

# TALLER DE SEGURIDAD DE PROCESOS – ARPEL Análisis de Peligros y Riesgos.

Marzo 2014



Raúl Manga - Carlos Videla Ivanissevich

# Definiciones Básicas

## Peligro

- Fuente o situación potencial de daño en términos de lesiones o efectos negativos en la salud de las personas, activos, el medio ambiente o una combinación de ambos.
- “Siempre presente” → **NO HAY INCERTIDUMBRE!!!!**
- *Los peligros se identifican*

Ej: Trabajo a 5 metros de altura



## Riesgo

- Es una combinación de la frecuencia y las consecuencias (daños) derivadas de la materialización de un peligro.
- *Los riesgos se calculan.*
- Concepto estadístico → **INCERTIDUMBRE!!!!**
- Se mide en daño/año (muertes/año, \$/año ,etc.)

**CONSECUENCIAS/  
UNIDAD DE  
TIEMPO**

Ej: Riesgo de una caída de 5 m de altura es: 20 muertes/año.

Riesgo daño material del incidente es 5M U\$S/año

# Otras definiciones de riesgo



- **Definición 1:** (ISO 31000) Efecto de la incertidumbre en los objetivos.
- **Definición 2:** Es una combinación de la frecuencia y las consecuencias (daños) derivadas de la materialización de un peligro.
- **Definición 3:** la probabilidad de un determinado nivel de daño dentro de un período de tiempo definido.

# ¿Qué necesitamos para analizar los riesgos?



- 1. Un criterio de cuanto riesgo puedo asumir.**
- 2. Herramientas para medir el riesgo:**
  - I. De un escenario accidental.**
  - II. De una instalación en su conjunto.**

# ¿Qué necesitamos para analizar los riesgos?

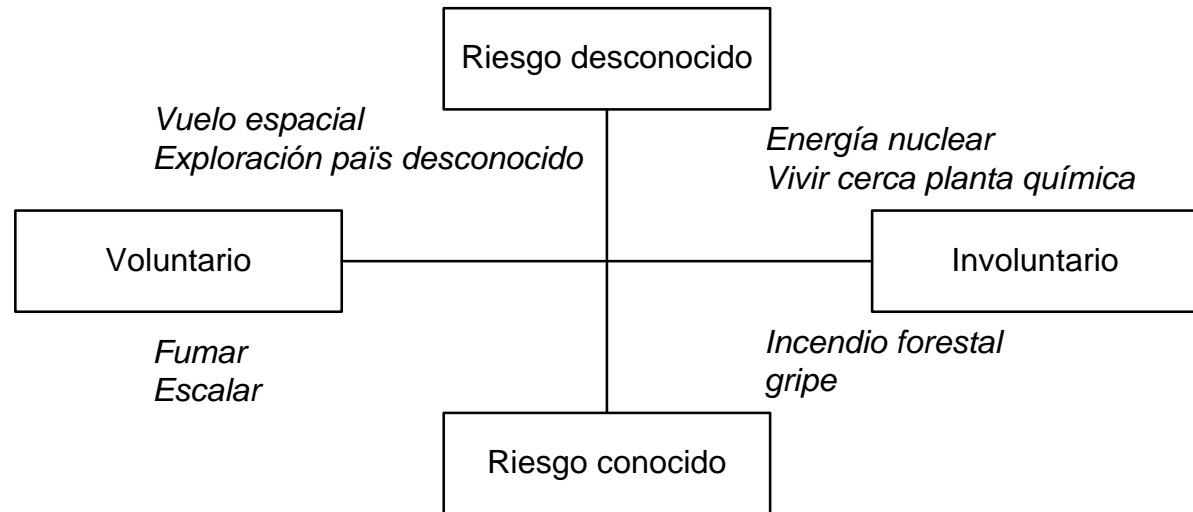


- 1. Un criterio de cuanto riesgo puedo asumir.**
- 2. Herramientas para medir el riesgo:**
  - I. De un escenario accidental.**
  - II. De una instalación en su conjunto.**

# ¿Porqué es importante evaluar el riesgo? ¿Cuanto riesgo es tolerable?

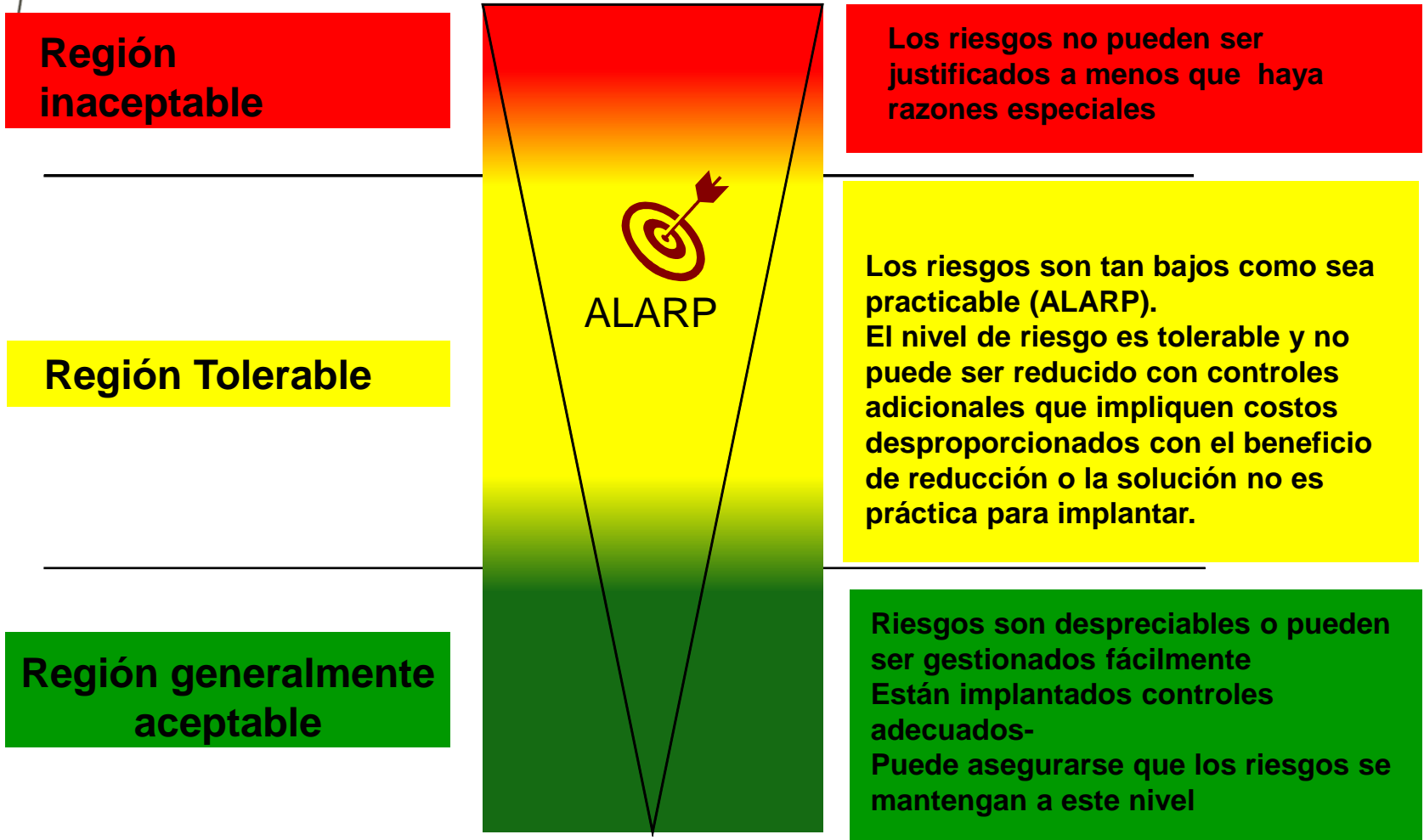


- El riesgo cero no existe.
- Es necesario fijar un criterio.
- El desempeño pasado no es garantía hacia el futuro.



Tolerabilidad del riesgo es subjetiva y distinta para trabajadores y público

# Criterio de riesgo tolerable.



# ¿Qué necesitamos para analizar los riesgos?



- 1. Un criterio de cuanto riesgo puedo asumir.**
- 2. Herramientas para medir el riesgo:**
  - 1. De un escenario accidental.**
  - 2. De una instalación en su conjunto.**



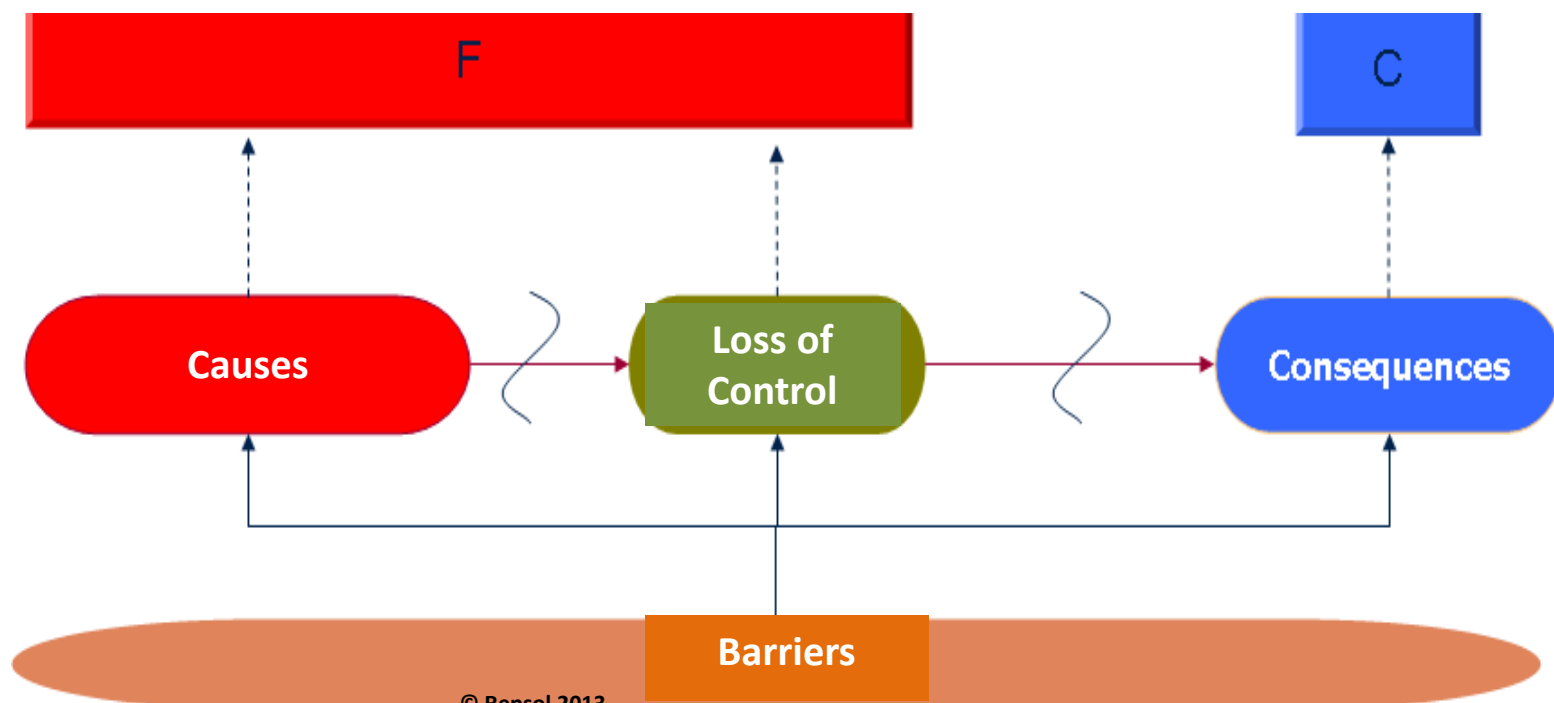
# Definiciones básicas: Incidente y Escenario accidental

## Incidente:

- *Un evento o secuencia de eventos que resulta en una o más consecuencias indeseadas.*

## Escenario accidental

- *Evento no planeado o secuencia de un incidente que resulta en un evento con pérdidas y sus impactos asociados incluyendo la efectividad o fallo de las barreras involucradas en la secuencia del incidente.*



# Riesgo de un solo escenario



REPSOL

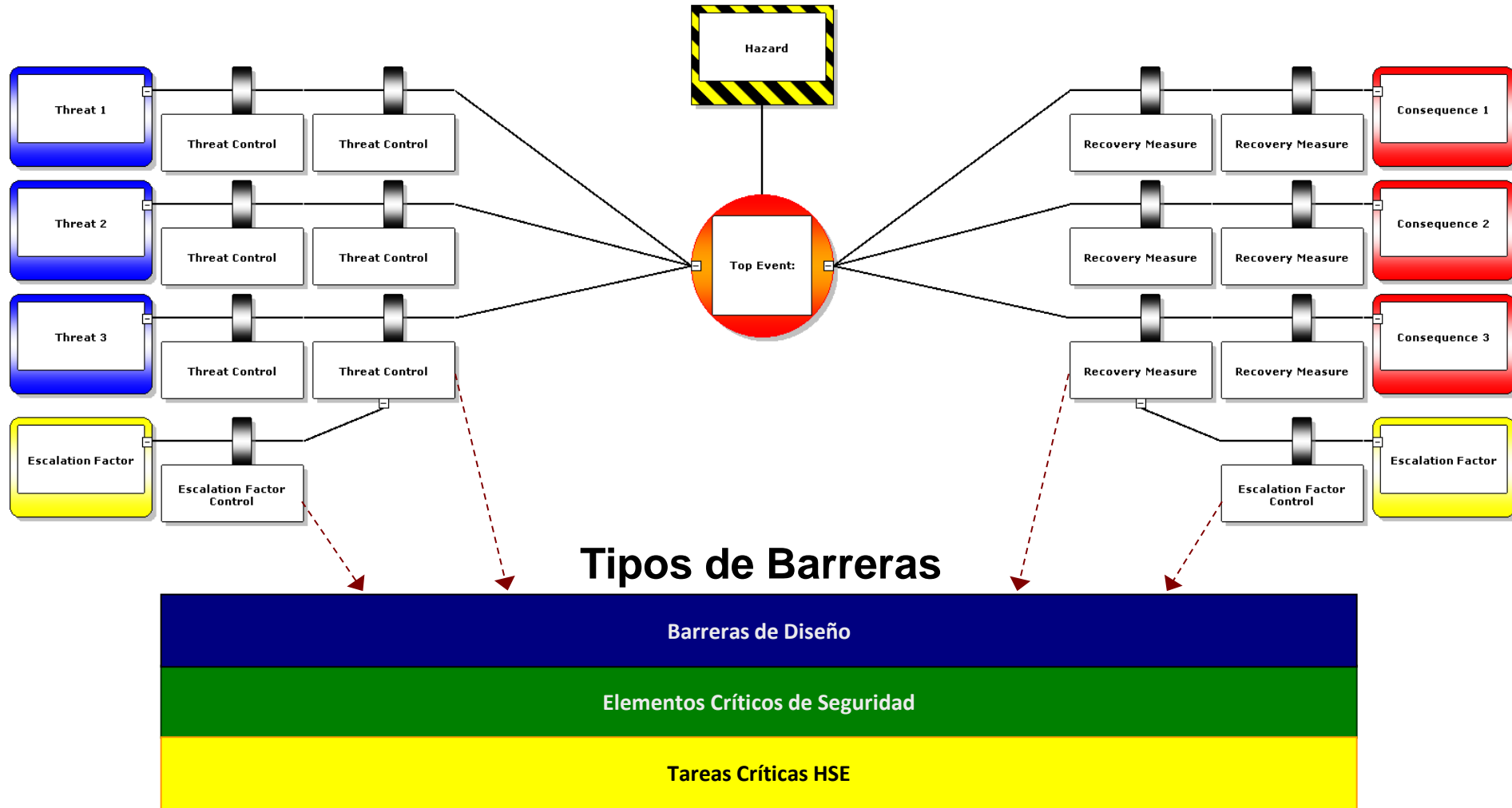
Accident Scenario Frequency (1/year)						<10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-6</sup> to 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-5</sup> to 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup> to 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup> to 10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup> to 10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-1</sup> to 1	1 to 100
Value						0.4	0.8	1.6	3.1	6.3	12.5	25	100
Area of assessment	Specific sector of activity at global level					Unheard of	It has not happened	It has happened before	It has happened in the last 5 years	It happens on an annual basis	It happens on a monthly basis		
	Specific sector of activity in Repsol YPF									It has happened before	It has happened in the last 5 years	It happens on an annual basis	It happens on a monthly basis
	Area of assessment according to the area of business/activity										It has happened before	It has happened in the last 5 years	It happens on an annual basis
Consequences													
Level of Consequences	Personal Injury (also damage to health)	Damage to property and loss of profit. Environmental remediation costs (€) (also legal liabilities)	Environmental damage	Level of dissemination; reputation	Value								
Minor	Incident without lost time	5k - 100k	Environmental incident in an area without guaranteed containment and it could cause environmental damage within the property boundaries	No media impact	1.7								
Moderate	LTI with ≤ 30 days lost; < 1% of 1 fatality probability	100K - 1M	Relevant environmental damage that exceeds the reference values of environmental quality; or it is capable to cause legal claims but has no permanent effects	Green Crisis Level	3								
Serious	LTI with > 30 days lost; > 1% of 1 fatality probability	1M - 10M	Severe environmental damage that could affect the property surroundings; it can cause legal claims and it can affect third parties.	Yellow Crisis Level	7								
Very serious	It can cause a fatality or permanent injury	10M a 100M €	Very severe environmental damage. Corrective and compensation measures are required; it exceeds in wide areas the reference values of environmental quality; it has a high probability of permanent residual damage	Red Crisis Level	16								
Disastrous	It can cause between 2 and 9 fatalities	100M a 1000M €	Catastrophic environmental damage; loss of resources and environmental services. Permanent damages.	Temporary International impact	40								
Catastrophic	It can cause 10 or more fatalities	> 1000M €	Catastrophic environmental damage with big extension; extensive loss of resources and environmental services. Permanent damages.	Permanent International impact	100								

# ¿Qué necesitamos para analizar los riesgos?

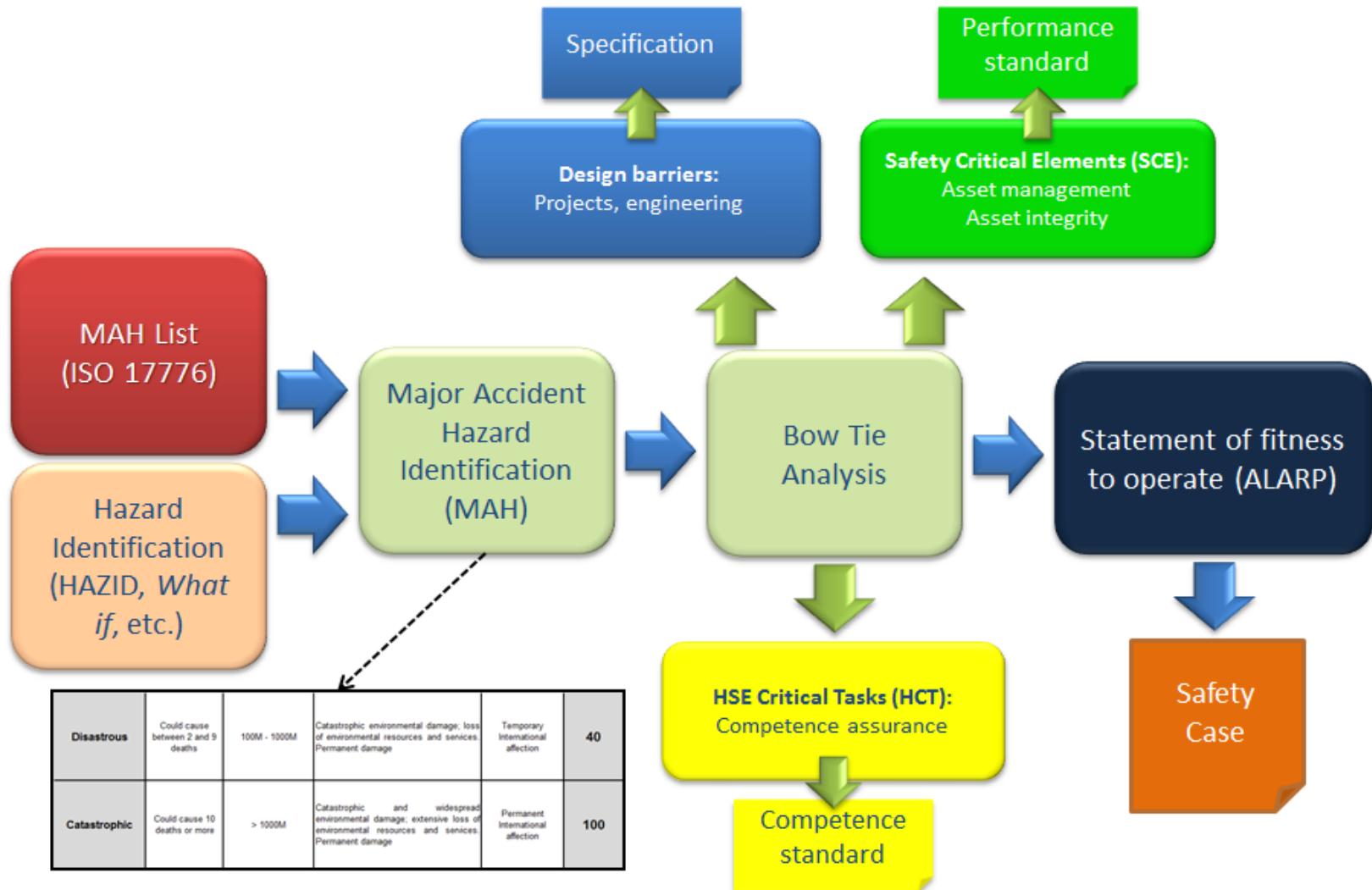


- 1. Un criterio de cuanto riesgo puedo asumir.**
- 2. Herramientas para medir el riesgo:**
  - 1. De un escenario accidental.**
  - 2. De una instalación en su conjunto.**
    - A. MAH y BOW TIE**
    - B. QRA**

# BOW TIE



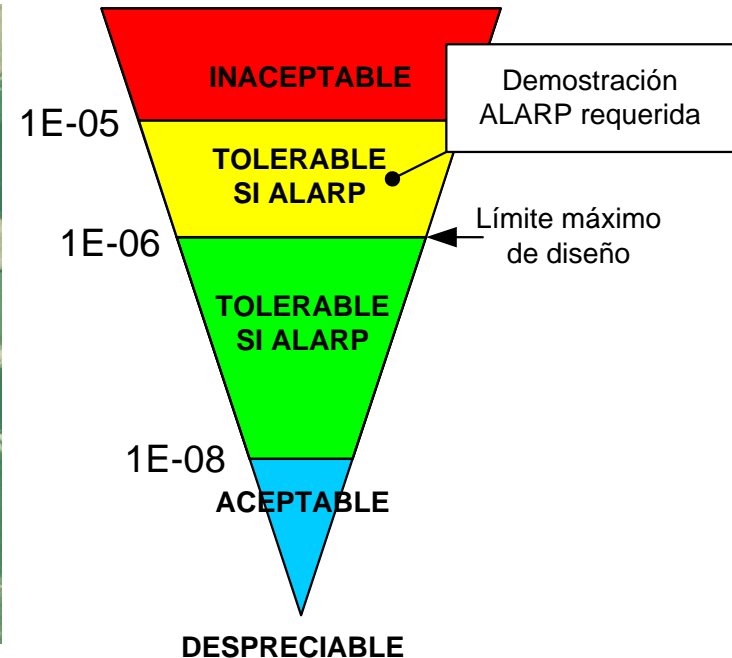
# BOW TIE y SAFETY CASE



<b>Disastrous</b>	Could cause between 2 and 9 deaths	100M - 1000M	Catastrophic environmental damage; loss of environmental resources and services. Permanent damage	Temporary International affection	40
<b>Catastrophic</b>	Could cause 10 deaths or more	> 1000M	Catastrophic and widespread environmental damage; extensive loss of environmental resources and services. Permanent damage	Permanent International affection	100

# Riesgo geográfico de un complejo para el público

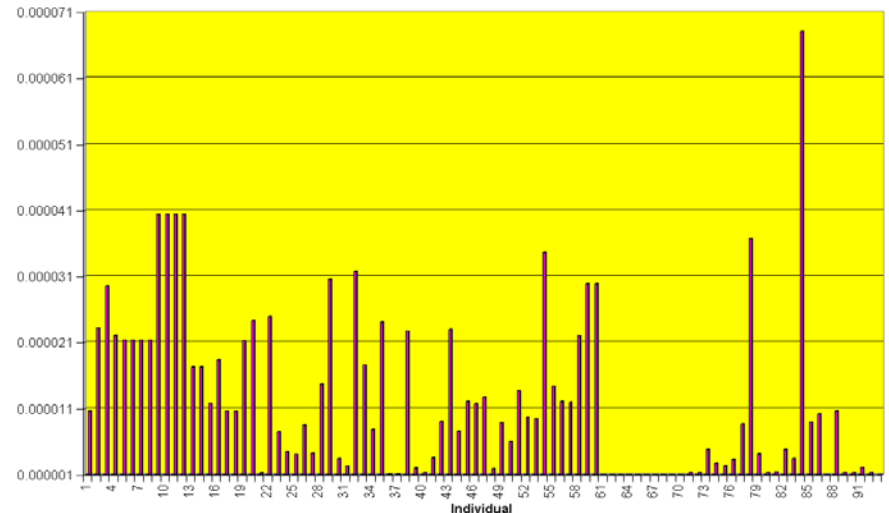
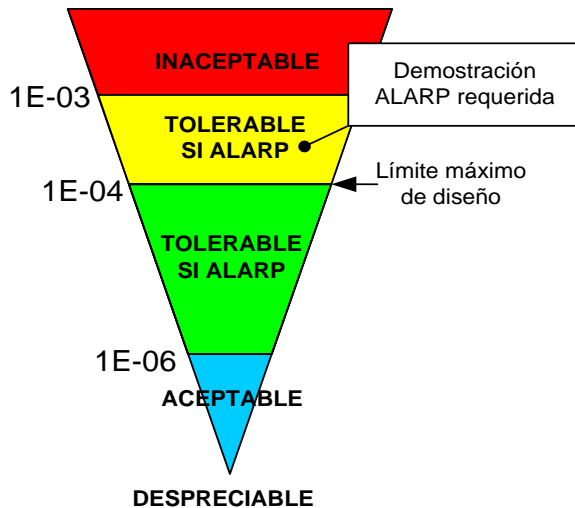
*Indica la probabilidad por año que una persona residiendo en **una cierta ubicación**, pueda recibir heridas mortales por un accidente que ocurre en una instalación. Se asume que hay una distribución promedio de las personas en la ubicación durante las 24 hs del día y que no poseen ninguna protección.*



# Riesgo individual para los trabajadores



Indica la probabilidad por año que una persona que está permanentemente **en una cierta ubicación**, pueda recibir heridas mortales por un accidente con sustancias peligrosas en una actividad industrial o de transporte. Depende del tipo de trabajo, del tiempo de exposición y de los medios de protección.

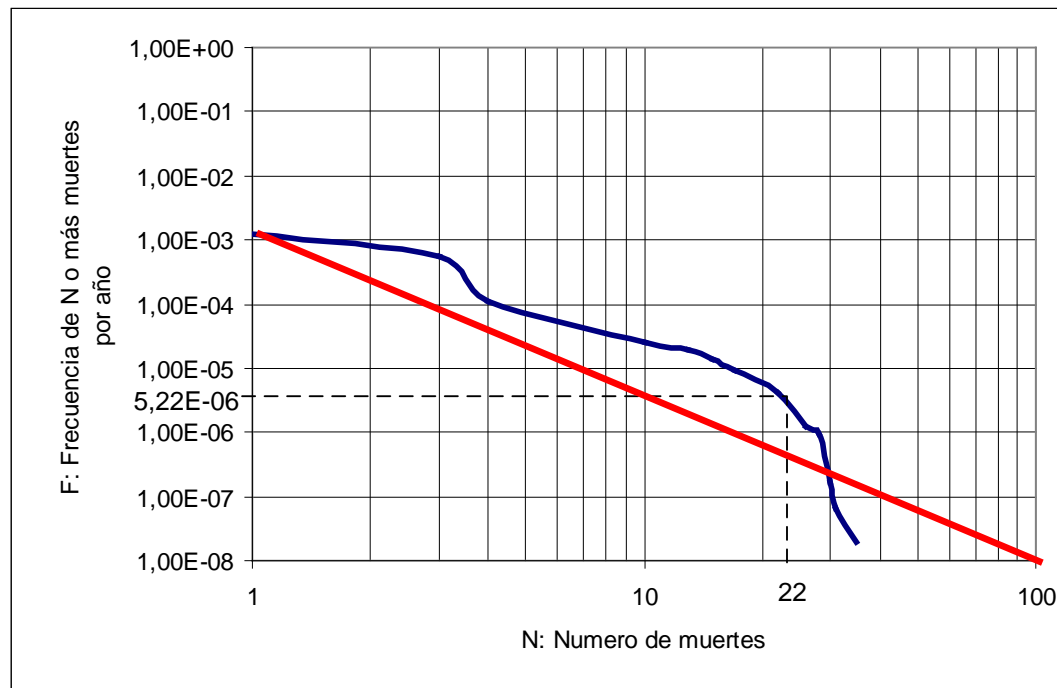


Critérios de riesgo individual para los trabajadores **directamente involucrados en la operación**

# Riesgo colectivo ( o social)



Algunos incidentes o **grupo de incidentes tienen el potencial de afectar a un gran número de personas**. El riesgo colectivo estima el impacto sobre dicho grupo. Se utiliza un gráfico FN con la frecuencia acumulada de los incidentes con N o más fatalidades en ordenadas y el número de fatalidades en ordenadas. La pendiente de la curva indica el grado de aversión a fatalidades múltiples.



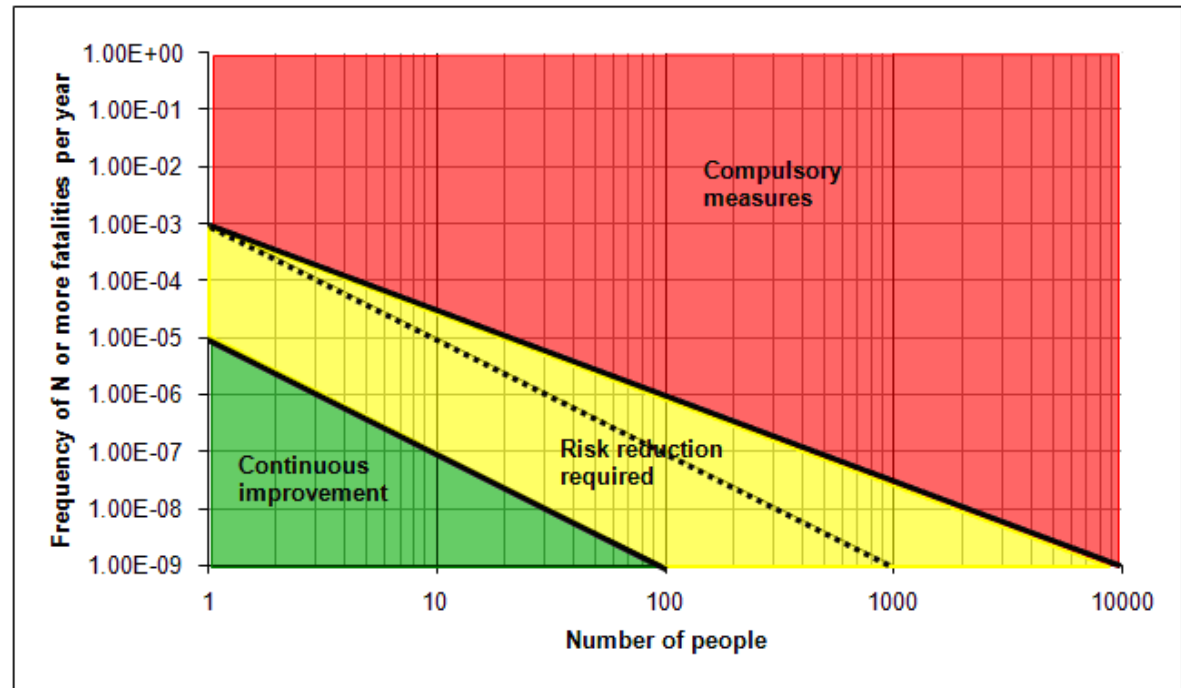


# Riesgo colectivo y agregado



*Indica la probabilidad por año que varias personas simultáneamente puedan recibir heridas mortales causadas por accidentes en una planta. Se asume que las personas poseen algún medio de protección y que está expuesta durante un tiempo limitado.*

**Riesgo agregado:** es un caso particular de riesgo social para trabajadores dentro de un complejo ubicados en edificios.



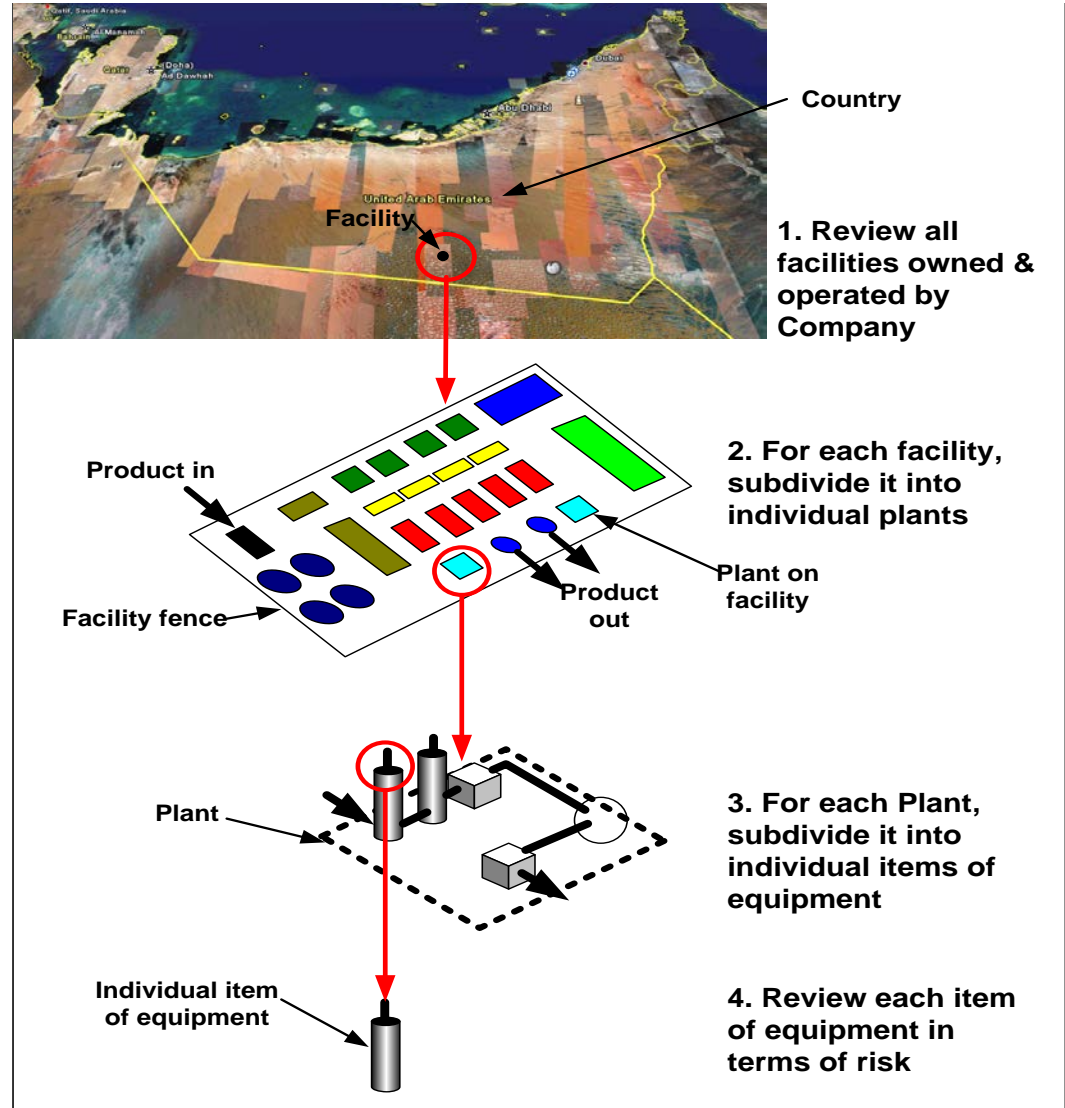
# Ejemplos de cómo gestionar los riesgos.



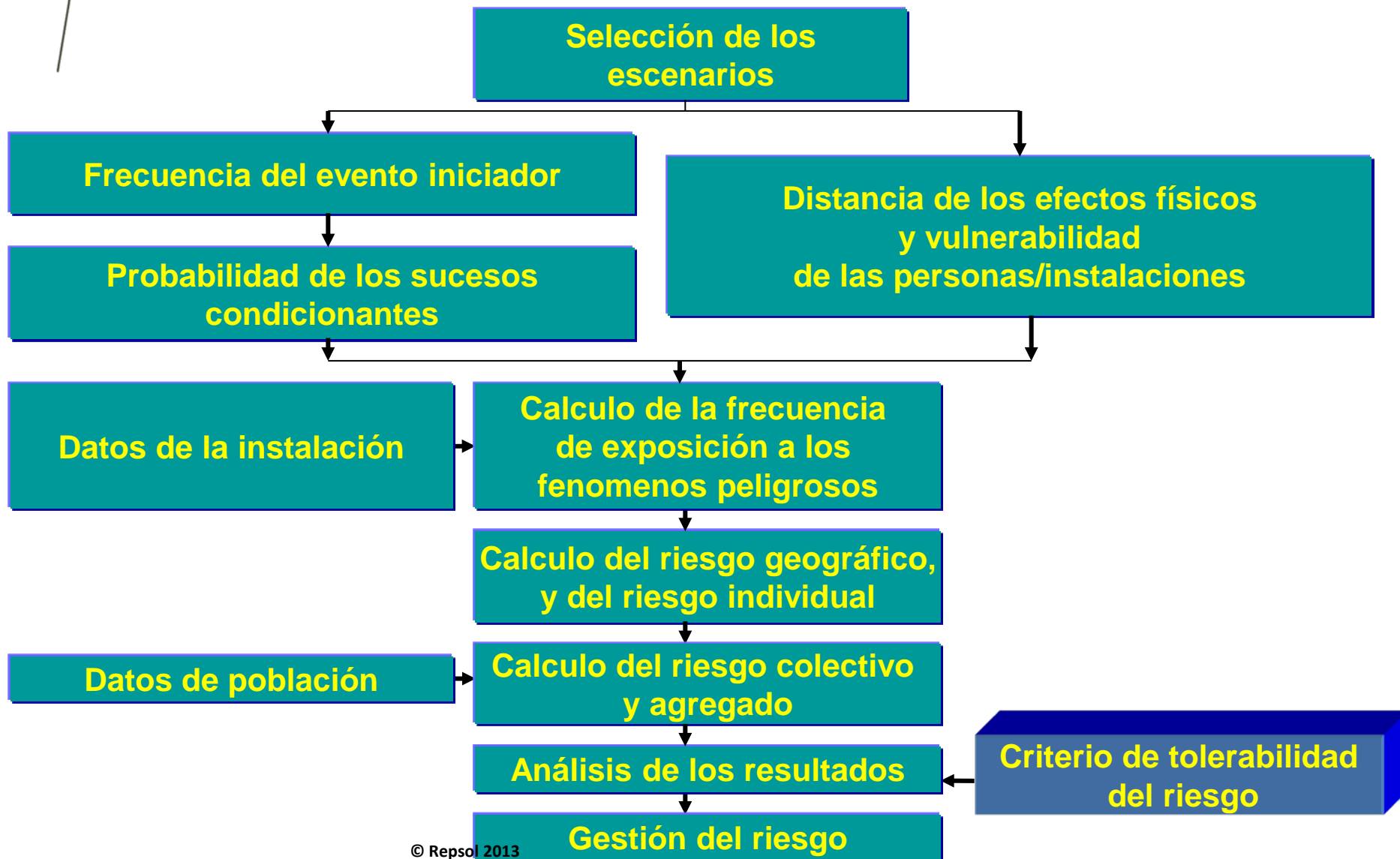
- Identificar los mayores contribuyentes al riesgo.
- Comparar alternativas de diseños o proyectos.
- Comparar el riesgo de operaciones existentes
- Definir niveles de control, aprobación y prioridades sobre la escala de riesgos.
- Tomar decisiones con respecto a la tolerabilidad del riesgo.

# Riesgo de un complejo industrial o proyecto

Los riesgos de todos los escenarios de un complejo o proyecto deben analizarse en conjunto.



# Estructura de una estimación cuantitativa de riesgo ACR



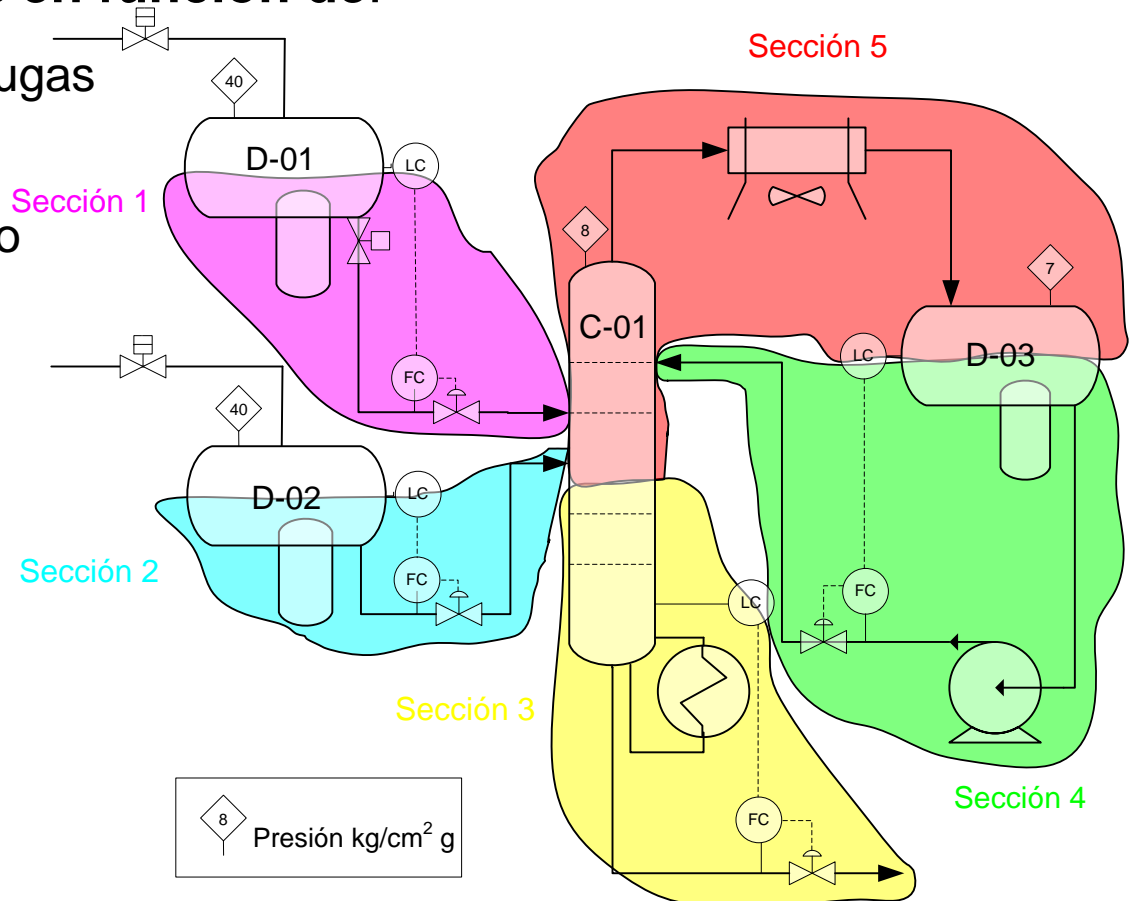
# Escenarios de un complejo o proyecto

Dividir el proceso en secciones representativas de las mismas consecuencias en función de:

- Sustancia / fase de la fugas
- Condiciones de fuga
- Condiciones de proceso
- Ubicación de la fuga
- Medios de aislamiento

Definir escenario pequeños, medianos y grandes.

**La identificación de escenarios es crítica**

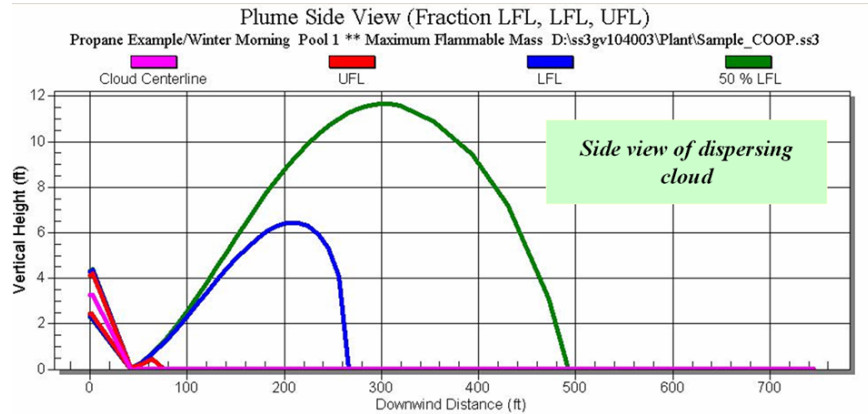
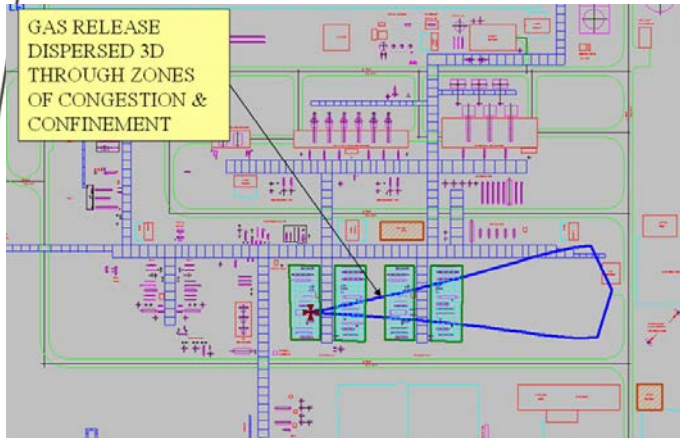


# Ejemplo de lista parcial escenarios

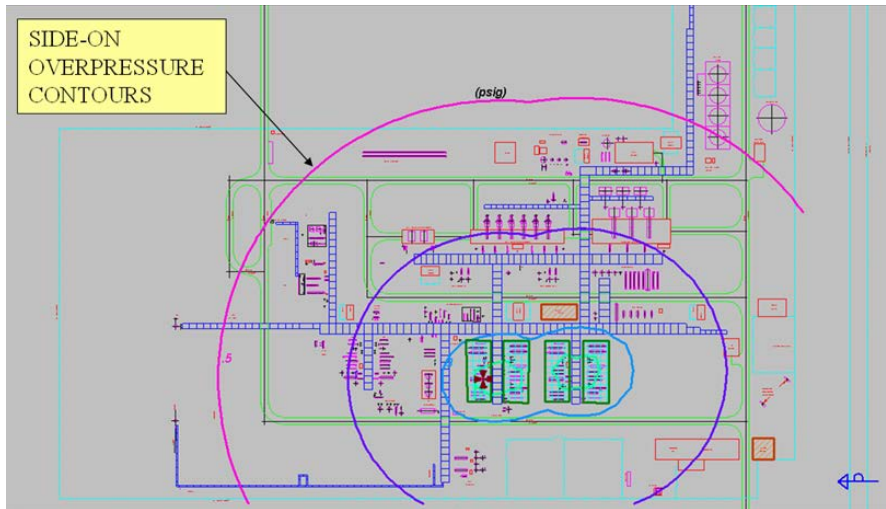


Nombre	X	Y	Material	Condicion almacenamiento	Descripcion
611-C-1-19in	-1669.72	2565.22	Tank 81 Crude	Compressed Gas	611 Crude no : Atmospheric Distillation
611-C-32-4in	-1612.59	2634.85	ISOBUTANE	Compressed Gas	stabilizing column 611-C-32
613-C-1-16in	-1699.54	2886.55	Tank 81 Crude	Compressed Gas	Crack of column 613-C-1
614-C-1-6in	-1423.8	2920.4	Naphtha	Compressed Gas	Crack in column 614-C-1
615-C-10-4in	-1684.24	2804.01	ISOBUTANE	Compressed Gas	Concentration Unit
615-C-14-4in	-1414.16	2795.11	PROPANE	Compressed Gas	615 Gas concentrations and LPG breaking up
617-C-1-6in	-1771.9	2724	n-BUTANE	Compressed Gas	column 617-C-1
618-C-02in-2in	-1538.03	3003.03	Naphtha	Compressed Gas	column top lin (inlet)
618-C-02out-6in	-1538.03	3003.03	ISOPENTANE	Compressed Gas	column top lin (outlet)
631-C-10-1in	-1467.58	3828.24	ISOBUTANE	Compressed Gas	Crack on the bottom flange in column 631-C-10
645-C-8-4in	-1107.64	3924.91	Naphtha	Compressed Gas	Crack in the accumulator 645-C-8 inlet line
646-F-1-2in	-775.2	3661.91	Break in P-0501	Compressed Gas	Scenario 57 (Repsol)
646-K-01-A/B-1.5in	-774.2	3819.78	HYDROGEN	Compressed Gas	Scenario 56 (Repsol)
655-C-4-3in	-1804.23	1993.38	Tank 81 Crude	Compressed Gas	line of reactor 655-C-4
655-G20A/B-6in	-1561.63	2130.22	Naphtha	Compressed Gas	pump 655 G-20 A/B to Isomax
661-C-3002-3in	-1351.19	4384.83	PROPANE	Compressed Gas	Leak in Coolant Drum 661- C-3002
661-C-3101-20in	-1369.15	4174.68	C4=, 11.9 C3	Compressed Gas	line
661-C-3103-5in	-1222.32	4416.95	ETHYLENE	Compressed Gas	ethanising column 661-C-3103
661-C-3103-6in	-1242.62	4436.41	PROPYLENE	Compressed Gas	Leak in 661-C-3103
661-C-3304-4in	-1339.31	4423.65	ETHYLENE	Compressed Gas	661-C-3304

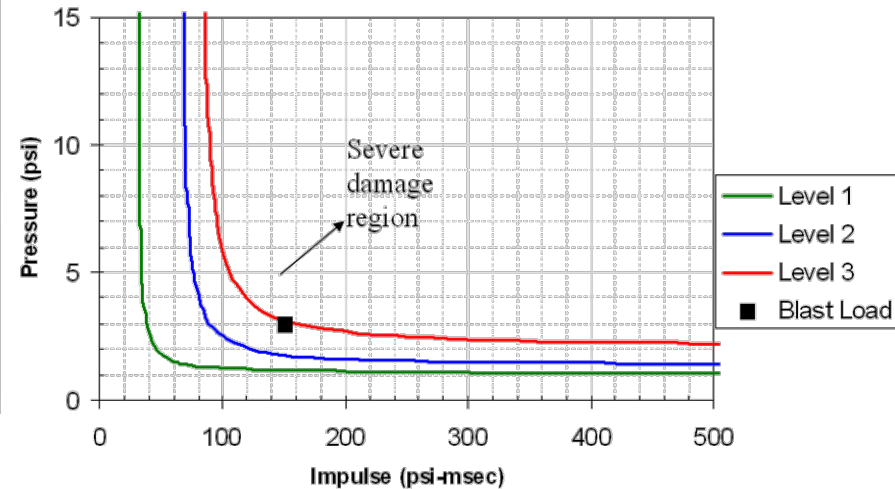
# Escenarios de fuego y explosiones



**8" Lightly Reinforced CMU Wall Panel**



Span Length 7'-10' Span Type One- Arching in Walls? No Tension Membrane? No



# Estimación cuantitativa ejemplo:

En este análisis se utilizan las siguientes hipótesis simplificadoras:



- Todos los escenarios se originan en un mismo punto.
- Solo existen dos condiciones meteorológicas. Las clases de estabilidad atmosféricas y velocidad del viento son siempre las mismas. La mitad del tiempo el viento sopla del noreste y la otra mitad del sudeste.
- Existen personas tanto dentro como fuera del complejo. La distribución se verá más adelante cuando sea necesario.
- Las consecuencias de los incidentes tienen un solo valor de vulnerabilidad (probabilidad de fatalidad) en cada ubicación 0 o 1.



# Árboles de eventos de los incidentes (ACR)



Incidentes

Resultados del incidente

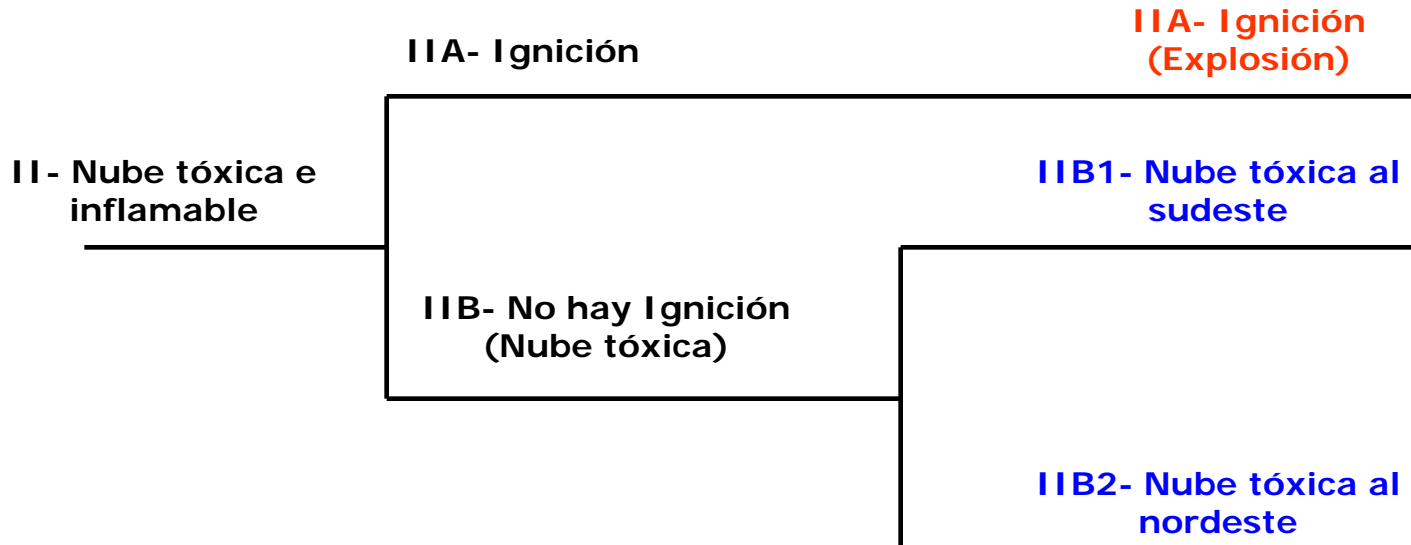
Casos de los resultados del incidente

## ARBOL DE EVENTOS PARA EL INCIDENTE I

I - Explosión

I - Explosión

## ARBOL DE EVENTOS PARA EL INCIDENTE II

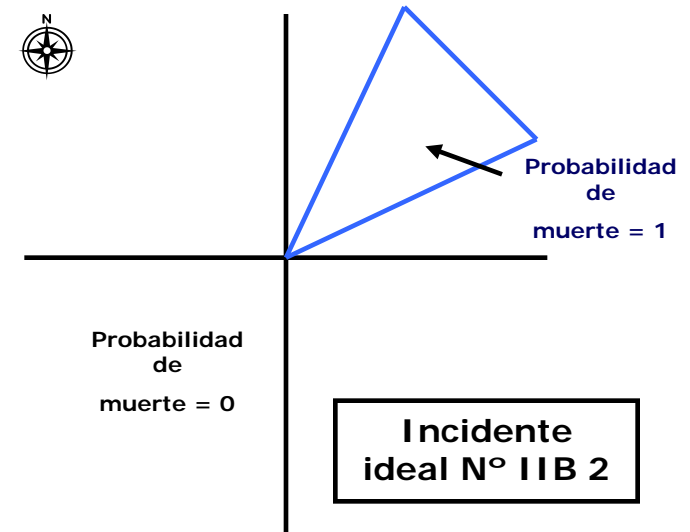
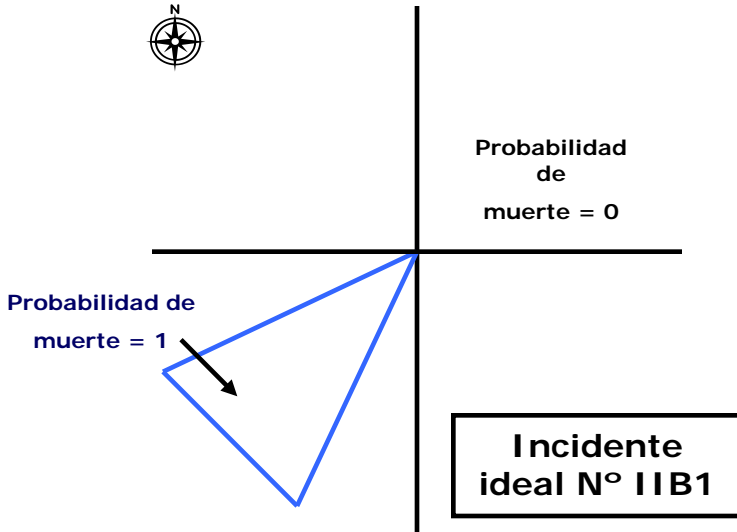
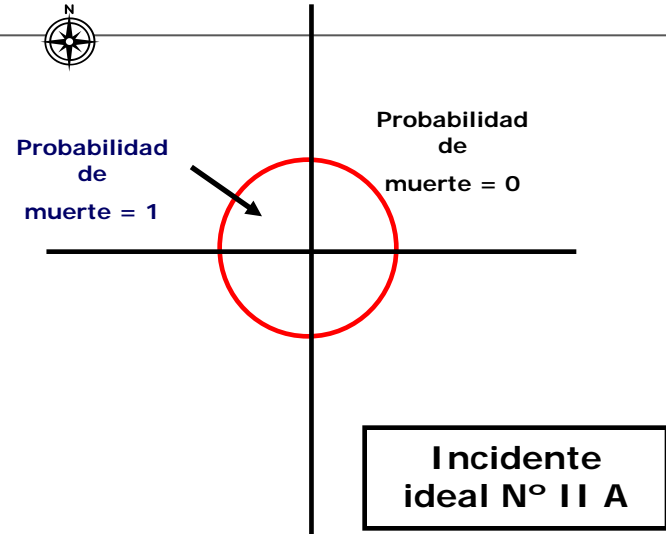
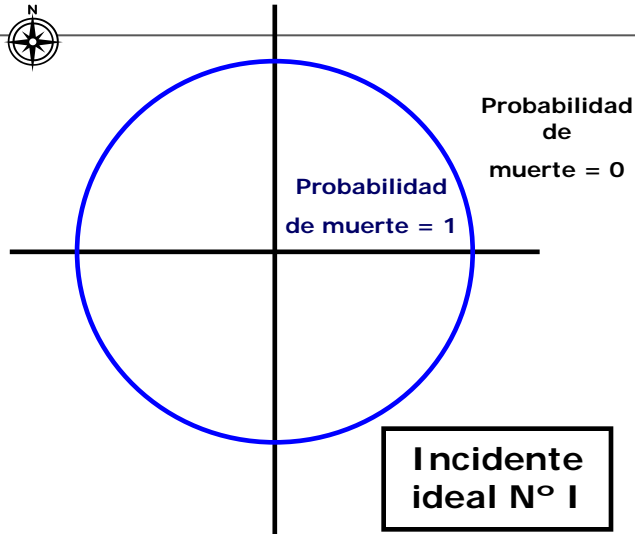


# Calculo de consecuencias e impacto



- Para determinar el impacto de cada incidente hacen falta dos pasos:
- Estimación de la distribución física de energía (sobrepresión, radiación) o materia (concentración de tóxicos). (1)
- Estimación del impacto que dicha distribución de energía o materia tiene sobre personas, activos o el medio ambiente
  
- Incidente I : explosión la vulnerabilidad (probabilidad de muerte) en un radio de 200 desde el centro del complejo es 1 y fuera es cero.
  
- Incidente IIA: explosión de radio 100 m con idéntica vulnerabilidad.
  
- Incidentes IIB 1 y IIB 2: nubes tóxicas la vulnerabilidad dentro del penacho es 1 y fuera es cero.

# Vulnerabilidad de los incidentes



# Estimación de la frecuencia de cada escenario



$$F_{\text{escenario}} = F_{\text{evento iniciador}} \times P_{\text{ignición}} \times P_{\text{clase atmosf}} \times P_{\text{viento}}$$

**Table 1: Example Failure Rates (per year per component)**

Centrif. Comp.	Recip. Comp.	Centrif. Pump	Recip. Pump	Lineal Feet of Pipe							Process Pressure Vessel	Storage Pressure Vessel	Heat Exchanger (Shell-Tube)	Heat Exchanger (Fin Fan)	Filter
				1-in dia	2-in dia	4-in dia	6-in dia	10-in dia	14-in dia	20-in dia					
2.0E-3	1.1E-2	1.1E-3	1.4E-3	9.6E-6	7.0E-6	4.6E-6	3.7E-6	3.1E-6	2.9E-6	2.8E-6	1.8E-3	9.8E-6	1.0E-3	7.2E-4	7.4E-4
8.5E-4	3.8E-3	3.9E-4	7.5E-4	0.0E+0	3.0E-7	2.1E-6	1.6E-6	1.5E-6	1.4E-6	1.2E-6	5.5E-4	5.5E-6	5.2E-4	3.7E-4	3.8E-4
2.2E-4	7.5E-4	8.3E-5	2.6E-4	0.0E+0	0.0E+0	0.0E+0	1.8E-7	4.3E-7	4.0E-7	2.8E-7	1.3E-4	1.3E-6	1.1E-4	7.9E-5	8.1E-5

$$P_{\text{ignición}} = 0,33$$

$$P_{\text{viento}} = 0,5$$

$$P_{\text{clase atmosférica}} = 1$$

# Análisis de frecuencias de escenarios



Incidentes

Resultados del incidente

Casos de los resultados del incidente

## ARBOL DE EVENTOS PARA EL INCIDENTE I

I - Explosión

I - Explosión

Frec =  $1 \times 10^{-6}$  /año

Frec =  $1 \times 10^{-6}$  /año

## ARBOL DE EVENTOS PARA EL INCIDENTE II

IIA- Ignición

IIA- Ignición  
(Explosión)

Frec =  $1 \times 10^{-5}$  /año

II- Nube tóxica e inflamable

Probabilidad : 0,33

II B1- Nube tóxica al sudeste

Frec =  $1 \times 10^{-5}$  /año

Frec =  $3 \times 10^{-5}$  /año

II B- No hay Ignición  
(Nube tóxica)

Probabilidad : 0,5

Probabilidad : 0,67

II B2- Nube tóxica al nordeste

Frec =  $1 \times 10^{-5}$  /año

Probabilidad : 0,5

# El riesgo Individual en una ubicación x, y está dado por (CCPS, 1989):



$$IR_{x,y} = \sum_{i=1}^n IR_{x,y,i}$$

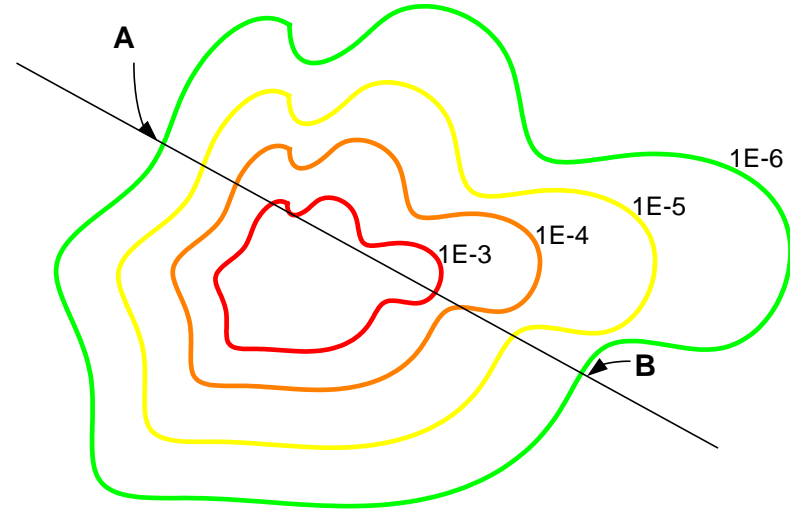
$$IR_{x,y,i} = f_i P_{f,i}$$

- donde:
- $IR_{x,y}$  = el riesgo de muerte individual total por año en la ubicación x, y
- $IR_{x,y,i}$  = el riesgo de muerte individual en la ubicación x,y debido al escenario i
- n = el número total de escenarios considerados en el análisis
- $f_i$  = frecuencia por año del escenario i
- $p_{f,i}$  = probabilidad de que el escenario i provoque una muerte en la ubicación x, y

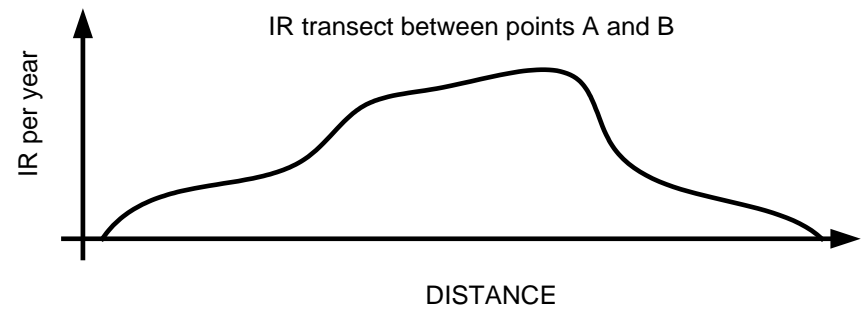
**NOTA:** Para el IR dentro de la planta se considera en la  $p_{f,i}$  el tiempo de exposición y los medios de protección del puesto de trabajo ubicado en x, y . Para los vecinos el riesgo individual se llama Riesgo Geográfico (considera 24 hs de permanencia y sin protección).

# Iso-contornos (iso-líneas) y transecta

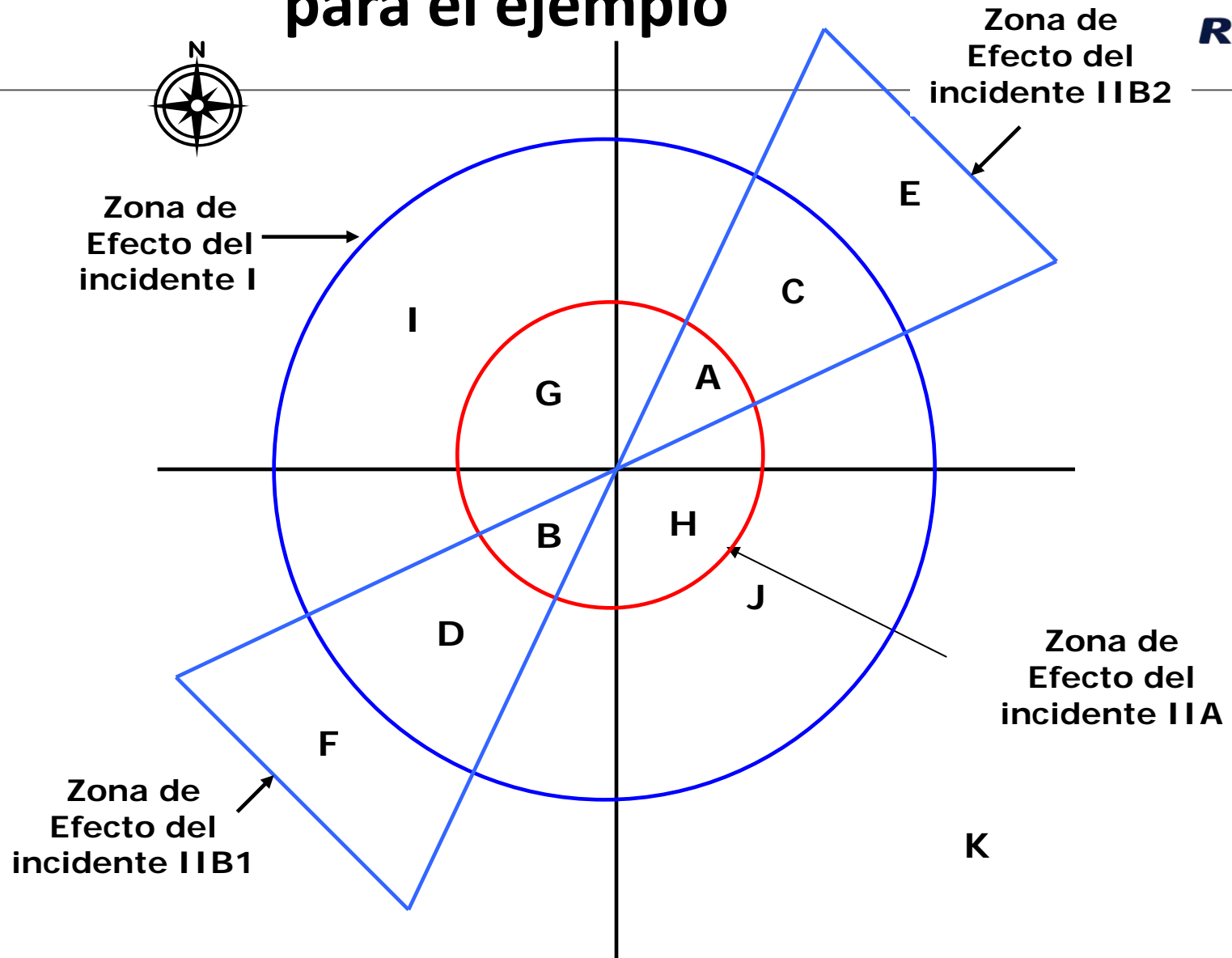
- **Isolíneas:** Son líneas que unen puntos del mismo riesgo individual.



- **Transecta:** es un corte transversal de las isolíneas.



# Mapa de ubicaciones de riesgo individual para el ejemplo



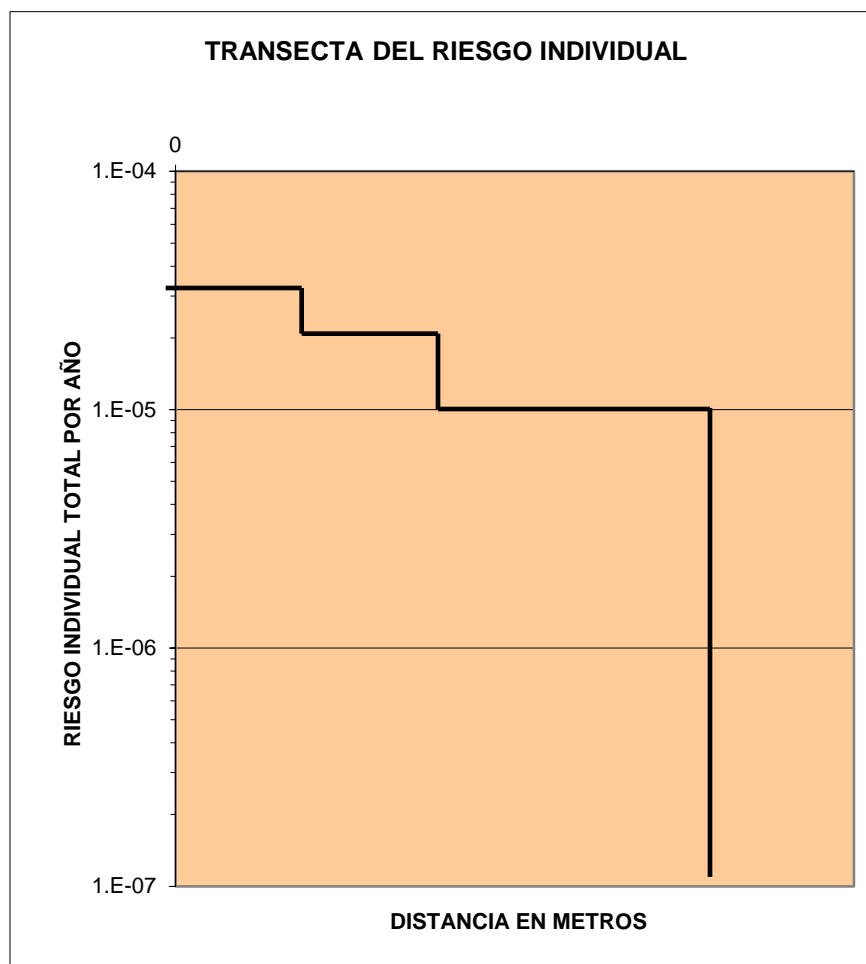


# Riesgo individual de cada ubicación

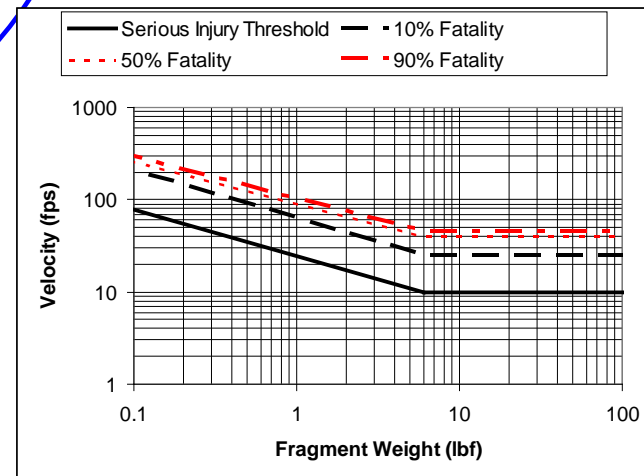
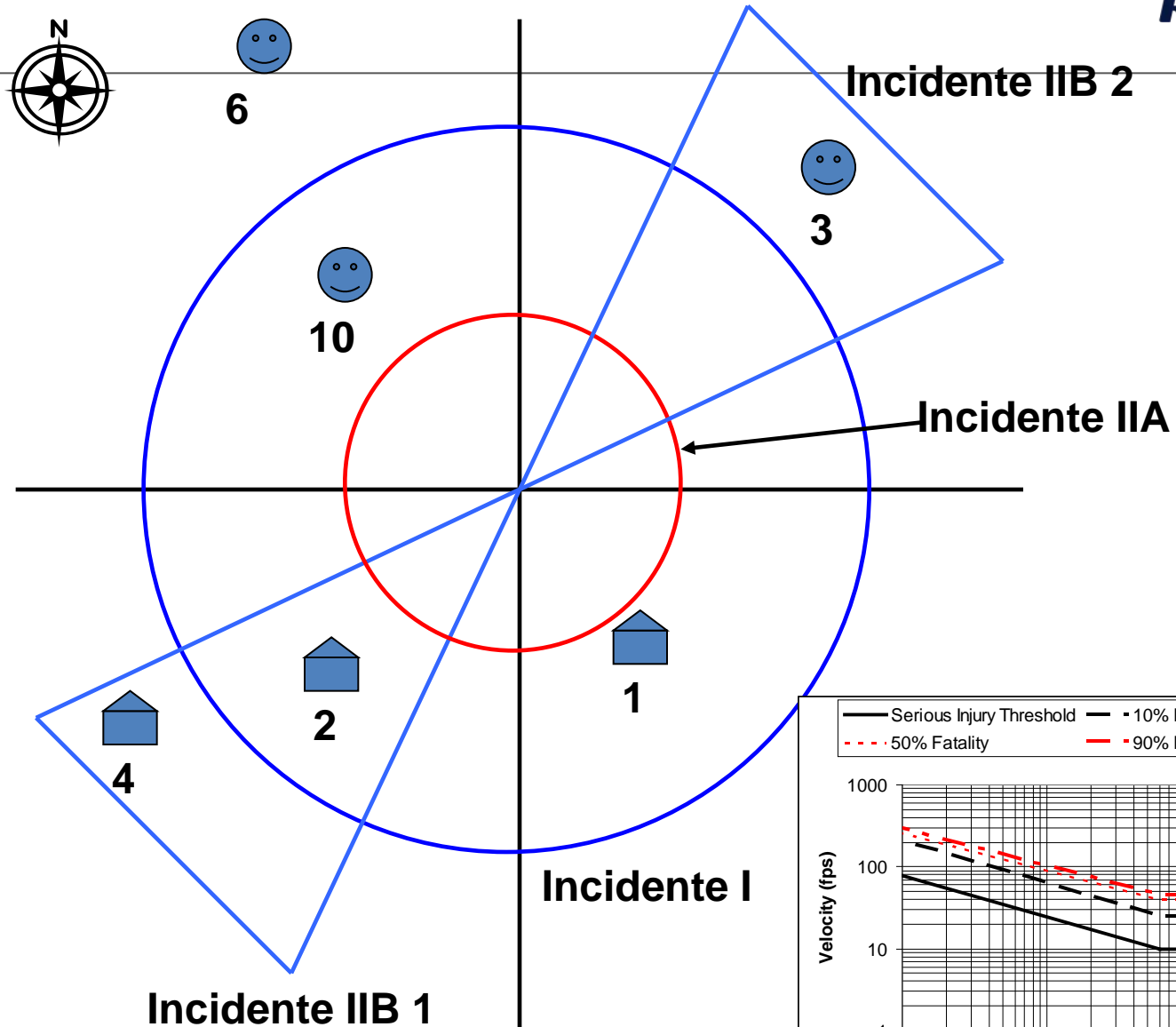


Ubicación	Impacto de los escenarios en la ubicación	Riesgo de muerte individual total por año
A	I, IIA, IIB 2	$2.1 \times 10^{-5}$
B	I, IIA, IIB 1	$2.1 \times 10^{-5}$
C	I, IIB 2	$1.1 \times 10^{-5}$
D	I, IIB 1	$1.1 \times 10^{-5}$
E	IIB 2	$1.0 \times 10^{-5}$
F	IIB 1	$1.0 \times 10^{-5}$
G	I, IIA	$1.1 \times 10^{-5}$
H	I, IIA	$1.1 \times 10^{-5}$
I	I	$1.0 \times 10^{-6}$
J	I	$1.0 \times 10^{-6}$
K	Ninguno	0

# Transecta del riesgo individual



# Ubicación de personas



# Riesgo Social - Curvas FN



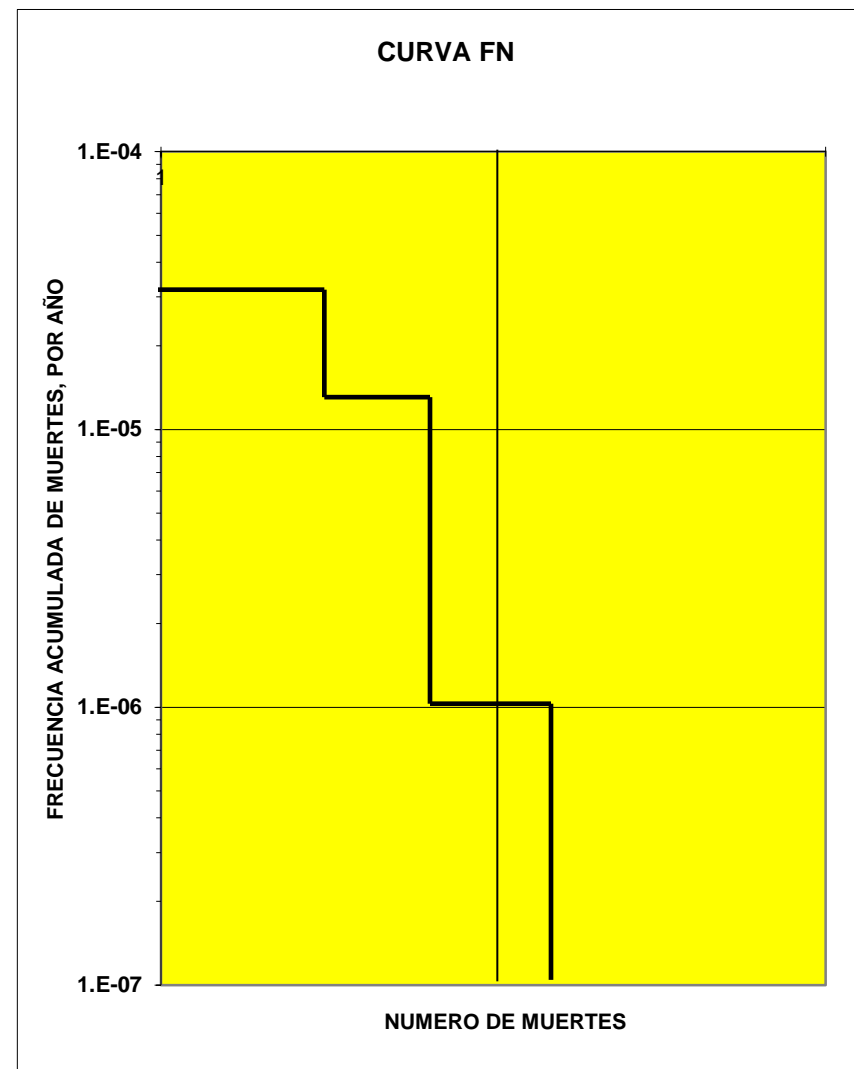
- La forma de medir el riesgo colectivo más usual es construir una curva FN con el N<sup>o</sup> estimado de muertes de cada escenario.
- F = frecuencia acumulada de todos los escenarios para los que el número de muertes es mayor o igual a un valor N.

Incidente	Frecuencia F <sub>i</sub> (por año)	N <sup>o</sup> estimado de muertes N
I	$1.0 \times 10^{-6}$	13
IIA	$1.0 \times 10^{-5}$	0
IIB 1	$1.0 \times 10^{-5}$	6
IIB 2	$1.0 \times 10^{-5}$	3

# Datos de frecuencias acumuladas para la curva F-N



Nº de muertes N	Incidentes incluidos	Frecuencia total $F_N$ (por año)
3+	I, IIB 1, IIB 2	$2.1 \times 10^{-5}$
6+	I, IIB 1	$1.1 \times 10^{-5}$
13+	I	$1.0 \times 10^{-6}$
>13+	<b>Ninguno</b>	0



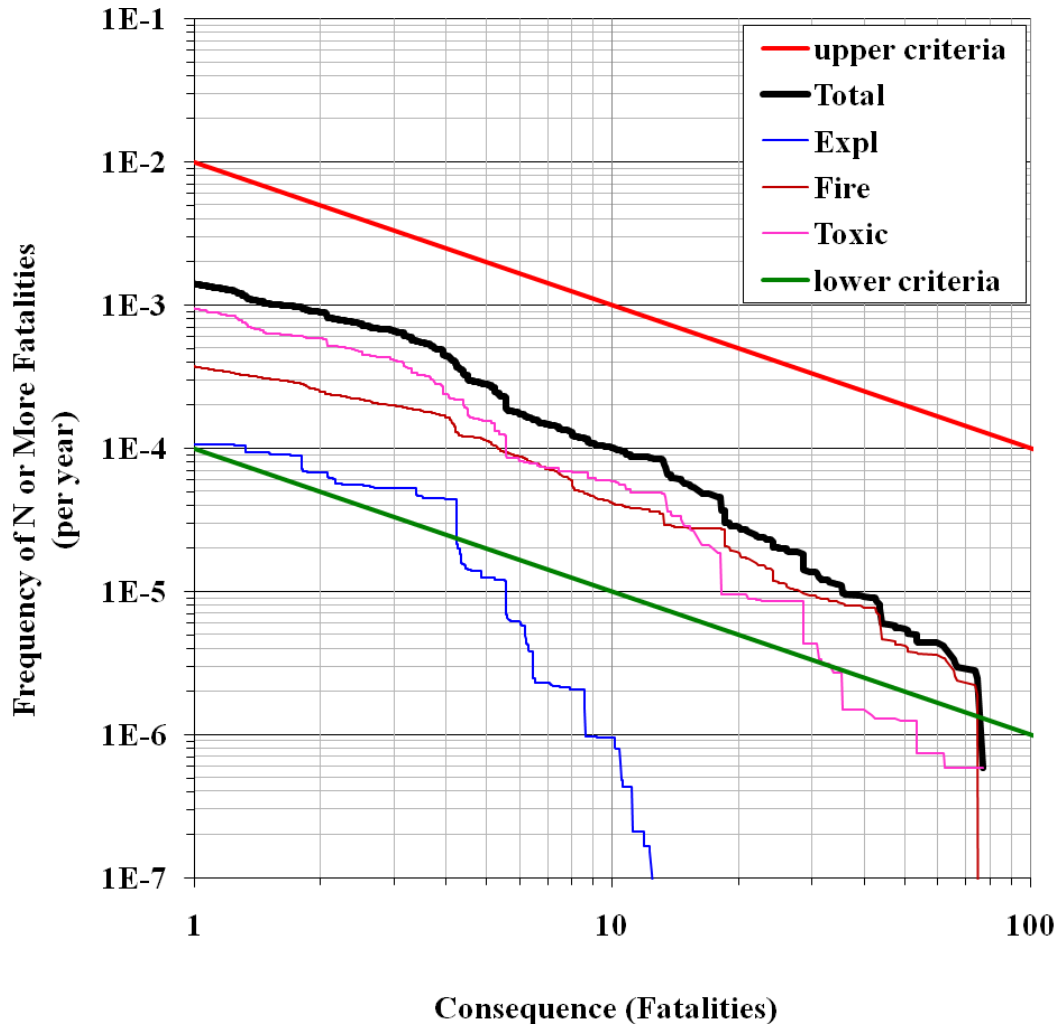
# Escenarios fuentes de riesgo colectivo



Source Contributions to Societal Risk

Source	Societal Risk (fatalities/year)				% of Total	
	Explosion	Fire	Toxic	Total	Source	Cum
NH3-T03E-sendout-NH3			2.5E-3	2.5E-3	27.1%	27%
NH3-T01D-supply-NH3			2.5E-3	2.5E-3	26.7%	54%
DBE-01-MeOHCol	4.0E-6	7.4E-4		7.5E-4	7.9%	62%
KA-T06-NOx			2.4E-4	2.4E-4	2.6%	64%
KA-T05-HNO3			2.1E-4	2.1E-4	2.3%	67%
KA-T04-NOx			1.6E-4	1.6E-4	1.7%	68%
CY-09-P203-cyane	5.4E-5	2.2E-4		2.7E-4	2.9%	71%
CY-11-F301-cyane	6.2E-5	2.1E-4		2.7E-4	2.9%	74%
NA-T02-NH3			2.0E-4	2.0E-4	2.2%	76%
CY-13D-feed-cyane	1.5E-5	1.9E-4		2.0E-4	2.1%	78%
CY-03-P101-cyane	4.7E-5	2.0E-4		2.5E-4	2.7%	81%
V-03-TNK0108-CyHx	2.3E-5	1.7E-4		2.0E-4	2.1%	83%
KA-T01-HNO3			7.6E-5	7.6E-5	0.8%	84%
CY-04-R522-cyane	4.5E-5	1.2E-4		1.7E-4	1.8%	86%
CY-21-SDHCS-cyane	3.2E-5	1.4E-4		1.7E-4	1.8%	87%
NA-T01-VAF			9.9E-5	9.9E-5	1.0%	88%
NA-T05-Abs Col			2.1E-4	2.1E-4	2.2%	91%
CY-05-OGCC-cyane	2.5E-5	7.4E-5		9.9E-5	1.1%	92%
BL-03-BPVStmDrm	1.1E-4			1.1E-4	1.1%	93%
V-02-TNK0102-CyHx	1.7E-7	5.4E-5		5.4E-5	0.6%	93%
JT-01-CyHx	1.0E-5	6.5E-5		7.5E-5	0.8%	94%
KA-T10-HNO3			5.4E-5	5.4E-5	0.6%	95%
CY-19-P302-cyane	1.0E-5	5.6E-5		6.7E-5	0.7%	95%
<i>Remainder of sources</i>	<i>4.0E-5</i>	<i>3.6E-4</i>	<i>3.1E-5</i>	<i>4.3E-4</i>	<i>5%</i>	<i>100%</i>
<b>Total</b>	<b>4.7E-4</b>	<b>2.6E-3</b>	<b>6.3E-3</b>	<b>9.4E-3</b>		
	<b>5%</b>	<b>28%</b>	<b>67%</b>			

# Curva FN del complejo industrial



**THANK YOU**

