

OBJETIVOS Y ETAPAS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS

Sergio Garza Ayala – Dinámica Heurística
Monterrey, N.L. 26 de noviembre del 2021

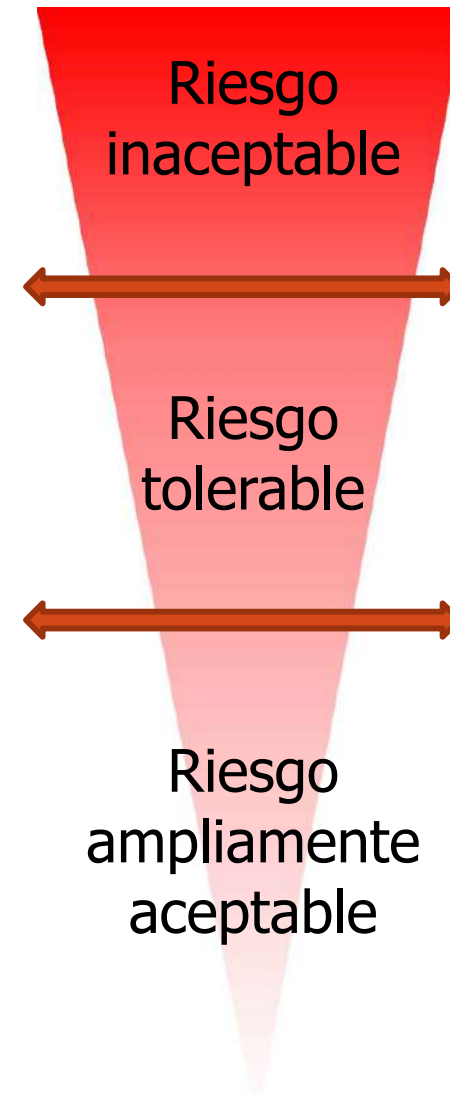
Objetivo de Análisis de Riesgos

- Evaluación de la posibilidad de una catástrofe.
 - Accidente Deepwater Horizon British Petroleum.
 - Costo \$50 mil a \$100 mil millones US
- Bhopal
 - 12 mil fatalidades
 - 600 mil personas afectadas
 - Fuente: Wikipedia
- Contaminación
 - Pérdida de 3 años de esperanza de vida (< PM2.5), 150 muertes por año por millón de habitantes (Aproximado)
 - Fuente: Univ. Chicago
- Río Sonora-Presa de jales
 - Grupo México puso a disposición \$300 millones US inmediatamente
- Triple desastre Japón (Terremoto, Tsunami, Nuclear)
 - Costo \$200 mil a \$360 mil millones US
 - Fuente: NOAA, Wikipedia



Definición de Riesgo

- Existen diferentes definiciones de riesgo.
- Una buena definición de riesgo en el caso de procesos industriales implica que se pueda utilizar para:
 - Tomar las mejores decisiones bajo incertidumbre.
 - Medir y evaluar el riesgo
 - Priorizar escenarios de accidente
 - Identificar si el riesgo es tolerable al compararlo con estándares internacionales, ramas industriales u otros procesos.



Definición de Riesgo en Procesos

- Hay diversas definiciones de riesgo, algunas de ellas no del todo adecuadas para Procesos Industriales
 - Probabilidad de que el manejo de una o varias sustancias químicas peligrosas provoquen la ocurrencia de un accidente mayor y las consecuencias de este
 - NOM-028-STPS
 - Probabilidad de que se produzca un efecto específico en un período de tiempo determinado o en circunstancias determinadas
 - Real Decreto SEVESO III (España)
 - Directiva SEVESO Unión Europea
 - Definiciones basadas en documentos obsoletos de UNDRR (Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres).

Riesgo 1 = probabilidad 0.4 de accidente mayor

Riesgo 2 = probabilidad 0.6 de accidente mayor

¿Qué es accidente mayor?

Riesgo 1 = 0.4 * 100 fatalidades

Riesgo 1 = 40 fatalidades

Riesgo 2 = 0.6 * 10 fatalidad

Riesgo 2 = 6 fatalidades

Definición de Riesgo AICHE-CCPS

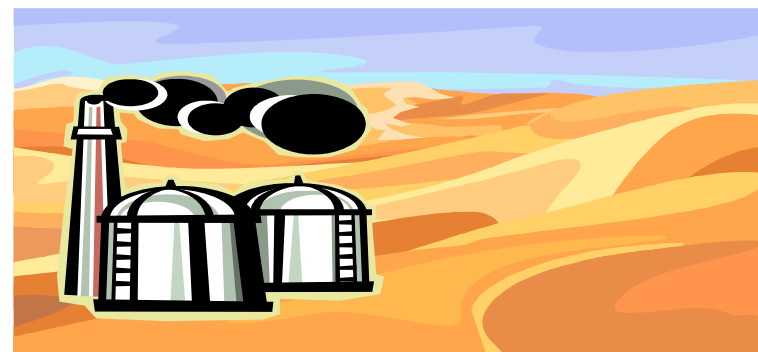
- Peligro (CCPS,1992)
 - Es una característica inherente química o física con el potencial de causar daño.
 - Personas
 - Propiedad
 - Medio ambiente.
- Riesgo (CCPS,1992)
 - Es una función de la severidad del accidente y de la probabilidad o frecuencia de que cause daño.
 - CCPS (Center for Chemical Process Safety)
 - AICHE (American Institute of Chemical Engineers)



■ Peligro y Riesgo

- Hay dos instalaciones similares, una en una ciudad y la otra en un desierto, cada instalación cuenta con dos tanques; uno con 100 mil litros de cloro y el otro tanque con 100 mil litros de gas LP .
 - Las dos se administran igual con probabilidad de accidente de 0.02
 - Severidad en ciudad 1000 fatalidades
 - Severidad en desierto 100 fatalidad
 - ¿Cuál es el riesgo de cada instalación?

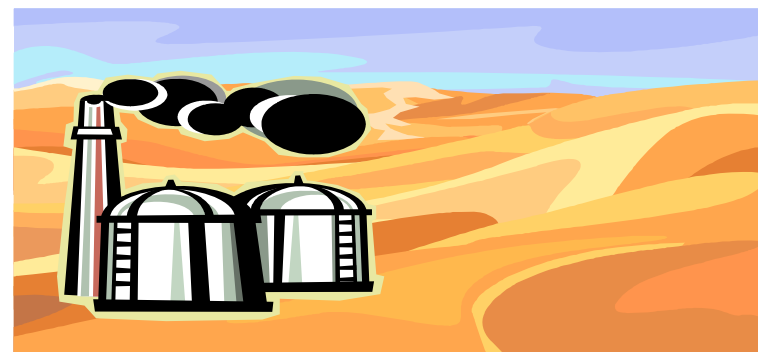
¿Qué figura representa un mayor riesgo?



■ Peligro y Riesgo

- Riesgo ciudad.
 - $1000 \text{ fatalidades} * 0.02 = 20 \text{ fatalidades}$
- Riesgo desierto
 - $100 \text{ fatalidades} * 0.02 = 2 \text{ fatalidades}$

¿Qué figura representa un mayor riesgo?



■ Peligro y Riesgo

- Planta A y B similares
- Planta A
 - Sistemas administrativos, de mantenimiento, de seguridad y de ingeniería operan de una manera adecuada
- Planta B
 - Operación deficiente
- ¿Probabilidad, peligro y riesgo de accidente de cada planta?



■ Peligro y Riesgo

- Riesgos Naturales
 - Riesgo 1 = Terremoto Catastrófico
 - Riesgo 2 = Huracán Catastrófico
 - Riesgo 3 = Tsunami Catastrófico
- Datos para México
 - Base de datos EM-DAT
 - Base de datos de desastres internacionales
 - Universidad de Lovaina
 - Gobierno Bélgica
 - OMS

- Terremotos
 - 1968 a 2017 = 50 años
 - 30 terremotos
 - Costo promedio 481 millones US\$
- Huracanes
 - 1968 a 2017 = 50 años
 - 86 huracanes
 - Costo promedio 360 millones US\$
- Tsunamis
 - 1968 a 2017 = 50 años No hay registros
 - En algunos fenómenos se requieren lapsos de tiempo mayores
- Frecuencias
 - Terremotos = $30/50 = 0.6/\text{año}$
 - Huracanes = $86/50 = 1.72/\text{año}$
 - Tsunamis = $0/50 = 0$
- Riesgo anual millones US/año
 - Terremoto = $0.6 * 481 = 288.6$
 - Huracanes = $1.72 * 360 = 619.2$
- Base Datos EM-DAT

Riesgos Naturales y Cambio Climático

- En México de 1968 al 2017 (50 años) hubo 86 huracanes catastróficos con un costo promedio por huracán de 360 millones de dólares y de 2008 al 2017 (10 años) hubo 31 huracanes catastróficos con un costo promedio de 519 millones de dólares.
- Nota: Los fenómenos hidrometeorológicos incluyen
 - Hidrológicos
 - Avalanchas
 - Inundaciones
 - Climatológicos
 - Temperaturas extremas
 - Sequías
 - Incendios forestales
 - Meteorológicos
 - Ciclones o Huracanes
 - Tormentas
 - Marejadas

■ Ciclo 50 años

- Frecuencia anual
 - $86/50 = 1.72$ huracanes/año
- Severidad Anual
 - 360 millones US
- Riesgo Anual
 - $1.72 \times 360 = 619.2$ millones US

■ Ciclo 10 años

- Frecuencia anual
 - $31/10 = 3.1$ huracanes/año
- Severidad Anual
 - 519 millones US
- Riesgo Anual
 - $3.1 \times 518 = 1608.9$ millones US

Probabilidad y Frecuencia

■ Probabilidad

- Medida asociada a la certidumbre de un evento, generalmente se expresa entre 0 y 1, por ejemplo, si hay 1000 boletos en una rifa y compramos uno, la probabilidad sería $1/1000$ de obtener el premio.

■ Frecuencia Absoluta

- Asociada con el número de veces que se repite un evento.
 - Ej. Número de veces que jugamos a la lotería.
 - Ej: Número de tareas peligrosas realizadas en proceso

■ Frecuencia relativa

- Relación entre la frecuencia absoluta y otro dato como el tamaño de la muestra o el tiempo (N).
 - Ej. Número de accidentes por año
 - Ej. Número de accidentes catastróficos entre el número de tareas peligrosas realizadas.
 - Cuando N es muy grande la frecuencia relativa tiende a la probabilidad del evento.

■ Frecuencia y Probabilidad

- El análisis de riesgos de un proceso químico ha determinado que el costo de una explosión en un reactor químico sería de 100 millones de dólares. (Promedio para México)
- La causa iniciadora, sería la falla de un controlador de flujo crítico para el buen funcionamiento y seguridad del proceso. Este controlador tiene una frecuencia de falla de 1 vez cada 10 años.
- Un sistema integrado de seguridad o salvaguarda de prevención protege al reactor en caso de falla del controlador con una probabilidad de falla en demanda de 0.1, es decir fallaría 1 de cada 10 veces de que se le demande su funcionamiento.

¿Cuál es el riesgo anual para esa planta química?

- Frecuencia anual de causa iniciadora = $1/10 = 0.1$
- Probabilidad de falla en demanda de salvaguarda = 0.1
- Severidad del accidente = 100 millones de dólares.

- Riesgo = Frecuencia de causa iniciadora *
Probabilidad de falla en demanda de salvaguardas *
Severidad del accidente

- = $0.1 * 0.1 * 100$ millones

- = 1 millón de dólares anuales

- ¿Es riesgo alto o bajo? ¿Qué hacer para disminuirlo?



Otras definiciones relacionadas con riesgo

- Vulnerabilidad
 - Las características y circunstancias que vuelven susceptibles a una comunidad, sistema o bien, a los efectos dañinos de una amenaza. (ISDR, 2009)
- Grado de exposición
 - La población, las propiedades, los sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existen amenazas y, por consiguiente, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales. (ISDR, 2009)
- Capacidad, resiliencia

- En general estas definiciones son utilizadas sobre todo para riesgos naturales, se relacionan a la severidad del escenario de riesgo.



Objetivo de la evaluación del riesgo

- Calificar el riesgo permite la toma de decisiones bajo incertidumbre de una manera racional.
- Priorizar escenarios de accidente.
- Identificar si el riesgo es tolerable
- Es importante considerar que el riesgo tiene un carácter aleatorio.



■ Evaluación del riesgo

◆ Cualitativa

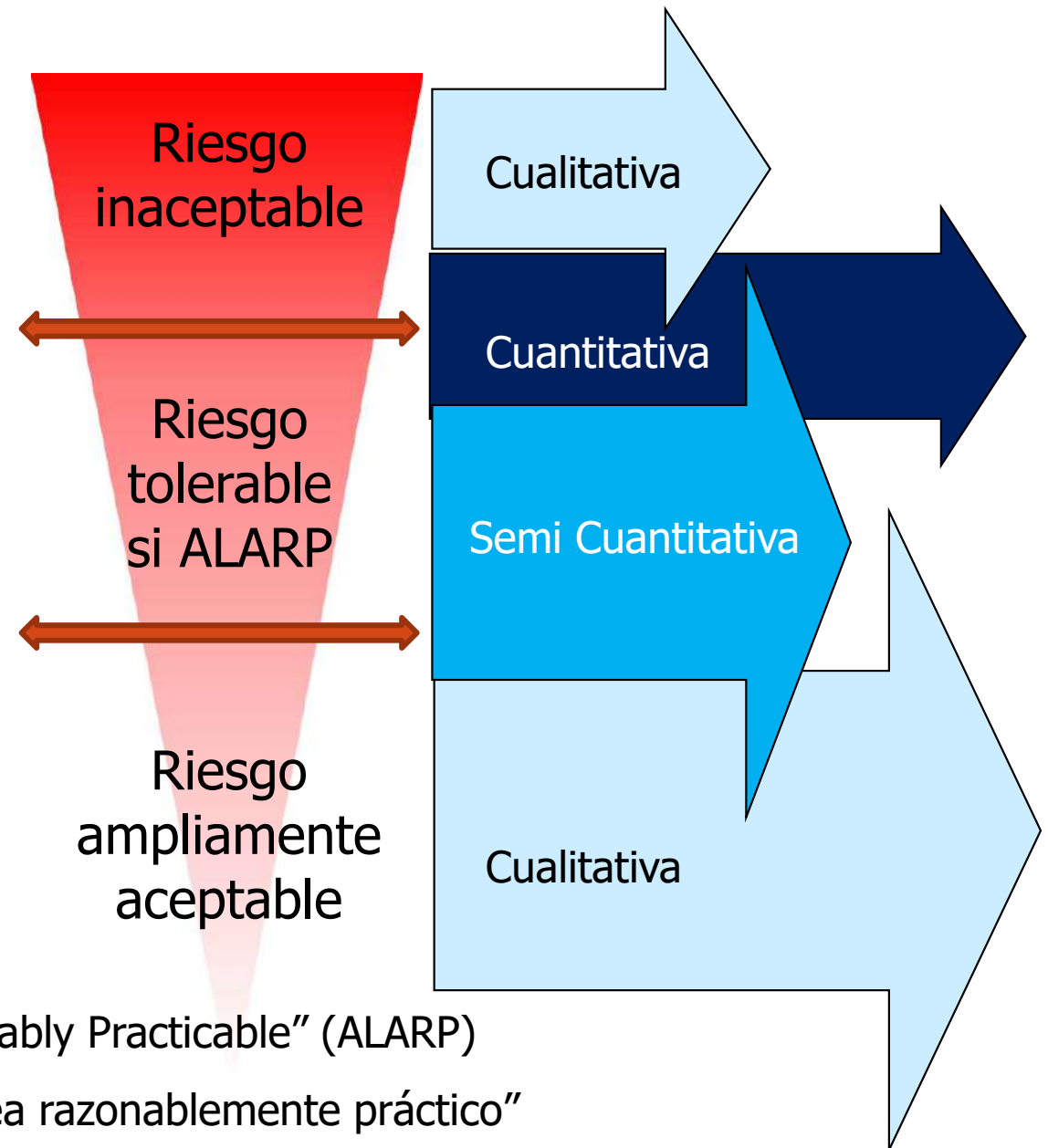
- Severidad y frecuencia en palabras
- Hazop, WhatIf

◆ Semicuantitativa

- Como calificaciones o en términos de rangos numéricos
- Hazop, WhatIf

◆ Cuantitativa

- Cuantificación completa
- Análisis Cuantitativo y/o LOPA



Disminuir Riesgo – “As low as Reasonably Practicable” (ALARP)

Disminuir Riesgo – “Tan bajo como sea razonablemente práctico”

■ Análisis de riesgo

La seguridad y confiabilidad en el diseño de una planta se apoyan en códigos de práctica, códigos de diseño y estándares, que representan la acumulación de conocimiento y experiencia de la industria.

Sin embargo, aunque esto es muy valioso, es necesario complementarlo con una anticipación imaginativa de las desviaciones que pudieran ocurrir por problemas de equipo o errores del operador



■ Análisis de riesgo

Listas de Verificación

Generación de escenarios mediante tormentas de ideas

- ¿Qué pasa sí?
- Hazop
- Análisis del Modo de Falla/Efecto
- Árbol de fallas



De Hazop a Riesgo Cuantitativo o LOPA (Análisis de Capas de Protección)

Los escenarios más críticos y/o complejos generados con Hazop se analizan ahora con LOPA

- Escenarios Críticos
 - Alta severidad
 - (sin importar frecuencia)
 - Alto riesgo
 - (producto de severidad y probabilidad)
- Escenarios Complejos
 - Causa iniciadora no bien entendida
 - Secuencia de eventos no bien entendida
 - Independencia e integridad de salvaguardas (capas de protección) no bien entendidas



■ Priorización por Matriz de Riesgos

Matriz de Riesgo en base a Mil Std 882 (Semicuantitativo)


Frecuencia	Severidad			
	Insignificante	Marginal	Crítico	Catastrófico
Improbable	20. Aceptable sin revisión	17. Aceptable con revisión	15. Aceptable con revisión	12. Aceptable con revisión
Remoto	19. Aceptable sin revisión	14. Aceptable con revisión	10. Aceptable con revisión	8. Indeseable
Ocasional	18. Aceptable sin revisión	11. Aceptable con revisión	6. Indeseable	4. Inaceptable
Probable	16. Aceptable con revisión	9. Indeseable	5. Inaceptable	2. Inaceptable
Frecuente	13. Aceptable con revisión	7. Indeseable	3. Inaceptable	1. Inaceptable

Calibrar Matriz de Riesgos

- Definición de tolerabilidad del riesgo por la empresa en base a pérdida anual en dólares por año
 - Riesgo inaceptable
 - Mayor a 1 millón US/año
 - Riesgo indeseable
 - Entre 500 mil a 1 millón US/año
 - Riesgo aceptable con revisión
 - Entre 100 mil a 500 mil US/año
 - Riesgo aceptable sin revisión
 - Menor a \$100 mil US/año
- Ajustar la matriz de riesgo a esta definición de tolerabilidad
- Similar para otras categorías como fatalidad, daño ambiental, etc.
- La tolerabilidad económica depende de la fortaleza financiera de la empresa, para fatalidades, lesionados o daño ambiental se debe seguir un criterio general.

FRECUENCIA	SEVERIDAD (Dólares)			
	<= 100 mil	> 100 mil a 1 millón	>1 a 10 millones	> 10 millones
Mes	Indeseable	Indeseable	Inaceptable	Inaceptable
1 año	Aceptable con revisión	Aceptable con revisión	Indeseable	Inaceptable
10 años	Aceptable sin revisión	Aceptable sin revisión	Aceptable con revisión	Indeseable
100 años	Aceptable sin revisión	Aceptable sin revisión	Aceptable sin revisión	Aceptable con revisión
1000 años	Aceptable sin revisión	Aceptable sin revisión	Aceptable sin revisión	Aceptable sin revisión

Diversas Categorías de Consecuencias

Categoría del impacto	Magnitud del impacto 				
	1	2	3	4	5
En sitio (Trabajador)	Lesión registrable	Lesión con pérdida de tiempo	Lesiones múltiples o severas	Efectos permanentes en salud	Fatalidades
Fuera de sitio (Público)	Olor; exposición debajo de límites	Exposición arriba de límites	Lesión	Hospitalización o lesiones múltiples	Lesiones severas o permanentes
Impactos ambientales	Emisión reportable	Efectos localizados y a corto plazo	Efectos intermedios	Efectos a largo plazo o amplios	Efectos a largo plazo o amplios
Responsabilidad	Planta	División; reguladores	Corporación; Vecindad	Local/ estatal	Estatal/ nacional

Reducir riesgo a metas específicas

Riesgo tolerable

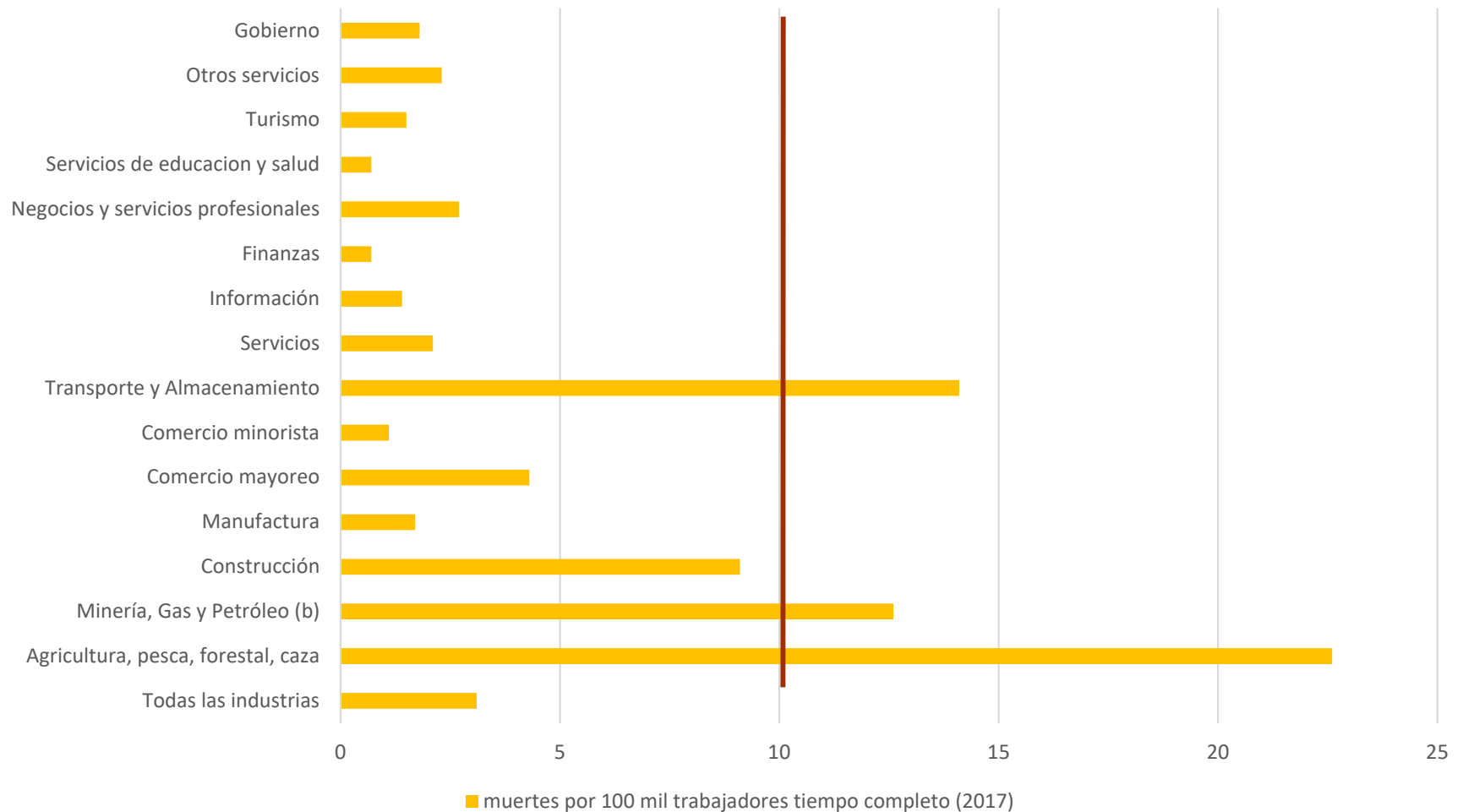
- Riesgo anual de fatalidad por accidente automovilístico USA-2020
 - 38,680/330,000,000
 - $0.00012 = 1.2 \times 10^{-4}$
 - $1/10,000 = 0.0001 = 10^{-4}$ (USA) Referencia
 - Fallece una persona por cada 10 mil habitantes en EUA por accidente auto.
- Riesgo anual fatalidad en minería gas y petróleo (USA)
 - 1.3×10^{-4} (USA)
 - Fallecen 13 por cada 100 mil trabajadores
- Riesgo anual fatalidad por Covid (U. de Washington)
 - 905,289/328,000,000 (USA)
 - $28 \times 10^{-4} = 2.8 \times 10^{-3}$
 - 617,127/127,000,000 (Mex)
 - $49 \times 10^{-4} = 4.9 \times 10^{-3}$
 - 120,729/83,000,000 (Alemania)
 - $15 \times 10^{-4} = 1.5 \times 10^{-3}$
 - <http://www.healthdata.org/news-release/covid-19-has-caused-69-million-deaths-globally-more-double-what-official-reports-show>



Reducir riesgo a metas específicas

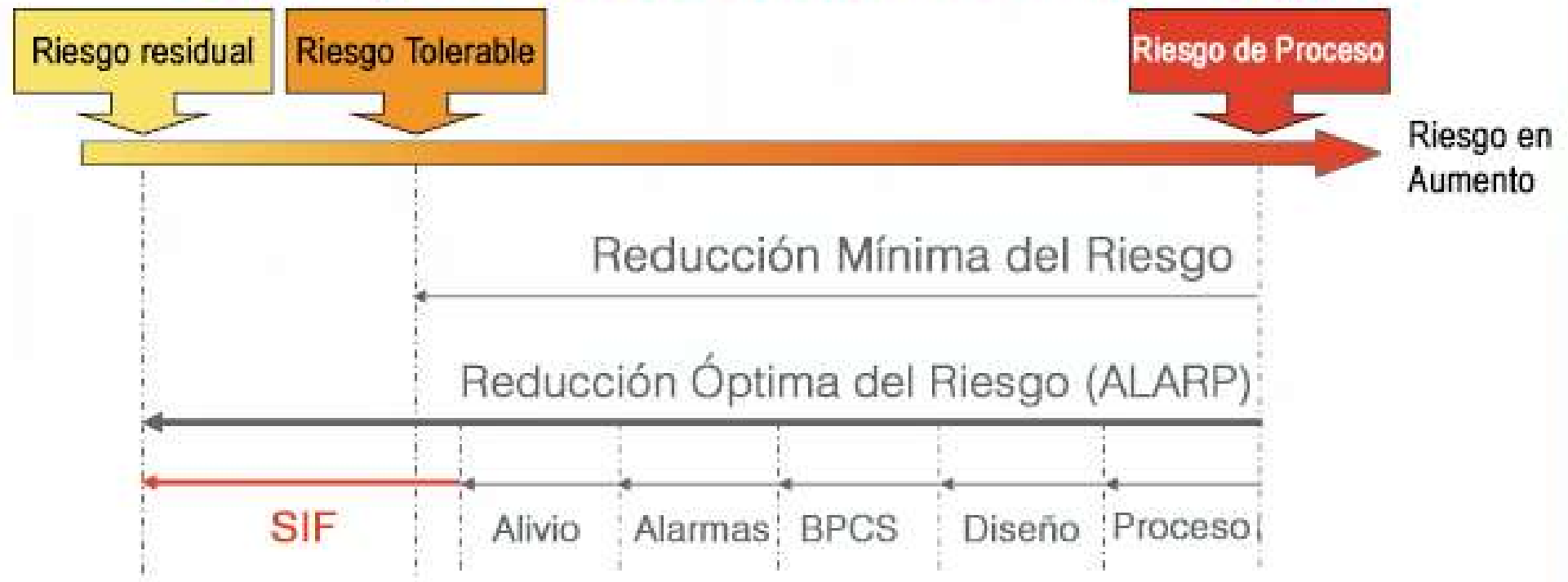
Riesgo tolerable

muerter por 100 mil trabajadores tiempo completo (2017)



Reducción del Riesgo

SIF y Reducción de Riesgo

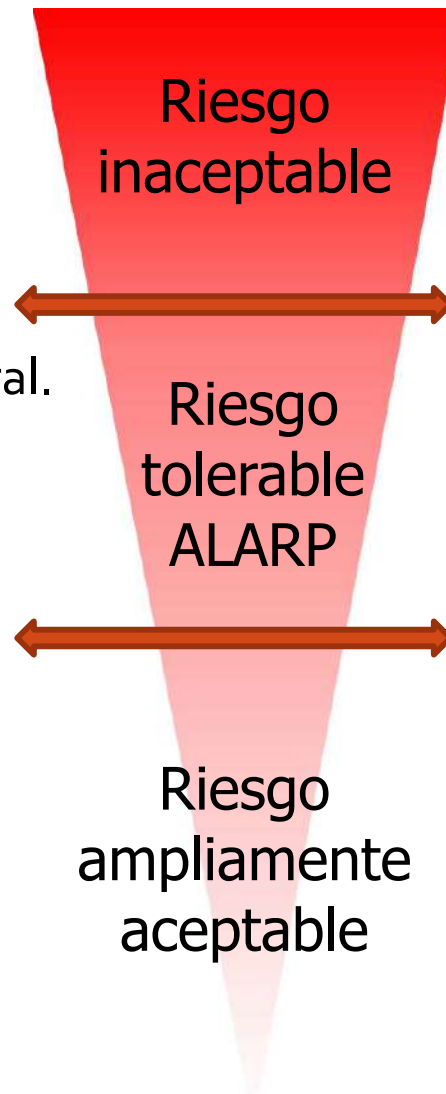


SIF (Safety Instrumented Function)
BCPS (Basic Process Control System)
ALARP (As Low as Reasonably Practicable)

El concepto ALARP (As Low as Reasonably Practicable)

UK-HSE criterio de riesgo de fatalidad individual al trabajador 10^{-3} por año y 10^{-4} público en general.

UK-HSE criterio de riesgo de fatalidad individual al trabajador 10^{-6} por año.



El riesgo no es justificable excepto en circunstancias extraordinarias.

Tolerable solo si una reducción adicional del riesgo es impráctica.

Nota. UK-HSE criterio es por persona para todos los peligros del proceso

UK-HSE (United Kingdom – Health and Safety Executive)

■ Riesgo colectivo y aversión al riesgo

- Empresas con las siguientes estadísticas
 - 1 fatalidades por año
 - Frecuencia 1 por año
 - Ej. Empresa de construcción
 - 10 fatalidades cada 10 años
 - Frecuencia 1 por año
 - Ej. Planta química
 - 100 fatalidades cada 100 años
 - Frecuencia 1 por año
 - Ej. Planta muy peligrosa



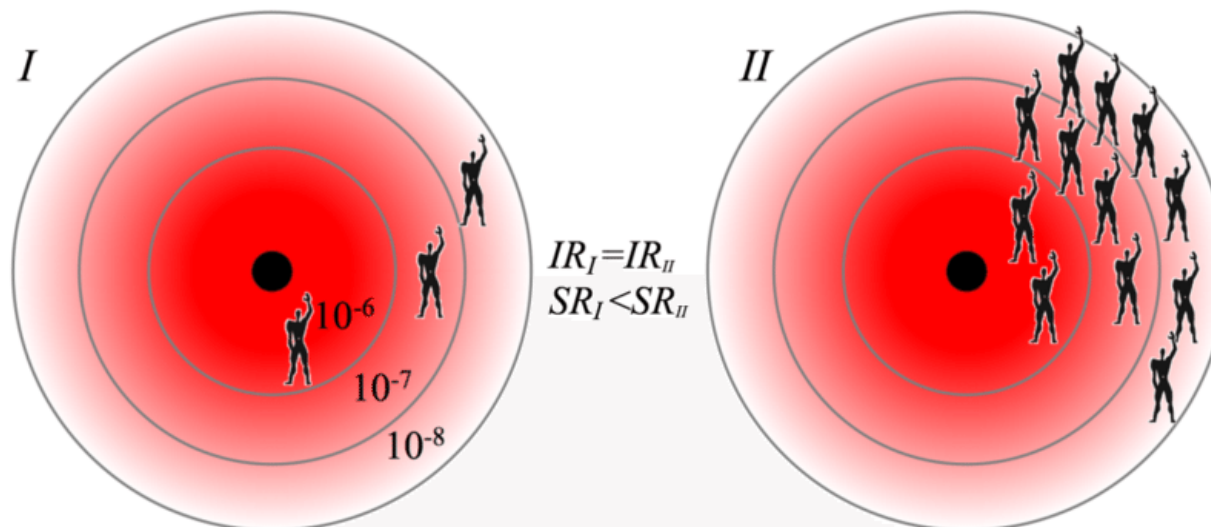
Riesgo colectivo y riesgo individual

■ Riesgo individual

- El riesgo a una persona en la vecindad de un peligro, que incluye la naturaleza de la lesión, la probabilidad y el período de tiempo en que la lesión podría ocurrir. (CCPS)

■ Riesgo colectivo “societal”

- Una medida del riesgo de un grupo de personas a menudo expresado en términos de distribución de frecuencia de eventos con múltiples víctimas. (CCPS)



■ Riesgo Agudo y Riesgo Crónico

■ Riesgo Agudo

- Riesgo de un evento de corto plazo tal como emisiones que causan fuego, explosión o una exposición tóxica de corta duración.
- En toxicidad se utilizan concentraciones como el IDLH definidas como un daño permanente en la salud en 30 minutos o concentraciones que causan muerte (AEGL-3).

■ Riesgo Crónico

- Riesgo a una exposición persistente a largo plazo (Riesgo laboral o ambiental)
- En toxicidad se utilizan concentraciones para riesgo laboral como el TLV-TWA en las cuales un trabajador puede estar expuesto 8 horas diarias 40 horas a la semana sin tener un riesgo en la salud
- Para riesgo a la salud por contaminación concentraciones dentro de normas ambientales.



■ Riesgo Crónico - Contaminación

■ Riesgo Crónico

- En EUA se estima que fallecen al año 50 mil personas por contaminación con PM_{2.5} (Bulletin of WHO).
- Riesgo 50 mil/330 millones= 1.5×10^{-4}
- Contaminación con material particulado es la mayor amenaza a la salud mundial, la esperanza de vida se reduce entre 2.9 y 4.3 años
- Cada exposición adicional de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{2.5} por arriba de la norma de WHO reduce la esperanza de vida en 0.98 años.
- La concentración promedio para USA es $0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para México es $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Fuentes: "Air Quality Life Index" University of Chicago y McGill University
- Un año menos de esperanza de vida en una población de 1 millón de habitantes con una esperanza de vida de 80 años implica que fallecen en exceso 156 personas/año.



■ Riesgo Crónico-Golpes de Calor

- **Golpes de calor (Cambio climático)**
 - Las olas de calor son de los riesgos naturales más peligrosos y no reciben la atención adecuada porque sus muertes no son obvias de inmediato. (**World Health Organization**).
 - Entre 1998 y 2017, más de 166 mil personas murieron debido a las olas de calor.
 - 70 mil murieron en Europa durante la ola de calor de 2003.
 - El límite máximo de supervivencia humana para el cambio climático consiste en un máximo de temperatura de bulbo húmedo (TBH) de 35 °C. Cualquier exceso de 35 °C (TBH) durante períodos prolongados induce hipertermia y muerte en humanos y otros mamíferos.
 - En ese mismo estudio se consideraba que a nivel mundial no se había excedido los 31 °C (TBH).
 - Actualmente en México y otros países se presentan temperaturas mayores a 35 °C de TBH por periodos breves.



Etapas en los Análisis de Riesgos

- Identificación de los peligros
 - Lleva a escenarios fundamentales de accidentes que requieren mayor consideración y análisis
- Determinar la probabilidad o frecuencia del escenario
 - Identificar la factibilidad del evento con su probabilidad o frecuencia de ocurrencia
- Determinar la severidad del escenario (Análisis de Consecuencias)
 - Identificar la consecuencia
 - Comprender la naturaleza y gravedad de los accidentes
- Generar recomendaciones para mejorar la seguridad de la instalación



Seguridad Inherente

- Controles de seguridad inherente (Reducir vs controlar peligros)
 - Minimizar
 - Reducir materiales y operaciones peligrosas
 - Sustitución
 - Materiales, procesos y métodos más seguros
 - Moderar
 - Reducir la potencia de un efecto
 - Simplificar
 - Diseñar para evitar los problemas
 - Tolerancia al error
 - Capaz de soportar fallas
 - Limitar los efectos
 - Pendiente (inclinación) en derrames para coleccionar el líquido

Reducción del riesgo

¿Qué es más práctico, reducir la severidad o la probabilidad de un accidente?

¿A qué se le da generalmente mayor importancia, a la severidad o a la frecuencia?

¿Qué es más fácil de evaluar, la severidad o la frecuencia?

Ver video: CSB- Chemical Safety Board

Riesgo = Función(Severidad, Frecuencia)



Anatomía de un Accidente.

Niveles o Capas de Protección

Contención	Control	Prevención	Mitigación
Integridad mecánica	Sistema de control automático del proceso	Alarmas	Respuesta a emergencias
Mantenimiento preventivo/predictivo	Controles manuales	Intervención del operador	Rociadores, cortinas de agua
Entrenamiento del operador	Refacciones en línea	Lazos de control "Interlocks"	Diques, trincheras
Factores humanos	Sistemas de respaldo	Cierre de emergencia, alivio de emergencia	Barricadas contra explosión
Barreras contra impacto		Control de fuentes de ignición	Equipo de protección personal



Peligro	Causa	Desviación	Accidente	Impacto
Material o energía contenida y controlada en operación normal	Evento iniciador de problema en proceso; arranque de secuencia de accidente	Excursión más allá de los límites de operación/diseño	Pérdida de contención de materia/energía	Severidad de consecuencias y pérdidas
Toxicidad	Falla mecánica	No flujo	Fuego	Lesiones
Inflamabilidad	Error de procedimiento	Alta temperatura	Explosión	Fatalidades
Reactividad	Fuerza externa	Nivel bajo	Emisión tóxica	Daño a la propiedad
Presión elevada	Suciedad	Paso omitido	Emisión de energía	Interrupción negocio
Etc..	Etc.	Material incorrecto		Daño ambiental

■ Análisis de riesgo

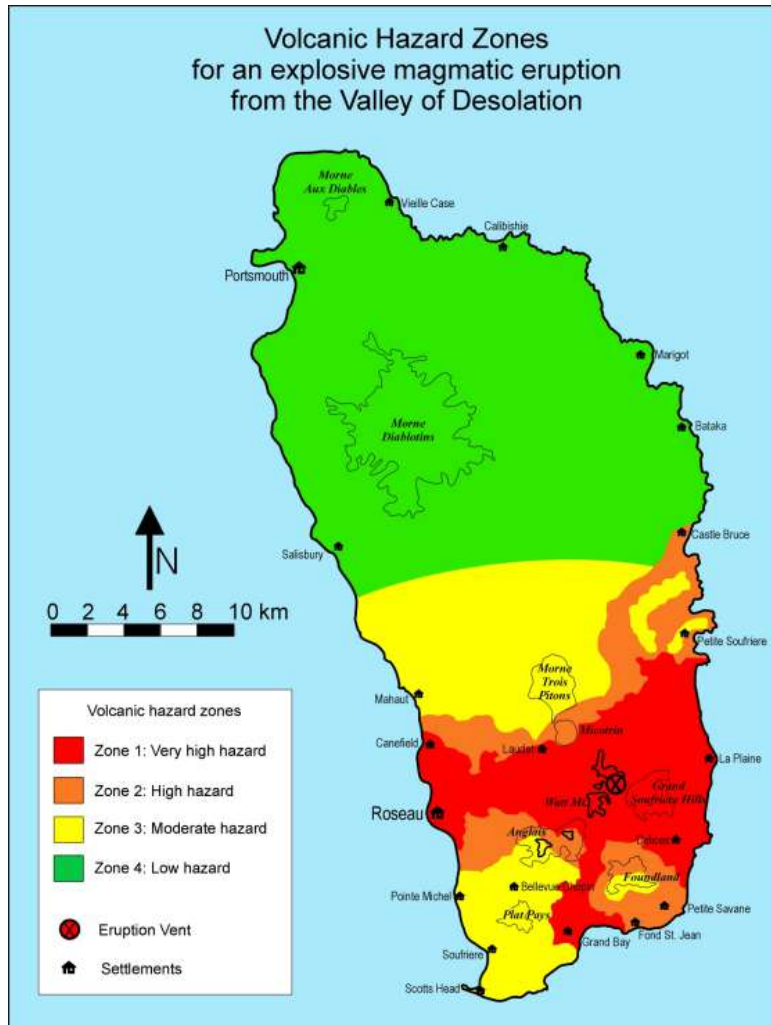
Listas de Verificación

Generación de escenarios mediante tormentas de ideas

- ¿Qué pasa sí?
- Hazop
- Análisis del Modo de Falla/Efecto
- Árbol de fallas

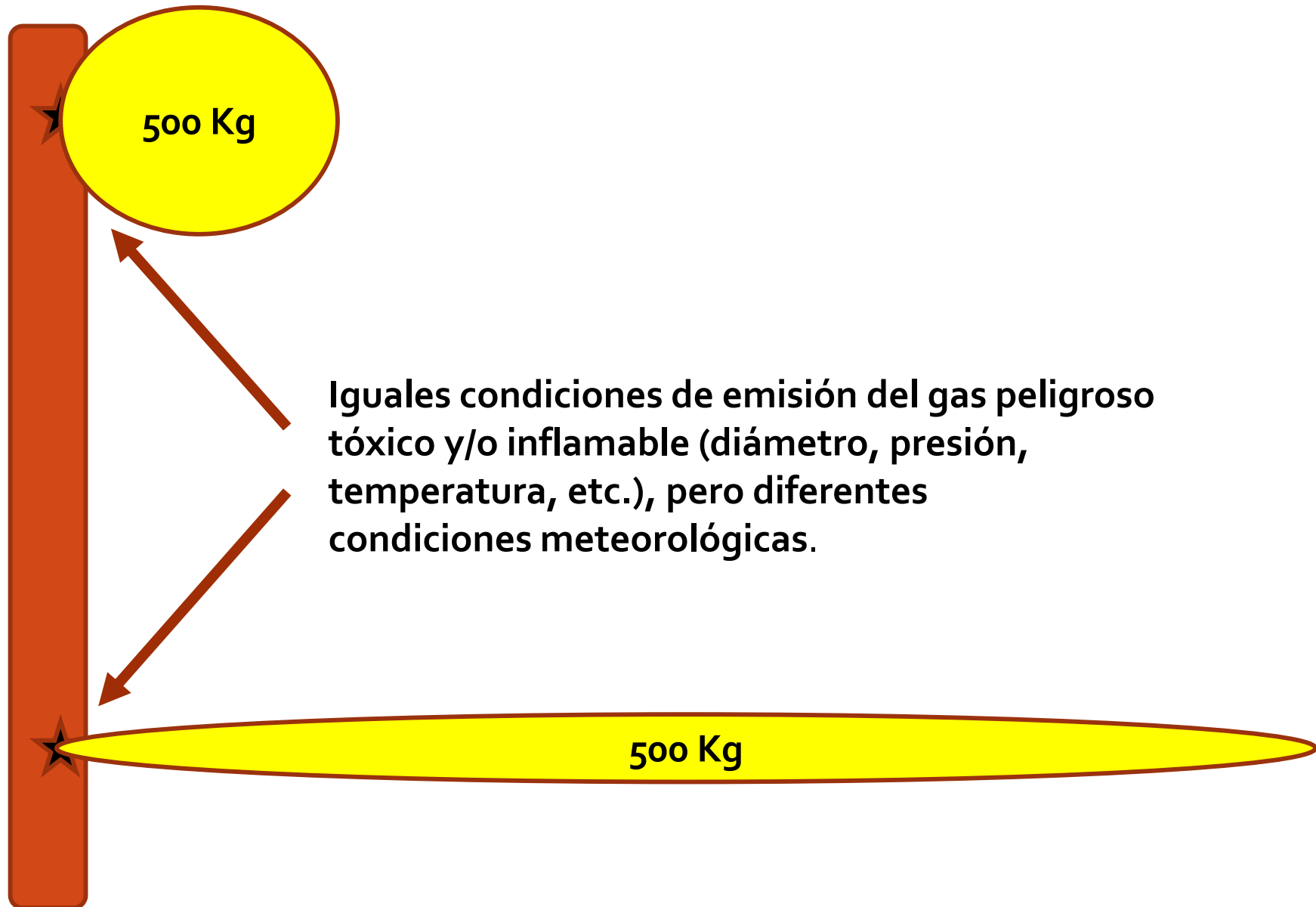


Severidad-Análisis de Consecuencias



- Número y nivel del daño. Lesiones, fatalidades
- Criterio del daño. IDLH, TLV-TWA, enfermedad, lesiones
- Localización – daños a la gente, efectos dominó
- Modelos
 - Dispersión de gases
 - Toxicología
 - Efectos térmicos
 - Ondas explosivas

|| Sensibilidad a diferentes condiciones



Evaluación de Modelos (CCPS)

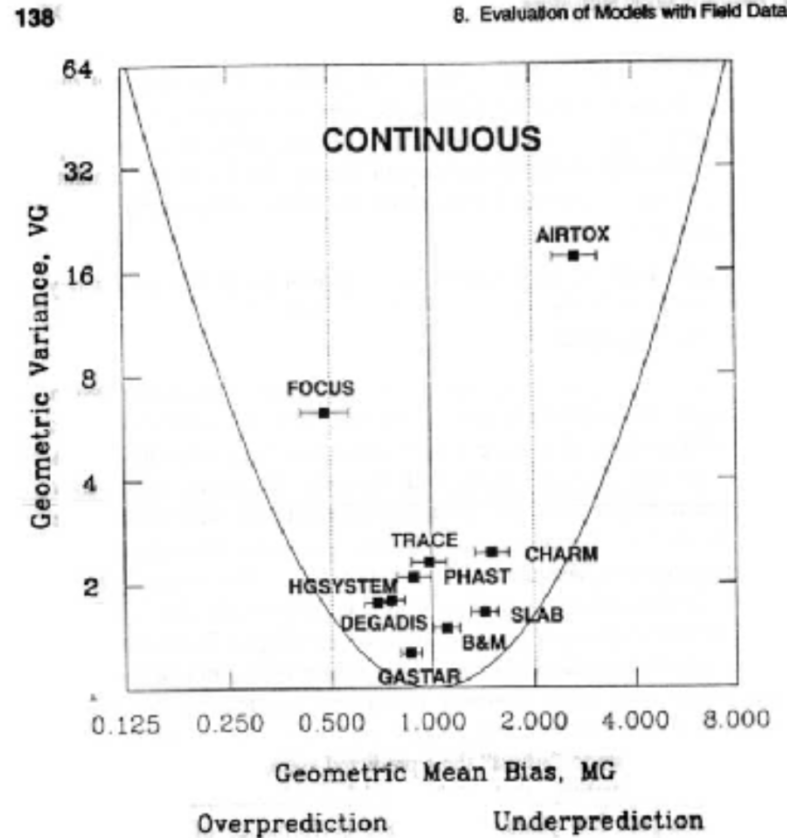


Figure 8-3. Model (1991 versions) performance measures, geometric mean bias $MG = \exp(\ln C_c - \ln C_p)$ and geometric variance $VG = \exp[(\ln C_c - \ln C_p)^2]$ for maximum plume centerline concentration predictions and observations. 95% confidence intervals on MG are indicated by the horizontal lines. The solid parabola is the "minimum VG " curve. The vertical dotted lines represent "factor of two" agreement between mean predictions and observations. For continuous dense gas data sets (Burro, Coyote, Desert Tortoise, Goldfish, Maplin Sands and Thorney Island), involving a total of 32 trials and 123 points for the shortest available instrument averaging times (from Hanna et al, 1993).

horizontally from each point indicate 95% confidence limits on the geometric mean, MG . A model that has no random scatter but suffers a mean bias would be placed somewhere along the parabolic curve, $(\ln VG)^{1/2} = \ln MG$, which represents the minimum possible value of VG that corresponds to a particular MG . Therefore, all of the points must lie within or above the parabola. Furthermore, the vertical dotted lines on the figures mark the

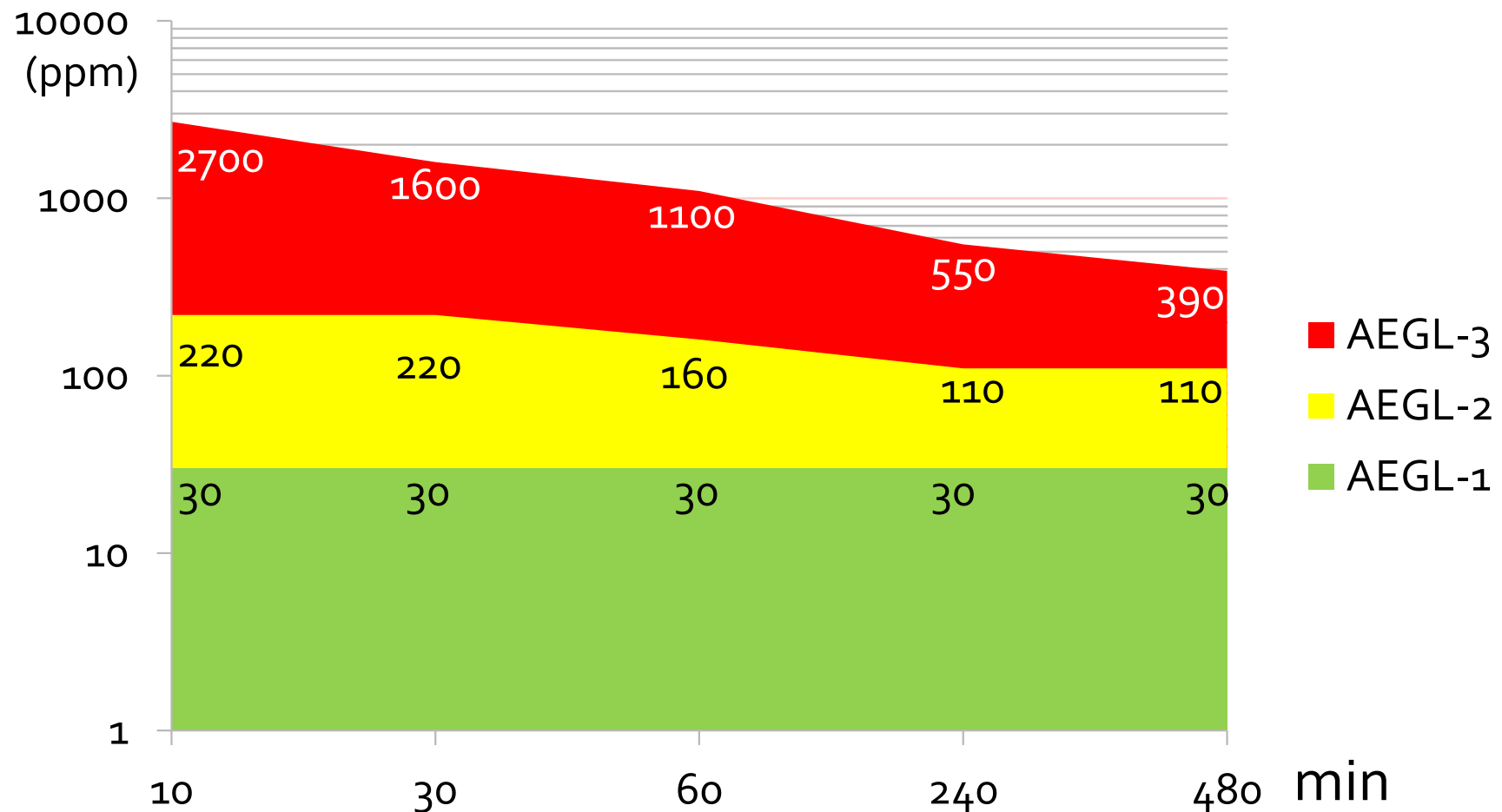
AEGL-Acute Exposure Guideline Levels

- AEGL-1
 - Concentración a o por encima de la cual se predice que la población general, incluyendo individuos susceptibles pero excluyendo hipersusceptibles, puede experimentar molestias notables, irritación o ciertos efectos asintomáticos. Estos efectos son transitorios y reversibles una vez que cesa la exposición. Concentraciones por debajo del AEGL-1 representan niveles de exposición que producen ligero olor, sabor u otras irritación sensorial leve.
- AEGL-2
 - Concentración a o por encima de la cual se predice que la población general, incluyendo individuos susceptibles pero excluyendo hipersusceptibles, puede experimentar efectos duraderos serios o irreversibles o ver impedida su capacidad para escapar. Concentraciones por debajo del AEGL-2 pero por encima del AEGL-1 representan niveles de exposición que pueden causar notable malestar.
- AEGL-3
 - Concentración a o por encima de la cual se predice que la población general, incluyendo individuos susceptibles pero excluyendo hipersusceptibles, puede experimentar efectos amenazantes para la vida o incluso provocar la muerte. Concentraciones por debajo del AEGL-3 pero por encima del AEGL-2 representan niveles de exposición que pueden causar efectos duraderos, serios o irreversibles o impedir la capacidad de escapar.



AEGLs para Amoníaco Anhidro (2018)

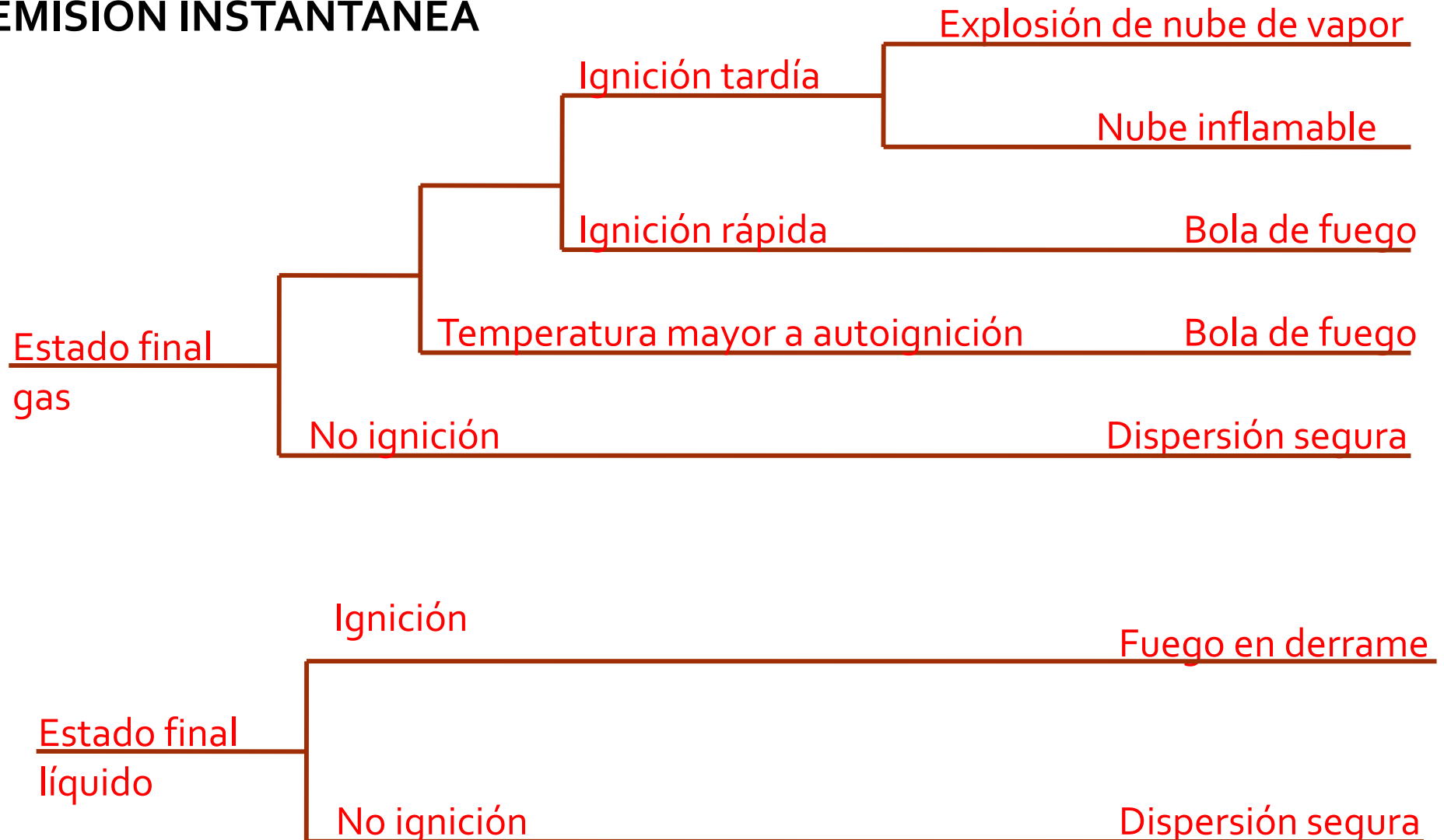
(Dosis Equivalentes) Dosis= Cⁿ T
Dosis equivalentes C (mg/m³), T (min)





Tipos de Fuego – Emisión Instantánea

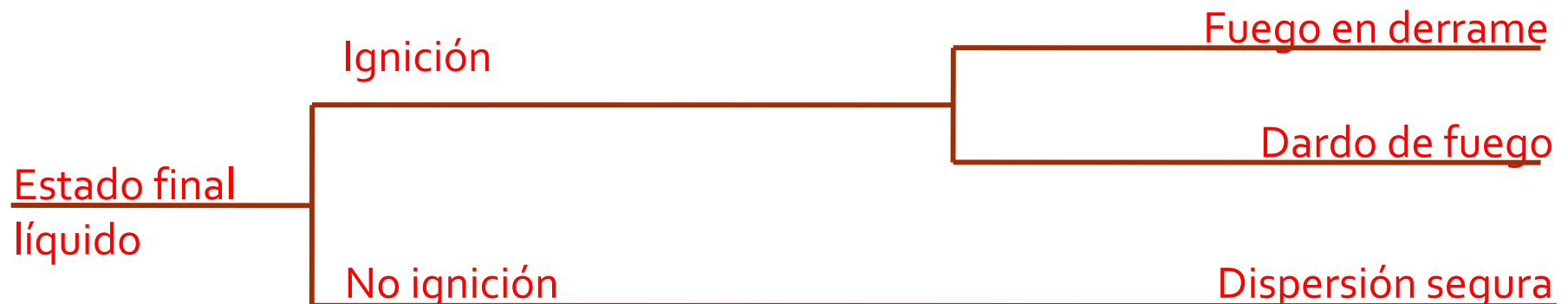
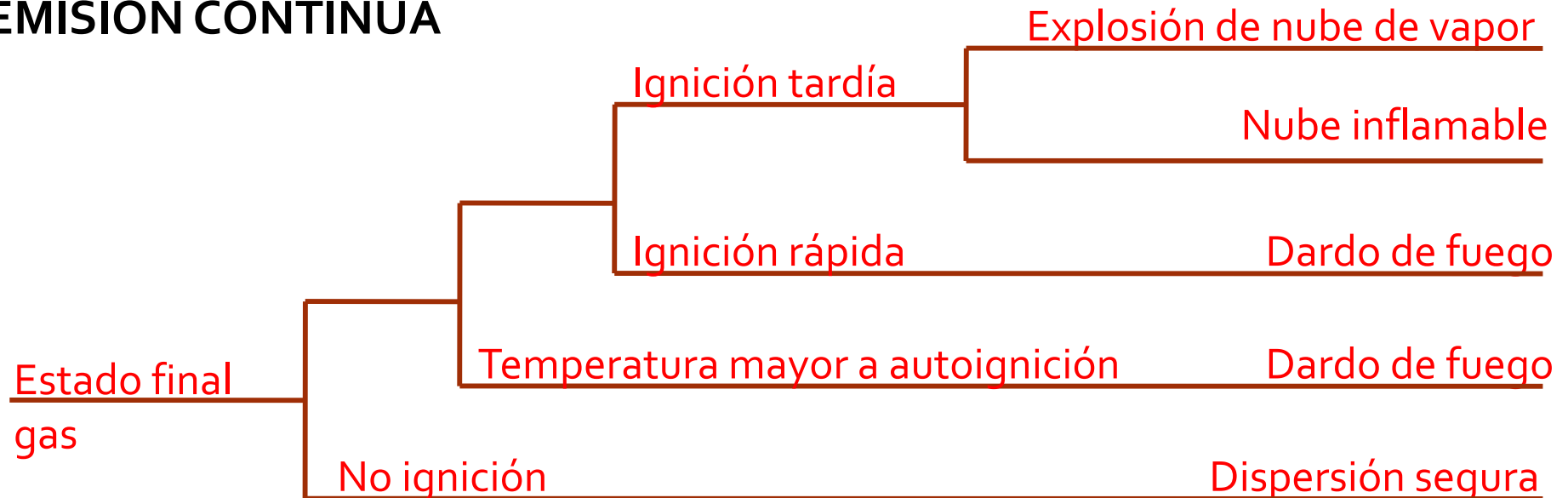
EMISIÓN INSTANTÁNEA





Tipos de Fuego – Emisión Continua

EMISIÓN CONTINUA



III Criterios de lesiones por radiación térmica

Radiación	Afectación en persona	Observaciones
37.5 kW/m ²	100% muertes en 1 min	
12.5 kW/m ²	1% muertes en 1 min	Zona límite de intervención bomberos
4 kW/m ²	0% muertes (umbral humano)	Máximo tolerable por el hombre sin vestimenta especial

Fuente. Análisis de Riesgos en Instalaciones Industriales. Ed. Alfaomega, España).

Criterios de lesiones por quemadura

Tabla 4.2 Criterios de lesiones por quemadura debido a la radiación térmica

kW/m2	BTU/hr-ft2	Tiempo para dolor severo (seg)	Tiempo para quemadura de 2º grado (seg)
1	300	115	663
2	600	45	187
3	1000	27	92
4	1300	18	57
5	1600	13	40
6	1900	11	30
8	2500	7	20
10	3200	5	14
12	3800	4	11

$$\text{Dosis} = tq^{4/3} = \text{seg} * (\text{kW/m}^2)^{4/3}$$

dosis equivalentes

■ Criterios de lesiones por dosis térmica

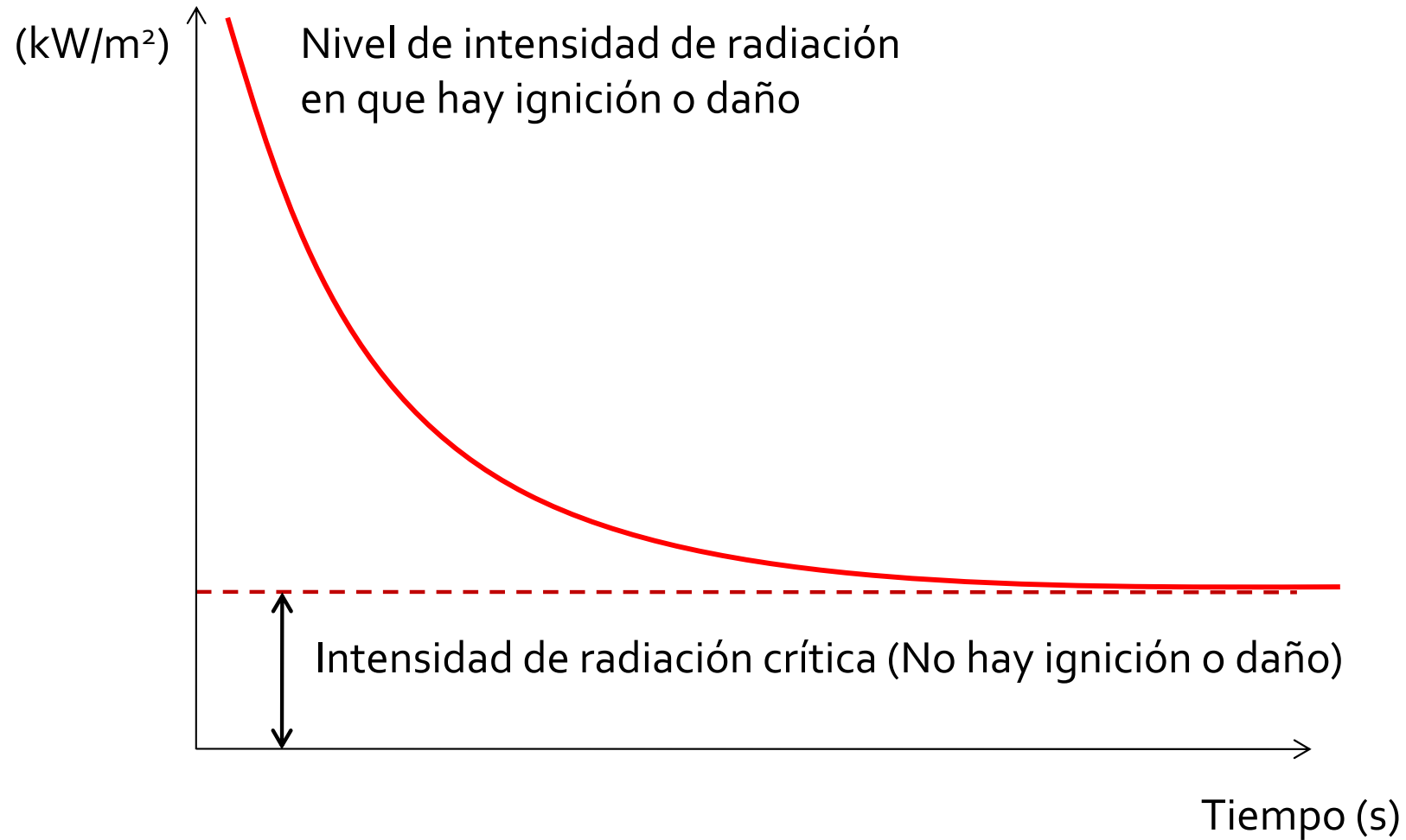
Dosis	Afectación en personas	Quemaduras en piel desnuda
85 (kW/m ²) ^{4/3} seg		Dolor
250 (kW/m ²) ^{4/3} seg	Nivel de daño significativo	1 ^{er} grado
(TNO) 500 (kW/m ²) ^{4/3} seg (HSE) 1,000 (kW/m ²) ^{4/3} seg	1% muertes con vestidura promedio	2 ^o grado
(TNO, HSE) 2,000 (kW/m ²) ^{4/3} seg	50 % muertes con vestidura promedio	3 ^{er} grado
(TNO) 3,200 (kW/m ²) ^{4/3} seg	100 % muertes con vestidura promedio	Muerte

Fuentes:

TNO - The Netherlands Organisation for applied scientific research

HSE - Health and Safety Executive , England

Intensidad de Radiación Crítica



Valores globales de intensidad de radiación crítica para materiales

Material	Intensidad de Radiación Crítica (kW/m ²)	
	Nivel daño 1	Nivel daño 2
Madera	15	2
Material sintético	15	2
Vidrio	4	-
Acero	100	25

- Nivel 1: Captura de fuego por las superficies de los materiales expuestos a radiación térmica además de ruptura u otro tipo de falla de elementos estructurales (colapso)
- Nivel 2: Daño causado por decoloración seria de la superficie de los materiales, desprendimiento de pintura y/o deformación sustancial de elementos estructurales
- Fuente: TNO (1989) Methods for the determination of possible damage. "The green book"

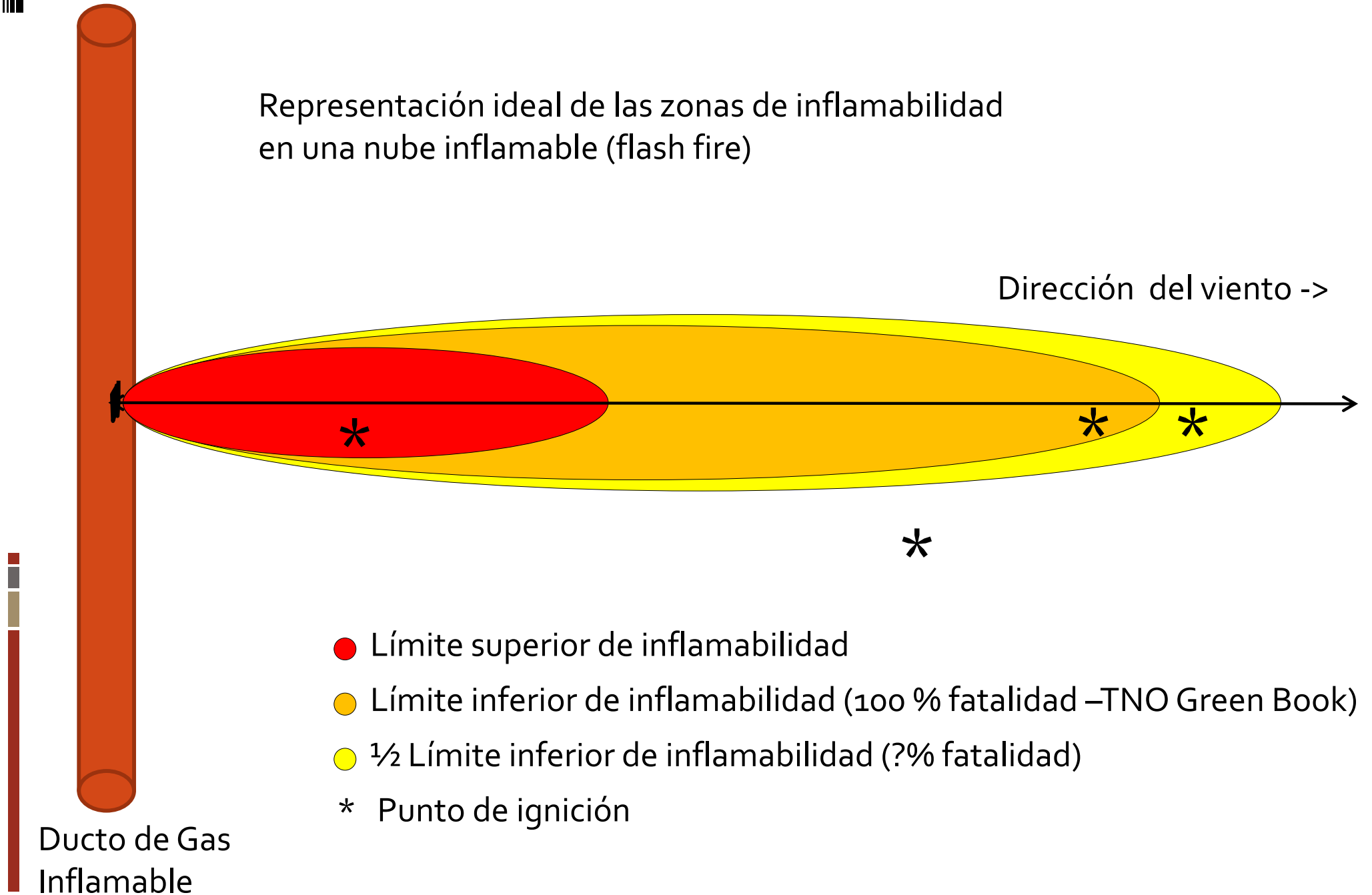
Dosis de radiación térmica aplicado a materiales

- Se pueden producir incendios secundarios cuando los flujos de radiación térmica sean superiores a:
 - 12.6 kW / m^2 en edificaciones
 - 37.8 kW / m^2 en plantas de proceso y tanques de almacenamiento
- Tiempo límite de 20 minutos para que se produzca la ignición del elemento vulnerable
 - Fuente: Robertson, R.B. (1976) Spacing in chemical plant design against loss by fire.



Análisis de Consecuencias-Nube inflamable

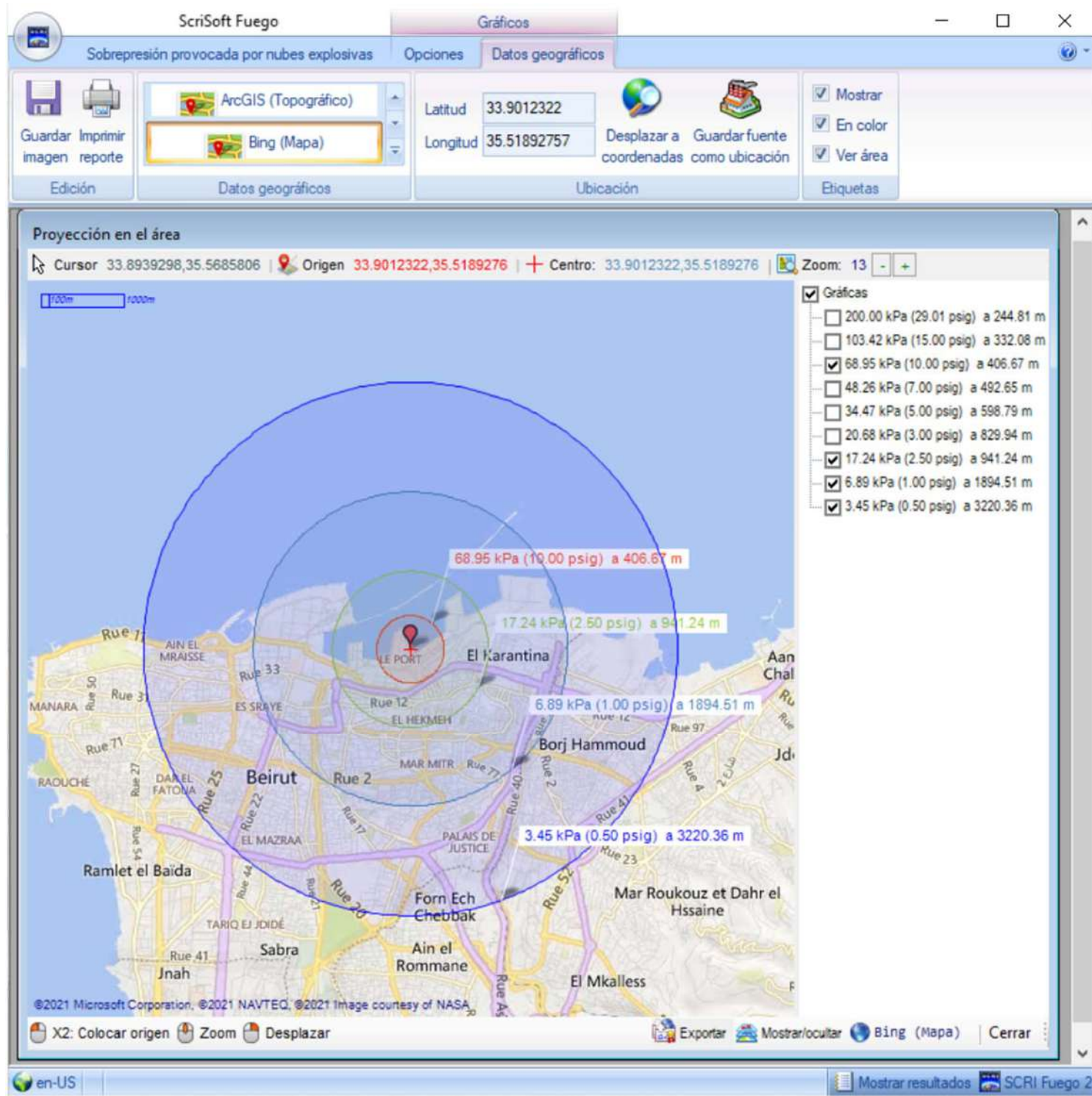
Representación ideal de las zonas de inflamabilidad en una nube inflamable (flash fire)



Análisis de Consecuencias-Sobrepresión

Sobrepresión psi	Vulnerabilidad de población dentro de edificios (probabilidad de fatalidad) API-RP 752		
	API B ₅	API B ₁ /B ₂ /B ₄	API B ₃
1	-	0.1	0.1
1.5	-	-	0.6
2	-	0.4	-
3	-	-	1
4	0.1	-	1
5	-	1	1
6	0.4	1	1
12	1	1	1

API-RP-752	Descripción
B ₅	Edificio de concreto reforzado o con pared de mampostería reforzada para corte
B ₁ /B ₂ /B ₄	Remolque o choza con estructura de madera, edificios preconstruídos con estructura lateral de metal o rellenos de mampostería reforzada
B ₃	Edificios con muros de carga de mampostería no reforzada



▼ Buscar

ejemplo: pizzería en los alrededores de Nueva York

Obtener instrucciones Historial

▼ Lugares

está activada.

▼ Lugares temporales

▼ Explosión 2750 ton Nitrato Amonio.kml

▼ Explosión 2750 ton Nitrato Amonio

Explosión Beirut 2750 toneladas de nitrato de amonio

Explosión Beirut

Beirut, Libano
COORDENADAS: 33.901232,

200.00 kPa (29.01 psig)

Distancia de afectación: 244.81 m

103.42 kPa (15.00 psig)

Distancia de afectación: 332.08 m

▼ Uso de capas

▼ Base de datos principal

- Anuncios
- Fronteras y etiquetas
- Lugares
- Fotografías
- Calles
- Edificios 3D
- Tiempo
- Galería
- Otros
- Relieve



Image © 2021 Maxar Technologies
© 2021 ORION-ME
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

Google Earth

1985 Fechas de imágenes: 8/15/2020 33°53'40.64" N 35°30'51.05" E elevación 36 m alt. ojo 2.14 km

■ Gestión Integral del Riesgo de Desastres

- Gestión es integral cuando:
 - Se consideran todos los peligros y sus riesgos
 - Con indicadores como criterios ecológicos, económicos y de sostenibilidad social
 - Se consideran para monitoreo y revisión de los peligros y sus riesgos, las medidas de preparación, respuesta y recuperación.
 - Participación integrada de tomadores de decisiones, de especialistas y de aquellos que serán afectados.
 - **Muchas Gracias**



Gestión Integral del Riesgo de Desastres

¿Qué puede pasar?

¿Qué puede ser permitido que pase?

¿Qué se puede hacer?