El riesgo tecnológico: gestión y toma de decisiones informadas

María Camila Suárez Paba Ph.D.

mc.suarez151@uniandes.edu.co













Contenido

1. Una mirada al riesgo tecnológico
2. Riesgo Natech y sus características
3. Programa de Prevención de Accidente Mayor
4. Reflexiones finales



Salud y Seguridad en el Trabajo vs. Seguridad de Procesos

Una gestión que abarque una mirada de gestión de riesgos tecnológicos y no sólo de salud y seguridad en el trabajo promueve un enfoque en la interacción de la empresa o industria con su entorno.

Adaptado de (Muñoz Giraldo et al., 2015)

SEGURIDAD INDUSTRIAL (SST)

Anticipar, reconocer, evaluar y controlar riesgos que afecten la seguridad y salud en el trabajo (MinTrabajo, 2023). Énfasis en la seguridad de los trabajadores.





Aplicabilidad

Aplicable a **todos los escenarios** del lugar de trabajo y cualquier industria.

Severidad vs. Probabilidad

Eventos con una **severidad baja** y una **probabilidad de ocurrencia alta**.

Objetivo

Busca prevenir una serie de incidentes que afecten a los trabajadores (lesiones, caídas, etc.).

Participación

Debe ser nutrida por gerentes, supervisores, personal operativo y expertos en seguridad industrial (ej. transporte de sustancias peligrosas, elementos eléctricos).

SEGURIDAD DE PROCESOS

Enfocada en la seguridad de la instalación y su proceso productivo. Prevención de pérdidas por liberación de sustancias peligrosas mediante **identificación de peligros y diseño de ingeniería** (Crowl & Louvar, 2002).



Aplicabilidad

Aplicable principalmente a **industrias** como la **química, petroquímica o de energía (alto riesgo)** o con **materiales peligrosos**.

Severidad vs. Probabilidad

Eventos con una **severidad alta** y una **probabilidad de ocurrencia baja**.

Objetivo

Busca prevenir un incidente catastrófico (explosiones, fugas masivas, incendios).

Participación

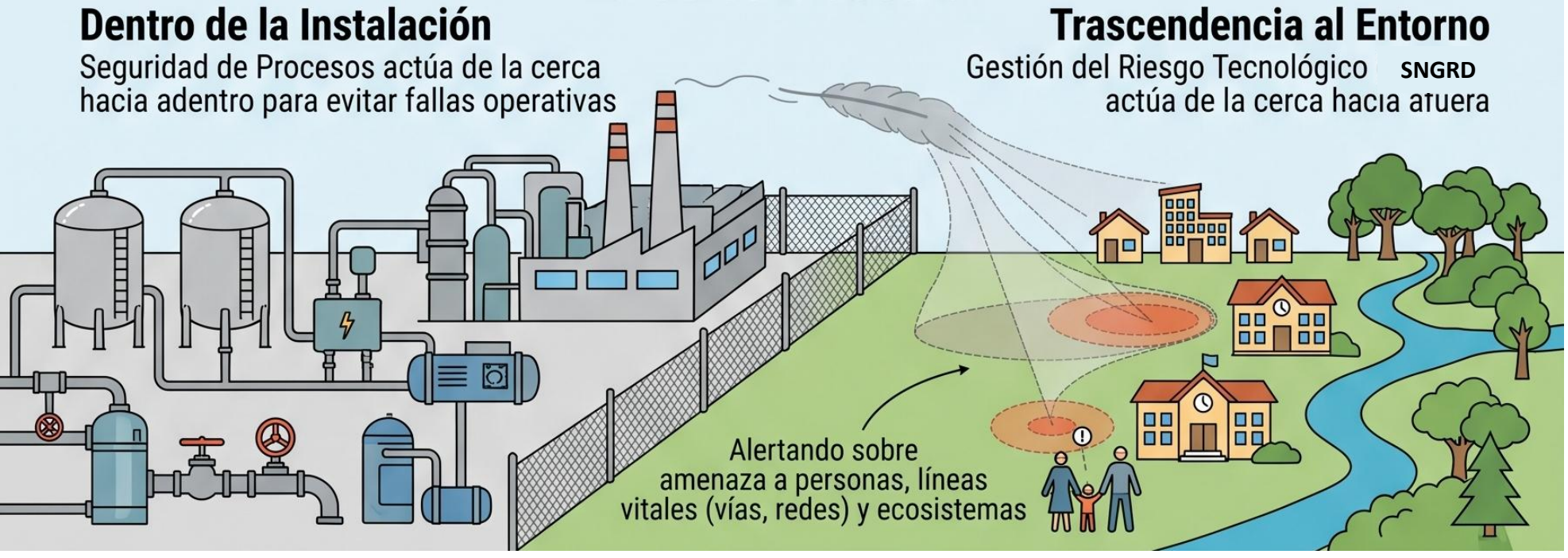
Debe ser nutrido por directivos, facilitadores de toma de decisiones, personal operativo y expertos de seguridad de procesos (ej. accidente mayor).

La seguridad de procesos y el riesgo tecnológico

Para entender el panorama integral de la gestión del riesgo y su potencial impacto, es necesario articular tres niveles:

La SST, la seguridad de procesos y la gestión del riesgo tecnológico.

La seguridad de procesos suministra insumos esenciales para la GRD. **Relación causa-efecto.**





CONOCIMIENTO DEL RIESGO

Identifica escenarios de fuga, explosión, incendio o dispersión tóxica mediante metodologías (HAZOP, What-If, LOPA, ACR) y modelación de consecuencias (ALOHA, PHAST) para definir zonas de amenaza e impacto



REDUCCIÓN DEL RIESGO

Aplica barreras de ingeniería y mitigación en la fuente (diseño bajo normas ASME/API, sistemas de alivio, paradas de emergencia instrumentadas SIS/SIL, diques de contención y mantenimiento de integridad mecánica) para evitar que la amenaza se materialice en desastre.



MANEJO DE DESASTRES

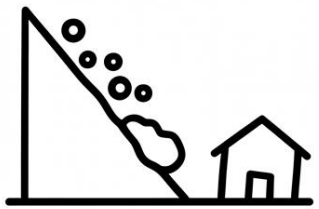
Si ocurre una liberación catastrófica, los planes de respuesta interna de la planta se integran con la Estrategia Municipal de Respuesta (EMRE) y los Consejos Municipales de Gestión del Riesgo (CMGRD), coordinando evacuaciones, perímetros de aislamiento y Comités de Ayuda Mutua (CAM).

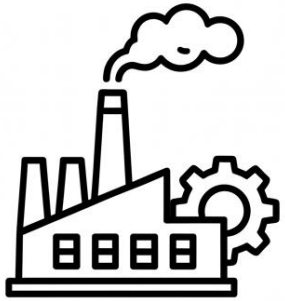
Una mirada al riesgo tecnológico

Daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a la **ocurrencia de los eventos adversos generados por el uso y acceso a la tecnología**, originados por sucesos


antrópicos


naturales


socio-naturales


operación

que supone consecuencias importantes para las


bienes e infraestructura


personas


prestación de servicios

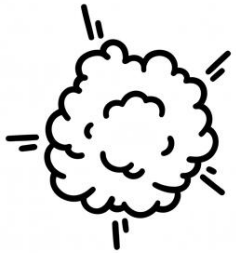

medios de subsistencia


recursos ambientales

TIPO DE EVENTO


Incendio


Fuga


Explosión


Derrame


Accidente transporte

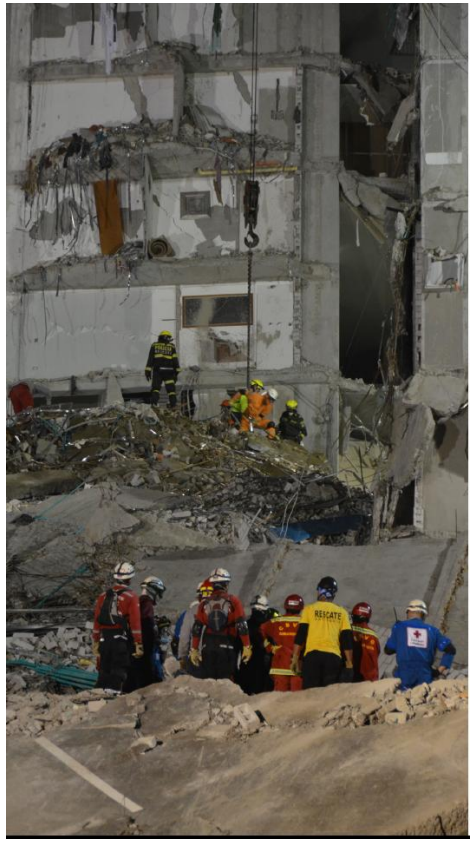

Colapso

Una mirada al riesgo tecnológico

Los RT se encuentran asociados al desarrollo de diversas actividades humanas que incluyen:

Actividades

- Domésticas
- Comercio, servicios y venta directa
- Exploración y producción de hidrocarburos
- Producción de energía eléctrica
- Transporte
- Producción industrial y almacenamiento
- Exploración y explotación de recursos mineros
- Lugares de interés deportivo, cultural o religioso

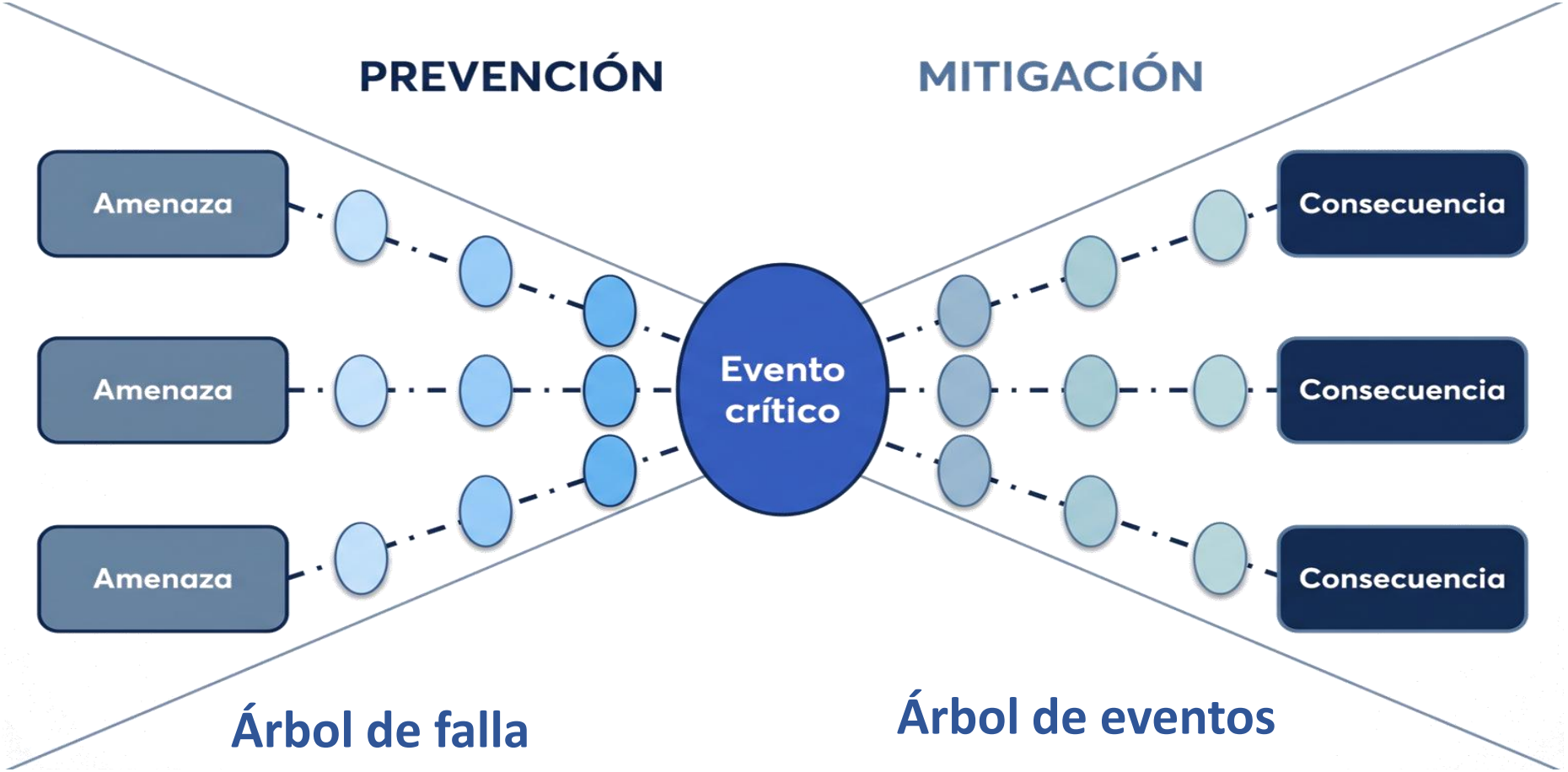








Una mirada al riesgo tecnológico



Árbol de falla

¿Cuáles son las posibles causas que generan un evento crítico?

Árbol de eventos

¿Cuál es la probabilidad de ocurrencia del escenario accidental? ¿Cuáles son sus consecuencias?

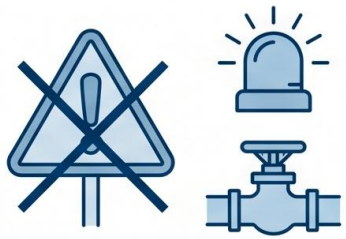
Una mirada al riesgo tecnológico

Dinámica accidental

1 CAUSAS



Causas internas u operativas: fallas, corrosión, error humano, falta de mantenimiento



Falla de barreras preventivas: ausencia/inoperancia de sistemas de control, sensores, sensores, alarmas, válvulas de alivio

2 EVENTO CRÍTICO

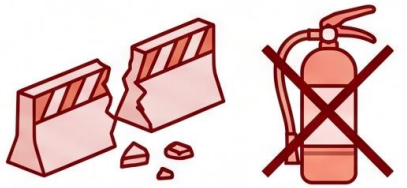


Pérdida de contención (LOC): rotura o fisura en recipiente, ducto o tanque.

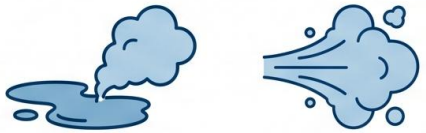


Pérdida de control de energía: liberación de energía

3 MATERIALIZACIÓN DEL EVENTO ACCIDENTAL



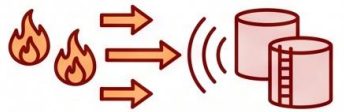
Falla de barreras de mitigación: superación de diques, sistemas contraincendios



Fuga o derrame **Dispersión**

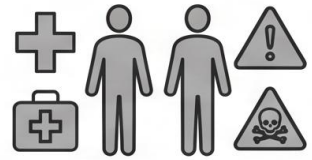


Incendios Onda expansiva (UVCE, BLEVE)

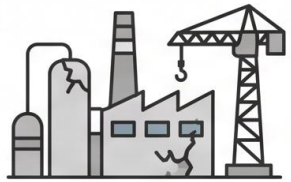


Efecto dominó

4 CONSECUENCIAS



Personas: intoxicaciones, quemaduras, asfixia, traumas, fatalidades

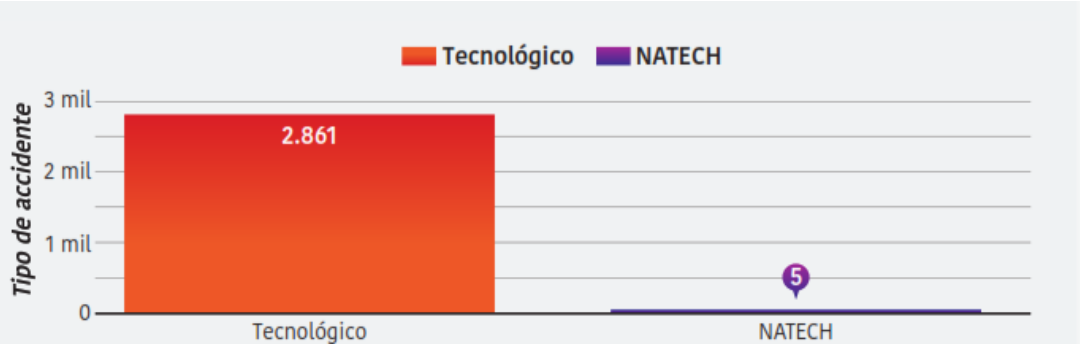


Bienes e infraestructura: daño estructural, paralización, colapso de redes

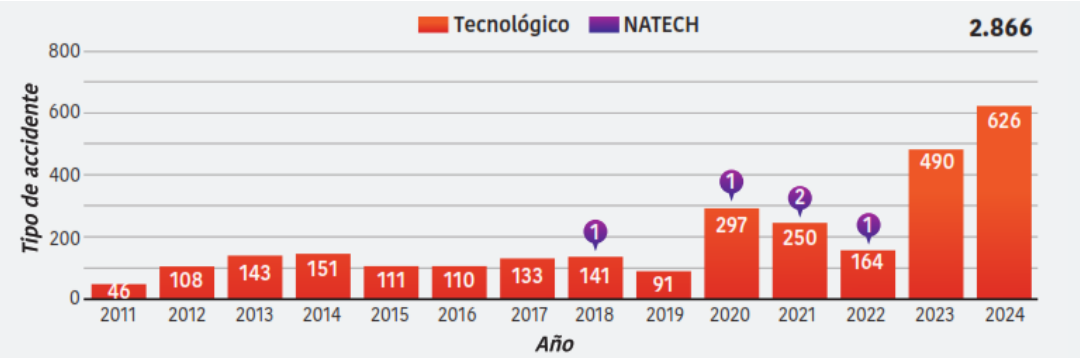


Medio ambiente: contaminación de suelo, acuíferos y ecosistemas

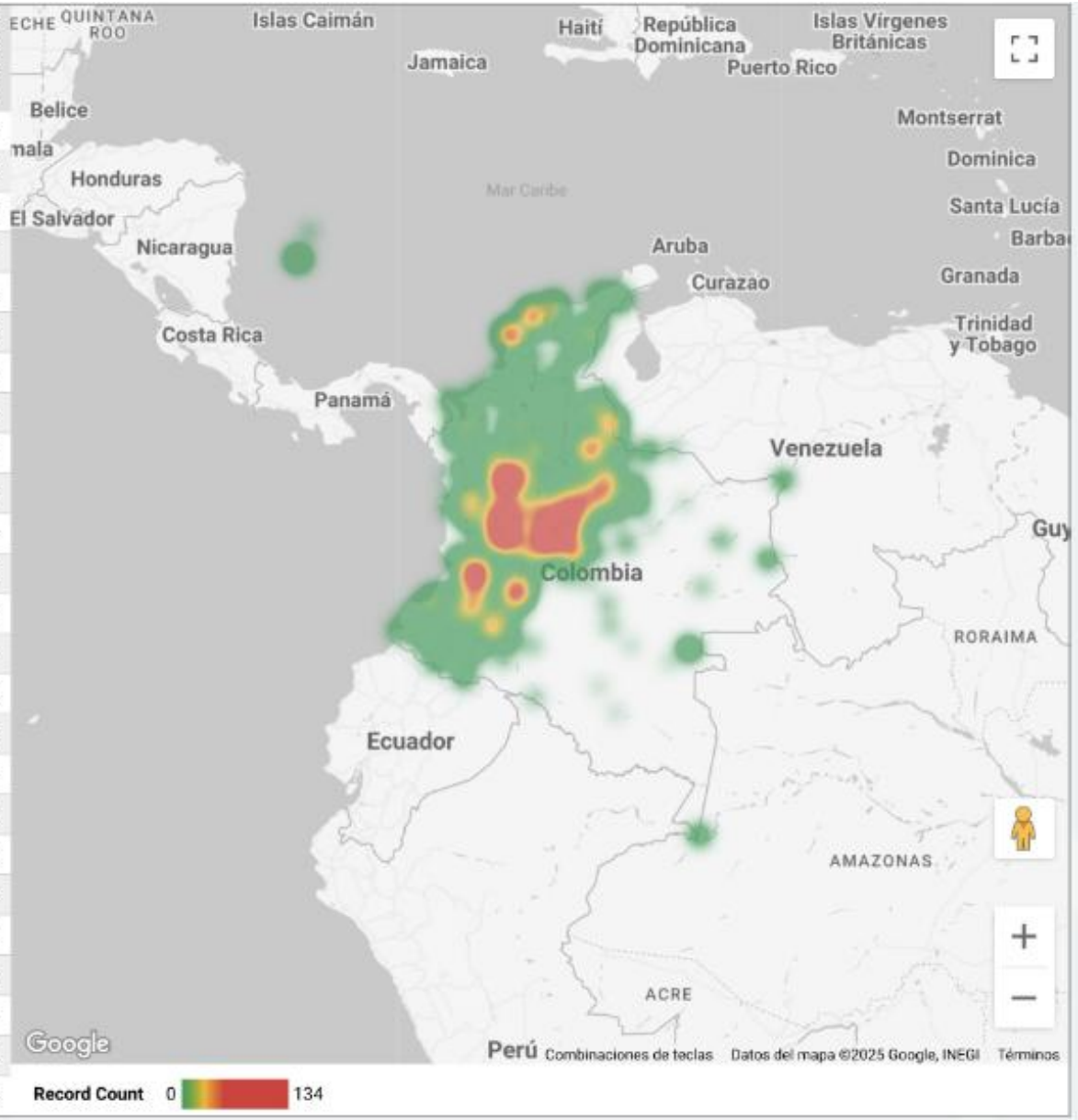
Una mirada al riesgo tecnológico



Análisis de accidentes tecnológicos y Natech para el periodo 2011-2024

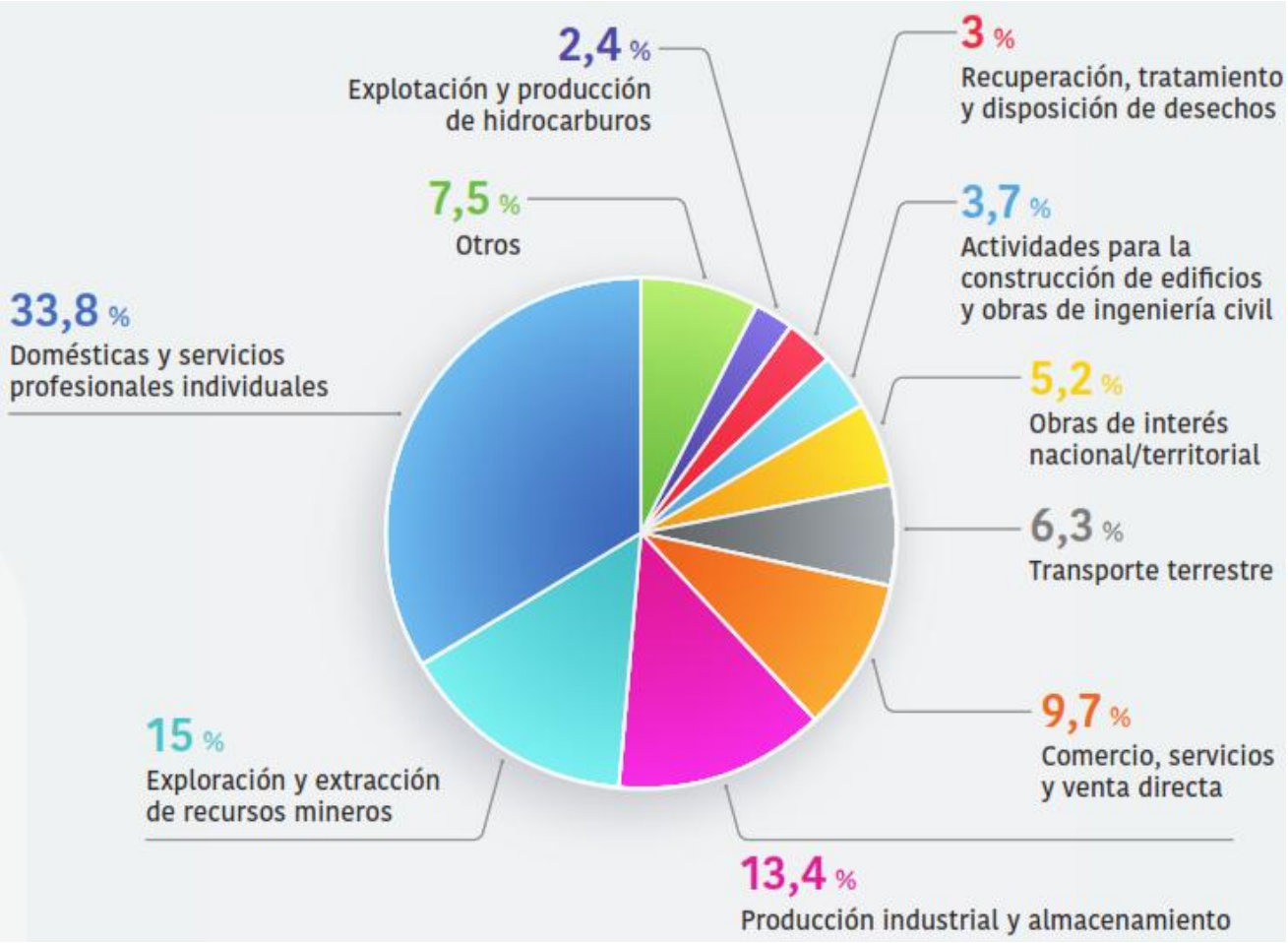


	DEPARTAMENTO	A. Tec NATECH
1.	CUNDINAMARCA	471
2.	ANTIOQUIA	373
3.	BOYACÁ	168
4.	RISARALDA	157
5.	VALLE DEL CAUCA	142
6.	HUILA	142
7.	BOGOTÁ, D.C.	135
8.	CAUCA	134
9.	CALDAS	117
10.	TOLIMA	110
11.	SANTANDER	96
12.	CHOCÓ	95
13.	QUINDIO	90
14.	NORTE DE SANTAN...	90
15.	BOLÍVAR	90
16.	META	60
17.	ATLÁNTICO	54
18.	NARIÑO	51
19.	MAGDALENA	40
20.	CESAR	38
21.	CASANARE	33
22.	LA GUAJIRA	27
23.	CÓRDOBA	22
24.	SUCRE	22
25.	Otros	109

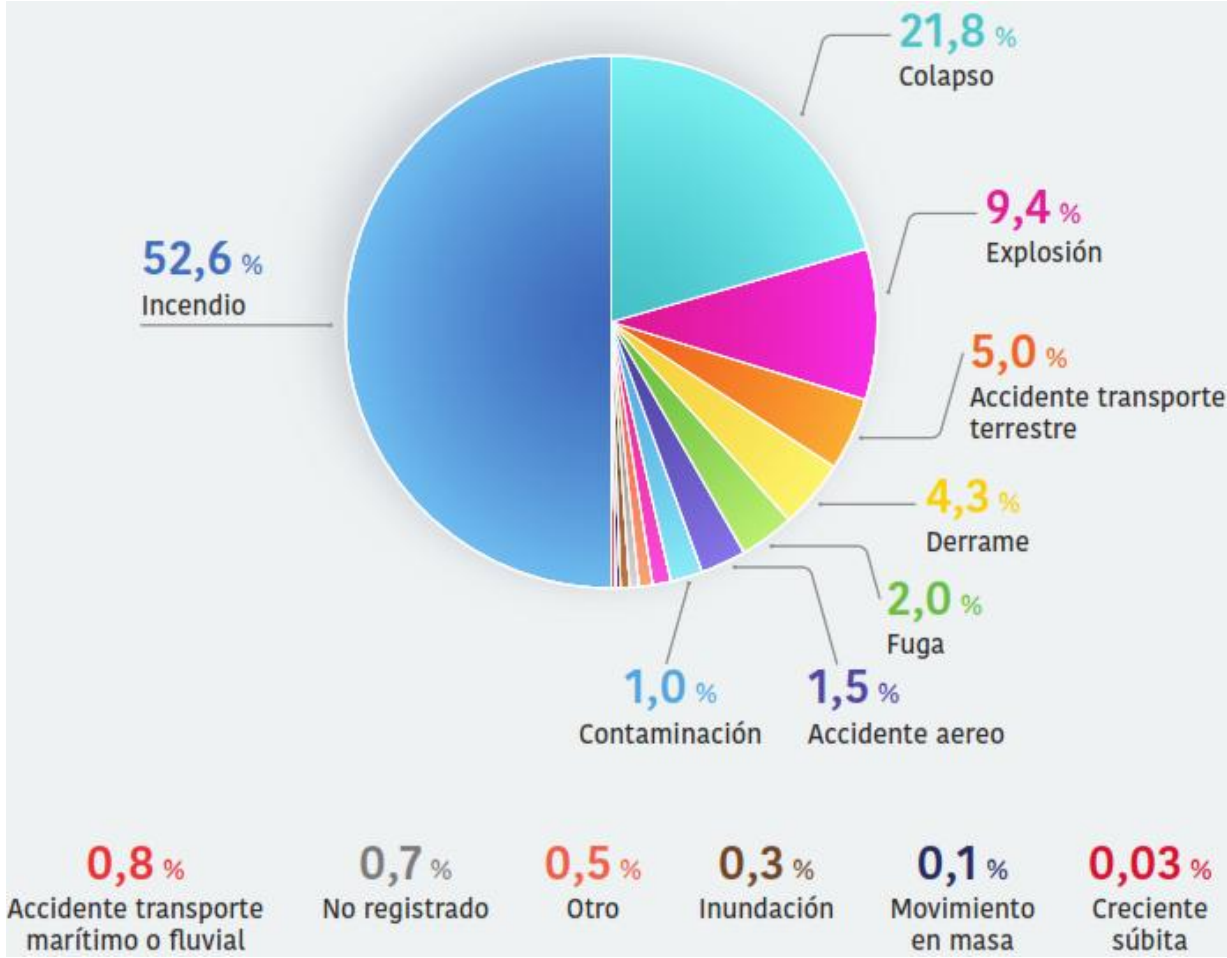


Fuente: UNGRD, 2025

Una mirada al riesgo tecnológico



Distribución del número de eventos por tipo de actividad para el periodo 2011-2024. Fuente: UNGRD, 2025.



Distribución por tipo de evento periodo 2011-2024. Fuente: UNGRD, 2025.

Una mirada al riesgo tecnológico

Cada empresa establece su “apetito de riesgo”

El verdadero costo de un evento catastrófico derivado de un accidente tecnológico puede estar asociado a aspectos:

- **Físicos:** Pérdida de vidas. Pérdida total de activos.
- **Ambientales:** Impacto y afectación en el suelo y los acuíferos.
- **Financieros:** Lucro cesante. Semanas o meses sin producir, pérdida de contratos de suministro.
- **Reputacionales:** Afectación al buen nombre y reputación de la empresa.

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE RIESGOS (RAM)

MAPA DE CALOR DE RIESGO (Matriz 5x5)

PROBABILIDAD (frecuencia)	CONSECUENCIA (gravedad) 1 - Insignificante	2 - Menor	3 - Moderado	4 - Mayor	5 - Catastrófico
E - Casi Seguro	Riesgo Medio / M	Riesgo Alto / H	Riesgo Alto / H	Riesgo Crítico / VH	Riesgo Crítico / VH
D - Probable	Riesgo Medio / L	Riesgo Medio / M	Riesgo Alto / H	Riesgo Alto / H	Riesgo Crítico / VH
C - Posible	Riesgo Bajo / L	Riesgo Medio / M	Riesgo Medio / M	Riesgo Alto / H	Riesgo Crítico / VH
B - Improbable	Riesgo Bajo / L	Riesgo Bajo / L	Riesgo Medio / M	Riesgo Alto / H	Riesgo Crítico / VH
A - Muy Rara	Riesgo Bajo / L	Riesgo Bajo / L	Riesgo Medio / M	Riesgo Medio / M	Riesgo Crítico / VH

■ Bajo ■ Medio ■ Alto ■ Crítico/Muy Alto

DIMENSIONES DE CONSECUENCIA

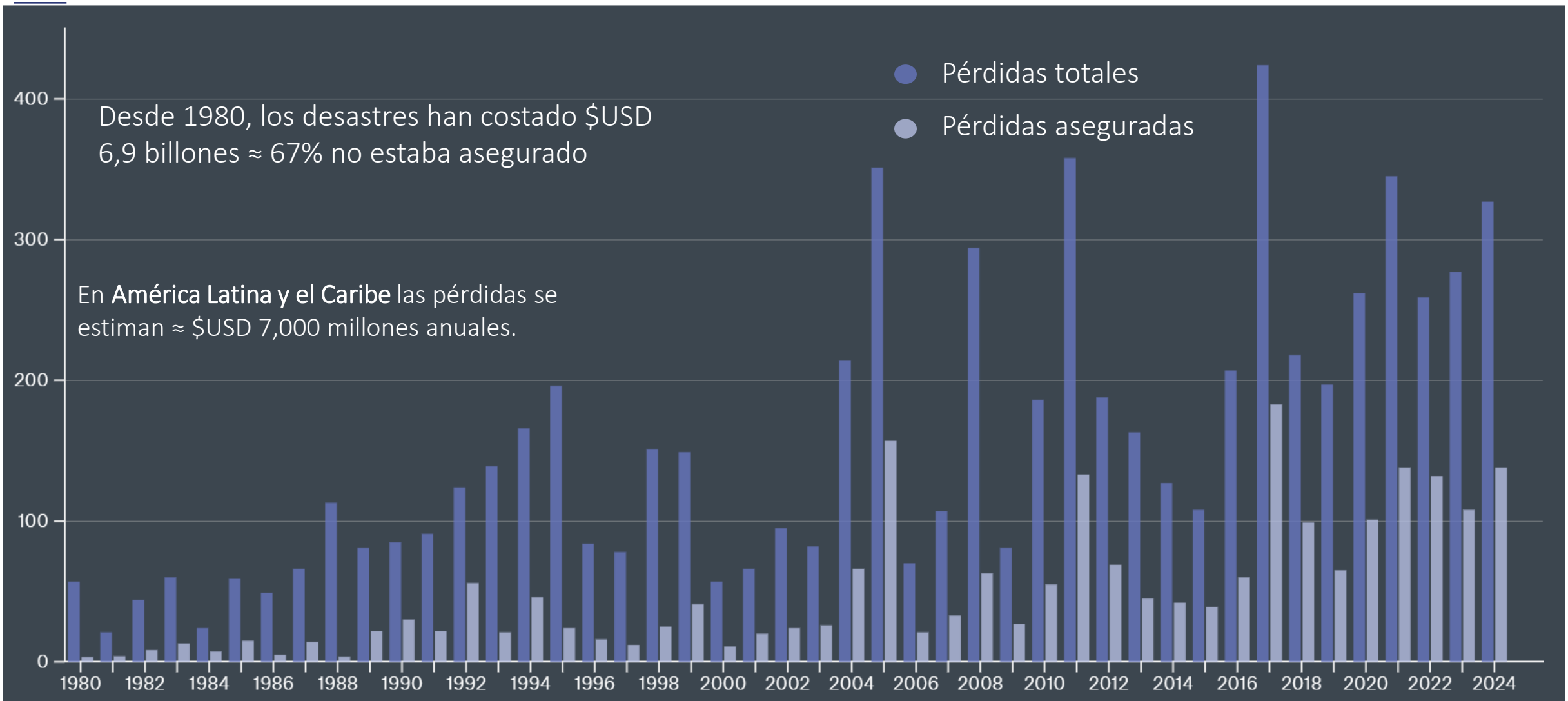
	PERSONAS	AMBIENTAL	ECONÓMICO / OPERATIVO	REPUTACIONAL
1	Lesiones leves, primeros auxilios.	Efecto localizado y reversible.	Pérdidas < USD 10k. Sin interrupción.	Quejas locales aisladas. Sin medios.
2	Incapacidad temporal menor.	Daño menor a corto plazo.	USD 10k - 100k. Breve paro.	Cobertura local o redes por 1 día.
3	Lesión grave o incapacidad parcial.	Afectación externa a mediano plazo.	USD 100k - 1M. Paro temporal.	Cobertura nacional breve. Quejas de autoridades.
4	Una fatalidad.	Afectación externa a mediano larga.	USD 1M - 10M. Afectación prolongada.	> USD 10M. Crisis / Cierre definitivo.
5	Múltiples fatalidades.	Daño masivo irreversible.	Escándalo nacional, pérdida de confianza, sanciones.	Crisis internacional, descrédito total y permanente.

Una mirada al riesgo tecnológico

Pérdidas por desastres a nivel mundial entre 1980-2024 (en miles de millones de $USD, ajustados por inflación)

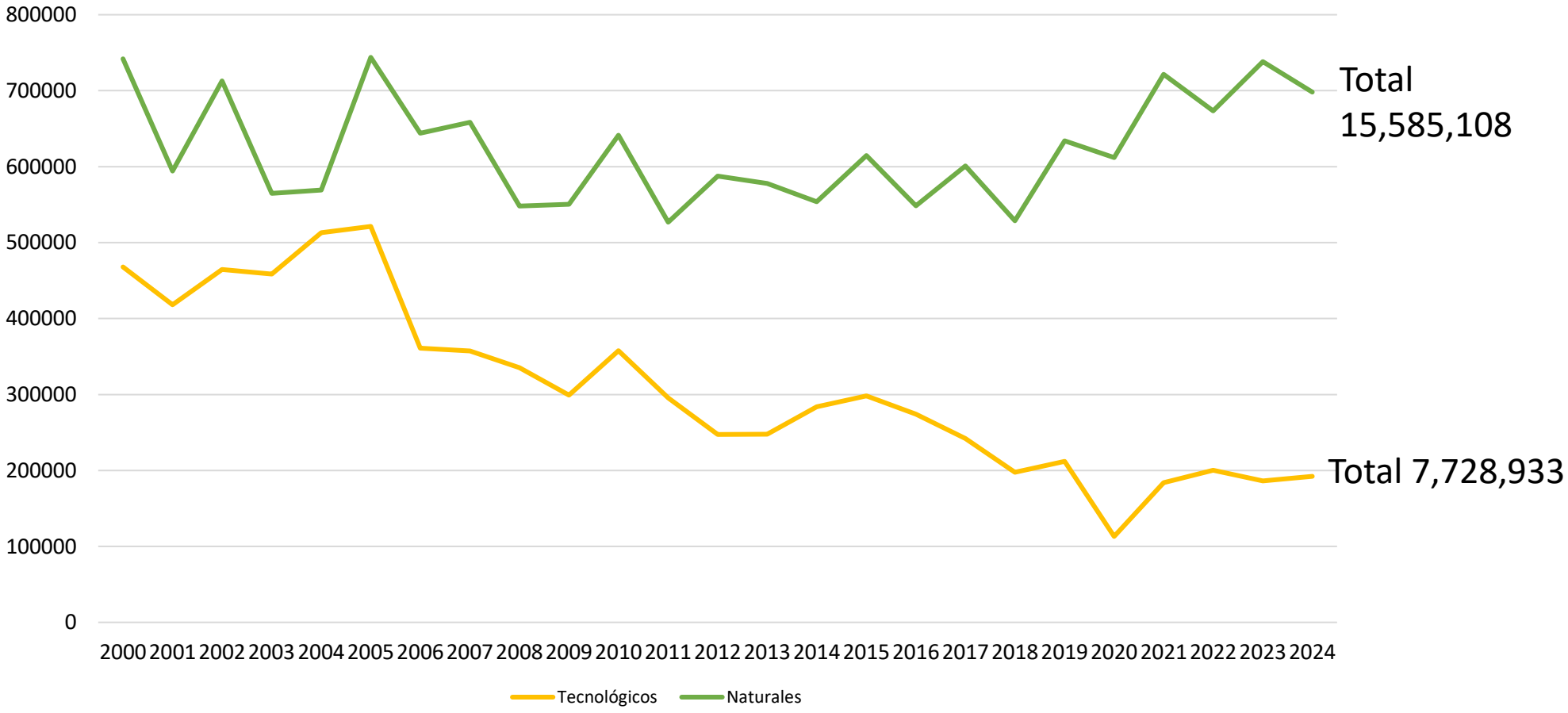
Eventos naturales y tecnológicos en el mundo

Fuente: Munich Re, NatCatSERVICE, Mayo 2025 (excluyendo sequías y olas de calor)



Una mirada al riesgo tecnológico

Eventos reportados en Asia, América y Europa.



Fuente: EM-DAT-The Emergency Events Database-Universite Catholique de Louvain (UCL) CRED D. Guha-Sapir-www.emdat.be Brussels-Belgium

NATECH

Natural hazards-triggered technological accidents

Eventos de origen natural que desencadenan accidentes tecnológicos

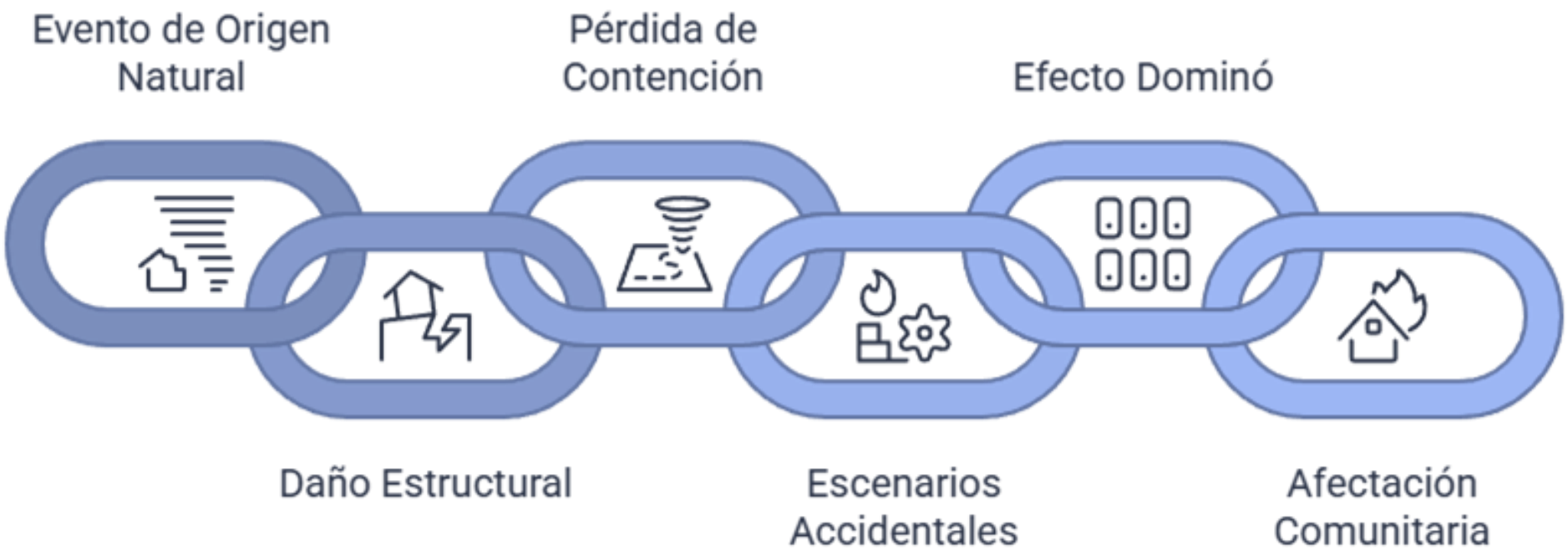
Riesgo Natech y sus características



- Generación de escenarios múltiples y simultáneos
- Daño/destrucción de barreras y sistemas de seguridad
- Liberación de materiales peligrosos
- Perturbación y daño a líneas de suministro necesarias para la prevención y mitigación de accidentes.
- Eventos secundarios: incendios, explosiones o nubes tóxicas
- Afectación a grandes extensiones del territorio.

Fotos: Earth Observatory of Singapore (Matthew M. Bradley); A. Kouchiyama (Krausmann et al., 2017); LtCdr. M. Moran, NOAA Corps, NMAO/OAC; AFP / Getty Images (Watts, 2013)

Dinámica accidental de eventos Natech




巨大危機
MEGA
CRISIS
巨大都市が大炎上
科学が予測する最悪火災
２０１１年３月１１日
東日本大震災

Eventos Natech en Colombia



https://www.usgs.gov/media/images/armero-destroyed-lahars-nevado-del-ruiz-volcano-colombia

LAHAR
Nevado del Ruiz, Tolima, 1985
58 plantas industriales destruidas Materiales peligrosos liberados.
Pérdidas económicas totales superaron 1000 millones USD (Voight, 1990).



INUNDACIÓN
Ola invernal, 2010-2011
Daños en sector eléctrico.
Daños en redes de distribución e infraestructura de producción de gas (Bolívar y Magdalena)
Daños en industrias de curtiembres, ingenios azucareros y en zona franca del Pacífico
(IDB & CEPAL, 2012).

MOVIMIENTO EN MASA
Copacabana, Antioquia, 2019
Emergencia en la vereda Ancón 2 por movimiento en masa
Suspensión de bombeo en poliducto y gasoducto
Evacuación de 112 familias



Fuente: RCNRadio



SISMO
Armenia, Eje Cafetero, 1999
Industria manufacturera (pequeñas/ medianas empresas) severamente afectadas.
Representaba 80% del empleo industrial en Quindío y Risaralda.

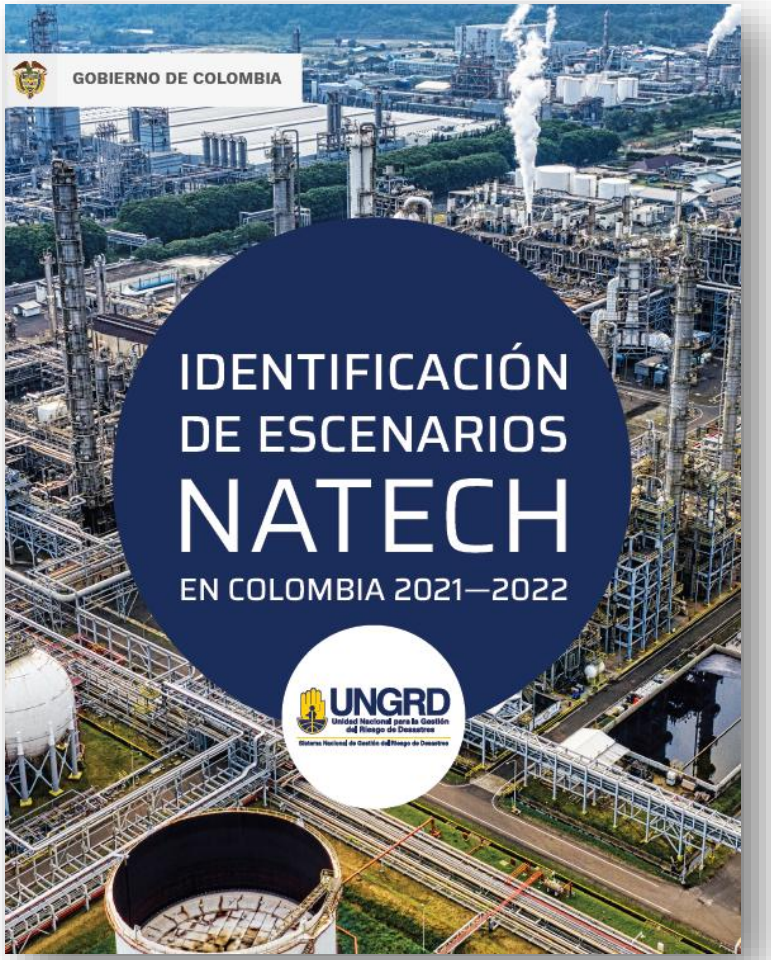


Fuente: Revista Semana

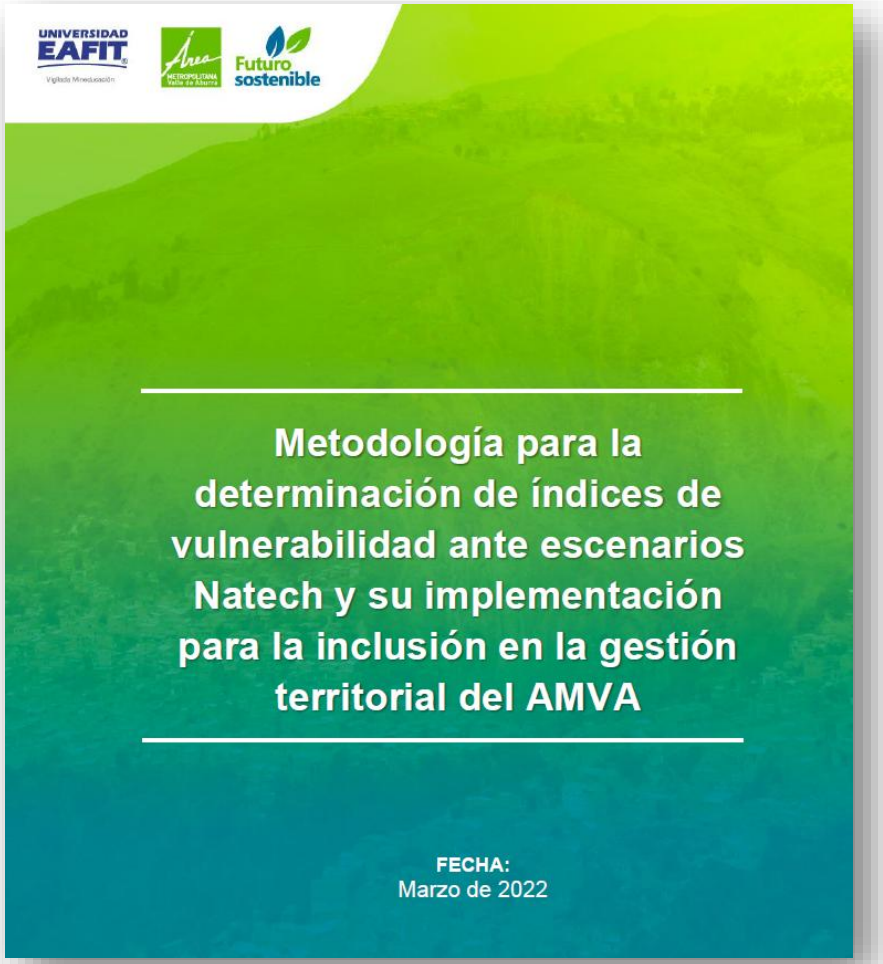
MOVIEMIENTO EN MASA
Dosquebradas, Risaralda, 2011
Rotura de tubería y liberación de gasolina.
Explosión de nube de vapor e incendio que causó daños estructurales y ambientales; 32 fatalidades; >80 heridos

Iniciativas para fortalecer el conocimiento y la gestión del riesgo Natech en Colombia

Nacional



Regional



Sectorial



Programa de Prevención de Accidente Mayor PPAM

Decreto 1347 de 2021

Definición y alcance

Regulación nacional: Estándar vinculante para instalaciones químicas peligrosas.

Obligaciones técnicas: Informes de seguridad y planes de emergencia y contingencia.

Zonificación POT

Definición de distancias seguras de amortiguamiento alrededor de instalaciones clasificadas.

Integración en PMGRD

Incorporación obligatoria del PEC con enfoque en accidente mayor, en la Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias.

Esencial: vincular el riesgo mayor a la planificación territorial.

Accidente mayor

Todo acontecimiento repentino...

De gran Magnitud



...en el curso de una actividad en una instalación clasificada

que trascienda su perímetro, en el que estén implicadas una o varias sustancias químicas peligrosas y que exponga:

- Trabajadores
- Población
- Bienes e Infraestructura
- Ambiente

A un peligro **grave, inmediato** o diferido.

VISUALIZACIÓN DEL IMPACTO EN EL TERRITORIO



RESULTADO DEL ACCIDENTE MAYOR

Un accidente mayor puede constituir un escenario de **DESASTRE**

Cuando se genere una afectación intensa, grave y extendida sobre las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad.

Programa de Prevención de Accidente Mayor PPAM

Listado de sustancias químicas asociadas a accidentes mayores y cantidades umbral

Parte 1. Listado de peligros con base en el Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos -SGA

Parte 2. Listado de sustancias químicas específicas identificadas por su nombre y número CAS

PARTE 1
Listado de peligros con base en la sexta edición del Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos – SGA

PELIGROS	Cantidades Umbral (toneladas)
PELIGROS PARA LA SALUD	
TOXICIDAD AGUDA – Categoría 1, todas las vías de exposición	20
TOXICIDAD AGUDA Categoría 2, todas las vías de exposición Categoría 3, vía de exposición por inhalación	200
TOXICIDAD ESPECÍFICA EN DETERMINADOS ÓRGANOS DIANA – EXPOSICIÓN ÚNICA Categoría 1	200
PELIGROS FÍSICOS	
EXPLOSIVOS Explosivos de las divisiones 1.1, 1.2, 1.3, 1.5 o 1.6 Sustancias o mezclas que tengan propiedades explosivas de acuerdo con el SGA y no pertenezcan a las clases de peligro <peróxidos orgánicos> o <sustancias o mezclas que reaccionan espontáneamente>	50

PARTE 2
Listado de sustancias específicas identificadas con su nombre y número CAS

Sustancia peligrosa	Número CAS	Cantidades Umbral (toneladas)
1. Nitrato de amonio (véase la nota 1)	—	10 000
2. Nitrato de amonio (véase la nota 2)	—	5 000
3. Nitrato de amonio (véase la nota 3)	—	2 500
4. Nitrato de amonio (véase la nota 4)	—	50
5. Nitrato de potasio (véase la nota 5)	—	10 000
6. Nitrato de potasio (véase la nota 6)	—	5 000
7. Pentaóxido de diarsénico, ácido arsénico (V) y/o sales	1303-28-2	2
8. Trióxido de arsénico, ácido arsenioso (III) y/o sales	1327-53-3	0,1
9. Bromo	7726-95-6	100
10. Cloro	7782-50-5	25

Programa de Prevención de Accidente Mayor PPAM

Regla por la cual se identifican las instalaciones clasificadas, que tienen presencia de más de una sustancia química por debajo de los valores umbral.

q1/QU1 + q2/QU2 + q3/QU3 + q4/QU4 + q5/QU5 + ... es igual o mayor que 1

Dónde

qn = la cantidad de la sustancia peligrosa o categoría de sustancias peligrosas *n* contemplada en la parte 1 o la parte 2 del Anexo,

QUn = la cantidad umbral pertinente para la sustancia peligrosa o categoría *n* de la columna 2 de la parte 1 o de la columna 2 de la parte 2 del Anexo.

Legislación nacional asociada

Ley 1523	CONPES 3868	Decreto 2157	Decreto 1347	Decreto 1868	Resolución 40411	Resolución 0559
Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y SNGRD	Política de Gestión de Riesgos asociados al uso de sustancias químicas y necesidad del PPAM	Plan de Gestión del Riesgo de Desastres para Entidades Públicas y Privadas–PGRD EPP	Programa de Prevención de Accidentes Mayores (PPAM)	Plan Nacional de Contingencia por pérdida de contención de hidrocarburos y otras sustancias peligrosas	Política de Gestión del Riesgo de Desastres para el sector minero energético	Valores nacionales de riesgo máximo individual accidental para instalaciones fijas
2012	2016	2017	2021	2021	2021	2022

Y resoluciones que lo acompañan.

Reflexiones finales

•**Gobernanza y responsabilidad legal:** La normatividad nacional requiere que los instrumentos de identificación y gestión de riesgos sean actualizados periódicamente. El involucramientos de todos los niveles de la empresa, incluidos los tomadores de decisiones, es esencial, dada su responsabilidad ante potenciales accidentes tecnológicos y/o desastres.

•**Integración con la continuidad del negocio (BCP):** Es muy importante articular el análisis de riesgo tecnológico, Natech y potencial accidente mayor con la resiliencia operativa y financiera de la compañía, cuantificando los escenarios de pérdida máxima probable y asegurando pólizas y planes de contingencia para garantizar la continuidad del negocio.

•**Asignación presupuestal para barreras críticas:** Garantizar partidas financieras prioritarias destinadas al mantenimiento preventivo, integridad mecánica de equipos de proceso, sistemas instrumentados de seguridad y equipamiento de brigadas de emergencia es esencial.

•**Articulación territorial:** La coordinación activa con los Consejos Municipales de Gestión del Riesgo de Desastres (CMGRD) y el flujo de información transparente con las comunidades vecinas es fundamental para una gestión de riesgo acorde con la realidad de los riesgos presentes en el territorio.

•**Cultura de seguridad y aprendizaje operativo:** Promover desde la junta directiva un entorno no punitivo para el reporte de incidentes y cuasi-accidentes (*near-misses*), respaldando la capacitación técnica continua para fortalecer el conocimiento de los riesgos y su reducción, y la ejecución rigurosa de simulacros de respuesta a emergencias.

El riesgo tecnológico: gestión y toma de decisiones informadas

María Camila Suárez Paba Ph.D.

mc.suarez151@uniandes.edu.co











