entre 1998 y 2022. Fuente: UNGRD, 2022	15
<b>Figura 4.</b>	Eventos por tipo en Colombia y su porcentaje con relación al total de eventos (62,756) para el periodo 1998-2022. Fuente: UNGRD, 2022	16
<b>Figura 5.</b>	Eventos de origen natural históricos ocurridos en Colombia entre 1998 y 2016. Adaptado de:(DNP, 2018)	16
<b>Figura 6.</b>	Afectaciones en infraestructura por el terremoto Wenchuan.	44
<b>Figura 7.</b>	Consecuencias de la rotura del oleoducto Trans-Ecuador en 2013	46
<b>Figura 8.</b>	Afectaciones a tanques de almacenamientos por efectos del tsunami	48
<b>Figura 9.</b>	Consecuencias de la explosión por inundación en la fábrica de aluminio.	50
<b>Figura 10.</b>	Afectaciones a la industria petrolífera por el paso del huracán Katrina en 2005.	52
<b>Figura 11.</b>	Ciclo de gestión de riesgo Natech.	54
<b>Figura 12.</b>	Gestión de riesgo Natech para Colombia.	59
<b>Figura 13.</b>	Ductos de transporte de hidrocarburos en Colombia y su exposición ante la amenaza por movimientos en masa.	78
<b>Figura 14.</b>	Refinerías en Colombia y su exposición ante la amenaza sísmica.	80
<b>Figura 15.</b>	Instalaciones industriales con material radiactivo en Colombia y su exposición ante la amenaza sísmica	82
<b>Figura 16.</b>	Minas en Colombia y su exposición ante la amenaza por movimientos en masa	84
<b>Figura 17.</b>	Ductos de transporte de hidrocarburos y su exposición ante potenciales avenidas torrenciales.	86

# LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Porcentaje de eventos extraídos de bases de datos internacionales. Fuente: (Ricci et al., 2021)	<b>10</b>
<b>Tabla 2.</b>	Eventos Natech en la última década reportados en la base de datos eNatech. Fuente: (eNatech, 2021)	<b>12</b>
<b>Tabla 3.</b>	Regiones más propensas a la ocurrencia de incendios de la cobertura vegetal. Adaptado de:(UNGRD, 2019)	<b>21</b>
<b>Tabla 4.</b>	Departamentos con índice de industrialización alto y medio en el territorio nacional. Adaptado de: (Donato & Haedo, 2019)	<b>24</b>
<b>Tabla 5.</b>	Algunos de los eventos Natech ocurridos en Colombia	<b>29</b>
<b>Tabla 6.</b>	Características de un evento Natech cuya causa origen es un sismo	<b>32</b>
<b>Tabla 7.</b>	Características de un evento Natech cuya causa origen es un movimiento en masa (Girgin & Krausmann, 2014; Lee et al., 2009)	<b>33</b>
<b>Tabla 8.</b>	Características de un evento Natech cuya causa origen es un tsunami (Cruz et al., 2011; Nishino & Imazu, 2018)	<b>35</b>
<b>Tabla 9.</b>	Características de un evento Natech cuya causa origen es una inundación (Campedel, 2008; OMS, 2019)	<b>36</b>
<b>Tabla 10.</b>	Características de un evento Natech cuya causa origen es un ciclón tropical (OMS, 2019).	<b>38</b>
<b>Tabla 11.</b>	Características de un evento Natech cuya causa origen es un incendio de la cobertura vegetal (Kern & Krausmann, 2020)	<b>40</b>
<b>Tabla 12.</b>	Proporción de eventos Natech respecto al número de eventos de origen natural reportados en la base de datos EMDAT. Adaptado de (Ricci et al., 2021)	<b>41</b>
<b>Tabla 13.</b>	Grandes sismos de Colombia con intensidades mayores o iguales a 8 en Escala EMS-98. Fuente: (SGC, 2021a)	<b>71</b>
<b>Tabla 14.</b>	Municipios de Colombia con índice de industrialización alto y medio. Fuente: (Donato & Haedo, 2019)	<b>73</b>
<b>Tabla 15.</b>	Exposición de ductos de transporte de hidrocarburos ante la amenaza de movimientos en masa	<b>77</b>
<b>Tabla 16.</b>	Exposición de refinerías ante la amenaza sísmica	<b>79</b>
<b>Tabla 17.</b>	Exposición de instalaciones industriales con material radiactivo ante la amenaza sísmica	<b>81</b>
<b>Tabla 18.</b>	Exposición de minas ante la amenaza de movimientos en masa	<b>83</b>
<b>Tabla 19.</b>	Exposición de ductos ante potenciales avenidas torrenciales	<b>85</b>

# INTRODUCCIÓN

Los eventos de origen natural que desencadenan accidentes tecnológicos y que involucran la liberación de materiales peligrosos son denominados Natech, por su acrónimo en inglés, derivado de *Natural hazards-triggered Technological accidents* (Cruz et al., 2004; Showalter & Myers, 1994). Debido a la interacción entre el fenómeno natural y el riesgo industrial, existe la posibilidad de que se produzcan varios efectos adversos ya sea en instalaciones industriales o en bodegas de almacenamiento, causando por ejemplo daños a las tuberías, a los equipos de proceso o a los tanques de almacenamiento. Debido a estas fallas múltiples y simultáneas que generan la liberación de sustancias peligrosas, es más probable que ocurran eventos en cascada durante un evento natural que durante el funcionamiento normal de la instalación industrial. Los Natech son considerados eventos de baja probabilidad, pero las afectaciones en amplias áreas y la magnitud de sus consecuencias han demostrado que representan una alta amenaza para la sociedad. Esto, debido a que la liberación de materiales peligrosos puede originar escenarios de incendio, explosión, nubes tóxicas y contaminación de los ecosistemas generando afectaciones intensas, graves y extendidas en los territorios.

Un aumento en el número de eventos de origen natural y accidentes tecnológicos reportados en diversas bases de datos a escala mundial ha resultado en la proliferación de personas afectadas, daños sin precedentes en instalaciones industriales y otras infraestructuras, y pérdidas económicas asociadas durante el último siglo (EMDAT, 2019; Krausmann et al., 2017; MunichRe, 2019). Sin embargo, algunos estudios indican una mayor preocupación debido a los efectos del cambio climático, los cuales pueden conducir a eventos hidrometeorológicos más severos (Luo et al., 2021; Sengul et al., 2012; Wuebbles, 2016).

La anterior previsión se acompaña de una tendencia creciente en el número de accidentes Natech registrados en diferentes bases de datos internacionales, los cuales representan entre el 3% y el 7% de todas las emisiones de materiales peligrosos reportadas (Kiyohara, 2016; Krausmann et al., 2011; Rasmussen, 1995; Sengul et al., 2012). A su vez, recientemente se ha evidenciado que los eventos meteorológicos son los principales precursores de los eventos Natech (Ricci et al., 2021). Esto se asocia con el hecho de que los eventos Natech han demostrado ser más severos en términos de daños y pueden tener impactos ambientales más amplios que los propios eventos de origen natural (Khoirunissa Ariyanta et al., 2019). Este panorama ha suscitado un creciente interés internacional por gestionar el riesgo Natech, lo que ha repercutido en iniciativas de organizaciones no gubernamentales para analizar, evaluar y gestionar este tipo de riesgo (OECD, 2003, 2015; UNDRR-APSTAAG, 2020; UNISDR, 2015).

A pesar de lo anterior, solo algunos países tienen regulación específica dirigida a la protección pública contra los accidentes Natech. Por ejemplo, Alemania ha emitido las Pautas Técnicas sobre Seguridad en las Instalaciones 310 y 320 para la gestión de riesgos Natech. Estas pautas abordan medidas de prevención respecto a la influencia del cambio climático en la progresión de precipitaciones e inundaciones (TRAS 310), y medidas contra cargas de viento, nieve y hielo (TRAS 320). Francia, por otro lado, ha establecido regulaciones específicas que abordan la influencia de terremotos, rayos, inundaciones, nieve y viento en instalaciones industriales peligrosas (Krausmann et al., 2017; OECD, 2012).



En Colombia, una transición regulatoria que ha llevado al país a pasar de una perspectiva de atención de la emergencia a un enfoque en Gestión del Riesgo de Desastres que contempla los escenarios Natech, ha llevado a un aumento progresivo en la conciencia ante el riesgo. Con la Ley 1523 de 2012, explícitamente en su artículo 42 referente a *Análisis específicos de riesgo y planes de contingencia*, se establece que:

“todas las entidades públicas o privadas (...) que desarrollen actividades industriales que puedan significar riesgo de desastre para la sociedad, deberán realizar un análisis específico de riesgo que considere los posibles efectos de eventos naturales sobre la infraestructura expuesta y aquellos que se deriven de los daños de la misma en su área de influencia, así como los que se deriven de su operación. Con base en este análisis diseñarán e implementarán las medidas de reducción del riesgo y planes de emergencia y contingencia que serán de obligatorio cumplimiento”. Estos planes, contruidos a partir de los criterios y requisitos que plantea el Decreto 2157 de 2017.

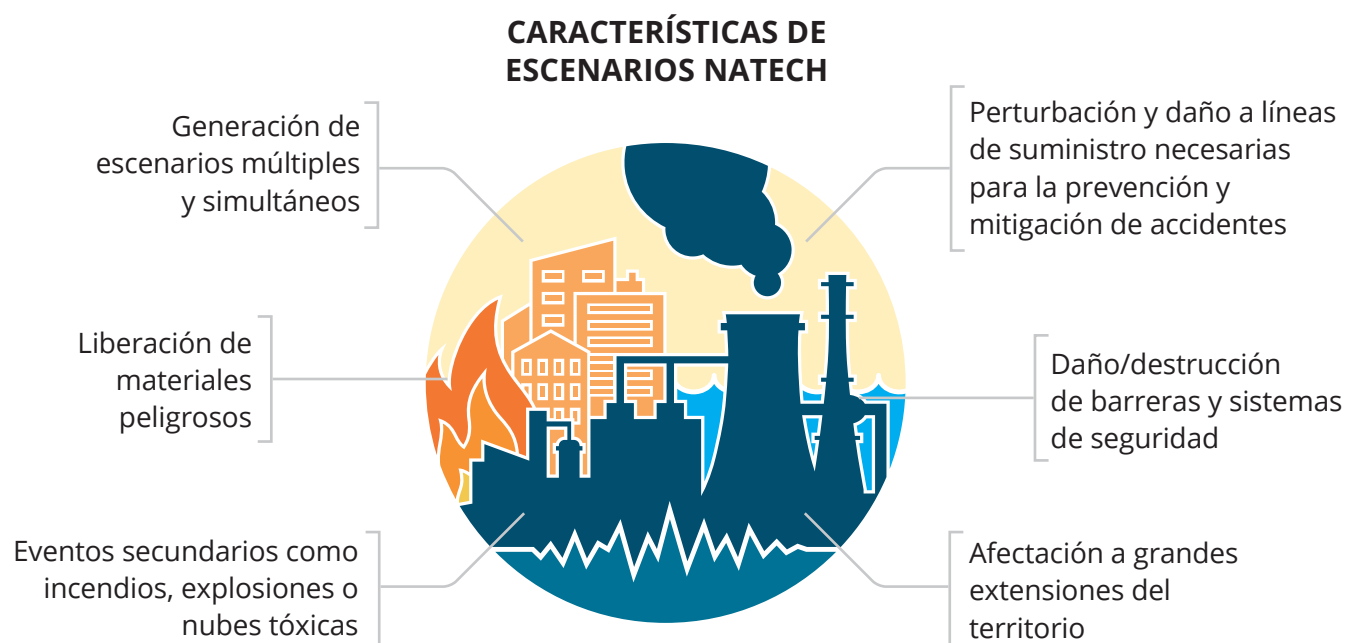
Por lo tanto, es evidente que Colombia cuenta con los mecanismos regulatorios que conciben el riesgo Natech como un escenario importante en los sistemas de gestión del país —aunque no se utilice explícitamente el término Natech— promoviendo el desarrollo de estrategias para analizar los niveles de riesgo y especialmente las implicaciones de las amenazas de origen natural en la seguridad de sus territorios.

A pesar de lo anterior, aún existe un largo camino por recorrer respecto al desarrollo de lineamientos para fortalecer la gestión del riesgo Natech en el país. Esto evidentemente debe iniciar con una caracterización de los eventos Natech en Colombia, para lo cual se desarrolla este documento. Este último busca, determinar los elementos fundamentales que se deben considerar para identificar la posible materialización de eventos Natech en áreas industrializadas sujetas a amenazas geológicas e hidrometeorológicas. Así mismo, busca ser un referente para los Planes de Gestión del Riesgo de Desastres que en el marco del desarrollo territorial deben identificar y caracterizar los escenarios de riesgo presentes y futuros en el territorio, de manera que mediante los insumos provistos en este documento se nutre el componente de caracterización general de escenarios de riesgo cuyo objetivo es realizar un diagnóstico de las condiciones de riesgo e identificar las posibles medidas de intervención correspondientes.

# 1. GENERALIDADES DEL RIESGO NATECH

El término Natech fue acuñado por primera vez en 1994 por Showalter y Myers (Showalter & Myers, 1994), y se deriva de la expresión en inglés *Natural Hazard-Triggered Technological Disasters*. Se refiere a los accidentes tecnológicos provocados por eventos de origen natural y que involucran la liberación de materiales peligrosos, que, a su vez, pueden generar dispersiones, derrames, incendios y/o explosiones como escenarios finales con afectaciones que exacerban los límites físicos de las instalaciones industriales y las tuberías de transporte afectadas. A pesar de ser de baja probabilidad, son escenarios de alta consecuencia, por lo que los impactos de estos eventos son más severos para las personas, el medio ambiente y la infraestructura, comparados con aquellos ocasionados por un evento tecnológico *per sé* o por un evento de origen natural (Khoirunissa Ariyanta et al., 2019; UNGRD, 2018b).

Este tipo de eventos complejos se estudiaron por primera vez a finales de la década de los 70, pero en los últimos años han adquirido una gran importancia debido a su tendencia creciente, reflejada en un aumento de los reportes de eventos Natech en las bases de datos de accidentes químicos internacionales, representando entre el 3% y el 7% de los eventos asociados a liberaciones de materiales peligrosos en EE.UU., Japón y Europa, encontrado recientemente que los eventos meteorológicos son los principales precursores de los escenarios Natech (Kiyohara, 2016; Krausmann et al., 2011; Ricci et al., 2021; Sengul et al., 2012). Con base en lo anterior, el interés internacional ante este tipo de eventos se asocia no sólo con las características intrínsecas de los escenarios Natech mostradas en la Figura 1, sino con el aumento en la densidad poblacional, el crecimiento industrial y la coexistencia de instalaciones industriales y comunidades en zonas de amenazas de origen natural de diferente índole, evidenciando la importancia de contemplar estos escenarios en las estrategias de gestión del riesgos de desastre.



**Figura 1.** Características principales de los escenarios Natech. Fuente: Elaboración propia

Eventos Natech ocurridos en diferentes países (ver sección 4) han demostrado el potencial de los fenómenos naturales para desencadenar incendios, explosiones, derrames y fugas de materiales tóxicos en instalaciones peligrosas y otras infraestructuras que procesan, almacenan o transportan sustancias químicas. Las consecuencias de estos accidentes tecnológicos tienen la particularidad de generar impactos sociales, ambientales y económicos significativos y de largo plazo, lo que realza la importancia de la prevención y preparación ante la materialización de estos accidentes. Sin embargo, controlar con éxito un accidente Natech resulta ser un desafío substancial, especialmente cuando no se han reforzado los mecanismos de planificación y preparación previa, los cuales incluyen, entre otros, el conocimiento del riesgo Natech, su caracterización y sus particularidades (Krausmann et al., 2017).

## 1.1 Tendencia de eventos Natech en el mundo

El conocimiento de los escenarios Natech está directamente asociado con las lecciones aprendidas de accidentes ocurridos en otras latitudes. Esto permite enriquecer el análisis de los accidentes Natech, determinar sus causas fundamentales y la evolución de los accidentes, proporcionando así una contribución significativa a la prevención y mitigación de estos eventos. Por lo tanto, el contar con un reporte juicioso y detallado de estos escenarios nutre el conocimiento del riesgo Natech y robustece la capacidad de gestionarlo, de manera que las bases de datos que alojan información asociada a este tipo de eventos son fundamentales.

Un estudio reciente de (Ricci et al., 2021) realizó un análisis de la información provista en diferentes bases de datos de accidentes industriales a nivel mundial. De un total de 9,100 eventos seleccionados aproximadamente el 85% de los registros fueron obtenidos de la base de datos del Centro Nacional de Respuesta de Estados Unidos (NRC por sus siglas en inglés), el 11% de la base de datos de Análisis, investigación e información de accidentes-ARIA (Analysis, Research and Information on Accidents) y el 4% restante de otras bases de datos consultadas (ver Tabla 1). Para identificar eventos Natech dentro de estos registros, se consideraron los siguientes criterios:

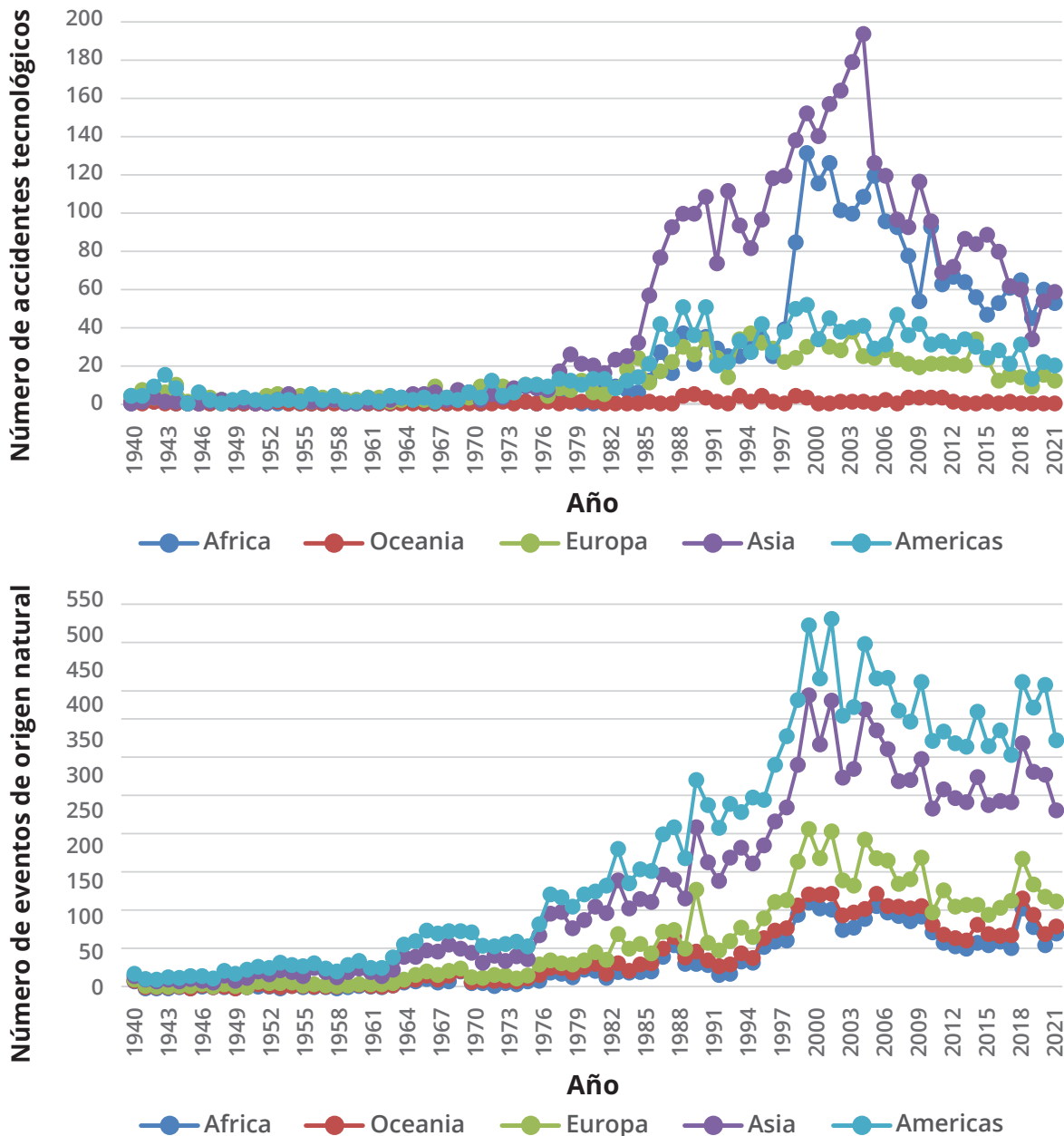
1. Eventos clasificados como accidente, incidente o pérdida de contención.
2. Eventos considerados como accidentes Natech, entendiendo estos como un accidente tecnológico provocado por un evento de origen natural y que implica la liberación o la posible liberación de materiales peligrosos.
3. Eventos ocurridos en los sectores industriales de química y petroquímica, almacenamiento y depósito, producción de energía, bioprocesos, tratamiento de agua, transporte, tuberías o fabricación.

**Tabla 1.** Porcentaje de eventos extraídos de bases de datos internacionales. Modificado de (Ricci et al., 2021)

Fuente	Número total de registros	Registros seleccionados	% de eventos Natech
NRC	852,159	7,752	0.9
ARIA	52,598	1,028	2.0
MHIDAS	14,000	170	1.2

TAD IChemE	10,500	113	1.1
eMARS	1,015	24	2.4
CONCAWE	756	13	1.7
Total	931,028	9,100	1.0

Como resultado del análisis, y como se observa en la Tabla 1, se encontró que los eventos Natech representan entre el 0.9% y el 2.4% de los registros analizados en las diferentes bases de datos. Al considerar el total de registros, se identifica que los eventos Natech representan el 1% de los mismos.



**Figura 2.** Tendencia del reporte de eventos de origen natural y tecnológicos en los diferentes continentes. Adaptado de: (EM-DAT, 2023)

Para complementar lo anterior, la Figura 2 permite vislumbrar la tendencia creciente en el reporte de eventos de origen natural y tecnológicos a nivel mundial, observando un incremento desde 1985, año en el cual la base de datos NRC empezó a recopilar información de accidentes industriales. Sin embargo, solo existe una base de datos a nivel internacional explícitamente dedicada a recolectar información sobre eventos Natech materializados en diferentes países. La plataforma eNatech creada por el Centro Común de Investigación de la Unión Europea<sup>1</sup>, tiene por objeto recopilar sistemáticamente los accidentes Natech ocurridos en todo el mundo y permitir la búsqueda y el análisis de los informes de este tipo de accidentes con fines de aprendizaje. A la fecha, contiene 59 registros de eventos ocurridos desde 1983 hasta 2020, sin embargo, hay un caso excepcional que constituye el reporte del terremoto ocurrido en Tokio en 1923. La Tabla 2 muestra la información general reportada en esta base de datos para los registros de los últimos 10 años.

**Tabla 2.** Eventos Natech en la última década reportados en la base de datos eNatech.  
Fuente: (eNatech, 2021)

Año	Número de eventos Natech	Tipo de evento de origen natural	País	Instalación industria afectada
2020	2	Movimiento en masa	Perú	Petroperú - Refinería de la ciudad de Iquitos
		Movimiento en masa	Ecuador	Sistema de Oleoductos Trans-Ecuatoriano (SOTE),
2017	3	Inundación	Italia	Refinería Livorno ENI/Tanque colector de aguas pluviales
		Ciclón Tropical/Huracán Harvey	Estados Unidos	Planta Química Arkema Inc.
		Tormenta tropical/ Inundación	Méjico	Refinería Salina Cruz Antonio Dovali Jaime PEMEX
2016	1	Rayo	Singapur	Tanque de almacenamiento de aceite ligero
2015	3	Lluvias fuertes/ inundación	Vietnam	Presa de relaves
		Rayo	Estados Unidos	Instalación de inyección de aguas residuales/Tanque de almacenamiento atmosférico
		Movimiento en masa	Italia	Gasoducto
2013	2	Movimiento en masa	Ecuador	Oleoducto Trans-Ecuatoriano
		Lluvias fuertes/ Inundación	Argentina	Petrolera Estatal Argentina YPF SA
2012	2	Temperaturas extremas (congelamiento)	Francia	Confidencial

<sup>1</sup>Se puede consultar la base de datos eNatech en el siguiente link: <https://enatech.jrc.ec.europa.eu/>

Año	Número de eventos Natech	Tipo de evento de origen natural	País	Instalación industria afectada
2011	6	Ola de calor	Chipre	Contenedores con explosivos confiscados y pólvora almacenados al aire libre
		Terremoto	Japón	Refinería Cosmo Oil
		Tsunami	Japón	Refinería JX Sendai
			Japón	Central Térmica de Hirono
			Japón	Terminal de petróleo marino
		Rayo	Francia	Refinería Feyzin
2010	4	Rayo	Bonaire	Terminal de tanques/Tanque de almacenamiento atmosférico
		Rayo	Grecia	Depósito de llantas
		Tormenta	Francia	Unidad de producción de poliestireno
		Terremoto	Chile	Refinería ENAP

Como se observa en la Tabla 2 gran parte de los registros están asociados a eventos hidrometeorológicos a nivel mundial, lo que enciende las alarmas al considerar los efectos del cambio climático sobre la proliferación de escenarios Natech en el mundo.

## 2. PANORAMA GENERAL DE RIESGOS NATECH EN COLOMBIA

La ubicación geográfica de Colombia hace de este un país propenso a diferentes tipos de amenazas de origen natural. Colombia es parte del Cinturón de Fuego del Pacífico. Además, la presencia de la Cordillera de los Andes, la convergencia de las placas de Nazca, Sudamericana y del Caribe, hacen de los fenómenos geológicos una amenaza que históricamente ha afectado al país (Comunidad & Corporación, 2009; UNGRD, 2018a).

Otras amenazas de origen natural presentes en el territorio nacional incluyen los fenómenos de La Niña y El Niño, representados por un aumento de las precipitaciones y las sequías, respectivamente. Además, la variabilidad climática y los fenómenos hidrometeorológicos también se manifiestan en el territorio colombiano (IDEAM et al., 2017).

Por otro lado, el riesgo tecnológico también es una amenaza latente en el país y se define como:

*“Daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos mayores generados por el uso y acceso a la tecnología, originados en sucesos antrópicos, naturales, socio-naturales y propios de la operación<sup>2</sup>”*

Los riesgos tecnológicos son considerados fenómenos derivados de las actividades del hombre, incluyendo tanto aquellas denominadas domésticas y de servicios profesionales, como las actividades industriales, extractivas y de transporte, entre otras, destacando aquellas que utilizan sustancias y/o energías peligrosas (UNGRD, 2018b). Lo anterior dado que un accidente tecnológico se manifiesta mediante la liberación de materiales peligrosos y/o energía que también pueden generar impactos en las personas, el medio ambiente y la infraestructura.

Cifras del Consolidado Anual de Emergencias de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres muestran que entre 2011- 2019 se reportaron 1052 eventos, de los cuales 141 ocurrieron en el departamento de Cundinamarca y 133 en el departamento de Antioquia, evidenciando el mayor riesgo de estos departamentos (UNGRD, 2018b). Adicionalmente, el análisis de estas cifras muestra que las actividades de exploración y extracción de recursos mineros reportan el mayor número de emergencias, asociadas a fallas estructurales o a explosiones por acumulación de gases. Esta información se soporta con cifras de la Agencia Nacional de Minería (ANM), en donde en el periodo 2005-2019 se presentaron un total de 1316 emergencias mineras, siendo los departamentos de Boyacá (27.43%), Cundinamarca (20.97%) y Antioquia (18.39%) los más afectados. Adicionalmente, se reportaron 1476 fatalidades en el mismo periodo. Las principales causas de dichas fatalidades mineras incluyen, entre otras,

<sup>2</sup>Se excluyen de su alcance i) los riesgos asociados a la seguridad informática y gestión de información, con excepción de las instalaciones operativas, ii) los establecimientos, las instalaciones o zonas de almacenamientos militares, iii) los riesgos asociados a las radiaciones ionizantes que tienen su origen en sustancias, iv) las armas o agentes de destrucción masiva y v) los riesgos asociados a los agentes biológicos, con excepción de las instalaciones operativas (UNGRD, Resolución 1770 de 2013)

derrumbe (400), explosión (361), atmósfera viciada (233) e inestabilidad de taludes (146). Nuevamente los departamentos más afectados han sido Boyacá, Antioquia y Cundinamarca, mostrando así la vulnerabilidad de estos departamentos frente al desarrollo de la actividad minera (ANM, 2021).

## 2.1 Amenazas de origen natural presentes en el territorio nacional

Como es evidente, Colombia está expuesta a diversas amenazas de origen natural, por lo que la identificación de su posible impacto en zonas industrializadas que procesan, manipulan, almacenan o transportan sustancias peligrosas resulta de gran interés. Esto a su vez, representa un primer paso para caracterizar los escenarios Natech que pueden presentarse en el país, desde un punto de vista prospectivo.

Como primera medida, se revisaron las cifras de eventos de origen natural reportados en la base de datos de atención a emergencias de la UNGRD para el periodo 1998-2022. En la Figura 3 se observa que, en dicho periodo, dentro de los 10 tipos de eventos con mayores registros, la mayor amenaza para el territorio colombiano han sido los incendios forestales, seguidos de inundaciones, deslizamientos y vendavales; en menor proporción se han presentado otros fenómenos naturales.

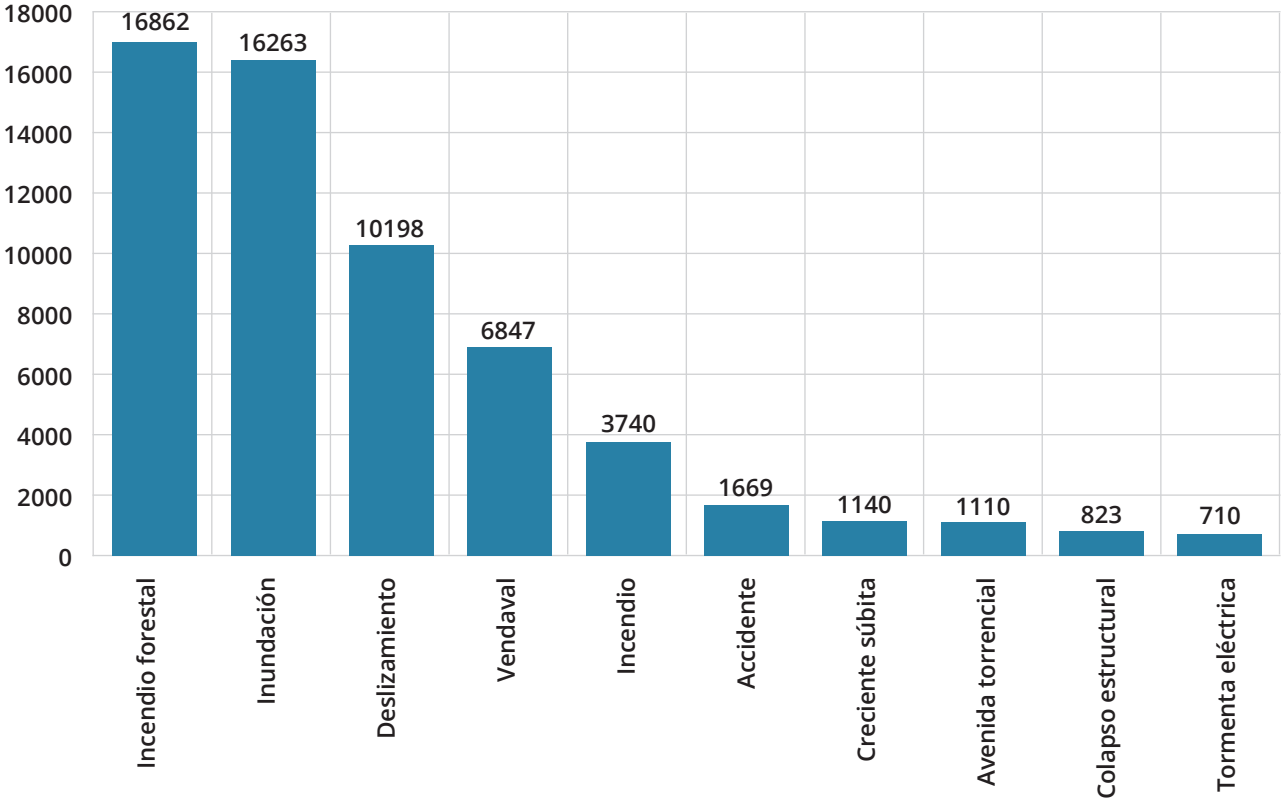
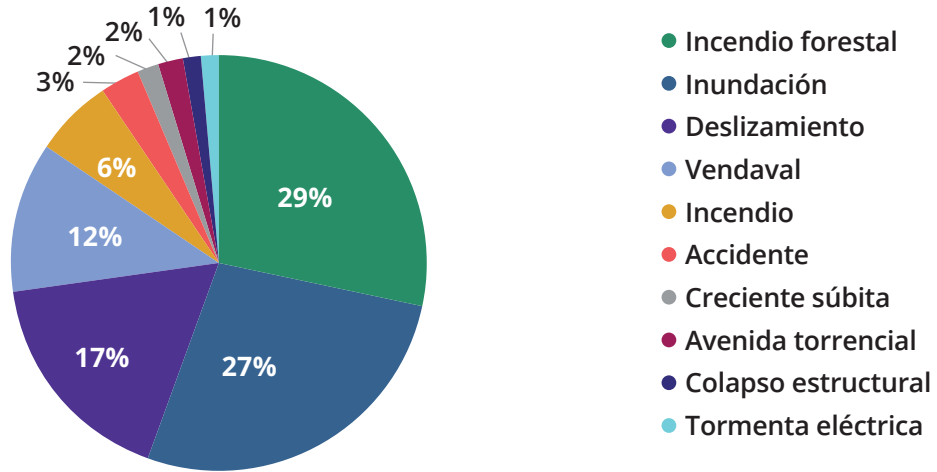


Figura 3. Número de eventos por tipo en Colombia con mayores registros entre 1998 y 2022. Fuente: UNGRD, 2022

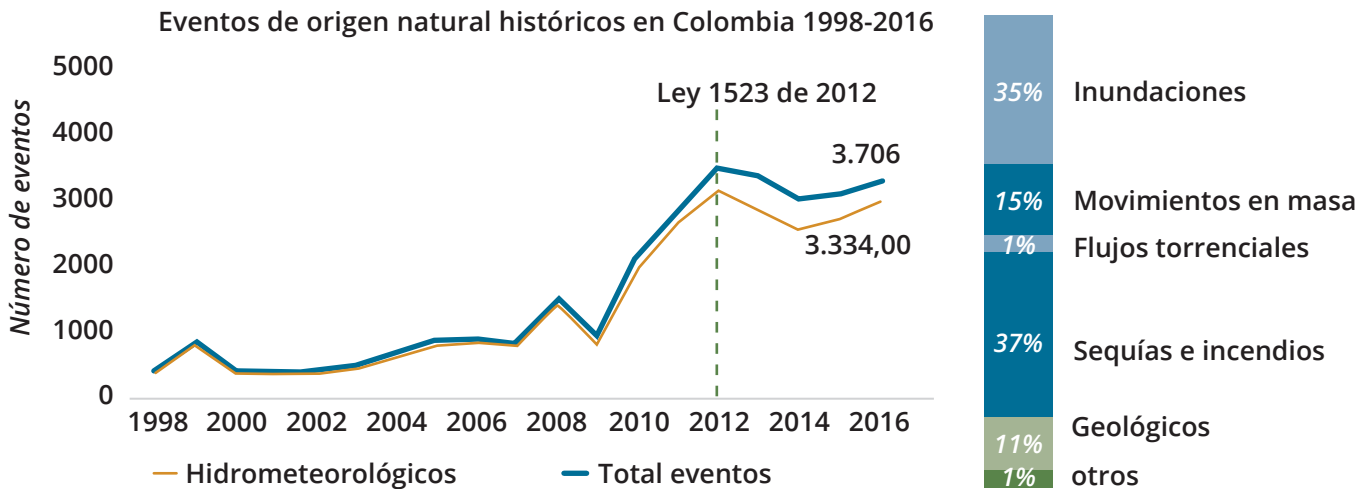


Esta información se soporta con las cifras presentadas en la Figura 4, en donde se evidencia que los incendios forestales constituyen el 29% de los eventos de origen natural ocurridos en el periodo 1998-2022, seguidos de inundaciones con el 27%, deslizamientos con el 17% y vendavales con el 12%.



**Figura 4.** Eventos por tipo en Colombia y su porcentaje con relación al total de eventos (62,756) para el periodo 1998-2022. Fuente: UNGRD, 2022

Lo anterior se corrobora al revisar las cifras del DNP de eventos históricos de origen natural en Colombia ocurridos entre 1998 y 2016, los cuales indican que el 88% de los eventos que ocurren en Colombia son de origen hidrometeorológico (DNP, 2018). Se observa en la Figura 5 que las sequías e incendios constituyen la mayor amenaza para el país con un 37% y en segunda instancia se tienen inundaciones con un 35%; en tercer lugar, se ubican los movimientos en masa (15%).



**Figura 5.** Eventos de origen natural históricos ocurridos en Colombia entre 1998 y 2016. Adaptado de:(DNP, 2018)

Además de lo anterior, es importante resaltar que la severidad de las amenazas naturales en nuestro territorio es cada vez más intensa, prueba de ello es la Declaratoria de la Situación de Desastre de Carácter Nacional, emitida el 1ro de noviembre mediante el Decreto 2113 de 2022, por un periodo de 12 meses. Esta situación se desencadenó en el marco de los eventos históricos de La Niña, en donde la UNGRD evidenció efectos asociados a excesos de precipitación,

relacionados con mayor probabilidad de ocurrencia de inundaciones, deslizamientos, avenidas torrenciales, crecientes súbitas, vendavales y tormentas eléctricas. Es así como, según el Boletín de Condiciones Hidrometeorológicas 904 de octubre 28 de 2022 emitido por el IDEAM, “se registran niveles de amenaza moderada y alta a muy alta por probabilidad de inundaciones y crecientes súbitas en 22 departamentos del país, así como por probabilidad alta por deslizamientos de tierra en 519 municipios del país ubicados en 24 departamentos”.

## 2.1.1 Amenazas Geológicas

Los fenómenos geológicos son aquellos que ocurren debido a los movimientos de la tierra y las fuerzas internas de la tierra e incluyen actividad sísmica, movimientos en masa, tsunamis y erupciones volcánicas.

### La amenaza sísmica en el territorio colombiano

Un sismo, también conocido como temblor, terremoto o movimiento telúrico, se define como una sacudida brusca del terreno causado por un proceso de liberación súbita de la energía acumulada en la corteza terrestre, que puede resultar en desplazamiento o deformación de partes de la corteza y en la emisión de ondas elásticas que se propagan por el interior de la tierra. Al llegar a la superficie estas ondas producen la sacudida del terreno que es la causa del daño y la destrucción (UNGRD, 2017).

En Colombia, las zonas de mayor actividad sísmica incluyen la región Andina, el borde llanero y la Costa Pacífica (UNGRD, 2018a). Puesto que la mayoría de la población habita en ciudades ubicadas en zonas de amenaza alta e intermedia, existe una gran exposición de los colombianos ante el riesgo sísmico. Es así como el 39.7% (553) de las cabeceras municipales del país se encuentran en zonas de amenaza sísmica alta y el 47.3% (431) en amenaza sísmica intermedia (AIS, 2010).

De acuerdo con información del Servicio Geológico Colombiano, se tienen 53 registros de grandes sismos ocurridos en Colombia con intensidades mayores o iguales a 8 en Escala EMS-98 (SGC, 2021a). Según datos de la Tabla 13 presentada en el ANEXO A: AMENAZAS DE ORIGEN NATURAL EN EL TERRITORIO COLOMBIANO ASOCIADAS A LOS EVENTOS NATECH DE INTERÉS, desde 1906 hasta el 2008 han ocurrido 39 sismos de magnitud entre 5.6 y 8.8. MW. Se observa que las regiones en las que han ocurrido estos sismos de gran magnitud son, en orden descendente Nariño (8), Costa Pacífica (4), Eje Cafetero (4) y Norte de Santander (3).

Algunos ejemplos de consecuencias devastadoras asociadas con estos sismos de gran magnitud ocurridos en el país son el sismo de magnitud 5.6 que afectó a la ciudad de Popayán en 1983, dejando aproximadamente 250 muertos, 1.500 heridos y cerca de 5.000 viviendas destruidas. Posteriormente, el sismo de magnitud 6.1 ocurrido en Armenia en 1999 impactó a varios municipios de los departamentos de Quindío y Risaralda. Las afectaciones generaron en total 1,185 fatalidades.

### La amenaza de movimientos en masa en el territorio colombiano

Los movimientos en masa se definen como desplazamientos ladera abajo del terreno constituido por roca y/o suelos debido a la fuerza de la gravedad. Pueden ser lentos o rápidos, secos, húmedos o fluidos. Los más comunes son los deslizamientos y la caída de rocas. Son

también conocidos como: procesos de ladera, procesos gravitacionales, derrumbes y falla de talud o ladera (UNGRD, 2021d)

El territorio colombiano es especialmente susceptible a los movimientos en masa debido principalmente a sus condiciones topográficas, geológicas e hidrológicas y de ocupación y uso del suelo, siendo las lluvias intensas y/o prolongadas su principal desencadenante. La región Andina es una de las zonas más propensas a estos fenómenos debido a la distribución de las cadenas montañosas y a la presencia de las principales ciudades del país, en las cuales habita más del 70% de los colombianos. Bajo este panorama, los departamentos más propensos a los movimientos en masa son Antioquia, Cundinamarca, Tolima, Valle del Cauca, Caldas, Boyacá y Nariño.

Datos de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, evidencian que en los últimos 100 años se han registrado más de 11,800 eventos asociados a movimientos en masa, encontrando que Antioquia ha registrado el mayor número de eventos (1,393), seguido por Cundinamarca (1,068), Nariño (1,046), Tolima (957), Boyacá (800), Santander (785), Valle del Cauca (781) y Cauca (736) (UNGRD, 2021e). Esta información se corrobora con los registros del Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) del Servicio Geológico Colombiano, el cual ha identificado el reporte de 16,969 movimientos en masa para el periodo comprendido entre 1900 hasta 2017, siendo los departamentos de Antioquia, Cundinamarca y Cauca, los que mayor número de eventos han presentado.

Para tener un panorama más claro de la probabilidad de ocurrencia de este tipo de fenómenos en el territorio colombiano, el Servicio Geológico Colombiano publicó en 2015 la actualización del Mapa Nacional de Amenaza relativa por Movimientos en Masa a escala 1:100.000. Este mapa permitió categorizar los niveles de amenaza en el territorio nacional de la siguiente manera: cerca del 50% se encuentra categorizada en amenaza baja por movimientos en masa, 22% amenaza media, 20% amenaza alta y 4 % en amenaza muy alta. Las regiones Andina y Pacífica son aquellas con amenaza alta y muy alta, en ellas departamentos como Chocó (72.45 %), Caldas (62.54 %), Cauca (58.4 %) y Huila (57.4 %) tienen más de un 50 % de su área expuesta a este fenómeno. Aunado a lo anterior, las zonas que están determinadas por amenaza muy alta se sitúan principalmente en laderas aledañas a los ríos Cauca y Patía, en la parte norte de la Cordillera Oriental y en la Cordillera Occidental. La amenaza alta se ubica especialmente en algunos sectores de la Cordillera Central, en la Sierra Nevada de Santa Marta, en los Macizos de Quetame y Santander y en el Piedemonte de la Cordillera Oriental (SGC, 2017).

## **La amenaza de tsunami en el territorio colombiano**

Un tsunami es un fenómeno que se caracteriza por una serie de olas de gran longitud de onda cuyas causas pueden ser sismos en el fondo marino o cerca de la costa, erupciones volcánicas, deslizamientos submarinos o impacto de meteoritos en el mar (UNGRD, 2018a).

En Colombia, la amenaza de tsunami está latente tanto en la costa Pacífica como en la costa Caribe, generando que alrededor del 14.5% de la población se encuentre expuesta a esta amenaza. Sin embargo, la amenaza de tsunami es mayor en la costa Pacífica debido a su exposición a fuentes tsunamigénicas cercanas como la zona de subducción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana, y otras fuentes lejanas a lo largo del Cinturón de Fuego del Pacífico. Para la costa Caribe colombiana la amenaza de tsunami aún no está caracterizada,

razón por la cual continúan las investigaciones para evaluar posibles fuentes tsunamigénicas locales como los sismos y los deslizamientos submarinos. A pesar de lo anterior, de ocurrir un tsunami en la costa Caribe, las pérdidas podrían ser mucho mayores por la densidad poblacional y concentración de infraestructura en este territorio, en donde se localizan cerca de seis millones de habitantes.

Bajo este panorama general, los departamentos expuestos a la amenaza de tsunami en el país son Nariño, Cauca, Valle del Cauca y Chocó, en el Pacífico, y La Guajira, Bolívar, Atlántico, Magdalena, Sucre, Córdoba, Antioquia, Chocó, y San Andrés y Providencia en el Caribe. Como se mencionó, existe mayor probabilidad de materialización de tsunami en el Pacífico colombiano, hecho que se ha evidenciado con la ocurrencia de tsunamis en los años 1882, 1904, 1906, 1942, 1958 y más recientemente en 1979, evento que afectó de manera importante la población de Tumaco y destruyó por completo a San Juan de la Costa. Es así como se ha identificado que el municipio con mayor población expuesta y con posibilidad de pérdidas por este fenómeno es Tumaco en el departamento de Nariño (UNGRD, 2018a).

## 2.1.2 Hidrometeorológicas

Los fenómenos hidrometeorológicos son aquellos que ocurren naturalmente debido al ciclo meteorológico o ciclos climáticos. Incluyen inundaciones, incendios de la cobertura vegetal y ciclones tropicales (huracanes, marejadas ciclónicas, viento y rayos), entre otros.

### La amenaza de inundación en el territorio colombiano

Una inundación se define como una acumulación temporal de agua fuera de los cauces y áreas de reserva hídrica de las redes de drenaje (naturales y construidas). Se presentan debido a que los cauces de escorrentía superan la capacidad de retención e infiltración del suelo y/o la capacidad de transporte de los canales. Las inundaciones son eventos propios y periódicos de la dinámica natural de las cuencas hidrográficas. Estas se pueden dividir en lenta o de tipo aluvial, súbita o de tipo torrencial, por oleaje y encharcamiento (UNGRD, 2017).

En Colombia la amenaza por inundación se extiende a 190,935 km<sup>2</sup> en territorios que favorecen la ocurrencia de este fenómeno, dadas sus condiciones particulares. Es así como la Orinoquía es el área hidrográfica con mayor potencial para la ocurrencia de inundaciones, en donde la superficie inundable abarca el 31 % de su área total (UNGRD, 2021b). Otras áreas susceptibles a sufrir inundaciones son las partes bajas de las cuencas y los valles de los ríos principales como el río Magdalena, el río Cauca, el río Atrato, el río Putumayo, entre otros que afectan en gran medida los departamentos de Arauca y Casanare. Por su parte, las afectaciones por inundaciones rápidas se asocian a lluvias intensas en la parte alta de las cuencas con fuertes pendientes.

Un panorama más amplio muestra que el 40% del valor expuesto<sup>3</sup> total del país se encuentra en Bogotá y Antioquia. Sin embargo, las mayores pérdidas anuales esperadas por inundación

<sup>3</sup>El valor expuesto se calcula sobre los portafolios de edificaciones de uso residencial, comercial, industrial, educación, salud y gobierno.

se asocian a los departamentos de Antioquia, Bolívar, Santander, Magdalena y Boyacá (UNGRD, 2018a, 2021b).

La identificación de zonas susceptibles al fenómeno de inundación se facilita con el mapa a nivel nacional realizado por el IDEAM, el cual contempla tanto los eventos ocurridos en el país como la topografía de las zonas bajas de los valles y cuencas. Estos mapas de inundación a escala 1:100.000 están disponibles para 22 departamentos de Colombia en los cuales se ha interpretado casi el 100% del área total de cada departamento (IDEAM, 2021).

### **La amenaza de ciclones tropicales en el territorio colombiano**

Los ciclones tropicales son vientos muy fuertes que se originan en el mar, bajo ciertas condiciones de temperatura en el océano y humedad en el ambiente, que, sumado a un comportamiento giratorio del viento, puede generar enormes masas de nubosidad (UNGRD, 2020).

En Colombia, tanto la costa norte del país, como la zona insular en el Caribe se encuentran expuestas a la ocurrencia de ciclones tropicales. Específicamente, los departamentos de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, y La Guajira son aquellos que podrían tener afectaciones directas por el paso de un ciclón tropical.

Sin embargo, zonas costeras caribeñas en donde se ubican ciudades como Santa Marta, Barranquilla y Cartagena, también han presentado afectación debido a la amplitud de las bandas de nubosidad de ciclones tropicales en el Caribe. Estas afectaciones indirectas también se pueden extender a otras regiones en el territorio colombiano, puesto que los ciclones tropicales pueden perturbar las condiciones de tiempo en el norte de la región Andina y en algunas zonas del piedemonte Llanero, incrementando de esta forma la amenaza por inundaciones, movimientos en masa y vendavales en estas regiones del país (UNGRD, 2021a).

Según el “Atlas de Riesgo de Colombia: revelando los desastres latentes”, del total de pérdidas anuales esperadas en el país asociadas a ciclones tropicales, el 63.5% corresponde a San Andrés y Providencia, seguido por los departamentos de La Guajira con un 20.6% y Bolívar con el 8.9%, respectivamente (UNGRD, 2018a). Este escenario se corroboró con la ocurrencia del Huracán IOTA de categoría 5 en el año 2020, el cual ocasionó innumerables daños y pérdidas en la Isla de Providencia y Santa Catalina. Por lo tanto, aunque los ciclones tropicales no son muy recurrentes en Colombia, la temporada siempre está presente y puede generar graves impactos sobre nuestro territorio.

### **La amenaza de incendios de la cobertura vegetal en el territorio colombiano**

Los incendios forestales, técnicamente denominados incendios de la cobertura vegetal, se refieren al fuego sobre la cobertura vegetal de origen natural o antrópico que se propaga sin control, que causa perturbaciones ecológicas afectando o destruyendo una extensión superior a 5.000 m<sup>2</sup>, sea en zona urbana o rural y que responde al tipo de vegetación, cantidad de combustible, oxígeno, condiciones meteorológicas, topografía y actividades humanas, entre otras (UNGRD, 2019).

Las causas naturales de estos incendios se asocian a los rayos y/o la combustión de madera muy seca. Aunado a lo anterior, se deben considerar los efectos del fenómeno de variabilidad climática El Niño, el cual genera aumentos en la temperatura de la superficie acuática debido a

cambios en la dirección del viento, desencadenando sequías en zonas tropicales y variaciones meteorológicas que finalmente provocan incendios de cobertura vegetal. De acuerdo con esta perspectiva, su posible materialización en el territorio colombiano se evalúa según las condiciones meteorológicas, sean estas de precipitación y temperatura normales o bajo la influencia del Fenómeno del Niño. Lo anterior debido a que el incremento en la ocurrencia de este tipo de incendios se acentúa en las temporadas secas, en el marco del Fenómeno El Niño. La materialización de un incendio de este tipo, también depende de la correlación entre la topografía, el combustible, los factores climáticos y la reacción en cadena. Es así como el riesgo por incendios de las coberturas vegetales se obtiene de la interacción de los elementos dinámicos y cambiantes que constituyen la amenaza y la vulnerabilidad (UNGRD, 2018a).

En Colombia el 22% del territorio se encuentra en niveles de amenaza alta y muy alta por incendios de cobertura vegetal y se estima que la totalidad de estos incendios son de origen antrópico, generados en su mayoría en la región Centro Andina (UNGRD, 2019). Datos históricos consolidados a partir de las bases de datos de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) y el Sistema de inventario de efectos de desastres (Desinventar) para el periodo 1921-2019 muestran que los departamentos en los cuales se han observado niveles muy altos de afectaciones son Magdalena, Cundinamarca, Caquetá, Casanare, y Valle del Cauca, seguidos por los departamentos de Guaviare, Nariño, Boyacá, Cesar y Guajira, en los cuales el número de hectáreas afectadas ha sido alto. De lo anterior, se destaca que Cundinamarca ha sido el departamento con el mayor número de reportes de incendios forestales en el país con un 23%.

También se infiere que las regiones más propensas a la ocurrencia de incendios de cobertura vegetal son la Región Andina, Caribe y Orinoquía, en las cuales se reporta la mayor densidad de incendios y, por lo tanto, son las regiones más propensas a la ocurrencia de incendios de la cobertura vegetal. La Tabla 3 muestra los departamentos con afectación alta y muy alta en estas regiones, según el rango de hectáreas afectadas.

**Tabla 3.** Regiones más propensas a la ocurrencia de incendios de la cobertura vegetal. Adaptado de:(UNGRD, 2019)

Región	Departamentos	Hectáreas afectadas	Clasificación
Andina	Cundinamarca	2,825-5,665	Muy Alto
	Boyacá	2,043-2,824	Alto
Caribe	Magdalena	379-614	Muy Alto
	La Guajira y Cesar	179-378	Alto
Orinoquía	Meta	232-903	Alto
	Casanare	904-1,320	Muy alto

Finalmente, una mirada más exhaustiva a la ocurrencia de incendios de la cobertura vegetal distribuidas a lo largo del territorio nacional ha permitido identificar aquellos municipios dentro del rango de alta incidencia de incendios de cobertura vegetal. Entre ellos se destacan Arauca (Arauca), Paz de Ariporo (Casanare), Sabana de torres (Santander), Ciénaga (Magdalena), Bello, Concordia (Antioquia), La Mesa, Sibate, La Calera, Fómeque, Medina, Manta (Cundinamarca), entre otros.

## 2.2 Distribución de actividades industriales en Colombia

Las instalaciones industriales como las plantas de energía, las plantas químicas y la infraestructura de servicios públicos, entre otros, son especialmente vulnerables a los eventos de origen natural y, además, tienen el potencial de desencadenar accidentes mayores si llegan a fallar. Por lo tanto, para analizar la distribución de éstas en el territorio nacional, se propone una categorización de acuerdo con las diferentes fuentes de riesgo tecnológico que éstas representan. Se consideran por tanto 4 categorías tal como se describe a continuación:

1. Empresas manufactureras o de servicios que manejen o almacenen sustancias químicas peligrosas.
2. Infraestructura de hidrocarburos, instalaciones fijas y transporte por ductos.
3. Infraestructura de generación, distribución y transmisión de energía eléctrica.
4. Infraestructura del sector minero.

En Colombia la información sobre la distribución geográfica de las industrias es limitada, especialmente para la industria química, razón por la cual se analiza la información disponible en el *Atlas de la Geografía industrial de Colombia: Especialización sectorial, concentración y competitividad territorial de la industria manufacturera colombiana*, con el ánimo de identificar los departamentos y municipios del territorio nacional con desarrollos y participación industrial importante. El enfoque se fundamenta en el índice de industrialización ( $I_{ind}$ ) de los territorios a escala nacional, que depende de su nivel de industrialización ( $NI_T$ ) (Donato & Haedo, 2019). La relación de estos dos criterios se describe a continuación.

**Nivel de industrialización del territorio  $NI_T$ :** Relaciona la participación de ocupados industriales<sup>4</sup> en el territorio  $P_{OIT}$  respecto a los ocupados totales del territorio  $O_{TT}$  de acuerdo con la siguiente expresión:

$$NI_T = \frac{P_{OIT}}{O_{TT}}$$

**Índice de industrialización  $I_{ind}$ :** Relaciona el nivel de industrialización del territorio  $NI_T$  con el nivel de industrialización promedio del país  $\overline{NI}_{Nal}$  de acuerdo con:

$$I_{ind} = \frac{NI_T}{\overline{NI}_{Nal}}$$

Ahora bien, para asignar una categorización a los territorios de acuerdo con su  $I_{ind}$  se plantean los siguientes criterios:

Sí  $NI_T < 60\% \overline{NI}_{Nal}$  Territorio no industrial

Sí  $60\% \overline{NI}_{Nal} < NI_T < 90\% \overline{NI}_{Nal}$  Territorio de baja industrialización

Sí  $NI_T > 90\%$  y  $1\% \overline{NI}_{Nal} < NI_T \leq 10\% \overline{NI}_{Nal}$  Territorio de mediana industrialización

Sí  $NI_T > 10\% \overline{NI}_{Nal}$  Territorio de alta industrialización

<sup>4</sup>Se refiere a personas que trabajan en la industria manufacturera.

Cabe resaltar que el índice de industrialización no considera la relevancia de la actividad manufacturera del territorio evaluado para la economía del país.

Esta aproximación permite identificar las regiones del país en dónde hay desarrollos industriales que podrían estar sujetos a la ocurrencia de un evento Natech, dependiendo del nivel de las amenazas de origen natural presentes en los territorios y de la naturaleza de las actividades manufactureras, siendo necesario identificar todas aquellas que manejen, procesen, produzcan, almacenen o transporten sustancias peligrosas. **Sin embargo, es importante mencionar que esta localización del sector manufacturero del país y su ubicación en zonas de amenaza de origen natural es indicativa, siendo una primera aproximación para identificar las zonas que requerirán análisis más detallados en etapas posteriores.**

Este análisis también se puede complementar con el desempeño de la actividad industrial. Por ejemplo, según cifras del DANE y la Cámara de Comercio de Bogotá, en septiembre del 2021 se registró un crecimiento sostenido de la industria manufacturera, evidenciando un aumento del 15.5% de la producción industrial en comparación con el mismo mes del 2020. Los sectores que más aportaron a dicho crecimiento fueron la elaboración de bebidas (11.9 %), confección de prendas de vestir (35.5 %) y fabricación de papel cartón y sus productos (28.1 %), aportando 3.7 puntos porcentuales de la variación positiva de la producción industrial (Cámara de Comercio de Bogotá, 2021).

## **Empresas manufactureras o de servicios que manejen sustancias químicas peligrosas**

Existen 993 municipios del país que acreditan ocupados industriales, de los cuales sólo 109 concentran la actividad industrial, es decir que estos municipios tienen un índice de concentración industrial superior al promedio nacional (Donato & Haedo, 2019). Para ahondar en los detalles de la información correspondiente a los citados 109 municipios se presenta el ANEXO B: CONCENTRACIÓN INDUSTRIAL EN COLOMBIA, en la Tabla 14 se identifica que los departamentos con mayor cantidad de empresas industriales son en orden descendente.

1. Antioquia y Bogotá D.C. con entre 23,183 - 71,805 empresas de este tipo,
2. Valle Del Cauca, Cundinamarca, Santander, Norte de Santander y Atlántico con un rango de 7,386 - 23,182 empresas industriales,
3. Cesar, Magdalena, Bolívar, Boyacá, Meta, Huila, Tolima, Caldas, Risaralda, Cauca y Nariño con empresas industriales que varían entre 2,254 - 7,385,
4. Putumayo, Caquetá, Casanare, Arauca, Quindío, Chocó, Córdoba, Sucre y La Guajira con un número de empresas industriales entre 587 - 2,253,
5. Los departamentos con menor número de empresas industriales son Vichada, Guainía, Guaviare, Vaupés y Amazonas con un rango entre 44 - 586.

Por otra parte, la cantidad de ocupados industriales en el país es de 843,213 y la participación de los ocupados industriales en el país en relación con el total de ocupados a nivel nacional es del 7%. Respecto a la cantidad de ocupados industriales, se tiene una distribución similar a la anterior, aunque con ligeras variaciones. En primer lugar, están Bogotá D.C, Cundinamarca, Valle del Cauca y Antioquia como los departamentos con mayor cantidad de ocupados industriales (49,682 - 274,545), seguidos por Bolívar, Norte de Santander, Santander, Caldas,



Risaralda y Cauca (8,970 - 49,681). En menor proporción se encuentran los departamentos de Nariño, Huila, Tolima, Quindío, Meta, Casanare, Boyacá, Córdoba, Magdalena y César con un rango de ocupados industriales entre 1,598 - 8,969. Le siguen La Guajira, Sucre, Chocó, Putumayo, Caquetá y Arauca con un rango de ocupados industriales de 264 - 1,597. Finalmente, la Orinoquía (Vichada, Guainía, Guaviare, Vaupés y Amazonas) tienen el menor número de ocupados industriales en sus territorios (21-263).

La cantidad de empresas y ocupados industriales por municipio se presentan en *el Atlas de la geografía industrial de Colombia: especialización sectorial, concentración y competitividad territorial de la industria manufacturera colombiana*, este panorama permite obtener una primera aproximación de la localización de la actividad productiva e industrial de Colombia asociada a la industria manufacturera.

Construyendo bajo el panorama anterior y para enriquecer la caracterización de eventos Natech en Colombia, es importante identificar los departamentos y sus municipios con el mayor índice de industrialización. Esto permitirá delimitar las regiones en donde es necesario identificar el tipo y nivel de amenazas de origen natural presentes en los territorios, para posteriormente llevar a cabo análisis más detallados. Lo anterior supone identificar el tipo de industrias presentes en el territorio y la presencia de sustancias peligrosas dentro de las mismas. Bajo esta perspectiva, los 4 departamentos con un alto índice de industrialización son Antioquia, Cauca, Valle del Cauca y Cundinamarca. La Tabla 4 resume la información correspondiente para cada uno de estos departamentos.

**Tabla 4.** Departamentos con índice de industrialización alto y medio en el territorio nacional.  
Adaptado de: (Donato & Haedo, 2019)

Departamento	Municipios con índice de industrialización alto	Nivel de industrialización total (%)	Índice de industrialización
Antioquia	Santafé de Antioquia, Santa Rosa de Osos, Donmatías, San Pedro de los Milagros, Bello, Envigado, Itagüí, Sabaneta, La Estrella, Copacabana, Girardota, Marinilla, Amagá, I Santuario, Guarne, Caldas, Bello, Rionegro, Guatapé	11.2	Alto
Cauca	Caloto, Santander de Quilichao, Puerto Tejada, Villa Rica	8.8	Alto
Valle del Cauca	Yumbo, Palmira, Candelaria, Riofrío, Tuluá, Guadalajara de Buga, Florida, Ginebra, Guacarí, El Cerrito, Yotoco	9.0	Alto
Cundinamarca	Cota, Funza, Cajicá, Mosquera, Sibaté, Soacha, Tocancipá, Tenjo, Cogua, Madrid, Chía, Gachancipá, Agua de Dios, Granada, Sopó, Fúquene, Nemocón, Villapinzón, Ricaurte, Chocontá, San Francisco, Tausa, Útica	12.4	Alto

Departamento	Municipios con índice de industrialización alto	Nivel de industrialización total (%)	Índice de industrialización
Risaralda	Dosquebradas, Santuario, Balboa	7.7	Medio
Caldas	Manizales, Villamaría, Chinchiná, Pensilvania, Viterbo	7.1	Medio

Como se observa en la Tabla 4, sólo 6 departamentos del país concentran la actividad industrial, es decir que su nivel de industrialización supera la media nacional (7%). En primer lugar, se encuentra el departamento de Cundinamarca con el mayor nivel de industrialización (12.4%), en segundo lugar, está Antioquia (11.2%) seguido de Valle del Cauca (9%) y Cauca (8.8%). Por su parte, los departamentos de Risaralda (7.7%) y Caldas (7.1%) tienen un índice de industrialización medio. Cabe resaltar que a pesar de que Antioquia tiene un nivel de industrialización menor que el departamento de Cundinamarca, el departamento de Antioquia tiene una mayor importancia industrial relativa para el país (Donato & Haedo, 2019).

Complementando lo anterior, es importante identificar los departamentos con mayor índice de concentración industrial, entendiendo este como un ranking que posiciona a los municipios de acuerdo con su índice de industrialización y la relevancia de la actividad manufacturera de cada territorio en la ocupación nacional. Este parámetro es sustancial puesto que define qué tan importante es un municipio para la industria nacional. Teniendo en cuenta lo anterior, algunos territorios pueden tener un alto índice de industrialización, pero no ser significativos para la economía del país. En este sentido, se entiende que un territorio con un nivel de industrialización mayor al promedio nacional “concentra” actividad industrial.

Bajo esta perspectiva, los territorios en torno a las ciudades de Bogotá, Medellín y Cali son los principales núcleos de concentración manufacturera del país, en donde se destacan los municipios de Cota y Funza en Cundinamarca; en las áreas colindantes a Medellín se destacan los municipios de Envigado, Itagüí, Sabaneta, La Estrella y Copacabana; y en cercanías a la ciudad de Cali se destacan Yumbo y Palmira. Esta visión resulta importante para identificar las áreas en donde se tiene una mayor densidad industrial y sobre las cuales se requerirán análisis detallados para evaluar la posible materialización de efectos dominó dada la ocurrencia de un fenómeno natural.

### Infraestructura de hidrocarburos, instalaciones fijas y transporte por ductos

La cadena de valor del sector hidrocarburos consta de dos grandes áreas 1) Aguas arriba (Upstream), compuesta por actividades económicas relacionadas con la exploración y producción y 2) Aguas abajo (Downstream) cuyas actividades incluyen el transporte, refinación o procesamiento y comercialización de los hidrocarburos (ANH, 2021).

Es así como el sector hidrocarburos cuenta con infraestructura tanto fija como distribuida para cada una de las áreas previamente mencionadas (Upstream/Downstream), que puede estar expuesta a la ocurrencia de eventos de origen natural. Las instalaciones fijas incluyen refinerías, estaciones de bombeo, estaciones de almacenamiento o plataformas offshore, mientras que la infraestructura distribuida se refiere a las tuberías de transporte de hidrocarburos, oleoductos

submarinos, carrotanques y buques. Bajo esta óptica, las amenazas de origen natural para el sector hidrocarburos son diversas e incluyen, entre otras, movimientos en masa, sismos, incendios de la cobertura vegetal, inundaciones, ciclones tropicales, descargas eléctricas y tsunamis.

El ANEXO C: INFRAESTRUCTURA INDUSTRIAL EXPUESTA ANTE AMENAZAS DE ORIGEN NATURAL muestra la distribución y georreferenciación de algunas de las infraestructuras pertenecientes al sector hidrocarburos, tanto fijas como distribuidas. Esta información resulta muy útil para determinar aquellos elementos expuestos a los diferentes fenómenos naturales, según su ubicación en los departamentos identificados como susceptibles a las diferentes amenazas de origen natural. En Colombia, la infraestructura de hidrocarburos mayormente expuesta y sobre la cual se han generado y reportado un mayor número de afectaciones son las tuberías de transporte de hidrocarburos, las cuales han sido impactadas por movimientos en masa que han generado la liberación del material transportado, creando escenarios de contaminación, incendios y/o explosiones.

### **Infraestructura de generación, distribución y transmisión de energía eléctrica**

El sector de energía eléctrica cuenta con infraestructura diversa que se clasifica según dos grandes categorías 1) Generación y 2) Distribución. Para el primer caso se tienen las hidroeléctricas, termoeléctricas, granjas de paneles solares y granjas eólicas, mientras que para el segundo caso se tienen líneas y subestaciones de transmisión y distribución.

En el caso particular del sector energético, se tienen fuentes de energías peligrosas cuya liberación puede generar graves consecuencias. Bajo esta perspectiva, los escenarios Natech que pueden materializarse en este sector, no se asocian directamente con la liberación de sustancias peligrosas, sino con escenarios que puedan generar la interrupción del servicio público de energía eléctrica a la población por largos periodos de tiempo, llevando a la interrupción de servicios de primera necesidad, como centros asistenciales o centros educativos.

Las mayores amenazas de origen natural para el sector de energía eléctrica incluyen, sismos, movimientos en masa, descargas atmosféricas, inundaciones y vendavales o vientos huracanados, siendo las líneas de transmisión y distribución las infraestructuras más vulnerables a movimientos en masa y fuertes vientos. En Colombia se ha visto un incremento en la ocurrencia de este tipo de afectaciones a las líneas de suministro de energía eléctrica por movimientos en masa, los cuales han dejado a la población sin el suministro del servicio por varios días.

En el ANEXO C: INFRAESTRUCTURA INDUSTRIAL EXPUESTA ANTE AMENAZAS DE ORIGEN NATURAL se presenta información sobre la exposición ante sismos, de instalaciones industriales con material radiactivo. Cabe resaltar que este es un ejercicio indicativo que busca orientar a los analistas de riesgos y tomadores de decisiones en la forma de identificar potenciales escenarios accidentales que requieren de análisis más detallados.

### **Infraestructura del sector minero**

La cadena de valor de sector minero contempla seis áreas a saber, 1) exploración, 2) desarrollo y montaje, 3) producción/explotación, 4) beneficio, 5) transformación, 6) transporte y comercialización. Sin embargo, los eslabones más vulnerables a la ocurrencia de escenarios Natech son los procesos de a) explotación y producción, b) beneficio y transformación, c) almacenamiento y transporte y d) cierre y postcierre. Además de lo anterior, es importante

contemplar las dos tipologías básicas de explotación, que incluyen minería a cielo abierto y minería subterránea, con el fin de identificar la infraestructura expuesta, la cual también incluye una amplia variedad de equipos y procesos específicos.

Es así como en el caso particular del sector minero, la infraestructura expuesta se asocia principalmente con las minas. Bajo este panorama y de acuerdo con las emergencias mineras reportadas en la base de datos de la Agencia Nacional de Minería ANM, se ha identificado que los departamentos de Boyacá, Antioquia, Cundinamarca y Norte de Santander han reportado el mayor porcentaje de eventos mineros registrados entre los años 2005 y 2020, en donde la explotación se centra principalmente en el carbón (ANM, 2021). Cabe mencionar que históricamente los accidentes ocurridos en este sector se han enfocado en las afectaciones a los trabajadores, bajo una perspectiva de salud y seguridad en el trabajo.

Desde el punto de vista Natech, se pueden desencadenar escenarios por inundaciones, sismos, movimientos en masa e incendios de la cobertura vegetal, así como también por la emanación de gases naturales. Estos eventos pueden generar fallas de la infraestructura minera, fugas o derrames de materiales peligrosos, incendios y/o explosiones. En este sector también es importante que se contemple la exposición de tuberías, zonas de conducción o almacenamiento, sitios de drenaje de minas ácidas, la estabilidad de presas de relaves y la potencial falla de taludes en zonas de depósito (ZODMES) o escombreras.

En el ANEXO C: INFRAESTRUCTURA INDUSTRIAL EXPUESTA ANTE AMENAZAS DE ORIGEN NATURAL, se presenta información georreferenciada del sector minero, en donde se pueden identificar la ubicación a nivel nacional de algunas minas según grupo de materiales y su exposición ante diferentes niveles de amenaza de movimientos en masa. Es importante que esta distribución también se analice desde el punto de vista de la posible ocurrencia de otras amenazas de origen natural en los diferentes departamentos del país.

Finalmente, la infraestructura industrial vulnerable a la ocurrencia de eventos Natech no se limita a la abordada anteriormente, se puede extender a otros tipos de industria y/o infraestructura crítica, siempre que exista la presencia de sustancias peligrosas, estas incluyen (UNDRR-APSTAAG, 2020):

- Hospitales, laboratorios, farmacias
- Sistemas de transporte (aéreo, fluvial, ferrocarril, vial)
- Unidades de procesamiento de alimentos
- Almacenamiento de pesticidas
- Vertederos de basura
- Industria metalúrgica
- Bodegas de almacenamiento

Cabe resaltar que la ubicación o georreferenciación de dicha infraestructura, así como las sustancias que manipulan, almacenan o procesan, son esenciales para realizar análisis más detallados que permitan determinar la probabilidad de materialización de un evento Natech. Por lo tanto, en aras de fortalecer esta caracterización de eventos Natech en el país, se sugiere que se trabaje en la georreferenciación de las instalaciones industriales previamente mencionadas

a nivel nacional, sobre todo aquellas de la industria manufacturera, para posteriormente identificar el tipo e inventario de sustancias que se tienen en cada una de ellas.

## 2.3 Eventos Natech ocurridos en Colombia

El registro de eventos Natech en Colombia es limitado, teniendo en cuenta que la cultura de reporte de accidentes tecnológicos no está ampliamente difundida y mucho menos el hecho de considerar a los eventos de origen natural como una causa raíz. Lo anterior ha llevado a que no se tenga un registro histórico robusto de eventos Natech en Colombia. A pesar de lo anterior, se han venido haciendo esfuerzos desde diferentes frentes para empezar a contemplar estos escenarios en algunas bases de datos de accidentes industriales del país. La base de datos de la Agencia Nacional de Licencias Ambientales ANLA es un ejemplo de ello, la cual posee información sobre derrames de hidrocarburos y eventos accidentales ocurridos en el sector de minas y energía, y contempla como causa de dichos eventos, fenómenos naturales tales como movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales y sismos, entre otros.

Otra de las bases de datos existente y que incluye como causa de los accidentes tecnológicos a los fenómenos naturales es el Consolidado Anual de Emergencias de la UNGRD. Un análisis realizado por la Subdirección para el Conocimiento del Riesgo de la UNGRD, identificó que en el periodo comprendido entre 2004-2016 se reportaron un total de 6,477 eventos asociados al derrame de hidrocarburos, de los cuales el 3.2% se debió a eventos de origen natural o socio natural (NaTech) (UNGRD, 2018b). Como se observa, la perspectiva de un bajo nivel de reporte ha ido cambiando con los avances que en esta materia se han tenido en el país, sobre todo luego de la promulgación de la Ley 1523 en 2012 y el Decreto 2157 de 2017, en donde se conciben los fenómenos naturales como posibles causas de la ocurrencia de accidentes industriales.

Además de lo anterior, se encontró que en el mismo Consolidado Anual de Emergencias se reportaron un total de 32 eventos tecnológicos cuya causa fue un evento de origen natural, en el periodo 2011-2019. De estos eventos, 28 (87.5%) generaron un colapso de la infraestructura afectada y sólo se generaron 2 (6.3%) incendios y 1 (3.1%) derrame, lo que implica la liberación de materiales peligrosos; el evento restante se atribuye a otras causas.

Para complementar la información respecto a la ocurrencia de eventos Natech en el país, se incluyen a continuación aquellos eventos sobre los cuales se tiene conocimiento, ya sea por su mención en artículos académicos o por la atención mediática que han tenido debido a la envergadura de sus consecuencias. En la Tabla 5 se exponen los eventos Natech ocurridos en el territorio nacional de los cuales se tiene información.

**Tabla 5.** Algunos de los eventos Natech ocurridos en Colombia

Lugar de ocurrencia	Fenómeno natural	Descripción del evento
Costa Pacífica, Nariño, 1979	Sismo/ Tsunami	<p>Un sismo de 8.1 Mw generó un tsunami con alturas de hasta 3 m, lo cual afectó toda la costa comprendida entre Guapi al norte y Tumaco. Además de las afectaciones a personas, animales, viviendas y enseres por efectos del tsunami, se desencadenaron efectos secundarios como agrietamientos del terreno, licuación y hundimientos.</p> <p>El tsunami, entre otros impactos, destruyó el muelle de la Isla Gorgona. En Tumaco, las olas levantaron varios barcos de sus amarres y los llevaron varios cientos de metros tierra adentro por el canal del río. (Herd et al., 1981; SGC, 2021b).</p>
Nevado del Ruiz, Tolima, 1985	Lahar	<p>La erupción volcánica y el flujo de lodo generaron cerca de 29,000 fatalidades y la destrucción de 5,092 viviendas. Este evento también destruyó 58 plantas industriales y provocó la liberación de materiales peligrosos. Las pérdidas económicas totales excedieron los mil millones de dólares (Voight, 1990).</p>
Armenia, Eje Cafetero, 1999	Sismo	<p>Un sismo de 6.1 Mw impactó al eje cafetero, afectando 28 municipios. Sin embargo, la ciudad de Armenia sufrió los mayores impactos con 921 fatalidades, 2,300 heridos, más de 30,000 viviendas afectadas, cerca del 75% de las escuelas y colegios con daños y más de un millón de metros cúbicos de escombros.</p> <p>La industria manufacturera predominantemente constituida por pequeñas y medianas empresas, que representaba un 80% del empleo industrial en los departamentos de Quindío y Risaralda, se vio severamente afectada por el sismo. La industria en Armenia sufrió los mayores daños directos, con un 70% del total de los establecimientos afectados por el sismo, en menor medida se vio impactada la industria manufacturera en Pereira con un 11%.</p> <p>Sin embargo, una mayor proporción de daños a edificios e instalaciones (20%), se observó en Pereira, en donde se tenía una estructura industrial más concentrada, y tecnológicamente más avanzada que aquella de Armenia. Los daños directos en el sector manufacturero de la zona afectada se estimaron en cerca de 26,400 millones de pesos. (CEPAL &amp; PNUD, 1999; SGC, 2021c)</p>
Ola Invernal, 2010-2011	Inundación	<p>· Daños en cinco hidroeléctricas, una de las cuales quedó completamente destruida, y en tres termoeléctricas en donde también una de ellas fue destruida. Además, daños a la red de transmisión y distribución. El departamento de Valle del Cauca se vio gravemente afectado, agrupando el 61% del total de daños por la afectación de Termovalle, también Bolívar, Magdalena y Atlántico se vieron afectados con más de 13% de los daños registrados.</p>

Lugar de ocurrencia	Fenómeno natural	Descripción del evento
Ola Invernal, 2010-2011	Inundación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para el sector hidrocarburos se reportaron daños en redes de distribución e infraestructura de producción de gas, siendo los departamentos de Bolívar y Magdalena los más afectados. Además, daños en plantas de producción de palma asociadas a la producción de biocombustibles y etanol. En general, el sector hidrocarburos reportó afectaciones en 100 áreas de producción que fueron completamente destruidas y cerca de 2,600,000 afectadas. Así mismo, afectaciones en 3 tanques de depósito, 1 estación de servicio y un número no determinado de km de oleoductos.</li> <li>El sector de energía reportó en total daños por 876,648 millones de pesos, asociados en su mayoría con energía eléctrica (65%).</li> <li>Tres sociedades portuarias de Puerto Mamonal, Cartagena y Contecar reportaron daños por cerca 2,210 millones de pesos.</li> <li>Se evidenciaron daños en industrias de curtiembres, en los ingenios azucareros y en la zona franca del Pacífico. También se vieron afectadas bodegas, locales y fábricas, representando el 1.2% del total de bienes inmuebles afectados.</li> <li>Afectación departamental de instalaciones productivas en Antioquia, Boyacá y Valle del Cauca, 32% de las bodegas fueron afectadas, mientras que Bolívar, Boyacá, Cesar y Magdalena dan cuenta de 48% de las fábricas afectadas (BID &amp; CEPAL, 2012)</li> </ul>
Dosquebradas, Risaralda, 2011	Movimiento en masa	Rotura de oleoducto y liberación de gasolina por impacto de un movimiento en masa que generó nube de vapor y posterior explosión causando más de 30 fatalidades, 80 heridos y daño estructural en la población de Dosquebradas, Risaralda (Munoz, 2011).
Girardot, Cundinamarca, 2017	Tormenta eléctrica	Fuertes lluvias acompañadas por tormentas eléctricas impactaron un almacén de telas, generando un incendio. Se desconocen los detalles de la dinámica accidental. RCN Radio, 2017.
Copacabana, Antioquia, 2017	Movimiento en masa	Un movimiento en masa generó la rotura de un gasoducto que liberó el gas natural al ambiente. El evento no generó víctimas mortales, pero sí la evacuación de 112 familias, afectación estructural y ambiental, y suspensión temporal del servicio de gas (Ramírez Gil, 2019; AMVA, 2019).
Toledo, Norte de Santander, 2021	Movimiento en masa	Un gasoducto que abastece al departamento de Santander y otras regiones del oriente del país, fue impactado por un movimiento en masa que generó la rotura de la tubería y una posterior explosión, dejando un saldo de tres heridos y 17,000 habitantes sin servicio de gas (BLU Radio Santander, 2021a, 2021b).

Los anteriores ejemplos demuestran que Colombia no es ajena a la materialización de eventos Natech y que diversos fenómenos naturales pueden afectar gravemente la infraestructura industrial de producción, transporte y/o almacenamiento, perturbando la continuidad del negocio. Por lo tanto, debido a la ocurrencia de diferentes fenómenos naturales en el país, a los efectos del cambio climático sobre la severidad de las consecuencias de los eventos hidrometeorológicos y a la creciente industrialización en el territorio nacional, se hace evidente la necesidad de gestionar este tipo de riesgos.

## 2.4 Factores de riesgo Natech y causas asociadas a la liberación de sustancias peligrosas

A pesar de que las instalaciones industriales son vulnerables al impacto de eventos de origen natural, no siempre se comprenden y reconocen los límites de diseño estructural asociados a la carga que representan estas amenazas. Además, sus posibles efectos sobre la seguridad de las instalaciones no suelen contemplarse en los sistemas tradicionales de gestión de riesgos. Sin embargo, es evidente la importancia de considerar los fenómenos naturales como posibles causas de accidentes tecnológicos. Lo anterior, teniendo en cuenta que los eventos Natech tienen la capacidad de impactar grandes extensiones del territorio y generar una afectación intensa, grave y extendida del mismo.

Esta sección presenta una relación de las afectaciones que se pueden generar por los distintos fenómenos naturales presentes en el territorio nacional. Este panorama se construye a través del análisis de lecciones aprendidas respecto a eventos Natech ocurridos en el ámbito internacional y se delimita teniendo en cuenta las amenazas de origen natural de mayor relevancia para el país, de acuerdo con la severidad de las posibles consecuencias que se pueden generar. Este enfoque se propone por la naturaleza de los eventos Natech, concebidos como eventos de baja probabilidad, pero de muy alta consecuencia. A su vez, cabe resaltar que históricamente en Colombia los registros de eventos Natech son limitados y por lo tanto no nutren sustancialmente el retorno de experiencias.

A continuación, se abordan seis fenómenos amenazantes agrupados según su naturaleza en geológicos e hidrometeorológicos. Estos incluyen sismo, movimientos en masa y tsunami, para los fenómenos geológicos e inundaciones, ciclones tropicales e incendios de la cobertura vegetal para los hidrometeorológicos. Cada amenaza de origen natural se aborda por separado contemplando las posibles consecuencias asociadas a la materialización de un evento Natech, comprendiendo cuáles son los equipos críticos de proceso y las consecuencias derivadas de la pérdida de contención de sustancias peligrosas. Es así como se conciben los siguientes elementos:

- a) Factores que aumentan el riesgo de pérdida de contención
- b) Causas frecuentes de pérdida de contención
- c) Equipos críticos asociados a cada amenaza de origen natural
- d) Posibles consecuencias



## 2.4.1 Sismo como amenaza para las instalaciones industriales y las tuberías de transporte

Un sismo es un movimiento del suelo generado por una liberación repentina de energía en la corteza terrestre causada por el contacto entre placas tectónicas a lo largo de una línea de falla (OMS, 2019; UNGRD, 2018a). Este fenómeno natural produce ondas sísmicas profundas que se extienden desde el punto inicial de ruptura hasta la superficie, en dónde se manifiestan como una sacudida violenta del suelo.

La severidad de las consecuencias de un sismo depende de 1) su magnitud, 2) intensidad y duración, 3) la geología local, 4) la hora del día en que se presenta el fenómeno, 5) los materiales de construcción y diseño de edificaciones e instalaciones industriales, y 6) las medidas de reducción de riesgo implementadas. Además, los sismos también pueden desencadenar otros fenómenos naturales como licuefacción del suelo, movimientos en masa, fisuras, avalanchas y tsunamis (OMS, 2019).

La Tabla 6 muestra aspectos relevantes que se deben contemplar para fortalecer las medidas de reducción del riesgo ante un evento Natech desencadenado por un sismo.

**Tabla 6.** Características de un evento Natech cuya causa origen es un sismo

SISMO	
<b>Factores que aumentan riesgo de pérdida de contención</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Ubicación de instalaciones industriales en áreas propensas a sismos</li> <li>· Falta de normativas de planificación y ordenamiento territorial</li> <li>· Falta de códigos de construcción sismo resistente</li> </ul>
<b>Causas frecuentes de pérdida de contención</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Daño estructural por las fuerzas horizontales y verticales del sismo</li> <li>· Caída de escombros</li> <li>· Licuefacción del suelo que resulta en el colapso de edificaciones</li> </ul>
<b>Equipos críticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Tanques de almacenamiento no presurizados</li> <li>· Tuberías de proceso</li> <li>· Tuberías de transporte antiguas (gasoductos y oleoductos)</li> </ul>
<b>Posibles consecuencias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Rotura de tuberías y bridas de conexión</li> <li>· Pandeo y rotura de tanques y recipientes de almacenamiento</li> <li>· Salpicadura de líquidos almacenados en tanques llenos o casi llenos</li> <li>· Daño y colapso del revestimiento de tanques de almacenamiento</li> <li>· Daños en líneas de suministro de servicios básicos (Luz, gas, agua...)</li> </ul>

## 2.4.2 Movimientos en masa como amenaza para las tuberías de transporte

Un movimiento en masa es el proceso por el cual un volumen de material constituido por roca, suelo, tierras, detritos o escombros, se desplaza ladera abajo por acción de la gravedad (IDIGER, 2021). Bajo este enfoque, se agrupan los fenómenos de derrumbe, desprendimiento o desplazamiento de suelos, rocas o ambos, por efectos de la gravedad (UNGRD, 2018a). Por lo anterior, la clasificación de los movimientos en masa se realiza con base en el tipo de movimiento del material desplazado, esta se divide en:

- Caídas y volcamientos
  - Involucran desprendimiento de bloques de suelo o roca en una ladera
- Flujos y reptaciones
  - Desplazamiento de material por acción de la gravedad, de movimiento lento
- Deslizamientos
  - Movimiento rápido de material en una ladera

La severidad de las consecuencias de un movimiento en masa depende de factores como 1) la cobertura del suelo, 2) la pendiente del terreno, 3) la morfología del terreno y su estabilidad, 4) las características intrínsecas de los materiales, 5) la lluvia y 6) la actividad tectónica (UNGRD, 2021e). En Colombia los movimientos en masa son detonados principalmente por lluvias intensas y/o prolongadas, pero los factores antrópicos también juegan un papel preponderante. Adicionalmente, fenómenos como sismos, eventos volcánicos y derretimiento del suelo congelado, efectos de socavación o crecientes de ríos pueden ser precursores de los movimientos en masa.

La Tabla 7 muestra aspectos relevantes que se deben contemplar para fortalecer las medidas de reducción del riesgo ante un evento Natech desencadenado por movimientos en masa. Cabe resaltar que, dentro de estos, los deslizamientos han sido los eventos mayormente estudiados, sobre todo respecto a su impacto en tuberías de transporte. Al respecto, es importante mencionar que el 50% de los incidentes de oleoductos en los Andes pueden ser causados principalmente por deslizamientos de tierra (Lee et al., 2009).

**Tabla 7.** Características de un evento Natech cuya causa origen es un movimiento en masa (Girgin & Krausmann, 2014; Lee et al., 2009)

MOVIMIENTOS EN MASA	
<b>Factores que aumentan riesgo de pérdida de contención</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ubicación de tuberías de transporte en áreas propensas a movimientos en masa, deslizamientos de tierra o deformación permanente de suelo</li><li>• Subsistencia del suelo que afecta la base de una tubería subterránea</li><li>• Falta de inspección recurrente del estado de la tubería</li><li>• Falta de estudios geotécnicos de la zona, topografía y estabilidad del terreno</li><li>• Ausencia de caracterización de amenazas geológicas</li><li>• Cargas adicionales que afectan la integridad de la tubería</li><li>• Trasgresión al derecho de vía y afectación a la tubería</li><li>• Cambios de direcciones significativas en la tubería (ej. codos de 90°)</li></ul>

<b>Causas frecuentes de pérdida de contención</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Rotura total de la tubería</li> <li>· Deformación de la tubería que induce tensiones longitudinales por encima de las permitidas por los estándares</li> <li>· Fallas en la planificación, diseño y construcción de la tubería</li> <li>· Fallas en el diseño de medidas de mitigación</li> <li>· Poca resistencia a la tensión de soldaduras y materiales</li> </ul>
<b>Equipos críticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Tuberías de transporte (ej. gasoductos y oleoductos)</li> </ul>
<b>Posibles consecuencias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Rotura/deformación de tuberías</li> <li>· Liberación/dispersión de sustancias peligrosas en estado líquido o gaseoso</li> <li>· Contaminación de acuíferos y suelo (impacto ambiental)</li> <li>· Incendio o explosión</li> <li>· Interrupción del servicio</li> </ul>

### 2.4.3 Tsunami como amenaza para las instalaciones industriales

Un tsunami se presenta cuando ocurre una liberación súbita de energía en el fondo del océano que se manifiesta en un desplazamiento vertical de un gran volumen de agua, generando una serie de olas de gran longitud de onda, cuya altura depende de la batimetría del fondo del mar. Sus causas incluyen un sismo en el fondo marino o cerca de la costa, así como erupciones volcánicas, deslizamientos submarinos y/o el impacto de meteoritos en el mar (UNGRD, 2018a).

La severidad de las consecuencias de un tsunami depende de factores como 1) la altura máxima de la ola 2) las irregularidades de la costa, 3) la topografía tierra adentro y 4) la altura de inundación, en la medida en que determinan las condiciones de arribo de las olas y el alcance del agua de inundación sobre la superficie de la tierra. Lo anterior se asocia con las consecuencias que este tipo de escenarios pueden causar sobre la población, el medio ambiente y la infraestructura, puesto que tienen la capacidad de generar afectaciones múltiples y simultáneas. Es así como las instalaciones industriales ubicadas en zonas costeras son las más vulnerables ante este tipo de escenarios.

Los posibles daños incluyen el colapso de edificios industriales, tanques de almacenamiento y otros equipos de proceso, que a su vez pueden liberar materiales peligrosos al entorno. Además, dado que la inundación del tsunami podría afectar una gran área, el riesgo en zonas densamente industrializadas podría ser elevado (Cruz et al., 2011).

La Tabla 8 muestra aspectos relevantes que se deben contemplar para fortalecer las medidas de reducción del riesgo ante un evento Natech desencadenado por tsunami. Cabe resaltar que estos fenómenos son poco frecuentes, lo que implica que el retorno de experiencias es limitado.

**Tabla 8.** Características de un evento Natech cuya causa origen es un tsunami  
(Cruz et al., 2011; Nishino & Imazu, 2018)

<b>TSUNAMI</b>	
<b>Factores que aumentan riesgo de pérdida de contención</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Ubicación de instalaciones industriales en zonas costeras</li> <li>· Fuerzas hidrodinámicas del tsunami</li> <li>· Inundación</li> <li>· Cargas de flotabilidad</li> <li>· Falta de medidas de mitigación para reducir impacto de las olas e inundación</li> <li>· Falta de normativas de planificación y ordenamiento territorial</li> </ul>
<b>Causas frecuentes de pérdida de contención</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Colisión de escombros flotantes con equipos de proceso</li> <li>· Rotura de tuberías y bridas de conexión</li> <li>· Flotación de tanques de almacenamiento</li> </ul>
<b>Equipos críticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Instalaciones industriales ubicadas en zonas costeras</li> <li>· Tanques de almacenamiento</li> <li>· Hornos</li> <li>· Calderas</li> <li>· Reactores</li> <li>· Tuberías de proceso</li> <li>· Equipos eléctricos</li> </ul>
<b>Posibles consecuencias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Pérdida de contención</li> <li>· Salpicadura de líquidos almacenados en tanques llenos o casi llenos</li> <li>· Desplazamiento y volcamiento de tanques de almacenamiento</li> <li>· Desprendimiento y/o rotura de tuberías</li> <li>· Transporte de barriles con sustancias químicas en el agua de inundación</li> <li>· Daño en equipos eléctricos, paneles de control, bombas y motores que no están elevados por encima del nivel de inundación.</li> <li>· Daños en líneas de suministro de servicios básicos (Luz, gas, agua...)</li> <li>· Falla de los cimientos de edificaciones por la socavación inducida por la licuefacción en los depósitos arenosos del subsuelo</li> <li>· Propagación de sustancias peligrosas por la corriente del tsunami en puerto y tierras inundadas</li> <li>· Propagación del petróleo crudo en combustión transportado por las aguas de la inundación (efectos dominó)</li> </ul>

## 2.4.4 Inundación como amenaza para las instalaciones industriales

Una inundación es un fenómeno que se presenta por la acumulación de agua debido a que los cauces de escorrentía superan la capacidad de retención e infiltración del suelo y/o la capacidad de transporte de los canales. Se clasifican en lentas, súbitas, por oleaje y encharcamiento (UNGRD, 2017).

La severidad de las consecuencias de una inundación depende de cuatro variables 1) la velocidad del flujo de agua, 2) la altura del agua (profundidad de inundación), 3) la velocidad con que aumenta el nivel de agua y 4) la duración de la inundación (ej. días).

Los posibles daños derivados de una inundación, incluyen, entre otros, fallas en equipos eléctricos, volcamiento de tanques de almacenamiento parcialmente llenos, impacto de escombros en equipos de proceso, pandeo y desplazamiento de tanques de almacenamiento, fallas en sistemas de control e instrumentación, entre otros. En algunos casos, también se pueden presentar reacciones fuera de control de las sustancias químicas con el agua, generando gases inflamables y tóxicos. La severidad de este escenario dependerá de la cantidad almacenada, considerándose un accidente grave sólo si se almacena una gran cantidad de sustancia (Campedel, 2008).

La Tabla 9 muestra los aspectos relevantes que se deben contemplar para fortalecer las medidas de reducción del riesgo ante un evento Natech desencadenado por inundaciones. Es importante mencionar que los elementos aquí expuestos se refieren a los efectos por inundaciones prolongadas.

**Tabla 9.** Características de un evento Natech cuya causa origen es una inundación (Campedel, 2008; OMS, 2019)

INUNDACIÓN	
<b>Factores que aumentan riesgo de pérdida de contención</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Ubicación de instalaciones industriales en áreas propensas a inundaciones</li><li>· Baja porosidad del suelo (Terreno con baja capacidad de absorción de la lluvia)</li><li>· Estructuras que no son resistentes a inundaciones</li><li>· Regulaciones de construcción inadecuadas</li><li>· Falta de normativas de planificación y ordenamiento territorial</li><li>· Sistemas de alerta temprana inexistentes o ineficaces</li></ul>
<b>Causas frecuentes de pérdida de contención</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Alta velocidad del flujo de agua que genera volcamiento de tanques</li><li>· Daños por alturas de inundación elevadas y persistentes en el tiempo (<math>h &gt; 1\text{m}</math>)</li><li>· Colisión de escombros</li><li>· Daños en equipos eléctricos y fuentes de energía</li><li>· Pérdida de electricidad y falta de sistemas de respaldo (ej. afectación a equipos de refrigeración)</li><li>· Alteraciones en instrumentos de seguridad (ej. monitores de P y T)</li></ul>

<b>Equipos críticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tanques de almacenamiento (atmosféricos y presurizados)</li> <li>• Tuberías</li> <li>• Bodegas de almacenamiento</li> </ul>
<b>Posibles consecuencias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desplazamiento y volcamiento de tanques de almacenamiento</li> <li>• Desprendimiento y/o rotura de tuberías</li> <li>• Transporte de barriles con sustancias químicas en el agua de inundación</li> <li>• Escorrentía de materiales tóxicos</li> <li>• Reacciones no controladas de sustancias químicas por contacto con el agua y posible generación de productos tóxicos</li> <li>• Dispersión de nube tóxica</li> <li>• Incendio o explosión</li> <li>• Liberación de desechos de plantas químicas, minas y presas de relaves</li> <li>• Daños en líneas de suministro de servicios básicos (Luz, gas, agua...)</li> <li>• Contaminación de acuíferos y subsuelo</li> </ul>

## 2.4.5 Ciclones tropicales como amenaza para las instalaciones industriales

Los ciclones tropicales son sistemas meteorológicos de baja presión sobre aguas tropicales o subtropicales caracterizados por tormentas eléctricas, lluvias torrenciales y altas velocidades del viento. También reciben el nombre de huracán y/o tifón de acuerdo con la región específica dónde ocurran.

Se clasifican según la velocidad del viento y la ubicación en:

- Depresión tropical (velocidad del viento máxima sostenida de 63 km/h)
- Tormenta tropical (velocidad del viento máxima sostenida entre 63 y 117 km/h)
- Huracán, tifón, ciclón tropical severo, tormenta ciclónica severa o ciclón tropical (velocidad del viento sostenida de mínimo 119km/h)

La severidad de las consecuencias de un ciclón tropical depende de 1) velocidad del viento, 2) fuertes lluvias y 3) grandes olas. Además, se relaciona con los efectos del cambio climático sobre el aumento de su intensidad. Los fenómenos naturales asociados que se pueden desencadenar por la ocurrencia de un ciclón incluyen marejadas ciclónicas<sup>4</sup>, inundaciones tierra adentro y rayos (OMS, 2019).

Los posibles daños derivados de un ciclón tropical, incluyen, entre otros, fallas en equipos eléctricos, volcamiento de tanques de almacenamiento parcialmente llenos, desprendimiento de tuberías, daños en conexiones y bridas, levantamiento de techos en tanques de

<sup>4</sup>Una marejada ciclónica es el aumento anormal del agua generado por vientos fuertes.

almacenamiento por efectos de fuertes vientos, reacciones de sustancias liberadas con el agua, contaminación de acuíferos, y nubes tóxicas, entre otros.

La Tabla 10 muestra los aspectos relevantes que se deben contemplar para fortalecer las medidas de reducción del riesgo ante un evento Natech desencadenado por un ciclón tropical.

**Tabla 10.** Características de un evento Natech cuya causa origen es un ciclón tropical (OMS, 2019).

<b>CICLONES TROPICALES</b>	
<b>Factores que aumentan riesgo de pérdida de contención</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Ubicación de instalaciones industriales y de almacenamiento industrial y sustancia químicas en zonas costeras.</li> <li>· Estructuras vulnerables a tormentas eléctricas y rayos.</li> <li>· Regulaciones de construcción inadecuadas</li> <li>· Falta de normativas de planificación y ordenamiento territorial</li> <li>· Sistemas de alerta temprana inexistentes o ineficaces</li> </ul>
<b>Causas frecuentes de pérdida de contención</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Fuertes vientos</li> <li>· Tornados</li> <li>· Inundaciones</li> <li>· Rayos</li> <li>· Proyectiles y colisión de escombros</li> <li>· Daños en equipos eléctricos y fuentes de energía</li> <li>· Pérdida de electricidad y falta de sistemas de respaldo</li> <li>· Alteraciones en instrumentos de seguridad (ej. monitores de P y T)</li> </ul>
<b>Equipos críticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Refinerías de petróleo</li> <li>· Instalaciones peligrosas en zonas costeras</li> <li>· Tanques de almacenamiento</li> <li>· Tuberías de proceso</li> </ul>
<b>Posibles consecuencias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Desplazamiento y volcamiento de tanques de almacenamiento</li> <li>· Desprendimiento y/o rotura de tuberías y conexiones</li> <li>· Daño de tanques de almacenamiento y tuberías por impacto de proyectiles y/o escombros</li> <li>· Impacto directo de rayos en tanques de almacenamiento que contienen materiales inflamables generando incendios y/o explosiones</li> <li>· Liberación/Dispersión de sustancias tóxicas y/o contaminantes</li> <li>· Inundación de los sistemas de drenaje internos de instalaciones industriales causando liberación de desechos químicos en los sistemas de drenaje de aguas superficiales, si estos no están separados</li> <li>· Escorrentía de materiales tóxicos</li> <li>· Reacciones no controladas de sustancias químicas por contacto con el agua y posible generación de productos tóxicos</li> <li>· Incendio o explosión</li> <li>· Incendios de derrames de petróleo y escombros transportados por el agua</li> </ul>

#### Posibles consecuencias

- Colisión de buques petroleros y/o de carga y liberación de sustancias químicas en el mar
- Daños en líneas de suministro de servicios básicos (Luz, gas, agua...)
- Los rayos también pueden interrumpir los circuitos eléctricos y los sistemas de control de seguridad, lo que lleva a la liberación de sustancias químicas

## 2.4.6 Incendios de la cobertura vegetal como amenaza para las instalaciones industriales

Los incendios de la cobertura vegetal son perturbaciones ecológicas que generan efectos en la vegetación, bosques, selvas y zonas áridas o semiáridas como consecuencia de fuego originado de forma natural o por el ser humano (UNGRD, 2018a).

Se clasifican según su propagación en (UNGRD, 2018a):

- Superficiales: propagación en la superficie del suelo sobre pastos y vegetación herbácea, hasta 1.5 m de altura.
- Subterráneos: propagación debajo de la superficie del suelo en raíces y materia orgánica acumulada.
- Aéreos: propagación por la parte alta de los árboles o matorrales.

Por lo tanto, los diferentes tipos de vegetación, pueden conducir a diferentes comportamientos de combustión e intensidad del fuego y sus cantidades pueden intensificar drásticamente el fuego.

La severidad de las consecuencias en este tipo de escenarios depende de las tres variables del triángulo de incendios forestales: 1) combustible, 2) clima y 3) topografía (Barrows, 1951). Lo anterior puesto que la cantidad, disposición y humedad del combustible, las condiciones meteorológicas (viento, temperatura, humedad, precipitación) y el aspecto y pendiente del terreno, pueden afectar la dinámica de los incendios previa a su ocurrencia, y posteriormente favorecer la propagación del fuego en grandes extensiones del territorio. Es así como el tamaño de los incendios forestales también juega un papel preponderante sobre los posibles impactos a las instalaciones industriales. Lo anterior dado que pueden desencadenar accidentes y/o eventos en cascada que pueden derivar en eventos Natech.

Cuando este tipo de fenómenos ocurren en cercanías a instalaciones industriales fijas que manipulan, procesan o almacenan sustancias peligrosas, se pueden desencadenar liberaciones de materiales peligrosos, tóxicos, incendios y/o explosiones. Estos incendios de la cobertura vegetal también pueden afectar tuberías de transporte de hidrocarburos. Este tipo de escenarios pueden aumentar por el cambio climático y la transformación del entorno de las instalaciones industriales, por lo tanto, existe una preocupación sobre la posibilidad de que los peligros externos relacionados con los incendios forestales, puedan llegar a afectar la seguridad de los procesos industriales (Kern & Krausmann, 2020).



La Tabla 11 muestra los aspectos que se deben contemplar para fortalecer las medidas de reducción del riesgo ante un evento Natech desencadenado por incendios de la cobertura vegetal. Cabe resaltar que los incendios de la cobertura vegetal pueden afectar las instalaciones industriales a través de la radiación térmica (calor), el vuelo de las brasas o tizones o el impacto directo de las llamas (Kern & Krausmann, 2020). Sin embargo, es importante reconocer que, en comparación con los incendios derivados de accidentes tecnológicos, los incendios forestales representan una amenaza particular que no ha sido ampliamente estudiada hasta el momento.

**Tabla 11.** Características de un evento Natech cuya causa origen es un incendio de la cobertura vegetal (Kern & Krausmann, 2020)

<b>INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL</b>	
<b>Factores que aumentan riesgo de pérdida de contención</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altas velocidades del viento</li> <li>• Ubicación de instalaciones industriales y de almacenamiento en zonas con alta cobertura vegetal (interfaces industriales silvestres)</li> <li>• Gestión inadecuada de la vegetación en áreas con potencial de incendios forestales</li> <li>• Medidas de extinción de incendios de la cobertura vegetal poco efectivas</li> <li>• Acumulación de biomasa (combustible) en áreas silvestres</li> <li>• Incendios puntuales por brasas o tizones</li> <li>• Grandes áreas con vegetación dentro de las instalaciones industriales que actúan como "superficies receptoras" de brasas</li> <li>• Estructuras vulnerables a daños causados por radiación térmica</li> <li>• Bosques o áreas silvestres cercanos a la instalación industrial con homogeneidad en su vegetación</li> <li>• Desconocimiento de la amenaza de incendio de la cobertura vegetal por parte de los operadores de plantas industriales y falta de medidas preventivas asociadas</li> <li>• Diseño de la planta que no contempla la ocurrencia de un incendio forestal alrededor de la misma</li> <li>• Falta de normativas de planificación y ordenamiento territorial</li> </ul>
<b>Causas frecuentes de pérdida de contención</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incidencia directa de llamas de gran longitud que afectan directamente equipos de proceso</li> <li>• Unidades de proceso afectadas simultáneamente desde diferentes frentes por la radiación térmica</li> <li>• Daños en equipos eléctricos y fuentes de energía</li> </ul>
<b>Equipos críticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos de proceso en general que contengan materiales peligrosos</li> <li>• Zonas de almacenamiento de materiales combustibles fuera de los edificios</li> </ul>
<b>Posibles consecuencias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de contención</li> <li>• Incendio y/o explosión por brasas o tizones</li> <li>• Productos de combustión tóxicos</li> <li>• Efectos dominó a instalaciones industriales vecinas</li> <li>• Interrupción del suministro de productos</li> <li>• Mano de obra no disponible debido a una evacuación de emergencia</li> <li>• Daños en líneas de suministro de servicios básicos (Luz, gas, agua...)</li> </ul>

### 3. LECCIONES APRENDIDAS DE EVENTOS NATECH OCURRIDOS EN EL MUNDO

Los eventos Natech representan una alta amenaza para la sociedad debido a la magnitud de sus consecuencias. Estos, han expuesto la vulnerabilidad de las sociedades modernas ante estos escenarios cada vez más complejos. Es así como un aumento en el número de accidentes naturales y tecnológicos y la proliferación de personas afectadas y pérdidas económicas durante el último siglo (EMDAT, 2019; MunichRe, 2019), así como las consecuencias de su ocurrencia conjunta, han destacado la necesidad de estar mejor preparados y gestionar el riesgo Natech de manera más holística, por su capacidad para afectar grandes áreas.

Según las Naciones Unidas y el Centro de Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres, en los últimos 20 años, tanto los eventos geofísicos como los relacionados con el clima han causado 1.3 millones de muertes y afectado a 4.4 mil millones de personas. Aunque la mayoría de las muertes han sido causadas por sismos y tsunamis, los eventos relacionados con el clima han sido precursores del 91% de todas las grandes afectaciones (Wallemacq & House, 2018). En efecto, varios estudios han confirmado una tendencia creciente en el número de eventos Natech reportados en bases de datos internacionales encontrando recientemente que los eventos meteorológicos son los principales precursores de los eventos Natech (Kiyohara, 2016; Krausmann et al., 2011; Luo et al., 2021; Ricci et al., 2021; Sengul et al., 2012).

La Tabla 12 muestra la recopilación de eventos Natech ocurridos en los diferentes continentes y su relación con los eventos de origen natural reportados en la base de datos EMDAT. Se observa que América del Norte es una de las zonas más afectadas por este tipo de eventos, donde se tiene una proporción de 3.5, hecho asociado posiblemente a la ubicación de las instalaciones industriales en zonas costeras en donde han ocurrido mayoritariamente estos eventos Natech derivados del impacto de los ciclones tropicales. También se observa que Europa registra una proporción de eventos Natech y eventos de origen natural de 0.5, en cuyo caso las áreas costeras también suelen ser las más afectadas por los eventos Natech. En el caso de Sur América la proporción es mucho menor (0.03) cifra que puede estar asociada a un subregistro o a una baja industrialización comparada con las dos regiones previamente mencionadas.

**Tabla 12.** Proporción de eventos Natech respecto al número de eventos de origen natural reportados en la base de datos EMDAT. Adaptado de (Ricci et al., 2021)

Región	Eventos de origen natural ( $E_N$ )	Eventos Natech reportados ( $N_R$ )	Proporción ( $N_R / E_N$ )
África	1,735	25	0.01
Asia	5,199	67	0.01
Europa	1,947	897	0.5
Norte América	2,276	7,925	3.5
Oceanía	630	22	0.03
Sur América	1,070	27	0.03

Teniendo en cuenta lo anterior, el análisis de eventos Natech ocurridos en diferentes partes del mundo sirve de base para enriquecer el retorno de experiencias y entender mejor la dinámica accidental de estos escenarios, evidenciando la complejidad asociada a estos accidentes. Compartir experiencias y aprendizajes es fundamental para reducir el riesgo y mejorar el desempeño de las instalaciones industriales y de los territorios donde se ubican. Bajo esta perspectiva, esta sección presenta lecciones aprendidas de algunos de los eventos Natech ocurridos en diferentes latitudes, asociados a distintos tipos de eventos de origen natural, como un punto de referencia para fortalecer el retorno de experiencias en el país. Finalmente, cabe desatacar que al considerar que en general hay una mayor densidad poblacional, más industrias y más infraestructura en riesgo (Mileti, 1999), la gestión de riesgos Natech se hace aún más trascendente.

## SISMO DE WENCHUAN, China 2008

(Krausmann et al., 2010; UNDRR-APSTAAG, 2020)

El 12 de mayo de 2008, un sismo de 7.9 Mw y profundidad de 19 km, devastó el área de Wenchuan en la provincia de Sichuan, China. También se presentaron otros fenómenos geológicos como deslizamientos y desprendimientos de rocas. Como consecuencia, se registraron cerca de 70,000 fatalidades, más de 374,000 heridos y 5.000,000 personas sin hogar. Las pérdidas económicas ascienden a 140 mil millones USD aproximadamente. Varias empresas productoras de fertilizantes fueron seriamente afectadas, sin embargo, la información sobre el impacto del sismo a la industria, es limitada. La Figura 6 muestra algunas de las consecuencias en la infraestructura.

### Afectaciones a personas, ambiente e infraestructura

- La principal causa de muerte y lesiones de los trabajadores fue el colapso de almacenes, oficinas y fábricas.
- La caída de escombros de edificios y otras estructuras fue la principal fuente de daños y pérdidas de equipos, incluyendo el corte y aplastamiento de las tuberías.
- Corte o doblez de tuberías por desplazamiento de tanques.
- Las instalaciones más antiguas sufrieron daños más severos que las construidas bajo códigos de diseño más recientes.
- Múltiples emisiones de materiales peligrosos, con predominancia de derrames.
- Daño inducido por licuefacción del suelo en algunos lugares.
- Colapso de minas de fosfato.
- Fugas de ácido sulfúrico y amoníaco en instalaciones productoras de fertilizantes.
- Incendio y explosión en planta de azufre.

### Fallos / brechas / buenas prácticas

- Falla de las medidas de seguridad.
- Códigos de construcción establecidos para soportar una menor intensidad sísmica.
- Falla de barreras de seguridad en edificios más antiguos.
- Fallo en tuberías y tanques de almacenamiento.
- Fallo de edificaciones por elecciones de construcción deficientes (ej. estructuras de mampostería en lugar de hormigón armado).

### Lecciones aprendidas

- Se resalta la importancia de tener diseños/códigos sísmicos y su constante actualización según mejora el conocimiento de la sismicidad en el territorio.
- Se recomiendan evaluaciones de riesgos realistas y continuas.
- Edificios con refuerzo deficiente, estructuras de mampostería no reforzada.
- El diseño de estructura rígida, las cubiertas pesadas y las columnas esbeltas contribuyeron a aumentar la vulnerabilidad al colapso.
- Se resalta la necesidad de considerar los efectos de sitio al seleccionar la ubicación de una instalación industrial.



**Figura 6.** Afectaciones en infraestructura por el terremoto de Wenchuan.  
Fotos: María Camila Suárez Paba.

## DESLIZAMIENTO EN OLEODUCTO TRANS-ECUADOR, Ecuador 2013

(2013; Gill, 2013; JRC, 2021; Watts, 2013)

El 31 de mayo de 2013, un deslizamiento de rocas y tierra generó una rotura y desviación de 40m de su curso en el Oleoducto Trans-Ecuador. Este transporta crudo desde campos petroleros en la Amazonía ecuatoriana hasta la refinería Esmeraldas y el puerto petrolero de Balao en la costa del Pacífico. La liberación de crudo generó contaminación de suelo y acuíferos, y como consecuencia cerca de 60,000 personas tuvieron que recibir agua en 65 camiones cisterna. No se reportaron ni fatalidades, ni heridos.

La figura 7 muestra un imagen de las consecuencias asociadas a este evento.

<b>Afectaciones a personas, ambiente e infraestructura</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· La rotura afectó 140 metros de longitud de la tubería.</li><li>· Se liberaron cerca de 1,600,000 L de crudo en el suelo y sobre el agua.</li><li>· El crudo liberado ingresó al río Coca y parte de éste ingresó al río Napo, que atraviesa la frontera con Perú.</li><li>· Contaminación de suministros de agua potable de la Ciudad de Coca.</li><li>· Cuatro días de interrupción del servicio.</li></ul>
<b>Fallos / brechas / buenas prácticas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Falla de las medidas de seguridad.</li><li>· Segunda vez en 2 meses que un deslizamiento de tierra afecta los oleoductos de Ecuador.</li><li>· La Secretaría de Gestión de Riesgos consideró que el deslizamiento se debió a la fuerte lluvia registrada la noche del jueves y madrugada del viernes y a la deforestación que existe en la parte alta de la montaña.</li><li>· Hipótesis: la avalancha pudo haber sido provocada por explosiones y temblores recientes del cercano volcán Reventador.</li></ul>
<b>Lecciones aprendidas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Se debe evitar, en la medida de lo posible, la distribución de tuberías en áreas con suelo potencialmente inestable.</li><li>· Las tuberías deben estar provistas de protección mecánica adecuada.</li><li>· Se requieren sistemas de monitoreo de tensión para mitigar el impacto de deslizamientos de tierra lentos.</li><li>· No existen medidas de mitigación para el impacto de deslizamientos de tierra rápidos y catastróficos en las tuberías. En este caso, solo la costosa reubicación de la tubería o la estabilización de taludes pueden mitigar el riesgo.</li></ul>



Petróleo en el río Napo después de la rotura del oleoducto Trans-Ecuador en la cuenca del Amazonas. Fotografía: AFP / Getty Images.

**Figura 7.** Consecuencias de la rotura del oleoducto Trans-Ecuador en 2013

## APECTACIÓN A INDUSTRIA POR TSUNAMI, Japón 2011

(Krausmann & Cruz, 2013; Krausmann et al., 2017; Okada et al., 2011)

El 11 de marzo de 2011 un tsunami provocado a 130 km de la costa de la prefectura de Miyagi por el gran sismo de 9.0 Mw del este de Japón, frente a la costa del Pacífico de Tohoku, inundó más de 400 km<sup>2</sup> de tierra e indujo graves afectaciones y destrucción en vastas partes de la industria japonesa. Esto generó múltiples y simultáneas liberaciones de materiales peligrosos por la ocurrencia de varios accidentes Natech sincrónicos. Además, el tsunami agravó los impactos de las emisiones tóxicas o inflamables provocadas por el sismo, al ser transportadas y dispersadas por las aguas de la inundación. La ocurrencia conjunta del sismo y tsunami dejaron un saldo de más de 13,000 fatalidades, 4,896 heridos y 15,133 desaparecidos.

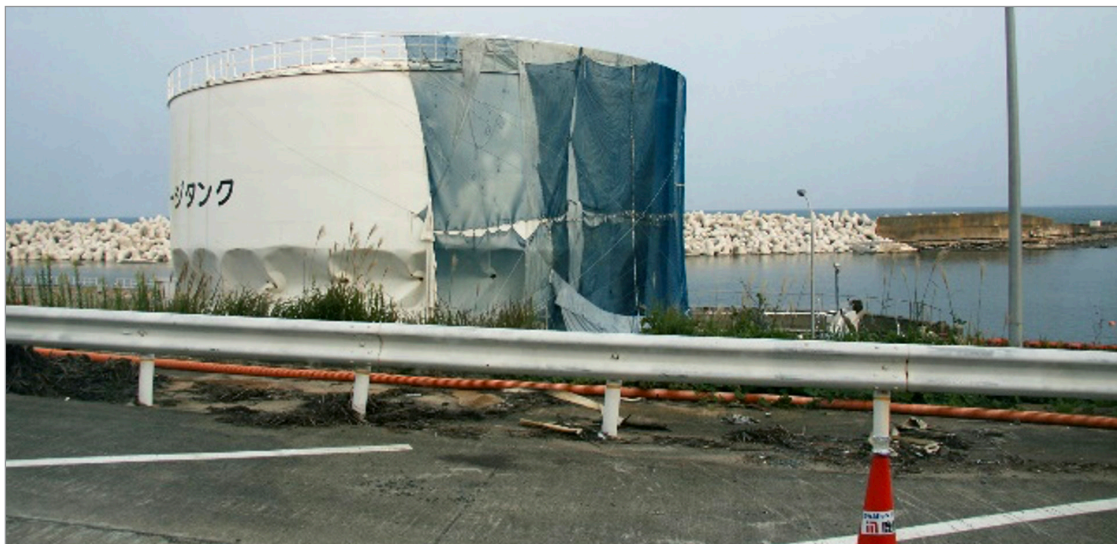
La Figura 8 presenta imágenes de afectaciones en tanques de almacenamiento por efectos del tsunami.

<b>Afectaciones a personas, ambiente e infraestructura</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 190,000 edificios dañados (45,700 destruidos).</li><li>• Falla de cimientos de equipos de proceso por la velocidad del agua de inundación.</li><li>• Flotación y desplazamiento de tanques y tuberías.</li><li>• Vuelco y colapso de tanques de almacenamiento.</li><li>• Rotura de conexiones de tuberías y rotura de válvulas.</li><li>• Liberación de grandes cantidades de sustancias peligrosas.</li><li>• Integridad estructural de los edificios comprometida.</li><li>• Colapso de edificaciones sobre los equipos peligrosos alojados al interior de las instalaciones industriales.</li><li>• Disminución en la producción mundial de automóviles.</li><li>• El índice de producción industrial se redujo drásticamente en un 15.5%.</li><li>• Crisis nuclear: 11 centrales dejaron de funcionar.</li></ul>
<b>Fallos / brechas / buenas prácticas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas de la inundación causaron daño y liberación de materiales peligrosos.</li><li>• Daños por fuerzas de impacto de los escombros transportados por el agua.</li><li>• Los análisis de impacto tienen asociadas grandes incertidumbres sobre el tipo y la cantidad de objetos transportados por las aguas del tsunami, dificultando la evaluación de este tipo de riesgo.</li></ul>
<b>Lecciones aprendidas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Las altas velocidades del agua pueden arrastrar grandes objetos flotantes a una instalación peligrosa, exacerbando la severidad de las consecuencias.</li><li>• Los tanques de almacenamiento, y en particular los atmosféricos, son especialmente vulnerables a los efectos de un tsunami.</li><li>• Los tsunamis tienen la capacidad de dispersar ampliamente los derrames inflamables o las emisiones tóxicas.</li><li>• Alta probabilidad de ignición de escombros transportados por el agua y de efectos en cascada con graves consecuencias secundarias.</li></ul>



Lecciones aprendidas

- Es importante considerar la reacción con el agua de las sustancias liberadas, puesto que se pueden crear otros compuestos químicos aún más tóxicos o inflamables.
- Se debe analizar el riesgo de contaminación del suelo a mediano y largo plazo, por sustancias tóxicas o persistentes en el medio ambiente.
- Se deben reevaluar las suposiciones de los modelos de riesgo por sismo y tsunami para mejorar la confiabilidad de las estimaciones de daños y pérdidas.
- Los socorristas deben estar preparados para las consecuencias del impacto de un tsunami durante las operaciones de respuesta.



a) Daño en tanque de almacenamiento en planta de energía nuclear Fukushima Daiichi, TEPCO. Foto: Giovanni Verlini / IAEA; Copyright: IAEA.



b) Ignición de tanques de almacenamiento. Foto: Douglas Sprott.

**Figura 8.** Afectaciones a tanques de almacenamientos por efectos del tsunami.

## EXPLOSIÓN EN FÁBRICA DE ALUMINIO POR INUNDACIÓN, Japón 2018

(Araki et al., 2021)

Inundaciones por fuertes lluvias en 2018 en la ciudad de Soja, prefectura de Okayama, Japón generaron una explosión en una fábrica de reciclaje de aluminio el 6 de julio, a pesar de que los trabajadores de la planta dejaron de operar el horno de fusión en preparación para la inundación. La explosión se dio por las inundaciones del afluyente del río Takahashi, el río Shinpon, y el desbordamiento de un canal de agua agrícola. Como consecuencia, no se reportaron fatalidades por la evacuación a tiempo de los trabajadores. La Figura 9 presenta las afectaciones en la planta de aluminio.

### Afectaciones a personas, ambiente e infraestructura

- Afectaciones y daños a estructuras y viviendas en un radio de 900m de la fábrica por la onda explosiva (destrucción del exterior de las casas, sus paredes, marcos de ventanas, vidrios).
- En la ciudad de Soja 120 y en la ciudad de Kurashiki 212 hogares se vieron afectados por la explosión.
- El aluminio fundido de la explosión ingresó a las casas, provocando incendios en el interior.
- La explosión de la fábrica generó cuatro incendios simultáneos en sus alrededores.
  - El techo de un galpón agrícola a unos 190 m de la fábrica fue perforado con una masa de aluminio.
  - Una casa de madera vacía a unos 150 m de la fábrica se incendió.
  - Se produjo un incendio en una casa a 180 m de la fábrica y en su cochera ubicada a 250 m de distancia.
- Se registraron personas heridas que fueron trasladadas al hospital.

### Fallos / brechas / buenas prácticas

- Evacuación de los residentes en el área de Shimobara por posibles explosiones secundarias.
- Actividades voluntarias de prevención de desastres de los residentes.
- Cooperación de organizaciones regionales para la evacuación de residentes.
- Esfuerzos regionales de prevención de desastres previo a la ocurrencia del evento accidental.
- Falta de intercambio de información completa por parte de la fábrica sobre los peligros asociados a su actividad a las autoridades locales.

### Lecciones aprendidas

- Se evidenció que la falta de información sobre los peligros de accidentes químicos compartida por la fábrica con las autoridades del gobierno local y los socorristas, así como con los residentes locales, generó el desconocimiento generalizado, puesto que la fábrica no informó a las autoridades sobre la posibilidad de explosión de antemano, aunque conocían claramente el riesgo de explosión.
- Se encontraron problemas de cooperación entre el gobierno local involucrado y los gobiernos locales vecinos, lo cual destaca la necesidad de tener canales de comunicación efectivos y claramente establecidos entre las partes interesadas.



a) Afectaciones en la fábrica de aluminio por la explosión



b) Materiales de la fábrica dispersos en el entorno

**Figura 9.** Consecuencias de la explosión por inundación en la fábrica de aluminio.  
Fotos: Hyejeong Park.

## IMPACTOS DEL HURACÁN KATRINA Y RITA EN LA INDUSTRIA PETROLERA, Estados Unidos 2005

(Cruz & Krausmann, 2008; Cruz & Krausmann, 2009; Krausmann et al., 2017)

El 29 de agosto de 2005, el huracán Katrina tocó tierra a lo largo de la costa de Louisiana-Mississippi como un huracán de Categoría 3, mientras que el huracán Rita tocó tierra el 24 de septiembre, también como huracán Categoría 3, afectando la costa de Texas-Louisiana. Estos huracanes causaron estragos en la industria petroquímica estadounidense en el Golfo de México, acompañados de fuertes marejadas ciclónicas y olas, fuertes lluvias y fuertes vientos. Afectaron cientos de plataformas de extracción y producción de petróleo, instalaciones industriales y generaron el cierre de ocho refinerías. Provocaron múltiples emisiones de materiales peligrosos en instalaciones industriales y terminales de almacenamiento en tierra y en instalaciones de producción de petróleo y gas en alta mar en el Golfo de México.

La Figura 10 muestra afectaciones a la industria petrolífera por el huracán Katrina.

### Afectaciones a personas, ambiente e infraestructura

- Enormes pérdidas para la industria del petróleo y gas, generando repercusiones económicas en todo el mundo (ej. alza en los precios del petróleo).
- Destrucción de 276 plataformas, 24 torres de perforación y 457 tuberías en alta mar por efectos de diferentes profundidades de inundación.
- Daños severos en 163 plataformas por inundación o fuertes vientos.
- Plataformas de perforación a la deriva.
- Arrastre de líneas y anclas a lo largo del fondo del océano, provocando daños en tuberías e incidentes menores de contaminación.
- Daño a tubería causado por fallas/ daños a la plataforma o tubo ascendente de perforación.
- No se registraron fatalidades en la industria en alta mar y los impactos ambientales se consideraron pequeños en comparación con el nivel de daño a la infraestructura.

### Fallos / brechas / buenas prácticas

- Evacuación de más de 700 plataformas previo a la llegada del huracán a tierra, llevando a más del 90% del petróleo y más del 83% de la producción de gas en el Golfo de México fuera de línea.
- Un número reducido de descargas en oleoductos demuestra la eficacia de la práctica de vaciar y/o detener el transporte de sustancias previo al huracán.
- El 60% de las instalaciones destruidas se construyeron 30 años o más antes del huracán, previo a la adopción de estándares de diseño más estrictos que entraron en vigor después de 1977 (9na Ed. API RP 2<sup>a</sup>).

### Lecciones aprendidas

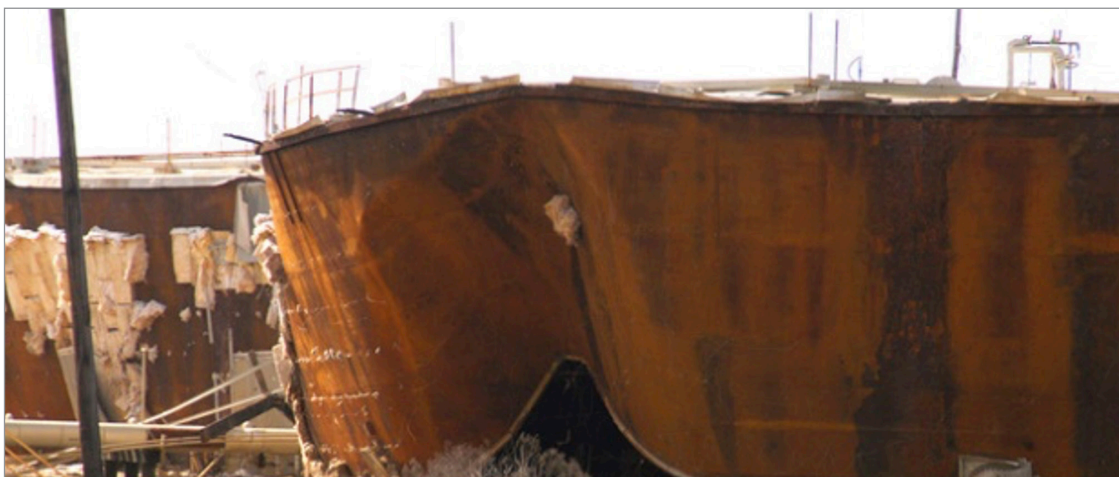
- Los huracanes Katrina y Rita, sirvieron de recordatorio sobre la vulnerabilidad de la infraestructura de producción de petróleo y gas tanto en tierra como en alta mar.
- La principal causa de daño a la integridad de las plataformas fue la carga por la inundación debido a las olas, lo que aumenta la carga horizontal y puede generar el volcamiento de las plataformas, resultando en una falla y un posible colapso.
- La acción de las olas causó daños estructurales bajo el agua incluyendo pandeo local y afectación en los soportes, entre otros.

## Lecciones aprendidas

- Conllevaron a cambios en los procedimientos operativos y de emergencia, requisitos de mantenimiento y prácticas de diseño, incluidas las prácticas de amarre para las unidades móviles de perforación en alta mar.
- Grandes daños a la industria petrolífera en tierra y alta mar resaltaron la fragilidad de la infraestructura, asociada a la pérdida de producción y limitaciones en la entrega de la producción a los mercados.
- Se sugieren mejoras en la investigación de los accidentes y presentación de informes de daños, para facilitar un análisis de la dinámica de liberación de materiales peligrosos y de daños, de manera que se pueda prevenir la recurrencia de futuras liberaciones.
- Se requieren mejoras en la planificación para la respuesta de emergencia previa al huracán y limpieza después de su ocurrencia.



a) Daño a plataforma en refinería de petróleo en Louisiana, Foto: Robert Kaufmann, FEMA. Fuente: The U.S. National Archives.



b) Rotura en tanques de almacenamiento de crudo. Foto: Marvin Nauman, FEMA. Fuente: The U.S. National Archives.

**Figura 10.** Afectaciones a la industria petrolífera por el paso del huracán Katrina en 2005

## INCENDIO FORESTAL AFECTA MINA DE CARBÓN, Australia 2014

(Kern & Krausmann, 2020; Michael & Sawyer, 2014)

El 9 de febrero de 2014, el estado de Victoria en Australia, se vio afectado por una extensa ola de calor. Esto generó incendios forestales, cuyas brasas cerca de los bordes del pozo minero de la mina de carbón Hazelwood que producía lignito a cielo abierto, encendieron la veta de carbón, provocando incendios en las minas. El incendio provocó una emergencia pública y afectó a la ciudad cercana de Morwell con productos de combustión tóxicos y cenizas. La mina estaba directamente vinculada a la planta de energía Hazelwood cerca de Melbourne, responsable de cerca del 25% del suministro de energía en Victoria.

### Afectaciones a personas, ambiente e infraestructura

- Impactos por incendio en personas y negocios locales.
- Impactos indirectos asociados a costos médicos, costos veterinarios, tiempo libre en el trabajo, reubicación de hogares, limpieza de hogares y negocios y posibles disminuciones en el valor de la propiedad.
- El incendio tardó 45 días en ser extinto.
- Costo estimado total del incendio superó los 100 millones de dólares australianos.
- El fuego se extendió en más de 400 hectáreas de tierra.
- Las llamas alcanzaron entre 20 y 50 metros de altura.
- Preocupación por posibles deslizamientos de tierra, debido a la gran cantidad de agua vertida por los bomberos sobre el fuego fuera de control en el pozo de la mina.

### Fallos / brechas / buenas prácticas

- El incendio fue sofocado con éxito mediante el uso de sistemas de espuma de aire comprimido (CAFS).
- CAFS utiliza agentes espumantes (tensoactivos) mezclados con agua y expandidos con aire comprimido.
- Preocupación por la solidez estructural de las paredes de la mina y por generación de grietas a lo largo de las paredes del costado sur de la misma.
- Recomendación de abandonar la zona a personas vulnerables como ancianos, niños pequeños, mujeres embarazadas y personas con afecciones respiratorias.

### Lecciones aprendidas

- Se requirió un esfuerzo mancomunado de varias agencias de respuesta a emergencias para extinguir los incendios (Más de 7,000 miembros).
- Debido a la extensión del incendio, se tuvieron que aplicar diferentes estrategias en la extinción de incendios.
- Se tuvieron que utilizar equipos especiales de extinción, grandes helicópteros para la aplicación de agua e imágenes térmicas para la extinción del incendio.
- Este tipo de incendios de minas de carbón representan un gran desafío para los equipos de respuesta por su difícil acceso y continua alimentación del combustible.

## 4. GESTIÓN DE RIESGOS NATECH

La materialización de accidentes Natech en el mundo ha demostrado la capacidad de los eventos de origen natural de causar liberaciones de materiales peligrosos múltiples y simultáneas en áreas extensas, sobrepasar y destruir barreras de protección y sistemas de seguridad, e interrumpir las líneas de suministro de servicios básicos (ej. agua, gas, electricidad), que a menudo se necesitan para la mitigación de accidentes y la atención de las emergencias y/o contingencias (Krausmann et al., 2017). Además, la experiencia ha señalado que desafortunadamente los marcos de gestión del riesgo de desastres existentes no abordan de manera integral los accidentes tecnológicos en general, y los Natech en particular. Aunado a lo anterior, los programas de preparación y prevención de accidentes químicos a menudo pasan por alto los aspectos específicos del riesgo Natech. Por lo tanto, controlar con éxito un accidente Natech ha resultado ser un gran desafío, y puede resultar completamente imposible cuando no se ha realizado una preparación previa. Es así como para gestionar el riesgo Natech de manera efectiva se requiere una amplia gama de medidas de prevención y mitigación, tanto de naturaleza física como administrativa. Por lo tanto, es indispensable contar con una combinación de ambos tipos de medidas para una protección óptima.

Es por esta razón que la gestión de riesgos Natech resulta crucial para fortalecer los mecanismos de prevención y preparación ante estos escenarios. Para tal fin, la comunidad internacional de investigadores sobre este tipo de riesgo ha planteado el ciclo de gestión de riesgo Natech, compuesto por 6 elementos esenciales, tal como se presenta en la Figura 11. Dicha gestión debe contemplar no sólo la caracterización de las amenazas de origen natural y la identificación de equipos críticos, sino que también debe propender por la adopción de medidas de reducción de riesgo, desarrollar planes de emergencia de acuerdo con los peligros *in situ* y desarrollar planes de continuidad de negocio en armonía con los resultados de la evaluación de riesgos Natech. Estos elementos van acompañados por una continua comunicación del riesgo entre las partes interesadas y por un monitoreo constante de las condiciones de riesgo Natech, elementos transversales a los procesos de evaluación del riesgo y de gestión del mismo. Por lo tanto, este ciclo de gestión constituye el punto de partida para la identificación de eventos Natech en Colombia, debido a que combina el enfoque de la evaluación del riesgo y la gestión del mismo, representando una herramienta guía para la implementación de medidas de prevención y mitigación asociadas al riesgo Natech.

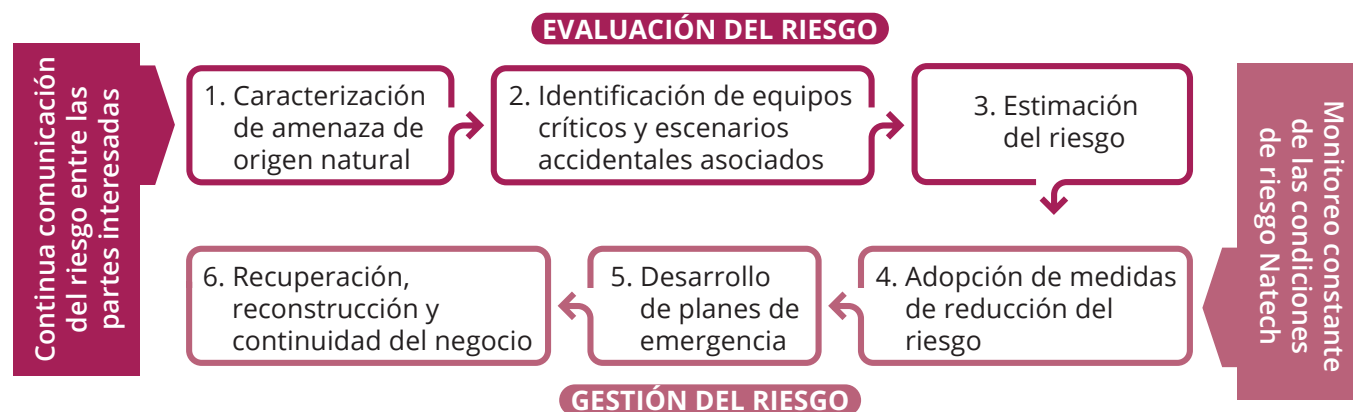


Figura 11. Ciclo de gestión de riesgo Natech.

## 4.1 Caracterización de amenazas de origen natural

Como se observa en la Figura 11, el primer paso para gestionar adecuadamente los riesgos Natech corresponde a la caracterización de las amenazas de origen natural. Esto se asocia con una identificación de los fenómenos naturales que han ocurrido o pueden ocurrir en la instalación industrial bajo estudio. Para ello, las instalaciones industriales pueden contar con formatos para la detección de amenazas de origen natural en el sitio, de manera que se guíe al analista para determinar los eventos hidrometeorológicos y geológicos que son aplicables a la instalación industrial bajo análisis. Esta primera aproximación permite identificar escenarios en dónde se requieren análisis más detallados para aquellos fenómenos naturales que pueden comprometer la continuidad del negocio. Existen formatos sugeridos, como los que propone el Centro de Seguridad de Procesos Químicos (CCPS por sus siglas en inglés) (CCPS & AIChE, 2019). Los análisis detallados incluyen, entre otros:

- Probabilidad de ocurrencia
- Periodos de retorno
- Salvaguardas
- Acciones de reducción del riesgo a implementar con base en los hallazgos
- Variables asociadas al nivel de severidad de sus consecuencias (ej. Zona de inundación, altura del agua, velocidad del viento, nivel de amenaza sísmica)

## 4.2 Identificación de equipos críticos y escenarios accidentales asociados

El segundo elemento del ciclo de gestión de riesgos Natech se refiere a la identificación de equipos de proceso o infraestructura críticos y los posibles escenarios accidentales asociados. Para ello, los formatos de recolección de información incluyen una casilla en donde se identifican los equipos de proceso e infraestructura crítica, como una primera aproximación. Sin embargo, para análisis más detallados, se requieren aproximaciones metodológicas estructuradas, semicuantitativas o cuantitativas, las cuales pueden presentar limitaciones relacionadas con la escasez de datos detallados que puedan respaldar el desarrollo de modos de falla y evaluaciones de riesgo más completas y realistas (Cruz & Suarez-Paba, 2019; Reniers et al., 2018).

## 4.3 Estimación del riesgo

El tercer elemento del ciclo de gestión de riesgo Natech hace referencia a la estimación del riesgo, la cual se fundamenta en las metodologías utilizadas comúnmente en el análisis y evaluación de riesgo tecnológico, considerando como causa raíz al evento de origen natural (Antonioni et al., 2007). En este sentido, las complejidades de los escenarios Natech exhortan porque se considere la interacción de diferentes parámetros en los análisis de riesgo. Estos parámetros incluyen el entorno físico, la organización, la sociedad y los factores sistémicos de un territorio propenso a amenazas de origen natural (Krausmann et al., 2017). Para la estimación del riesgo existen metodologías cualitativas, semicuantitativas y cuantitativas cuyo uso depende del tipo y calidad de la información disponible respecto a los equipos críticos, sustancias peligrosas, condiciones de operación, barreras implementadas, entre otros.



## 4.4 Adopción de medidas de reducción del riesgo Natech

Con base en los resultados de la estimación del riesgo, se deben proponer y adoptar medidas de reducción del riesgo de acuerdo con el fenómeno natural considerado, que se ajusten a las particularidades del territorio donde se ubica la instalación industrial y a las condiciones de operación de la misma. Además, para asegurar la efectividad de las estrategias de reducción de riesgo y dada la interconexión de parámetros previamente mencionada, todos los actores deben ser parte de su implementación, en aras de mejorar la resiliencia territorial.

Las medidas estructurales de prevención y mitigación han demostrado ser legítimas, sin embargo, estas deben complementarse con medidas organizacionales en todos los niveles, que involucren a todos los actores con el fin de garantizar una reducción efectiva de los riesgos asociados con los impactos de eventos de origen natural en instalaciones peligrosas (Krausmann et al., 2017). Lo anterior, aunado a un involucramiento activo por parte de los operadores industriales, en donde se establezca y promueva una cultura de seguridad corporativa, que se refleje en un sistema de gestión de la seguridad (OECD, 2003). Esto debe ir de la mano del monitoreo y revisión periódica del desempeño de seguridad de una instalación peligrosa, contemplando igualmente los riesgos asociados a los fenómenos naturales (OECD, 2015).

## 4.5 Desarrollo de planes de emergencia, recuperación, reconstrucción y continuidad de negocio

El manejo de escenarios Natech plantea el desarrollo de planes de emergencia enfocados explícitamente en escenarios Natech. Esto implica la consideración de la ocurrencia conjunta de un evento de origen natural y un accidente tecnológico, lo que representa un desafío para propender por una atención eficaz. Por su parte, la recuperación y reconstrucción posdesastre son aspectos fundamentales dentro del enfoque de gestión predeterminado, porque las pérdidas potenciales de un evento Natech, también dependen de la forma como se conciba este proceso (Zeng & Zio, 2017). Por lo tanto, al considerar dentro de las estrategias de gestión de riesgos Natech, tanto las interrupciones de instalaciones industriales debido a la ocurrencia de eventos de origen natural, como la recuperación y reconstrucción ante los impactos asociados, se puede fortalecer la continuidad del negocio luego de la ocurrencia de un evento de esta naturaleza.

Complementariamente, considerando que los eventos de origen natural pueden generar afectaciones en grandes áreas simultáneamente, la gestión de riesgo Natech requiere un abordaje bajo un enfoque integrado de gobernanza de riesgo, que contemple tanto la seguridad de las instalaciones individuales, como las posibles interacciones con otras instalaciones, líneas de suministro de servicios básicos y comunidades cercanas antes, durante y después de la materialización de un evento de origen natural (Krausmann et al., 2017). Es así como la gestión de riesgos Natech requiere que se incorporen parámetros tanto del entorno físico como factores organizacionales, sociales y sistémicos en el análisis de los riesgos (Cruz, 2012; Cruz et al., 2015). Por lo tanto, existe una necesidad imperativa de abordar la reducción del riesgo Natech desde un punto de vista territorial de gobernanza del riesgo, en donde se tenga un enfoque integral e integrado que involucre a todas las partes interesadas.

Es así como, para abordar el riesgo Natech de manera efectiva se requiere un cambio de paradigma, en el que el alcance de los análisis de riesgos vaya más allá de los límites físicos de las instalaciones industriales, y se consideren además, las implicaciones en todo el territorio potencialmente afectado, es decir, una perspectiva de área amplia (*area-wide*) (Suarez-Paba et al., 2020). Este enfoque está estrechamente relacionado con la resiliencia territorial y radica en la integración de cuatro componentes principales bajo un marco uniforme y cohesivo. En esencia, la integración e interacción de los elementos de la infraestructura, la organización empresarial y el entorno de la instalación industrial se consideran esenciales, junto con los elementos de comunicación de riesgo y gobernanza de riesgo, haciendo énfasis en los efectos sinérgicos del sistema en general (Suarez-Paba & Cruz, 2022).

## 5. GESTIÓN DE RIESGO NATECH PARA COLOMBIA

Para una aprehensión del ciclo de gestión de riesgo Natech, es importante hacer una correlación con los instrumentos normativos existentes en el país y con la terminología utilizada en el marco de la gestión del riesgo de desastres. Por lo tanto, se realiza una adaptación del ciclo de gestión de riesgo Natech previamente explicado a los procesos y subprocesos de la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD), tal como lo estipula la Ley 1523 de 2012, con el fin de proponer un enfoque integral para la gestión del riesgo Natech en Colombia. La Figura 12 muestra dicha propuesta.

Como se observa, se proponen nueve elementos que abordan los tres procesos de la GRD. En primer lugar el conocimiento del riesgo, se compone de 1) Identificación de escenarios de riesgo Natech, cuyos subcomponentes son a) La identificación de fenómenos amenazantes, procesos críticos y sus equipos y b) La determinación de escenarios accidentales asociados y efectos dominó; 2) Análisis y evaluación del riesgo Natech, compuesto por a) Causas y fuentes del riesgo, b) Daños y pérdidas potenciales y c) Determinación de los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades; 3) Monitoreo del riesgo Natech, que incluye a) La generación de datos e información sobre el comportamiento de los fenómenos amenazantes, la vulnerabilidad y la dinámica de las condiciones de riesgo, y finalmente 4) Gobernanza y comunicación del riesgo compuesta por a) Comunicación del riesgo continua entre partes interesadas (industria, gobierno, academia, comunidad, prestadores de servicios) y b) Divulgación/comunicación del riesgo para comunidades.

Por su parte, el proceso de reducción del riesgo Natech se enfoca en la adopción de medidas de diversa índole, ya sea de carácter físico, operacional u organizacional, entre otros. Este proceso se compone de 5) Intervención prospectiva del riesgo, que aborda a) Planificación sectorial, b) Ordenamiento territorial, c) Planificación ambiental sostenible y d) Regulación y especificaciones técnicas; 6) Intervención correctiva del riesgo, que se complementa con a) Medidas de mitigación y control y b) Lecciones aprendidas y finalmente contempla 7) Protección financiera ante eventos Natech que incluye a) Cultura de seguridad corporativa, b) Retención del riesgo y c) Transferencia del riesgo.

El manejo de desastres enfocado al contexto Natech, contempla dos subprocesos que incluyen 8) Preparación para la respuesta, el cual incluye a) Capacitación de primeros respondientes ante eventos Natech y b) Desarrollo de planes de emergencia; 9) Preparación para la recuperación, que se desglosa en a) Reconstrucción y b) Continuidad del negocio.

Es así como estos procesos y subprocesos de gestión de riesgo Natech permiten fortalecer los mecanismos de preparación, prevención y mitigación ante este tipo de riesgos, por lo que su aprehensión resulta muy importante para propender por territorios más resilientes.

# GESTIÓN DE RIESGO NATECH PARA COLOMBIA

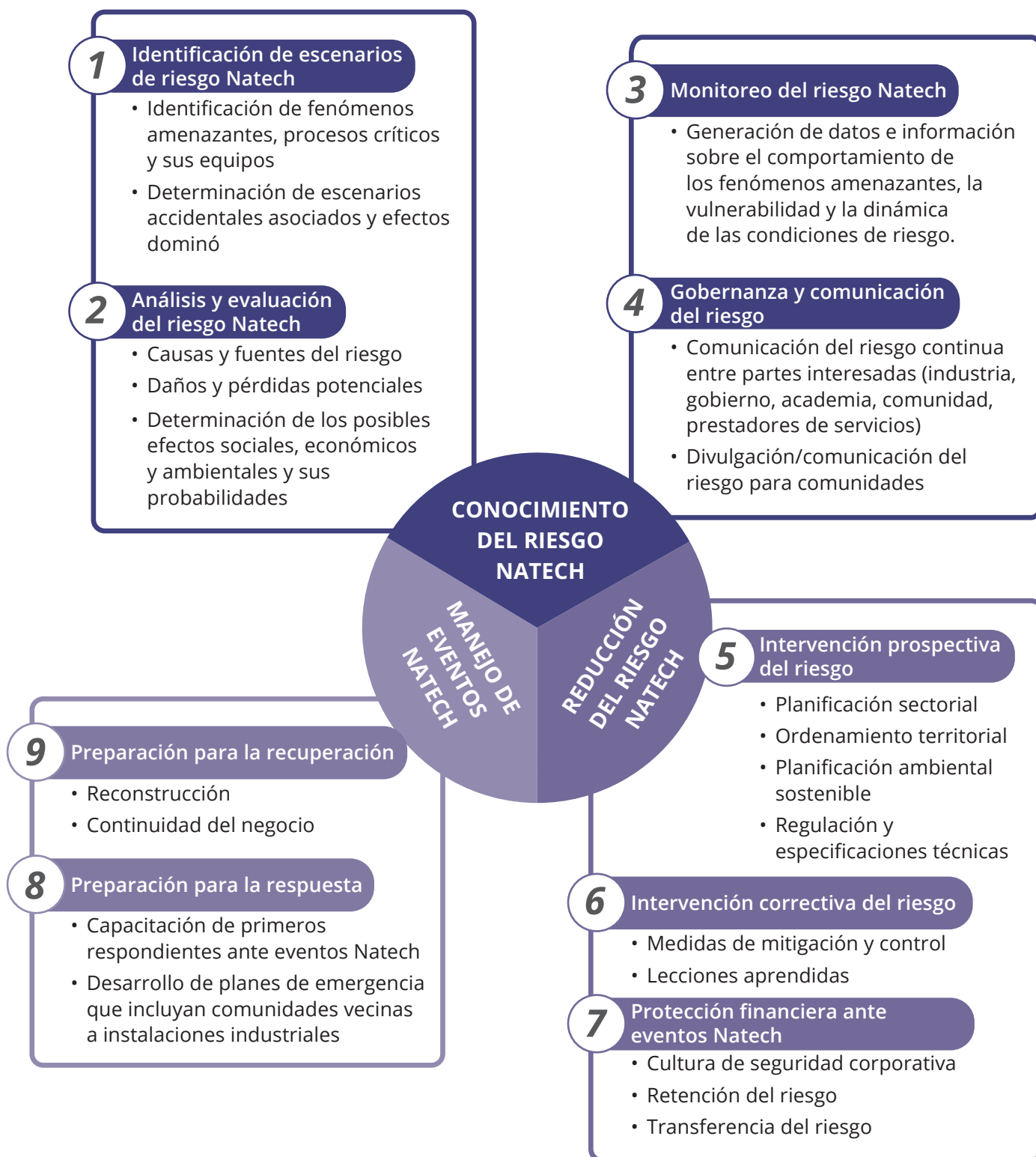


Figura 12. Gestión de riesgo Natech para Colombia

# GLOSARIO

**ACCIDENTE MAYOR** Todo acontecimiento repentino, como una emisión, un incendio o una explosión de gran magnitud, en el curso de una actividad en una instalación clasificada y que trascienda su perímetro, en el que estén implicadas una o varias sustancias químicas peligrosas y que exponga a los trabajadores, a la población, a los bienes, a la infraestructura o al ambiente a un peligro grave, inmediato o diferido. Un accidente mayor puede constituir un escenario de desastre, siempre y cuando cumpla con la generación de una afectación intensa, grave y extendida sobre las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad (MinTrabajo, 2021).

**ACCIDENTE TECNOLÓGICO** Eventos generados por el uso y acceso a la tecnología, originados por eventos antrópicos, naturales, socio-naturales y propios de la operación. Comprende fugas, derrames, incendios y explosiones asociados a la liberación súbita de sustancias y/o energías con características de peligrosidad (UNGRD, 2017). Usualmente, se suele asociar los accidentes tecnológicos exclusivamente con las instalaciones industriales o equipamientos de alta tecnología. No obstante, la experiencia de accidentabilidad, deja entrever muchos eventos en el sector residencial y a nivel de obras civiles (UNGRD, 2018b).

**ALMACENAMIENTO** Presencia de una cantidad determinada de una o varias sustancias químicas con fines de almacenaje, depósito en custodia o reserva (MinTrabajo, 2021).

**AMENAZA** Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (Ley 1523, 2012).

**AMENAZA NATURAL** Peligro latente asociado con la posible manifestación de un fenómeno físico cuya génesis se encuentra totalmente en los procesos naturales de transformación y modificación de la tierra y el ambiente- por ejemplo, un terremoto, una erupción volcánica, un tsunami o un huracán y que puede resultar en la muerte o lesiones a seres vivos, daños materiales o interrupción de la actividad social y económica en general. Suelen clasificarse de acuerdo con sus orígenes terrestres, atmosféricos, o biológicos (en el biosfera) permitiendo identificar entre otras, amenazas geológicas, geomorfológicas, climatológicas, hidrometeorológicas, oceánicas y bióticas (Lavell, 2007; UNGRD, 2017).

---

**AMENAZA SOCIO-NATURAL**

Peligro latente asociado con la probable ocurrencia de fenómenos físicos de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre cuya existencia, intensidad o recurrencia se relaciona con procesos de degradación o transformación ambiental y/o de intervención humana en los ecosistemas. Ejemplos de estos pueden encontrarse en inundaciones y deslizamientos resultantes de, o incrementados o influenciados en su intensidad, por procesos de deforestación y deterioro de cuencas; erosión costera por la destrucción de manglares; inundaciones urbanas por falta de adecuados sistemas de drenaje de aguas pluviales. Las amenazas socio-naturales se crean en la intersección del ambiente natural con la acción humana y representan un proceso de conversión de recursos naturales en amenazas. Los cambios en el ambiente y las nuevas amenazas que se generan con el Cambio Climático Global son el ejemplo más extremo de la noción de amenaza socio-natural. Las amenazas socio-naturales mimetizan o asumen las mismas características que diversas amenazas naturales (Lavell, 2007; UNGRD, 2017).

---

**AMENAZA TECNOLÓGICA**

Amenaza relacionada con accidentes tecnológicos o industriales, procedimientos peligrosos, fallos de infraestructura o de ciertas actividades humanas, que pueden causar muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental. Algunas veces llamadas amenazas antropogénicas. Ejemplos incluyen contaminación industrial, descargas nucleares y radioactividad, desechos tóxicos, ruptura de presas, explosiones e incendios (Lavell, 2007; UNGRD, 2017).

---

**BARRERAS DE SEGURIDAD**

Son medios tanto físicos como no físicos que son planeados para prevenir, controlar o mitigar eventos no deseados o accidentes. Pueden ser clasificados de acuerdo con varios criterios: i) sistemas de barrera pasivos o activos, ii) barreras físicas, técnicas, o sistemas de protección humanos/operacional. Su desempeño se caracteriza de acuerdo a atributos tales como su funcionalidad/eficacia, fiabilidad/disponibilidad, tiempo de respuesta y robustez (Muñoz Giraldo et al., 2015).

---

**ELEMENTOS EXPUESTOS**

Se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza (Ley 1523, 2012).

---

**ESCENARIO ACCIDENTAL**

Secuencia de eventos que conducen a consecuencias adversas (Krausmann et al., 2017).

---

**ESCENARIOS DE ACCIDENTE MAYOR**

Secuencia de eventos que describe un accidente mayor y sus potenciales efectos en personas, medio ambiente e infraestructura, que toma en cuenta el éxito y el fracaso de las barreras de prevención y mitigación implementadas (escenarios de alta consecuencia que incluyen a los escenarios con potencialidad de desastre) (MinTrabajo, 2021).

<b>EVENTO</b>	Es un fenómeno - natural, socio-natural o tecnológico - que actúa como el detonante de los efectos adversos sobre las vidas humanas, la salud y/o la infraestructura económica y social y ambiental de un territorio (UNGRD, 2017)
<b>EVENTO EN CASCADA</b>	Cadena de eventos en la que un evento primario desencadena un evento secundario, que a su vez puede causar un evento terciario, etc. Durante los accidentes Natech, el riesgo de eventos en cascada es generalmente mayor que durante los accidentes tecnológicos convencionales (Krausmann et al., 2017).
<b>EVENTOS NATECH</b>	Los eventos de origen natural (terremotos, tsunamis, inundaciones, etc.) pueden desencadenar emergencias tecnológicas (incendios, fugas de materiales, explosiones, etc.), estos eventos se llaman eventos Natech por sus siglas en inglés Natural Hazard Tiggering Technological Disasters. Las consecuencias de estos eventos son mucho más graves para las personas, el medio ambiente y la infraestructura, que las ocasionadas por un evento tecnológico o un evento natural (por separado) (UNGRD, 2018b).
<b>FALLA</b>	El final de la habilidad de una entidad (p.ej. equipo, sistema, infraestructura, etc.) para desarrollar una función requerida (Muñoz Giraldo et al., 2015).
<b>INSTALACIÓN</b>	Es una unidad técnica a nivel de suelo o bajo tierra, en la que se producen, utilizan, manipulan o almacenan sustancias peligrosas; incluye todos los equipos, estructuras, tuberías, maquinaria, herramientas, ramales ferroviarios particulares, muelles de carga o descarga para uso de la instalación, depósitos o estructuras similares, estén a flote o no, necesarios para el funcionamiento de esa instalación (MinTrabajo, 2021).
<b>LECCIÓN APRENDIDA</b>	Conocimiento obtenido de la investigación, el estudio u otras actividades con respecto a los factores técnicos, conductuales, culturales, de gestión u otros, que condujeron, pudieron haber conducido o contribuyeron a que ocurriera un accidente o un desastre (Krausmann et al., 2017).
<b>MEDIDA ESTRUCTURAL</b>	Cualquier construcción física para reducir o evitar los posibles impactos de las amenazas, o la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr resistencia a las amenazas y resiliencia en estructuras o sistemas (Krausmann et al., 2017).
<b>MEDIDA ORGANIZACIONAL</b>	Cualquier medida que no involucre la construcción física que utilice el conocimiento, la práctica o el acuerdo para reducir riesgos e impactos, en particular a través de políticas y leyes, sensibilización, capacitación y educación (Krausmann et al., 2017).

<b>MITIGACIÓN</b>	Acciones o medidas tomadas para reducir el impacto de las liberaciones de materiales peligrosos si ocurren (Krausmann et al., 2017).
<b>MITIGACIÓN DEL RIESGO</b>	Medidas de intervención prescriptiva o correctiva dirigidas a reducir o disminuir los daños y pérdidas que se puedan presentar a través de reglamentos de seguridad y proyectos de inversión pública o privada cuyo objetivo es reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad existente (Ley 1523, 2012).
<b>NATECH</b>	Accidente tecnológico que involucra la liberación de materiales peligrosos causados por una amenaza natural. Las emisiones pueden ser de naturaleza química, biológica o radiológica (Krausmann et al., 2017).
<b>PELIGRO</b>	Es una propiedad intrínseca de una sustancia, unidad o proceso, la cual acarrea riesgo potencial a las personas, medio ambiente, el proceso productivo, la comunidad e infraestructura (Muñoz Giraldo et al., 2015).
<b>PREPARACIÓN</b>	Es el conjunto de acciones principalmente de coordinación, sistemas de alerta, capacitación, equipamiento, centros de reserva y albergues y entrenamiento, con el propósito de optimizar la ejecución de los diferentes servicios básicos de respuesta, como accesibilidad y transporte, telecomunicaciones, evaluación de daños y análisis de necesidades, salud y saneamiento básico, búsqueda y rescate, extinción de incendios y manejo de materiales peligrosos, albergues y alimentación, servicios públicos, seguridad y convivencia, aspectos financieros y legales, información pública y el manejo general de la respuesta, entre otros (Ley 1523, 2012).
<b>PREVENCIÓN DE RIESGO</b>	Medidas y acciones de intervención restrictiva o prospectiva dispuestas con anticipación con el fin de evitar que se genere riesgo. Puede enfocarse a evitar o neutralizar la amenaza o la exposición y la vulnerabilidad ante la misma en forma definitiva para impedir que se genere nuevo riesgo. Los instrumentos esenciales de la prevención son aquellos previstos en la planificación, la inversión pública y el ordenamiento ambiental territorial, que tienen como objetivo reglamentar el uso y la ocupación del suelo de forma segura y sostenible (Ley 1523, 2012).
<b>PREVENCIÓN (EN RIESGO TECNOLÓGICO Y NATECH)</b>	Acciones o medidas tomadas para reducir la probabilidad de daño y ocurrencia de una liberación de materiales peligrosos (Krausmann et al., 2017).
<b>PROBABILIDAD</b>	Medida de la probabilidad de un evento aleatorio expresado como un número entre 0 y 1 (Krausmann et al., 2017).



---

**PROCESO** Cualquier actividad que involucre el uso, almacenamiento, transformación, manejo y el transporte de sustancias peligrosas, o una combinación de estas (Muñoz Giraldo et al., 2015).

---

**RIESGO DE DESASTRES** Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad (Ley 1523, 2012).

---

**RIESGO TECNOLÓGICO** Daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos generados por el uso y acceso a la tecnología, originados en sucesos antrópicos, naturales, socio-naturales y propios de la operación (UNGRD, 2013).

---

**SUSTANCIA/MATERIAL PELIGROSO** Un elemento, compuesto, mezcla o proporción, que, en virtud de sus propiedades químicas o físicas, representa algún tipo de peligro físico, tóxico o (eco) tóxico. También se incluyen sustancias que normalmente no son consideradas peligrosas, pero que bajo ciertas condiciones reaccionan con otras sustancias (p.ej. reacciones fuera de control) o bajo ciertas condiciones de operación (presión y temperatura), corresponden con sustancias peligrosas (Muñoz Giraldo et al., 2015).

---

**VULNERABILIDAD** Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos (Ley 1523, 2012).

---

# SIGLAS

- ANH** Agencia Nacional de Hidrocarburos.
- ANLA** Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.
- ANM** Agencia Nacional de Minería.
- CCS** Consejo Colombiano de Seguridad.
- CISPROQUIM** Centro de Información de Seguridad sobre Productos Químicos.
- DANE** Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- EMDAT** Base de datos de eventos de emergencia.
- GRD** Gestión del Riesgo de Desastres.
- IDEAM** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- NATECH** Accidente tecnológico que involucra la liberación de materiales peligrosos causados por una amenaza natural.
- OCDE** Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.
- TRAS** Normas Técnicas de Seguridad en la Instalación.
- UNGRD** Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.

# REFERENCIAS

- AMVA. (2019). *Experiencia del Área Metropolitana del Valle de Aburrá en gestión del riesgo y cambio climático*. Retrieved 7/10 from [https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Encuentro\\_nacional\\_experiencias\\_GR\\_y\\_ACC/4\\_PRESENTACION AREA METROPOLITANA NOV6.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Encuentro_nacional_experiencias_GR_y_ACC/4_PRESENTACION AREA METROPOLITANA NOV6.pdf)
- ANH. (2021). *La cadena del sector hidrocarburos*. <https://www.anh.gov.co/porta regionalizacion/Paginas/LA-CADENA-DEL-SECTOR-HIDROCARBUROS.aspx>
- ANM. (2021). *Emergencias Mineras*. [https://www.anm.gov.co/?q=emergencias\\_mineras](https://www.anm.gov.co/?q=emergencias_mineras)
- Antonioni, G., Spadoni, G., & Cozzani, V. (2007). A methodology for the quantitative risk assessment of major accidents triggered by seismic events. *Journal of Hazardous Materials*, 147(1), 48-59. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.12.043>
- Araki, Y., Hokugo, A., Pinheiro, A. T. K., Ohtsu, N., & Cruz, A. M. (2021). Explosion at an aluminum factory caused by the July 2018 Japan floods: Investigation of damages and evacuation activities. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 69, 104352. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104352>
- Barrows, J. (1951). Fire behavior in Northern Rocky Mountain forests. In *Northern Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station* (Vol. Station Paper 29). Missoula, MT: USDA Forest Service.
- BID, & CEPAL. (2012). *Valoración de daños y pérdidas: Ola invernal en Colombia 2010-2011*.
- BLU Radio Santander. (2021a, 2021-08-03). *Por explosión de gasoducto, 17.000 habitantes de Toledo, Norte de Santander, están sin gas* <https://www.bluradio.com/blu360/santanderes/por-explosion-de-gasoducto-17-000-habitantes-de-toledo-norte-de-santander-estan-sin-gas>
- BLU Radio Santander. (2021b, 2021-08-03). *Tres personas heridas por explosión de gasoducto en Norte de Santander tras deslizamiento de tierra* <https://www.bluradio.com/blu360/santanderes/tres-personas-heridas-por-explosion-de-gasoducto-en-norte-de-santander-tras-deslizamiento-de-tierra>
- Campedel, M. (2008). *Analysis of Major Industrial Accidents Triggered by Natural Events Reported In the Principal Available Chemical Accident Databases* (ISSN 1018-5593). O. f. O. P. o. t. E. Communities.
- CCPS, & AIChE. (2019). *CCPS Monograph: Assessment of and planning for natural hazards* (3rd ed.)
- CCS. (2019). *Emergencias CISPROQUIM*. Retrieved 05-04 from <https://ccs.org.co/cisproquim-2019/>
- CEPAL, & PNUD. (1999). *EL TERREMOTO DE ENERO DE 1999 EN COLOMBIA: Impacto socioeconómico del desastre en la zona del Eje Cafetero*. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/25388/S9900662\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/25388/S9900662_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Comunidad, A., & Corporación, O. (2009). *Atlas de las Dinámicas del Territorio Andino: Población y bienes expuestos a amenazas naturales* (978-958-99179-0-9).
- Correa, I., & Morton, R. (2010). Pacific Coast of Colombia. In E. C. F. Bird (Ed.), *Encyclopedia of the World's Coastal Landforms* (pp. 193-198). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8639-7\\_29](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8639-7_29)
- Cruz, A. M. (2012). Challenges in Natech Risk Reduction. *Revista de Ingeniería*(37), 79-86. <https://doi.org/https://doi.org/10.16924/revinge.37.12>
- Cruz, A. M., Kajitani, Y., & Tatano, H. (2015). Natech Disaster Risk Reduction: Can Integrated Risk Governance Help? In U. Fra. Paleo (Ed.), *Risk Governance: The Articulation of Hazard, Politics and Ecology* (pp. 441-462). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-9328-5\\_23](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9328-5_23)
- Cruz, A. M., & Krausmann, E. (2008). Damage to offshore oil and gas facilities following hurricanes Katrina and Rita: An overview [Article]. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 21(6), 620-626. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2008.04.008>
- Cruz, A. M., & Krausmann, E. (2009). Hazardous-materials releases from offshore oil and gas facilities and emergency response following Hurricanes Katrina and Rita *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22, 59-65.

- Cruz, A. M., Krausmann, E., & Franchello, G. (2011). Analysis of tsunami impact scenarios at an oil refinery. *Natural Hazards*, 58(1), 141-162. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9655-x>
- Cruz, A. M., Steinberg, L. J., Vetere Arellano, A. L., Nordvik, J.-P., & Pisano, F. (2004). *State of the Art in Natech Risk Management*.
- Cruz, A. M., & Suarez-Paba, M. C. (2019). Advances in Natech research: An overview. *Progress in Disaster Science*, 1, 100013. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2019.100013>
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2021, 2022). *Observatorio Cámara de Comercio de Bogotá Sector Industria*. <https://www.ccb.org.co/observatorio/Analisis-Economico/Analisis-Economico/Crecimiento-economico/Sector-Industria-Variacion-porcentual-de-la-produccion-real-para-Colombia-y-Bogota>
- DNP. (2018). *Índice Municipal de Riesgo de Desastre de Colombia*.
- Donato, V. N., & Haedo, C. (2019). Atlas de la geografía industrial de Colombia: especialización sectorial, concentración y competitividad territorial de la industria manufacturera colombiana In (1era ed.). Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundación Observatorio Pyme; Fundación EU-LAC: Hamburgo, Alemania.
- EMDAT. (2019). *EM-DAT: The Emergency Events Database* EM-DAT: The Emergency Events Database.
- eNatech. (2021). *eNatech: Natural hazard-triggered technological accidents database*. European Commission Joint Research Centre. <http://enatech.jrc.ec.europa.eu/>
- Gill, N. (2013). PetroEcuador Says Biggest Oil Pipeline Cut by Amazon Landslide. *Bloomberg*. <https://enatech.jrc.ec.europa.eu/download/attachment/130>
- Girgin, S., & Krausmann, E. (2014). *Analysis of pipeline accidents induced by natural hazards: Final report*. E. Commission.
- Herd, D. G., Youd, T. L., Meyer, H., C, J. L. A., Person, W. J., & Mendoza, C. (1981). The Great Tumaco, Colombia Earthquake of 12 December 1979 [10.1126/science.211.4481.441]. *Science*, 211(4481), 441.
- IDEAM. (2021). *Mapas de inundación de Colombia*. <http://www.siac.gov.co/inundaciones>
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA. (2017). *Análisis de vulnerabilidad y riesgo por cambio climático en Colombia*. (Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. , Issue.
- IDIGER. (2021). *Riesgo por Movimientos en Masa - Idiger*. Retrieved Agosto 12 from <https://www.idiger.gov.co/rmovmasa>
- JRC. (2021). *Trans-Ecuadorian Oil Pipeline*. Retrieved 19/10 from <https://enatech.jrc.ec.europa.eu/view/natech/48>
- Kern, H., & Krausmann, E. (2020). *Wildfires triggered Natech events: A structural analysis of Natech hazards in the context of the emerging wildfire threat in Europe* (JRC121315). P. O. o. t. E. Union.
- Khoirunissa Ariyanta, D., Khairunisa Jaelani, M., Suarez-Paba, M. C., & Cruz, A. M. (2019). NATECH: The Silent and Potentially Deadly Threat in ASEAN. In *ASEAN Risk Monitor and Disaster Management Review (ARMOR)* (1st ed., pp. 96-110). ASEAN Coordinating Centre for Humanitarian Assistance on disaster management (AHA Centre).
- Kiyohara, K. (2016). *Incidence of Accidents Involving High Pressure Gases in Japan: Causes, Trends, and Recommended Countermeasures* Kyoto University]. Kyoto.
- Krausmann, E., & Cruz, A. M. (2013). Impact of the 11 March 2011, Great East Japan earthquake and tsunami on the chemical industry. *Natural Hazards*, 67, 811–828.
- Krausmann, E., Cruz, A. M., & Affeltranger, B. (2010). The impact of the 12 May 2008 Wenchuan earthquake on industrial facilities. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 23(2), 242-248. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2009.10.004>
- Krausmann, E., Cruz, A. M., & Salzano, E. (2017). *Natech Risk Assessment and Management: Reducing the Risk of Natural-Hazard Impact on Hazardous Installations*. Elsevier.
- Krausmann, E., Renzi, E., Campedel, M., & Cozzani, V. (2011). Industrial accidents triggered by earthquakes,



- Ramírez Gil, J. (2019, Jun 12). *Movimiento en masa pone en riesgo poliducto y gasoducto en Copacabana*. RCN Radio. <https://www.rcnradio.com/colombia/antioquia/movimiento-en-masa-pone-en-riesgo-poliducto-y-gasoducto-en-copacabana>
- Rasmussen, K. (1995). Natural events and accidents with hazardous materials. *Journal of Hazardous Materials*, 40(1), 43-54. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-3894\(94\)00079-V](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-3894(94)00079-V)
- RCNRadio. (2017, 29 Marzo). *Rayo provocó incendio en almacén de telas y supermercado en Girardot* | RCN Radio. <https://www.rcnradio.com/colombia/rayo-provoco-incendio-en-almacen-de-telas-y-supermercado-en-girardot>
- Reniers, G., Khakzad, N., Cozzani, V., & Khan, F. (2018). The impact of nature on chemical industrial facilities: Dealing with challenges for creating resilient chemical industrial parks. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 56, 378-385. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.09.010>
- Ricci, F., Casson Moreno, V., & Cozzani, V. (2021). A comprehensive analysis of the occurrence of Natech events in the process industry. *Process Safety and Environmental Protection*, 147, 703-713. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.12.031>
- Sengul, H., Santella, N., Steinberg, L., & Cruz, A. (2012). Analysis of hazardous material releases due to natural hazards in the United States. *Disasters*, 36, 723-743. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7717.2012.01272.x>
- SGC. (2017). *Las amenazas por movimientos en masa de Colombia, una visión a escala 1:100.000*. <https://doi.org/https://doi.org/10.32685/9789589952887>
- SGC. (2021a). *Grandes sismos de Colombia con intensidades mayores o iguales a 8 en Escala EMS-98*. Retrieved 09/09 from [http://sish.sgc.gov.co/visor/sesionServlet?metodo=irATablaCompleta&opciones=MAPA\\_ACTUAL GRANDES](http://sish.sgc.gov.co/visor/sesionServlet?metodo=irATablaCompleta&opciones=MAPA_ACTUAL GRANDES)
- SGC. (2021b). *Sismo de 1979/12/12*. Retrieved 07/10 from <http://sish.sgc.gov.co/visor/sesionServlet?metodo=irAlfoDetallada&idSismo=61>
- SGC. (2021c). *Sismo de 1999/01/25*. Retrieved 07/10 from <http://sish.sgc.gov.co/visor/sesionServlet?metodo=irAlfoDetallada&idSismo=62#>
- Showalter, P. S., & Myers, M. F. (1994). Natural Disasters in the United States as Release Agents of Oil, Chemicals, or Radiological Materials Between 1980-1989: Analysis and Recommendations. *Risk Analysis*, 14(2), 169-182. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1994.tb00042.x>
- Suarez-Paba, M. C., & Cruz, A. M. (2022). A paradigm shift in Natech risk management: Development of a rating system framework for evaluating the performance of industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 74, 104615. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104615>
- Suarez-Paba, M. C., Tzioutzios, D., Cruz, A. M., & Krausmann, E. (2020). Toward Natech Resilient Industries. In M. Yokomatsu & S. Hochrainer-Stigler (Eds.), *Disaster Risk Reduction and Resilience* (pp. 45-64). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-4320-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-15-4320-3_4)
- UNDRR-APSTAAG. (2020). Asia-Pacific Regional Framework for Natech Risk Management. In: United Nations Office for Disaster Risk Reduction-Asia-Pacific Science, Technology and Academia Advisory Group. Resolución 1770, (2013).
- UNGRD. (2017). Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes. In.
- UNGRD. (2018a). *Atlas de Riesgo de Colombia: revelando los desastres latentes*. Bogota Retrieved from <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/27179>
- UNGRD. (2018b). *Lo que usted debe saber sobre riesgo tecnológico*
- UNGRD. (2019). Caracterización de escenarios de riesgo por incendios de la cobertura vegetal. In.
- UNGRD. (2020). La prevención es de todos: Ciclones tropicales. In. Bogotá, Colombia.
- UNGRD. (2021a). Ciclones Tropicales. In.
- UNGRD. (2021b). *¿Cuál es el riesgo por inundaciones en Colombia?* <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/>

[Paginas/Noticias/2020/Cual-es-el-riesgo-por-inundaciones-en-Colombia.aspx](#)

UNGRD. (2021c). *El riesgo tecnológico es real*.

UNGRD. (2021d). Lo que usted debe saber sobre deslizamientos. In. Bogotá, Colombia.

UNGRD. (2021e). *Riesgo por movimientos en masa en Colombia*. Retrieved Agosto 12 from <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Riesgo-por-movimientos-en-masa-en-Colombia.aspx>

UNISDR Sendai Framework for Disaster Risk Reduction, (2015).

Voight, B. (1990). The 1985 Nevado del Ruiz volcano catastrophe: anatomy and retrospection. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 42(1), 151-188. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0377-0273\(90\)90075-Q](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0377-0273(90)90075-Q)

Wallemacq, P., & House, R. (2018). *Economic Losses, Poverty & Disasters 1998-2017*. <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/61119>

Watts, J. (2013). Ecuadorean Amazon oil slick heads towards Peru. *The Guardian*. <https://enatech.jrc.ec.europa.eu/download/attachment/131>

Wuebbles, D. J. (2016). Setting the Stage for Risk Management: Severe Weather Under a Changing Climate. In P. Gardoni, C. Murphy, & A. Rowell (Eds.), *Risk Analysis of Natural Hazards: Interdisciplinary Challenges and Integrated Solutions* (pp. 61-80). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-22126-7\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22126-7_5)

Zeng, Z., & Zio, E. (2017). An integrated modeling framework for quantitative business continuity assessment. *Process Safety and Environmental Protection*, 106, 76-88. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.12.002>

## ANEXO A: AMENAZAS DE ORIGEN NATURAL EN EL TERRITORIO COLOMBIANO ASOCIADAS A LOS EVENTOS NATECH DE INTERÉS

**Tabla 13.** Grandes sismos de Colombia con intensidades mayores o iguales a 8 en Escala EMS-98.

Fuente: (SGC, 2021a)

No.	Fecha	Magnitud (Mw)	Profundidad (Km)	Intensidad máxima EMS-98	Área epicentral
1	1906/01/31	8.8	20	10	Costa Pacífica, Pacífico
2	1917/08/31	6.7	15	9	Villavicencio, Meta
3	1923/12/14	6.2	10	9	Cumbal, Nariño
4	1923/12/22	5.9	15	8	Medina, Cundinamarca
5	1926/12/18	6	10	8	Cumbal, Nariño
6	1928/11/01	5.9	15	8	Chinavita, Boyacá
7	1933/02/10	5.7	10	8	Linares, Nariño
8	1935/08/07	6.1	10	8	Tangua, Nariño
9	1935/09/17	6.1	15	8	Pueblo Rico, Risaralda
10	1935/10/26	5.9	10	8	Imués, Nariño
11	1936/07/17	6.3	10	8	Túquerres, Nariño
12	1938/02/04	7 MS	150	8	Eje Cafetero, Colombia
13	1942/12/26	6.2	15	8	Santa Cruz de Lorica, Córdoba
14	1947/07/14	6	10	8	San Juan de Pasto, Nariño
15	1950/07/08	6.2	10	9	Arboledas, Norte de Santander
16	1953/12/22	5.8	10	8	Guaitarilla, Nariño
17	1958/01/19	7.6	27.5	8	Esmeraldas, Esmeraldas-Ecuador
18	1961/12/20	6.8 MS	163	8	Eje Cafetero, Colombia
19	1962/07/30	6.5	64	8	Eje Cafetero, Colombia
20	1967/02/09	7	55	10	Colombia, Huila
21	1967/07/29	6.8	161	8	Betulia, Santander
22	1970/09/26	6.6	15	8	Bahía Solano (Ciudad Mutis), Chocó
23	1973/08/30	6.3	180	8	Convención, Norte de Santander
24	1974/07/12	7.1	10	8	Costa Pacífica, Pacífico
25	1976/04/09	6.6	17.4	8	Esmeraldas, Esmeraldas-Ecuador
26	1976/07/11	7.3	17.5	8	Darién, Darién-Panamá
27	1979/11/23	7.2	110	8	Eje Cafetero, Colombia



28	1979/12/12	8.1	23.6	10	Costa Pacífica, Pacífico
29	1981/10/17	5.9	30	8	Cúcuta, Norte de Santander
30	1983/03/31	5.6	15	9	Popayán, Cauca
31	1991/11/19	7.2	20	8	Costa Pacífica, Pacífico
32	1992/10/18	7.1	10	10	Murindó, Antioquia
33	1993/07/21	6	20	8	Puerto Rondón, Arauca
34	1994/06/06	6.8	10	8	Páez (Belalcázar), Cauca
35	1995/01/19	6.5	15	8	Tauramena, Casanare
36	1995/02/08	6.4	71	8	Calima (Darién), Valle del Cauca
37	1999/01/25	6.1	15	9	Armenia, Quindío
38	2004/11/15	7.2	15	8	Bajo Baudó (Pizarro), Chocó
39	2008/05/24	5.9	10	8	Quetame, Cundinamarca

## ANEXO B: CONCENTRACIÓN INDUSTRIAL EN COLOMBIA

**Tabla 14.** Municipios de Colombia con índice de industrialización alto y medio. Fuente: (Donato & Haedo, 2019)

No.	Municipio	Departamento	Cantidad de empresas industriales	Cantidad de ocupados	Cantidad de ocupados industriales	Nivel de industrialización (%)	Categorías índice industrialización
1	Envigado	Antioquia	1,327	120,395	50,904	42.3	Alta
2	Yumbo	Valle del Cauca	700	60,691	18,187	30	Alta
3	Itagüí	Antioquia	2,125	102,366	22,376	21.9	Alta
4	Sabaneta	Antioquia	536	42,952	12,170	28.3	Alta
5	La Estrella	Antioquia	467	26,009	8,713	33.5	Alta
6	Palmira	Valle del Cauca	1,353	68,608	13,098	19.1	Alta
7	Copacabana	Antioquia	319	14,573	5,599	38.4	Alta
8	Cota	Cundinamarca	317	41,755	8,457	20.3	Alta
9	Funza	Cundinamarca	530	26,159	6,503	24.9	Alta
10	Caloto*	Cauca	39	4,821	3,330	69.1	Alta
11	Cajicá	Cundinamarca	435	22,013	5,770	26.2	Alta
12	Dosquebradas	Risaralda	1,247	43,677	7,807	17.9	Alta
13	Girardota	Antioquia	139	9,364	3,643	38.9	Alta
14	Candelaria	Valle del Cauca	296	12,028	3,781	31.4	Alta
15	Mosquera	Cundinamarca	659	27,954	5,316	19	Alta
16	Sibaté	Cundinamarca	113	6,068	2,731	45	Alta
17	Soacha	Cundinamarca	2,530	58,307	7,617	13.1	Alta
18	Tocancipá	Cundinamarca	209	20,135	4,200	20.9	Alta
19	Santander de Quilichao*	Cauca	308	12,860	3,291	25.6	Alta
20	Tenjo	Cundinamarca	124	10,848	2,779	25.6	Alta
21	Galapa	Atlántico	147	4,413	1,457	33	Alta
22	Puerto Tejada	Cauca	113	4,951	1,504	30.4	Alta
23	Girón	Santander	1,119	31,307	3,682	11.8	Alta
24	Cogua	Cundinamarca	85	3,599	1,188	33	Alta
25	Madrid	Cundinamarca	362	16,523	2,420	14.6	Alta
26	Donmatías	Antioquia	436	5,095	1,252	24.6	Alta
27	Marinilla	Antioquia	227	8,079	1,524	18.9	Alta
28	Amagá	Antioquia	52	4,605	1,105	24	Alta
29	Cali	Valle del Cauca	15,540	876,184	62,946	7.2	Media
30	El Santuario	Antioquia	183	4,692	1,025	21.8	Alta
31	Manizales	Caldas	1,878	136,175	10,627	7.8	Alta
32	Guarne	Antioquia	157	6,601	1,134	17.2	Alta

No.	Municipio	Departamento	Cantidad de empresas industriales	Cantidad de ocupados	Cantidad de ocupados industriales	Nivel de industrialización (%)	Categorías índice industrialización
33	Riofrío	Valle del Cauca	13	2,053	655	31.9	Alta
34	Sogamoso	Boyacá	770	28,372	2,729	9.6	Alta
35	Chía	Cundinamarca	971	57,379	4,734	8.3	Alta
36	Caldas	Antioquia	299	11,543	1,379	11.9	Alta
37	Bello	Antioquia	1,429	60,072	4,906	8.2	Alta
38	Malambo	Atlántico	279	9,040	1,122	12.4	Alta
39	Tuluá	Valle del Cauca	1,047	46,807	3,854	8.2	Alta
40	Nobsa	Boyacá	148	2,764	556	20.1	Alta
41	Gachancipá	Cundinamarca	65	2,986	550	18.4	Alta
42	Guadalajara de Buga	Valle del Cauca	535	25,711	2,254	8.8	Alta
43	La Tebaida	Quindío	81	2,201	453	20.6	Alta
44	Rionegro	Antioquia	573	43,172	3,477	8.1	Alta
45	Florida*	Valle del Cauca	152	7,491	886	11.8	Alta
46	Ciénaga de Oro	Córdoba	40	2,397	457	19.1	Alta
47	Santa Rosa de Osos	Antioquia	113	5,104	683	13.4	Alta
48	Villamaría	Caldas	187	6,827	802	11.7	Alta
49	Santa Fé de Antioquia	Antioquia	48	3,397	511	15	Alta
50	Piedecuesta	Santander	832	25,400	2,088	8.2	Alta
51	Villa Rica	Cauca	40	2,017	354	17.6	Alta
52	Agua de Dios	Cundinamarca	48	2,773	412	14.9	Alta
53	Granada	Cundinamarca	28	582	190	32.6	Alta
54	Sopó	Cundinamarca	163	9,734	933	9.6	Alta
55	Fúquene	Cundinamarca	11	522	178	34.1	Alta
56	Ginebra	Valle del Cauca	52	1,652	291	17.6	Alta
57	Guacarí	Valle del Cauca	61	2,771	382	13.8	Alta
58	Nemocón	Cundinamarca	73	1,297	228	17.6	Alta
59	Vélez	Santander	145	2,140	294	13.7	Alta
60	Sotaquirá	Boyacá	12	433	126	29.1	Alta
61	Orocué	Casanare	35	1,133	181	16	Alta
62	El Cerrito	Valle del Cauca	186	6,193	559	9	Alta
63	Pesca	Boyacá	9	509	117	23	Alta
64	Ciénega	Boyacá	7	246	85	34.6	Alta
65	Villapinzón	Cundinamarca	92	1,256	172	13.7	Alta
66	Chinchiná	Caldas	142	7,705	638	8.3	Alta
67	San Cayetano	Norte de Santander	11	499	98	19.6	Alta

No.	Municipio	Departamento	Cantidad de empresas industriales	Cantidad de ocupados	Cantidad de ocupados industriales	Nivel de industrialización (%)	Categorías índice industrialización
68	Purificación	Tolima	49	2,322	238	10.2	Alta
69	Soracá	Boyacá	13	326	72	22.1	Alta
70	El Zulia	Norte de Santander	105	1,392	162	11.6	Alta
71	Yotoco	Valle del Cauca	40	1,206	143	11.9	Alta
72	Aracataca*	Magdalena	39	1,987	200	10.1	Alta
73	Firavitoba	Boyacá	12	420	73	17.4	Alta
74	Ricaurte	Cundinamarca	28	1,486	157	10.6	Alta
75	Santuario	Risaralda	24	1,338	138	10.3	Alta
76	San Vicente del Caguan*	Caquetá	115	2,559	227	8.9	Alta
77	Hobo	Huila	62	578	78	13.5	Alta
78	Balboa	Risaralda	4	297	47	15.8	Alta
79	Zipaquirá	Cundinamarca	1,086	26,528	1,905	7.2	Media
80	Palermo	Huila	70	3,208	260	8.1	Alta
81	Pensilvania	Caldas	35	1,017	101	9.9	Alta
82	Riosucio*	Chocó	15	383	52	13.6	Alta
83	San Pedro de los Milagros	Antioquia	66	2,978	239	8	Alta
84	Oicatá	Boyacá	8	218	35	16.1	Alta
85	Tolú Viejo*	Sucre	15	757	77	10.2	Alta
86	Ventaquemada	Boyacá	32	821	80	9.7	Alta
87	Puerto Rico*	Meta	16	798	78	9.8	Alta
88	Becerril*	Cesar	20	1,034	95	9.2	Alta
89	Chocontá	Cundinamarca	82	1,977	158	8	Alta
90	Viterbo	Caldas	38	1,102	95	8.6	Alta
91	Ambalema	Tolima	17	371	41	11.1	Alta
92	Monguí	Boyacá	30	242	30	12.4	Alta
93	Sáchica	Boyacá	8	258	31	12	Alta
94	Guavatá	Santander	8	161	23	14.3	Alta
95	San Franciso	Cundinamarca	34	688	62	9	Alta
96	Guatapé	Antioquia	24	1,126	89	7.9	Alta
97	Lejanías	Meta	30	318	30	9.4	Alta
98	Tausa	Cundinamarca	9	602	50	8.3	Alta
99	Albania*	Caquetá	9	270	26	9.6	Alta
100	Granada	Meta	513	7,442	532	7.1	Media
101	Santa Bárbara	Antioquia	52	1,147	87	7.6	Media
102	Belén	Nariño	58	299	26	8.7	Alta

No.	Municipio	Departamento	Cantidad de empresas industriales	Cantidad de ocupados	Cantidad de ocupados industriales	Nivel de industrialización (%)	Categorías índice industrialización
103	Peñol	Antioquia	37	1,593	117	7.3	Media
104	Corinto*	Cauca	40	1,210	89	7.4	Media
105	Dolores	Tolima	11	278	23	8.3	Alta
106	Útica	Cundinamarca	11	225	18	8	Alta
107	Córdoba	Quindío	10	410	31	7.6	Media
108	Belén	Boyacá	26	596	43	7.2	Media
109	Heliconia	Antioquia	7	221	16	7.2	Media

## ANEXO C: INFRAESTRUCTURA INDUSTRIAL EXPUESTA ANTE AMENAZAS DE ORIGEN NATURAL

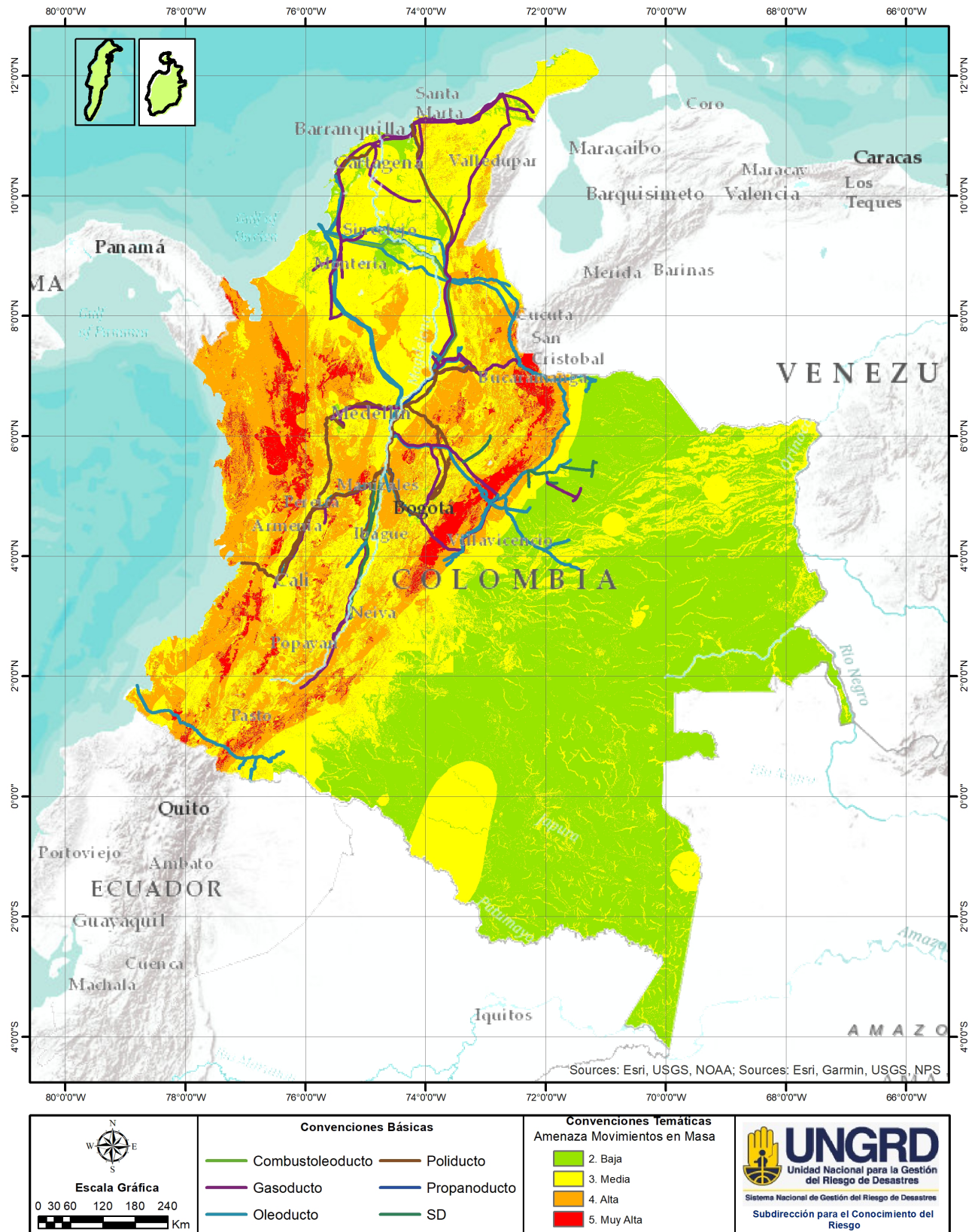
Este anexo constituye una primera aproximación para la identificación de instalaciones industriales que requieren análisis más detallados dada su exposición ante amenazas de origen natural. Para el sector hidrocarburos, se abordan como ejemplos las tuberías o ductos de transporte sujetos a las amenazas de movimientos y localizados en cuencas con potencial de Avenida Torrencial, y posteriormente se analizan las refinerías y su ubicación en zonas de amenaza sísmica. Adicionalmente, se contempla la distribución de instalaciones industriales con materiales radiactivos en zonas de amenaza sísmica. Finalmente, desde el punto de vista del sector minero se solapan las capas de georreferenciación de minas, según el grupo de materiales que se extraen y su exposición ante la amenaza de movimientos en masa. El ejercicio aquí presentado es indicativo y busca orientar a los analistas de riesgos y tomadores de decisiones en la forma como se puede realizar una primera identificación de instalaciones que requieren análisis más detallados, en donde también es importante realizar una caracterización de la amenaza presente en el territorio donde se ubican.

**Tabla 15.** Exposición de ductos de transporte de hidrocarburos ante la amenaza de movimientos en masa

Amenaza por movimientos en masa y ductos de transporte de hidrocarburos		
Amenaza	Ductos expuestos (Km)	% ductos expuestos
Muy Alta	4,846	14
Alta	13,153	38
Media	15,922	46
Baja	692	20
TOTAL	34,614	--

**Fuente:** UNGRD, 2021  
 Información base:  
 Ubicación de ductos, MinMinas link: <https://geovisor.minenergia.gov.co/ideme/view/>  
 Amenaza remoción en masa, SGC, 2017.

El primer ejemplo que se presenta es la exposición de las tuberías o ductos de transporte de hidrocarburos ante movimientos en masa. La Tabla 15 muestra los kilómetros de tubería expuestos ante los diferentes niveles de amenaza, encontrando que, por ejemplo, 4,846 Km de ductos están expuestos a una amenaza alta de movimientos en masa, esta cifra representa el 14% del total de kilómetros de tuberías expuestos, según los datos del geovisor del Ministerio de Minas y Energía. Se observa también en la Figura 13 que gran parte (46%) de los ductos de transporte se encuentran en amenaza media. Así mismo, es posible evidenciar en la figura, los tipos de ductos que están expuestos, dando un indicio de los materiales que podrían ser liberados en caso de que se dé una pérdida de contención. Dado que los movimientos en masa son amenazas localizadas, es indispensable que una vez se identifiquen esos ductos expuestos ante las amenazas altas y medias se realicen análisis de integridad mecánica, programas de mantenimiento, seguridad de procesos, se revisen los periodos de retorno y en general se caracterice la amenaza de origen natural.



**Figura 13.** Ductos de transporte de hidrocarburos en Colombia y su exposición ante la amenaza por movimientos en masa

El segundo ejemplo constituye el análisis cualitativo de la exposición de refinerías ante la amenaza sísmica. Se muestra tanto en la Tabla 16 como en la Figura 14 que las refinerías expuestas ante una amenaza sísmica alta son Orito, Villavicencio-Apiay y Yopal. Estas tres refinerías representan el 1.6% de la producción de hidrocarburos del país, lo cual representa 178,758 barriles de petróleo por día calendario. Adicionalmente, cifras de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) muestran que el 73.4% de la producción está expuesta ante una amenaza intermedia, dada la ubicación de las refinerías de Barrancabermeja y Tibú. Esta información permite orientar los análisis de riesgo tanto para los operadores como para las autoridades locales, con el fin de que mancomunadamente se identifiquen potenciales escenarios de riesgo y se tomen las medidas preventivas correspondientes.

**Tabla 16.** Exposición de refinerías ante la amenaza sísmica

Amenaza sísmica y refinerías					
Amenaza	Refinería	Producción BDC (Barriles por día Calendario)	% de Producción	Refinerías expuestas	Total % producción expuesta según niveles de amenaza
Alta	Refinería de Orito	93,595.1	0.8	3	1.6
	Refinería Villavicencio - Apiay	51,821.8	0.5		
	Refinería Yopal	33,341.6	0.3		
Intermedia	Refinería de Barrancabermeja	8,287,654.9	72.7	2	73.4
	Refinería Tibú	72,668.0	0.6		
Baja	Refinería de Cartagena	2,853,350.7	25.0	1	25.0
TOTAL		11,392,432.1	100	6	100

Fuente: UNGRD, 2021  
 Información base: UPME,

link: [http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta\\_Series.aspx?idModulo=3&tipoSerie=31](http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta_Series.aspx?idModulo=3&tipoSerie=31)  
 Amenaza Sísmica, NSR-10, ASOCIACION ING SÍSMICA.



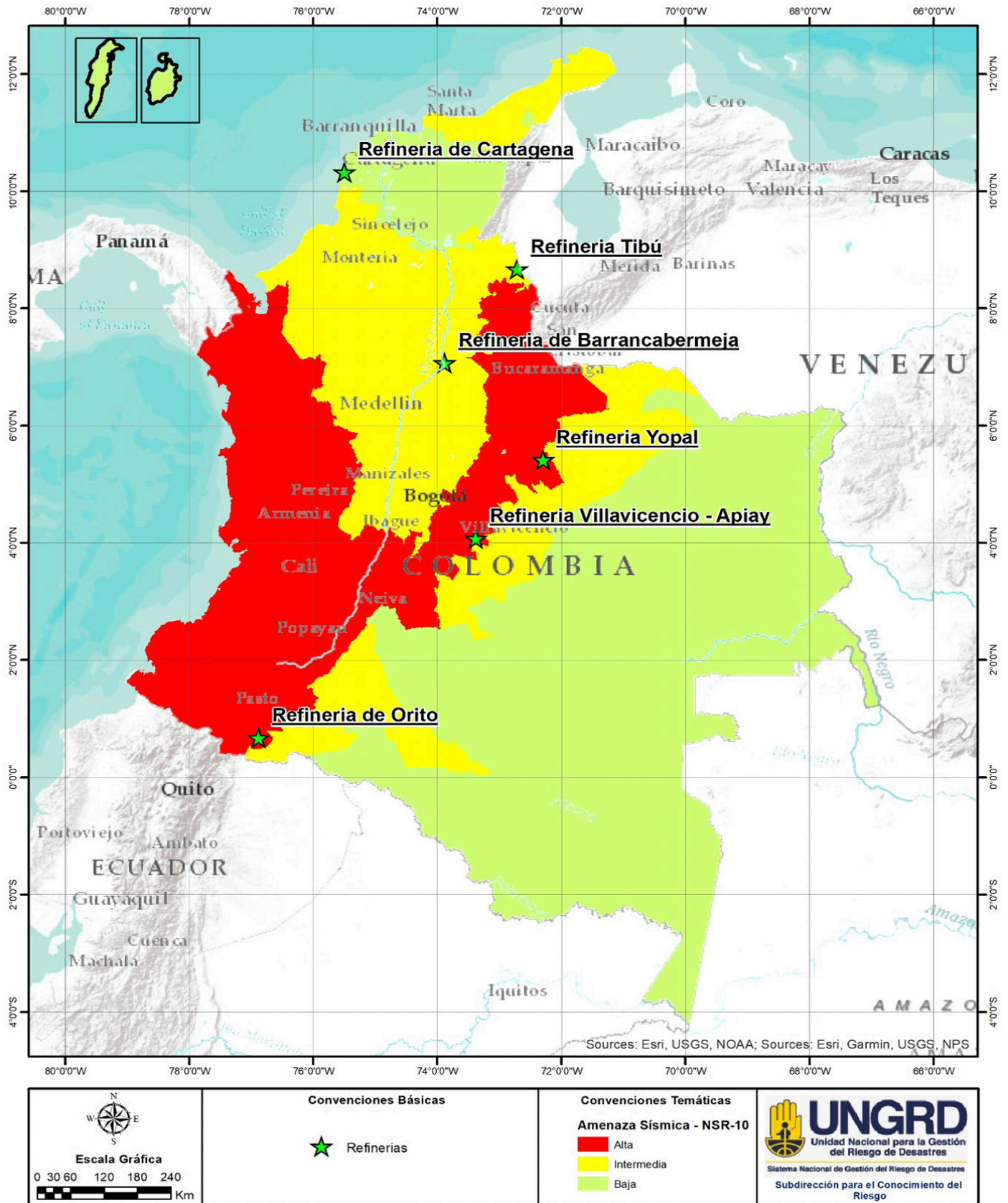


Figura 14. Refinerías en Colombia y su exposición ante la amenaza sísmica

El tercer ejemplo contempla la distribución de instalaciones industriales con material radiactivo y su exposición ante sismos. Se observa en la Figura 15 que con base en la información del geovisor del Ministerio de Minas y Energía, actualmente hay 4 instalaciones ubicadas en amenaza alta, correspondientes al 18.2% del total de instalaciones georreferenciadas. Así mismo, 77.3% de estas instalaciones están expuestas ante una amenaza sísmica intermedia, en dónde se identifica que 13 de estas están ubicadas en Bogotá. Cabe mencionar que la información geográfica de las instalaciones industriales en Colombia es limitada y no se cuenta con una única fuente de información, por lo que no existe un consolidado de la misma. Esto resalta la importancia de que los municipios y departamentos del país recolecten información sobre las instalaciones industriales presentes en sus territorios y la georreferencien, con el fin de soportar la toma de decisiones y los instrumentos de planeación del territorio. Para tal fin, es indispensable que existan una cooperación entre sector público y privado, de manera que conjuntamente se logre la identificación de posibles escenarios de riesgo Natech.

**Tabla 17.** Exposición de instalaciones industriales con material radiactivo ante la amenaza sísmica

Amenaza sísmica e instalaciones industriales con material radiactivo		
Amenaza	Instalación expuesta	% De Instalaciones expuestas
Alta	4	18.2
Intermedia	17	77.3
Baja	1	4.5
TOTAL	22	100

**Fuente:** UNGRD, 2021  
 Información base:  
 Ubicación de instalaciones con material radioactivo, MinMinas  
 link: <https://geovisor.minenergia.gov.co/ideme/view/>  
 Amenaza Sísmica, NSR-10, ASOCIACION ING SÍSMICA.

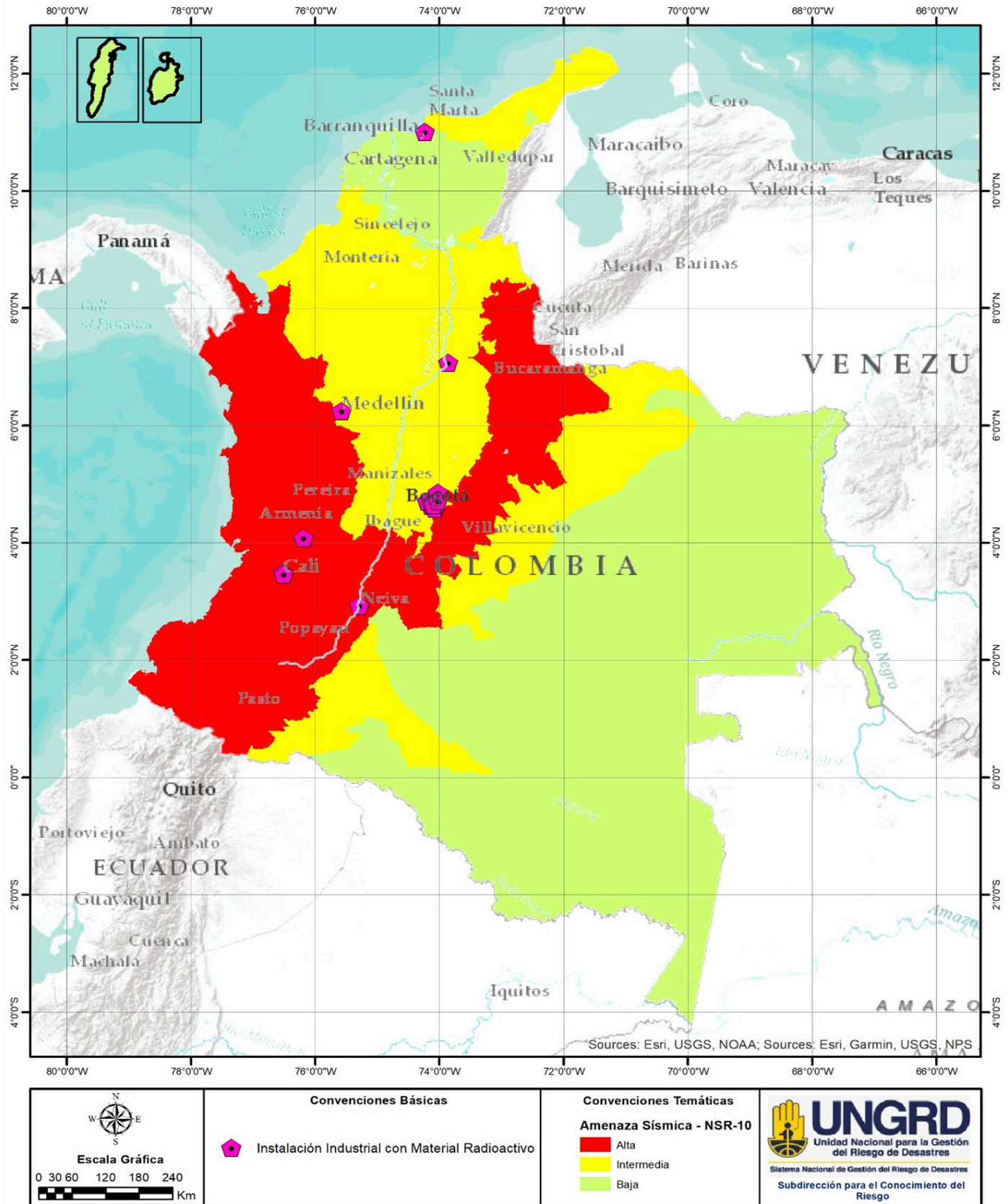


Figura 15. Instalaciones industriales con material radiactivo en Colombia y su exposición ante la amenaza sísmica

Respecto al sector minas, se ha tomado la georreferenciación de las minas en el territorio nacional, agrupándolas según los materiales de extracción. Se observa en la Figura 16 que las minas en el territorio nacional se ubican mayoritariamente en zonas de amenaza alta e intermedia, representando el 92.9%, tal como lo muestra la Tabla 18. Los grupos de materiales de extracción contemplan:

- **Materiales de construcción:** Arcillas, Calizas, Agregados pétreos, Piedras ornamentales.
- **Metales básicos:** Mineral de cobre, Mineral de aluminio, Mineral de zinc.
- **Metales especiales:** Mineral de antimonio, Mineral de mercurio, Arenas titaníferas.
- **Metales y minerales preciosos:** Mineral de oro, Esmeralda.
- **Minerales energéticos:** Carbón
- **Minerales industriales:** Arcillas industriales, dolomita, magnesita, arenas silíceas, yeso, mineral de asbesto, feldespato, serpentina, talco, roca fosfórica, puzolana, asfaltita, serpentina, cuarzo, barita, azufre, clorita, grafito, magnesita, sal, fluorita, puzolana, diatomita.

Es importante que las amenazas de origen natural sean contempladas dentro de los sistemas de gestión de seguridad de los responsables de las minas, de manera que no se tenga solamente un enfoque en Salud y Seguridad en el Trabajo, sino que también se contemplen amenazas externas como los fenómenos de origen natural, que también pueden poner en riesgo la continuidad de las operaciones de extracción y representan un riesgo para la vida de los trabajadores. Es así como este tipo de análisis preliminares constituyen una herramienta para la identificación de escenarios de riesgo y su efectiva gestión.

**Tabla 18.** Exposición de minas ante la amenaza de movimientos en masa

Amenaza por movimientos en masa y distribución de minas		
Amenaza	Instalación expuesta	% De Instalaciones expuestas
Muy Alta	344	5.1
Alta	2,754	40.9
Media	3,503	52
Baja	132	2
TOTAL	6,733	100

Fuente: UNGRD, 2021  
 Información base:  
 Ubicación de Minas, MinMinas  
 link: <https://geovisor.minenergia.gov.co/ideme/view/>  
 Amenaza Remoción en Masa, SGC, 2017.

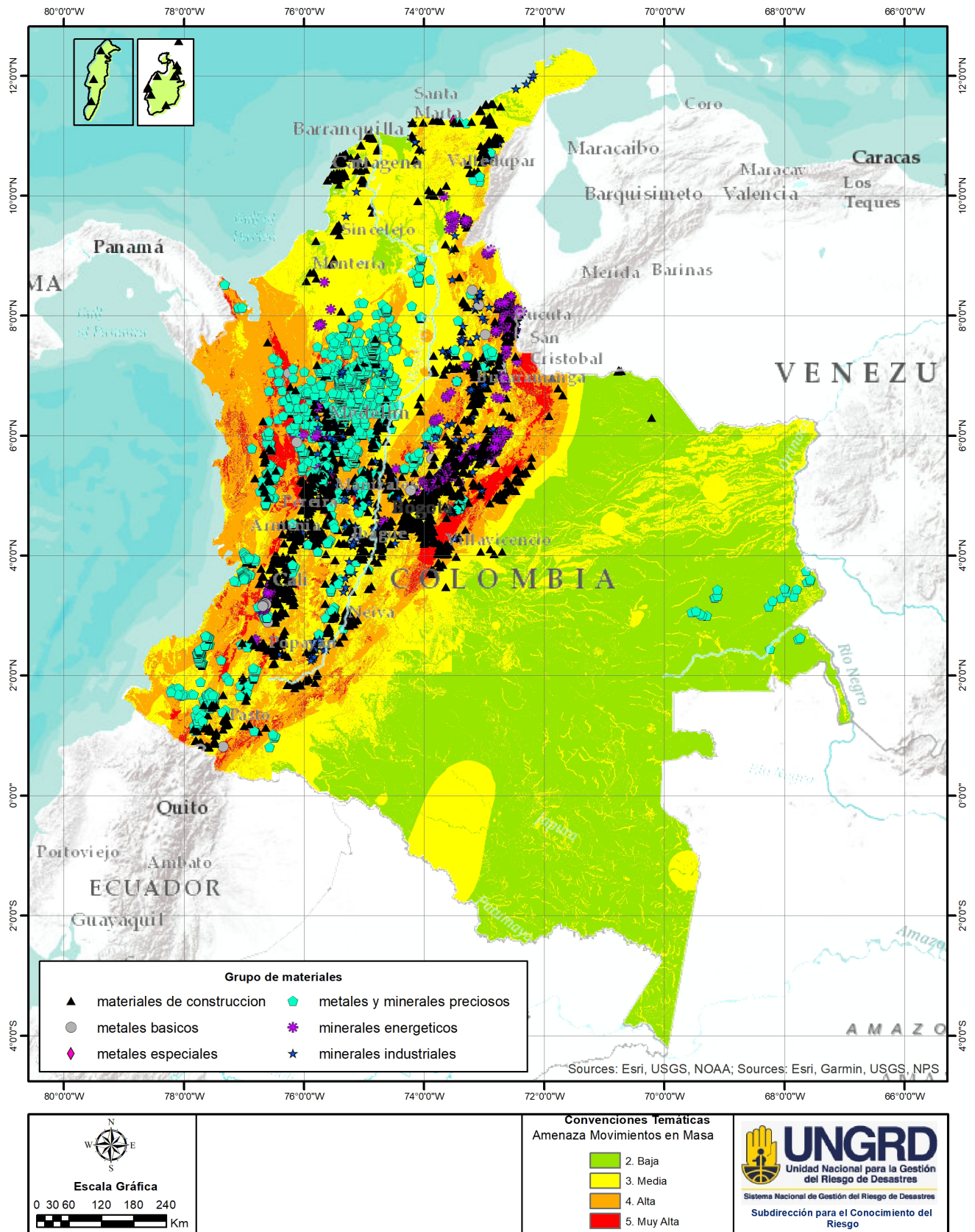


Figura 16. Minas en Colombia y su exposición ante la amenaza por movimientos en masa

Otro de los ejemplos presentados es la exposición de los ductos de transporte de hidrocarburos localizados cerca a cuencas con potencial de avenida torrencial. La Tabla 19 muestra los porcentajes de los diferentes tipos de ductos expuestos ante una potencial avenida torrencial. Se observa que casi el 24% de los gasoductos están expuestos ante esta amenaza, seguidos de los poliductos con un 22.2% y los oleoductos con un 19.6%. Ductos que transportan otro tipo de sustancias, se encuentran expuestos en menor proporción. Adicionalmente, la Figura 17 permite obtener una primera aproximación de las cuencas que constituyen una amenaza para los ductos de transporte de hidrocarburos, permitiendo establecer zonas más específicas donde se debería revisar la pertinencia de realizar la caracterización de las avenidas torrenciales.

**Tabla 19.** Exposición de ductos ante potenciales avenidas torrenciales

<b>Ductos de transporte de Hidrocarburos localizados en cuencas con potencial de Avenida Torrencial</b>	
<b>TIPO</b>	<b>% de Ducto Expuesto</b>
Gasoducto	23.9
Combustoleoducto	11.6
Poliducto	22.2
Oleoducto	19.6
Propanoducto	10.9
SD	14.1

**Fuente:** UNGRD, 2021  
 Información base:  
 Ubicación de ductos, Minminas  
 link: <https://geovisor.minenergia.gov.co/ideme/view/Cuencas Priorizadas AVT, UNGRD, 2022>.

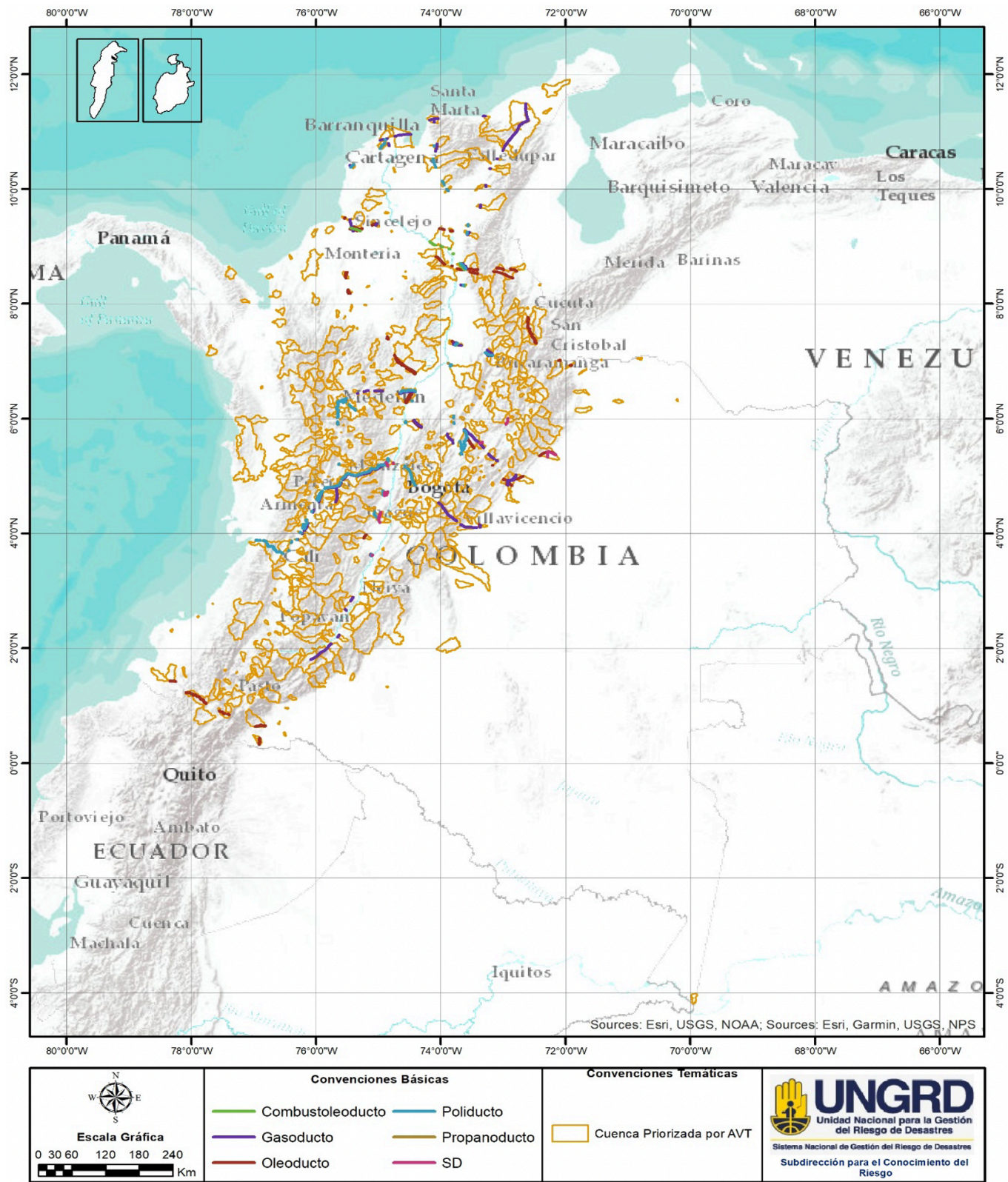


Figura 17. Ductos de transporte de hidrocarburos y su exposición ante potenciales avenidas torrenciales.



GOBIERNO DE COLOMBIA



# UNGRD

Unidad Nacional para la Gestión  
del Riesgo de Desastres

Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres

## UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES

Av. Calle 26 No. 92-32, Edificio Gold 4 - piso 2

Línea gratuita de atención: 01 8000 11 32 00

PBX: (57 1) 5529696

Bogotá D.C. - Colombia

[www.gestiondelriesgo.gov.co](http://www.gestiondelriesgo.gov.co)

 GestionUNGRD

 ungrd\_oficial

 @UNGRD

 UNGRD Gestión del Riesgo de Desastres