



2 CONGRESO
LECCIONES APRENDIDAS
DE GRAVES ACCIDENTES O INCIDENTES
EN MANIOBRAS DE PRACTICAJE
19, 20 y 21 de abril de 2023 | Cartagena de Indias



Consultoría Especializada en Estudios de Maniobra y Comportamiento de Buques

Simulación de maniobra y amarre en los procesos HAZID-HAZOP para terminales de productos peligrosos

José Ramón Iribarren

21-abril-2023



Consultora de ingeniería marítimo-portuaria (Madrid, España)



24 años



1.500+
proyectos



58 países



24 personas

Centro de Simulación de Maniobra de Buques en Tiempo Real Maritime Training Provider - DNV



1.900 marinos
(Capitanes - Pilotos)



600 cursos



50 navieras
internacionales



Análisis de riesgos



► Filosofía de trabajo

► Diseño

- Nueva infraestructura
- Ampliación de instalaciones

► Operación

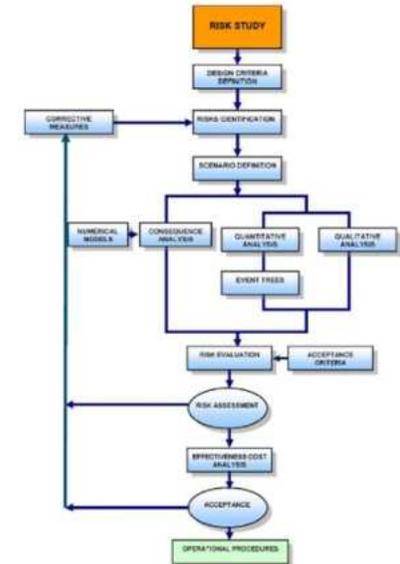
- Cambio de flota
- Optimización (ampliar ventanas de operación)

► Riesgo como criterio base

- Vida útil (relevancia social + riesgo general)
- Riesgo global admisible (repercusión de fallo: económica + víctimas)
- Riesgo individual admisible (colisión/varada, fallo en muelle) (volumen de tráfico)

► Análisis de riesgo: Cualitativo - Cuantitativo

- Evento indeseado: probabilidad * consecuencia
(daños personales, ambientales, económicos, reputacionales, responsabilidad)
- Nivel aceptable → diseño/operación correctos
- Nivel intermedio → reducción de riesgo (ALARP)
- Nivel inaceptable → rediseño o limitaciones operativas
- Métodos probabilistas necesarios para conseguir precisión



► Probabilidad

► Estadísticas

- Avería de sistemas (a bordo - externos)
- Fallo humano

► Clima local

► Informes de accidentes

► Simulación (casos específicos)

► Consecuencias

► Informes de accidentes

► Simulación (casos específicos)

► Aplicabilidad

► Acceso - Carga/Descarga - Estancia

► Proyectos de magnitud importante

► Buques especiales - Nuevos buques en puertos existentes

► Condiciones marítimas/climáticas complejas (marea-meteo)

► Geometría especial del canal/puerto

► Incorporar factor humano (simulador): percepción - evaluación - toma de decisiones

► Optimización global: infraestructura - buque - clima - operativa - señalización

► Cuantificar nivel de seguridad/operatividad (indicadores KPI)

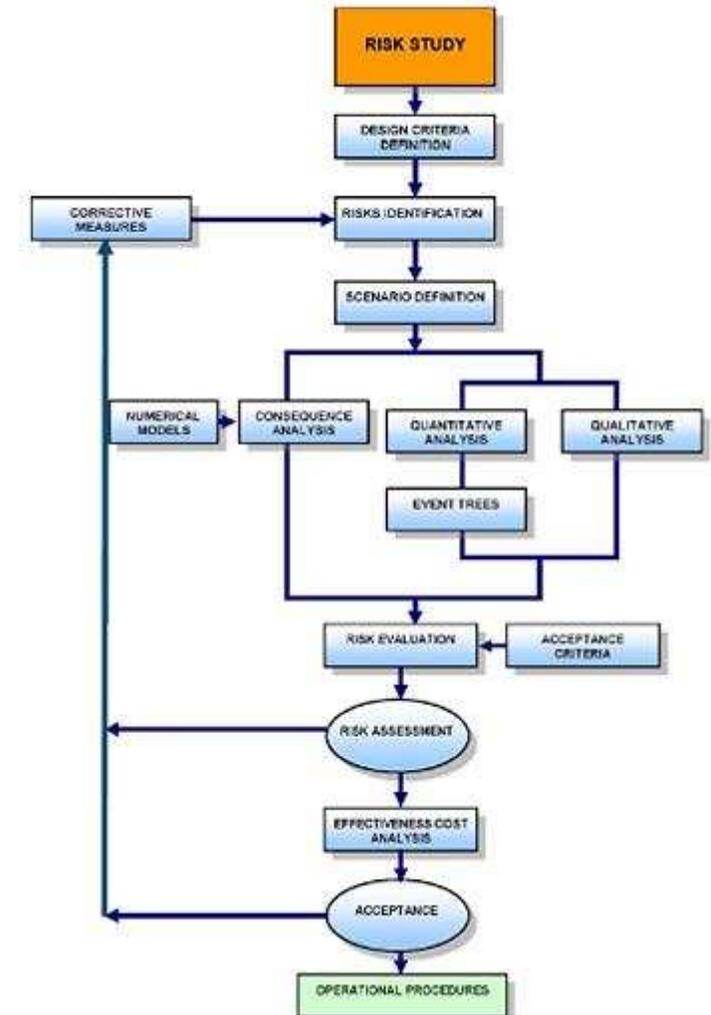


- ▶ **Terminales de cargas peligrosas**
 - ▶ **Petróleo crudo, hidrocarburos, LNG, amoníaco, químicos**
- ▶ **Consecuencias**
 - ▶ **Daños**
 - ▶ **Personas**
 - ▶ **Medioambientales**
 - ▶ **Vertidos**
 - ▶ **Incendios**
 - ▶ **Emisiones**
 - ▶ **Económicas**
 - ▶ **Carga**
 - ▶ **Equipos**
 - ▶ **Instalaciones**
 - ▶ **Infraestructura**
 - ▶ **Paradas de operación**
 - ▶ **Seguros**
 - ▶ **Indemnizaciones**
 - ▶ **Reputación**
 - ▶ **Relación con clientes**
 - ▶ **Imagen social**
 - ▶ **Inversores**



Proceso de Evaluación de Riesgos

- ▶ Definición del sistema
- ▶ Identificación de riesgos (**HAZID = Hazard Identification**)
- ▶ Definición de escenarios
 - ▶ Entorno geográfico - Buques - Meteo/Mar - Recursos - Factor humano
- ▶ Análisis de consecuencias
 - ▶ Cualitativo
 - ▶ Cuantitativo
- ▶ Evaluación de riesgos
- ▶ Criterio de aceptación
- ▶ “Risk Assessment”
 - ▶ Medidas de prevención-respuesta
 - ▶ Análisis coste-beneficio >> ALARP
- ▶ Manual de Operaciones (**HAZOP = Hazard and Operability Studies**)
- ▶ Plan de Contingencia



► OMI FSA

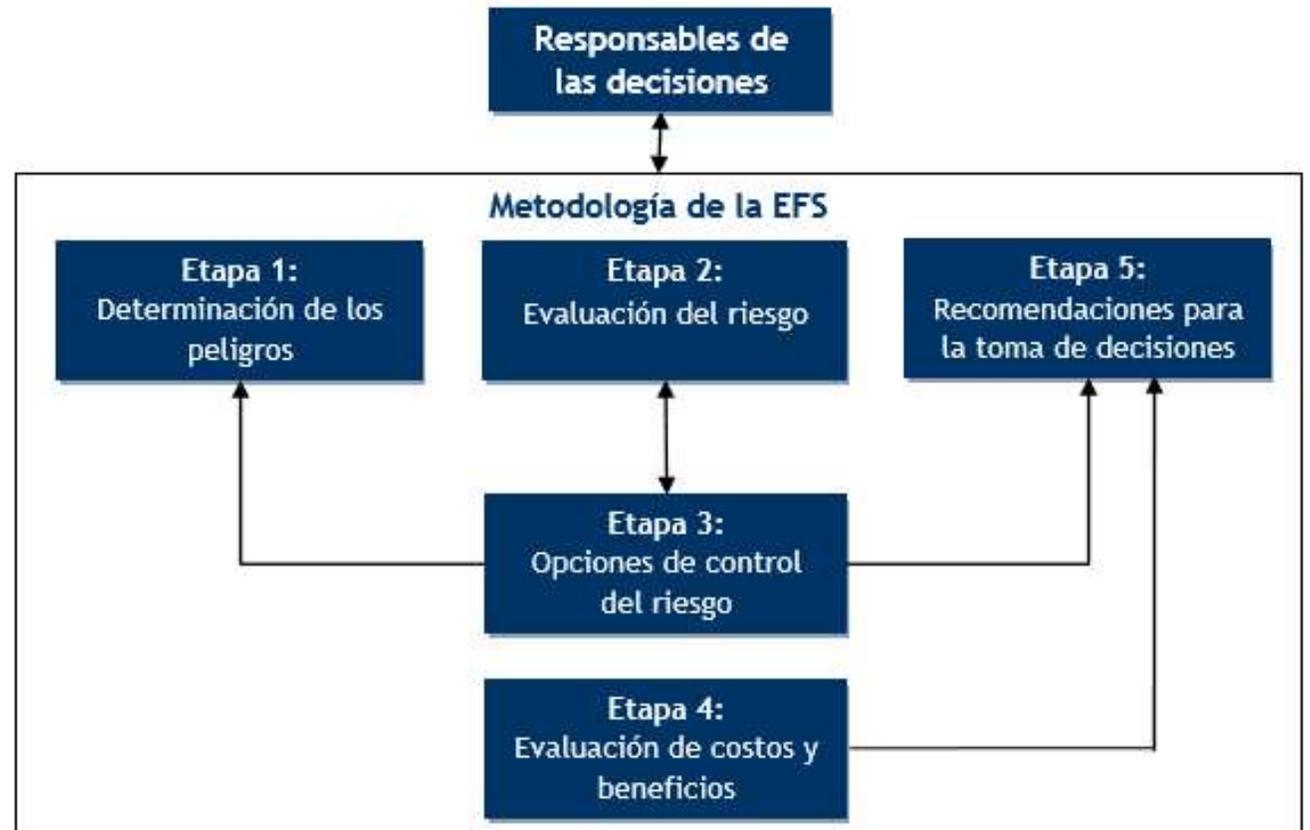
- Metodología de Evaluación Formal de la Seguridad (EFS)
- Recomendaciones “Formal Safety Assessment (FSA) MSC - MEPC.2/Cic.12 - 8 July 2013”

► Recogida de datos

- Datos históricos
- Estudios previos
- Seguimiento in situ maniobras semejantes
- Opiniones de técnicos cualificados

► Análisis inicial

- Profundización progresiva
- Cualitativo → Cuantitativo



► Participantes

- **Coordinador (Sociedad de Clasificación)**
- **Autoridad Portuaria**
- **Autoridad Marítima**
- **Operador de la terminal**
- **Pilotos-Prácticos**
- **Remolcadores - Amarradores**
- **Navieras**
- **Ingenierías-Consultoras**



► Factor humano

- **Elemento esencial (y muy complejo)**
- **Incorporarlo usando análisis de fiabilidad humana (AFH, HRA = human reliability analysis)**
- **Error humano = variables personales, organizacionales, situacionales, ambientales**



► Etapa 1: Determinación de peligros

- Listar
- Clasificar
- Priorizar
- Frecuencia x Importancia
- Acceso
 - Varada
 - Colisión
 - Abordaje
 - Fuego o explosión
- Estancia
 - Movimiento excesivo (carga/descarga)
 - Rotura de líneas
 - Pérdida de carga
 - Deriva



► Etapa 2: Análisis del riesgo

- **Árbol de fallos (FTA = Fault Tree Analysis)**
- **Árbol de sucesos (ETA = Event Tree Analysis)**
- **Probabilidad**
- **Consecuencia**

Simulación



Fallo en la propulsión
Fallo en el gobierno
Fallo de remolcadores
Errores del maniobrista
Errores de comunicación
Emergencias en el amarre
Emergencias por buques ajenos
Empeoramiento repentino de condiciones (viento, tormenta, visibilidad, ...)

► Etapa 2: Análisis del riesgo

- **Árbol de fallos (FTA = Fault Tree Analysis)**
- **Árbol de sucesos (ETA = Event Tree Analysis)**
- **Probabilidad**
- **Consecuencia**

Simulación

Código	Descripción	Definición	Orden de magnitud
F-1	Remoto	Puede ocurrir menos de 1 vez en 1000 años de operación	Menos de una vez en 1 000 años > 1000 años
F-2	Improbable	Puede ocurrir menos una vez en 100 años de operación	Una o más veces en 1 000 años 100 - 999 años
F-3	Posible	Puede ocurrir una vez entre 10 y 100 años de operación	Una o más veces en 100 años 10 - 99 años
F-4	Probable	Puede ocurrir una vez entre 1 y 10 años de operación	Una o más veces en 10 años 1 - 9 años
F-5	Frecuente	Puede ocurrir entre una vez a la semana y una vez al año	Una o más veces en 1 año < 1 año

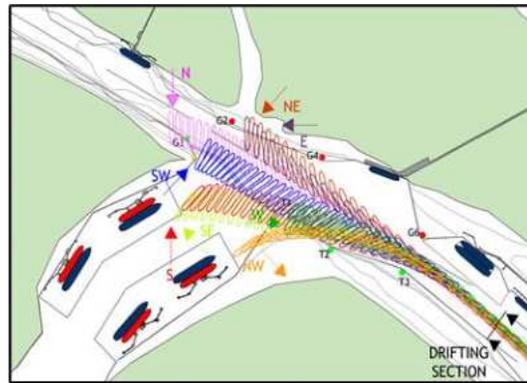
Código	Personas	Ambiental	Material	Reputación
C-1	Despreciable Posible lesión menor	Despreciable No se produce efecto apreciable Costo: < 10k€	Despreciable Costo: < 10k€	Despreciable Costo: < 10k€
C-2	Leve Lesiones únicas o poco importantes	Leve Nivel 1 a 2: pequeño derrame con poco efecto ambiental Costo: 10k€ - 100k€	Leve Avería en el equipo local Costo: 10k€ - 100k€	Leve Publicidad local mala y/o reducción de ingresos a corto plazo Costo: 10k€ - 100k€
C-3	Considerable Lesiones múltiples o graves	Considerable Nivel 2: se produce un derrame que puede ser limitado a la zona de operación Costo: 100k€ - 1M€	Considerable Avería leve del buque Costo: 100k€ - 1M€	Considerable Mala publicidad generalizada. Suspensión temporal de las operaciones o restricciones prolongadas Costo: 100k€ - 1M€
C-4	Grave Fallecimiento único o lesiones múltiples graves	Grave Nivel 3: contaminación que requiere intervención nacional. Derrame químico o pequeño escape de gas Costo: 1M€ - 10M€	Grave Avería grave Costo 1M€ - 10M€	Grave Publicidad nacional. Cierre temporal Costo 1M€ - 10M€
C-5	Catastrófica Múltiples fallecimientos	Catastrófica Nivel 3: contaminación que requiere intervención internacional. Contaminación extendida por la costa. Escape de gas o productos serios.	Catastrófica Pérdida total Costo: > 10M€	Catastrófica Publicidad internacional. Interrupción importante de operaciones e ingresos, por más de dos

► Maniobra

- Modelos de autopiloto
- Autopiloto “batch” aleatorio
- Simulador en tiempo real
- Simulador en tiempo real - varios puentes (cruces-remolcadores)

* probabilista

* probabilista



► Riesgo de varada

- Cálculo de *squat*
- Respuesta al oleaje
- Cálculo de ventanas de operación (buque-T · marea-oleaje(Hs-Tp))

* probabilista

* probabilista



SONDA21. Dimensionamiento en Alzado

Obtención de Probabilidad Límite

Probabilidad de Contacto con el Fondo con Daño Menor Mínimo (Tanto por 1) Probabilidad Límite

Vida Útil del Canal de Navegación Push Button Período de Retorno

Buques por Año

Condiciones Límite

KC mínimo (m)

Ventana Mínima (min) Cargar Datos Límites

Máx Nivel de Agua (m)

Datos Climáticos en la Zona Portuaria

Fichero de Oleaje Fichero de Marea

Batimetría del Puerto

Fichero de Batimetría

L Superior L Inferior

Buque	200 000 TPM	Buque	200 000 TPM
Calado	19.0 m	Calado	19.0 m
Canal de Acceso	Actual	Canal de Acceso	Actual
Probabilidad de Contacto	1E-04	Probabilidad de Contacto	1E-04

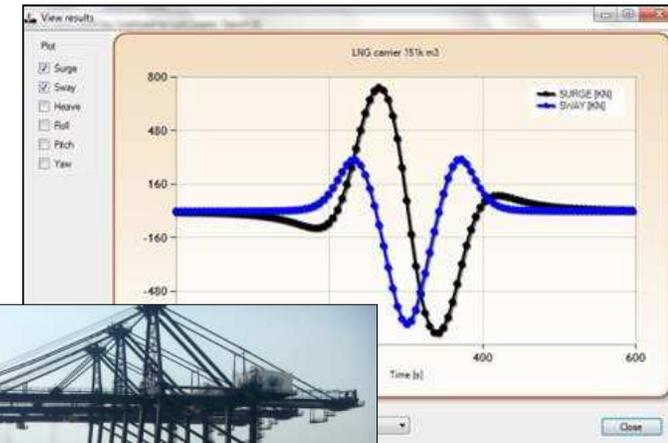
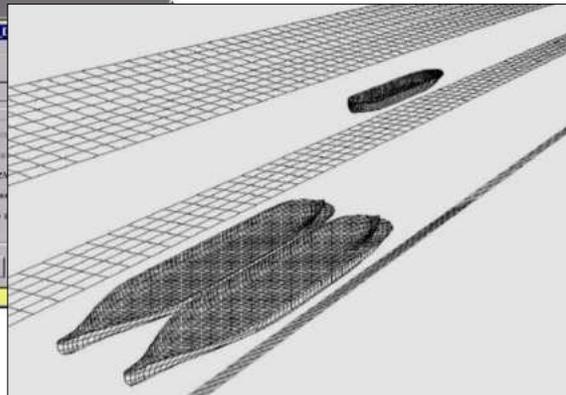
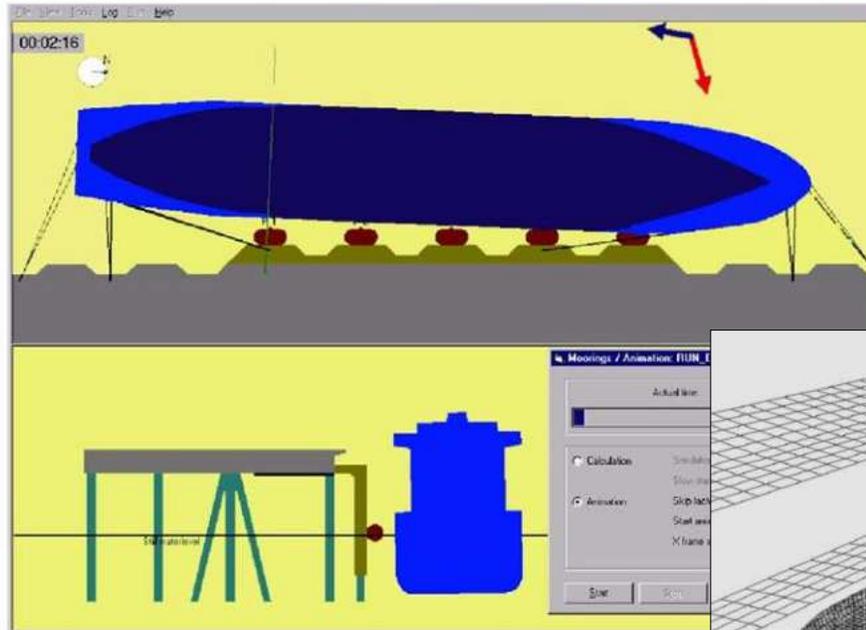
Dirección del Oleaje	NorOeste	Dirección del Oleaje	NorOeste
Altura Significante (Hs)	10	12	14
Período de Pico (Tp)	16	18	
0.00 - 0.25	1.00	1.00	1.00
0.25 - 0.50	1.00	1.00	1.00
0.50 - 0.75	1.00	1.00	1.00
0.75 - 1.00	1.00	1.00	1.00
1.00 - 1.25	1.00	1.00	1.00
1.25 - 1.50	1.00	1.00	1.00
1.50 - 1.75	1.00	1.00	1.00
1.75 - 2.00	1.00	1.00	1.00
2.00 - 2.25	1.00	1.00	1.00
2.25 - 2.50	1.00	1.00	1.00
2.50 - 2.75	1.00	1.00	1.00
2.75 - 3.00	1.00	1.00	1.00
3.00 - 3.25	1.00	1.00	1.00
3.25 - 3.50	1.00	1.00	1.00
3.50 - 3.75	1.00	1.00	1.00
3.75 - 4.00	1.00	1.00	1.00
4.00 - 4.25	1.00	1.00	1.00
4.25 - 4.50	1.00	1.00	1.00
4.50 - 4.75	1.00	1.00	1.00
4.75 - 5.00	1.00	1.00	1.00

Altura Significante (Hs)	10	12	14	16	18
0.00 - 0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25 - 0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50 - 0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.75 - 1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00 - 1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25 - 1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.50 - 1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.75 - 2.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.77
2.00 - 2.25	0.00	0.00	0.24	0.70	1.16
2.25 - 2.50	0.00	0.00	0.24	0.92	1.72
2.50 - 2.75	0.00	0.00	0.47	1.32	2.01
2.75 - 3.00	0.00	0.00	0.88	1.59	2.39
3.00 - 3.25	0.00	0.00	0.96	2.01	2.96
3.25 - 3.50	0.00	0.11	1.44	2.50	3.34
3.50 - 3.75	0.00	0.28	1.90	3.25	3.95
3.75 - 4.00	0.00	0.44	2.11	3.32	3.30
4.00 - 4.25	0.00	0.63	2.75	4.18	3.30
4.25 - 4.50	0.00	1.15	2.99	3.30	3.30
4.50 - 4.75	0.00	1.25	3.62	3.30	3.30
4.75 - 5.00	0.00	1.32	3.00	3.00	3.00

► Amarre

- Compatibilidad geométrica (automatizada)
- DMA (Dynamic Mooring Analysis)
 - Movimientos 3D (carga/descarga)
 - Fuerzas en amarras/defensas (permanencia)
- “Passing ships”
 - Distancia-Velocidad

* probabilista

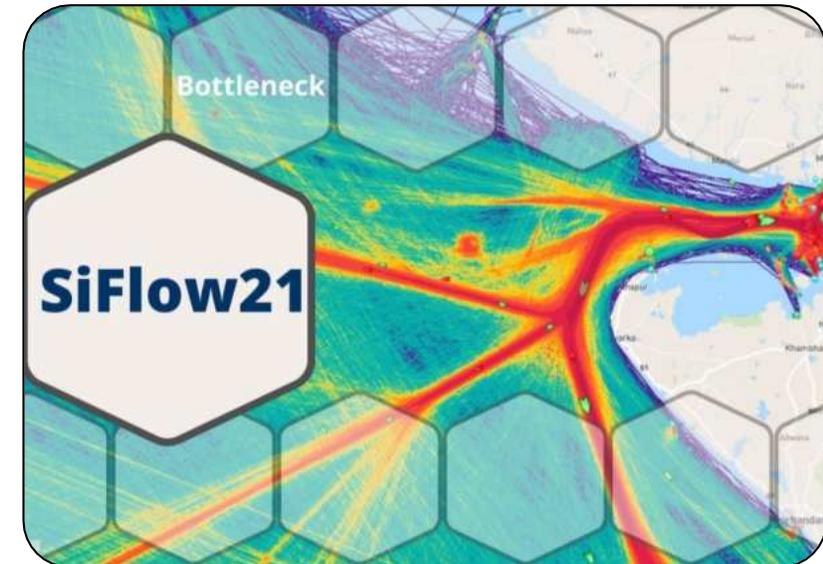
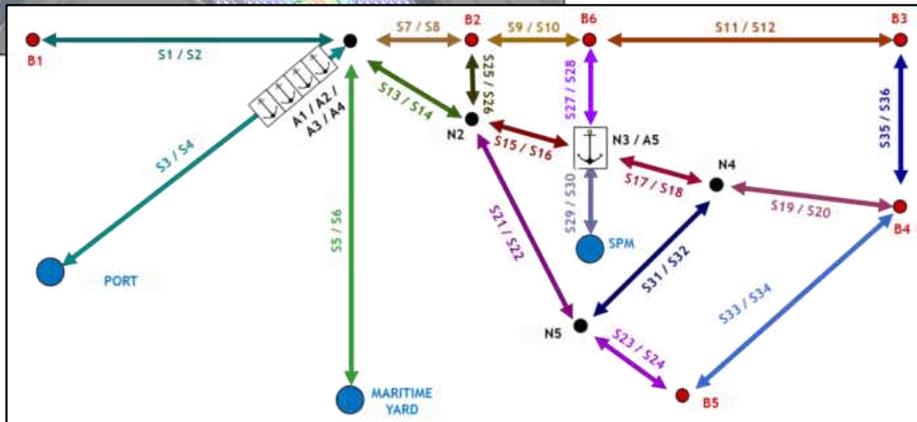
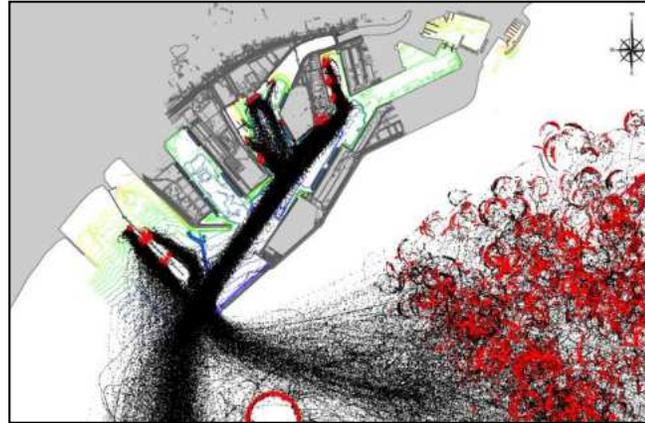
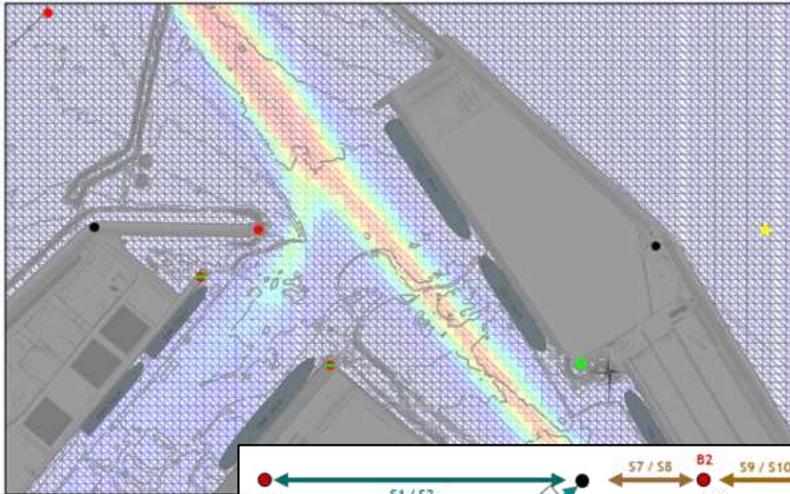


► Tráfico

- **Análisis de datos AIS**
- **Modelos de predicción de tráfico (esperas-eficiencia)**
- **Modelos de predicción de tráfico (encuentros-riesgo)**

* probabilista

* probabilista



► Etapa 2: Análisis del riesgo

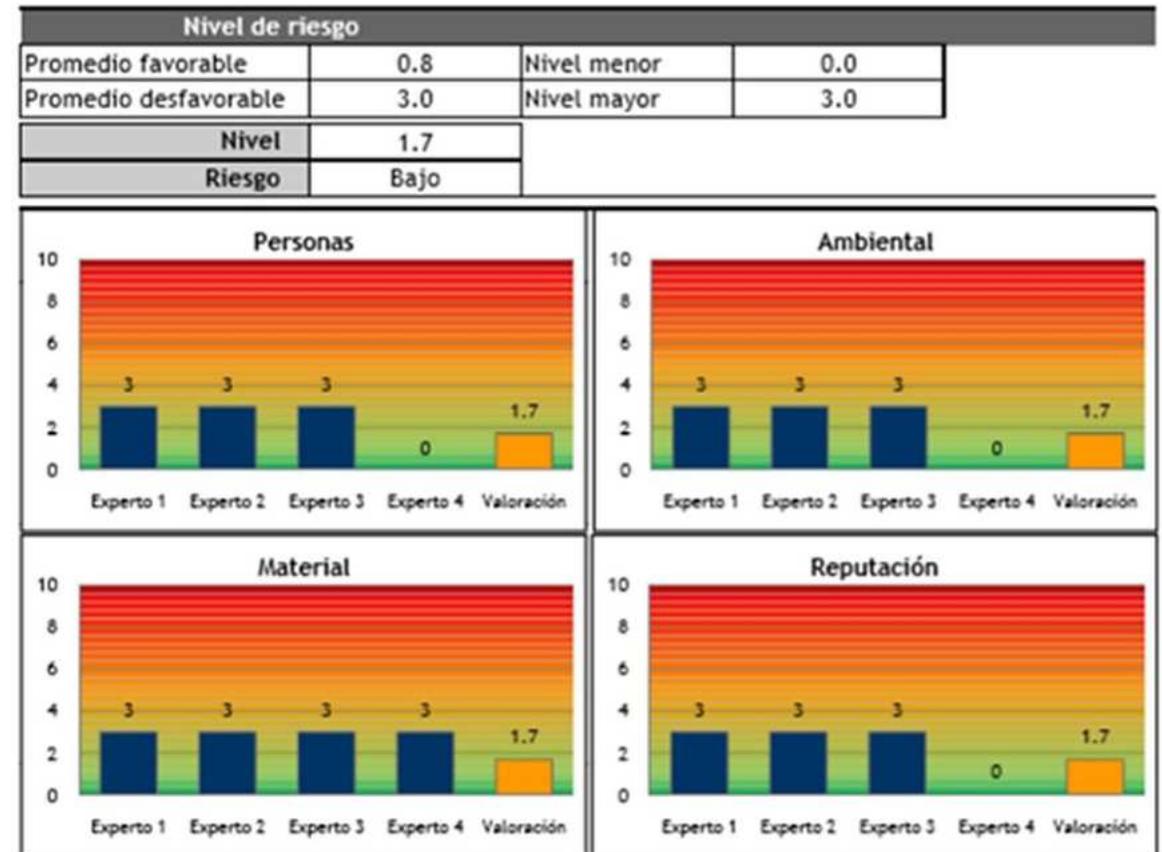
- Matriz de riesgo
- Asignación a cada escenario
 - Configuración
 - Buque
 - Meteo
 - Recursos auxiliares
 - Zona de avería
 - Velocidad

Frecuencia →	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5
↓ Consecuencias					
C-5	5	6	7	8	10
C-4	4	5	6	7	9
C-3	3	4	5	6	8
C-2	1	2	3	4	6
C-1	0	0	0	0	0

El nivel de riesgo que representa cada índice es:

- 0 y 1: Riesgo despreciable
- 2 y 3: Riesgo bajo
- 4, 5 y 6: Riesgo correspondiente a la región "ALARP"
- 7, 8 y 9: Riesgo importante
- 10: Riesgo alto

- Evaluación diversos expertos
 - Análisis y puntuación

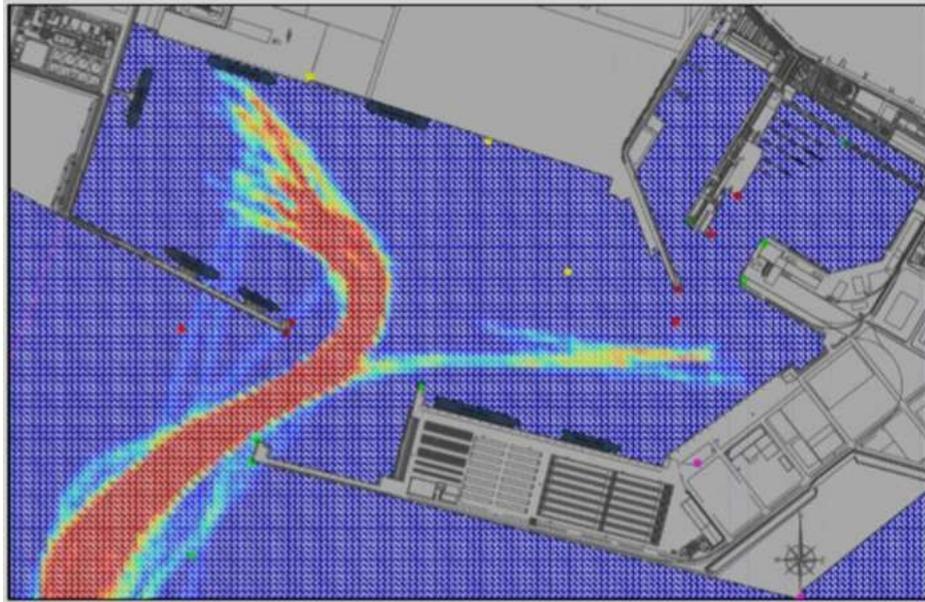


► Etapa 2: Análisis del riesgo

► Evaluación detallada de riesgos más importantes

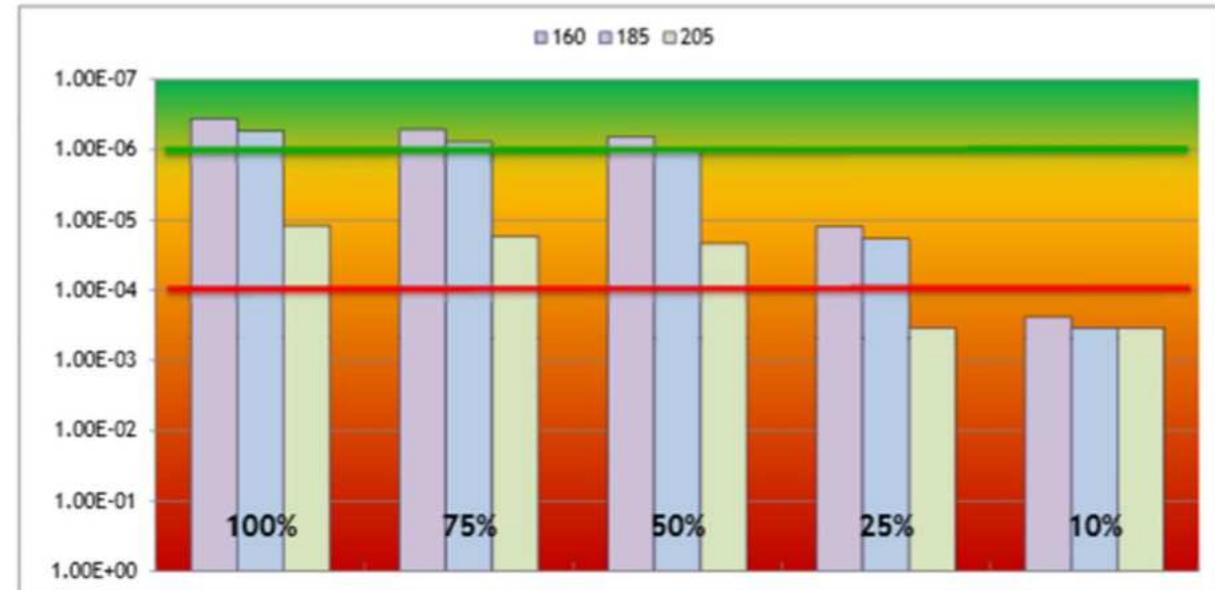
- Caso: pérdida de propulsión (“black-out”)
- Distintos tamaños de buque
- Maniobra avante y con reviro
- Condiciones meteo
- Eficiencia de remolque
- Posición del fallo
- Velocidad
- Densidad de tráfico (AIS)

Simulación



3 barcos (160 - 185 - 205 m)
Distinta eficacia de remolque (10% a 100% de BP)
Maniobra avante
Meteo exigente

Riesgo despreciable = 10^{-6} (ALARP)
Riesgo inaceptable = 10^{-4}



► Etapa 3: Opciones de control de riesgo

► Identificar posibles medidas de control del riesgo (MCR)

- evaluar su eficacia → reevaluación de la etapa 2

► Objetivos

- reducir la frecuencia de los fallos
 - mejora de proyectos, procedimientos, criterios de organización, formación, ...
- mitigar los efectos de los fallos a fin de evitar los accidentes
- aliviar las circunstancias en que pueden ocurrir los fallos
- mitigar las consecuencias de los accidentes

► Agruparlas en un número limitado de opciones de control del riesgo (OCR)

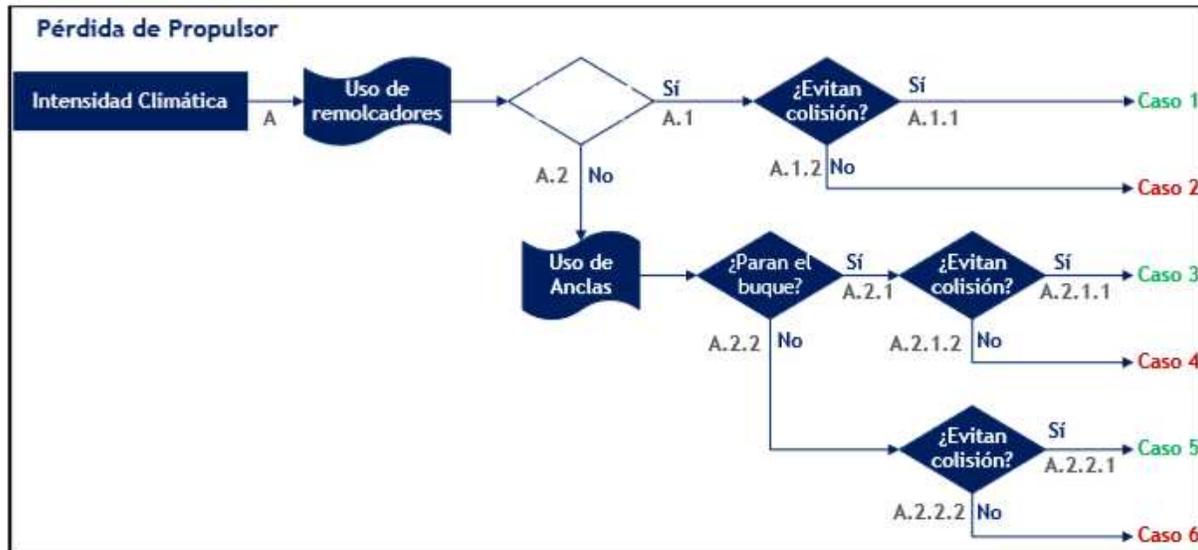


Figura 20. Árbol de fallos de pérdida del propulsor



▶ Etapa 3: Opciones de control de riesgo

▶ Ante fallos mecánicos

- ▶ Redundancia de equipos
- ▶ Inspección y mantenimiento

▶ Ante fallos humanos

- ▶ Formación y Entrenamiento (condiciones normales + emergencias)
- ▶ BRM, Cursos IMO, Sire 2.0
- ▶ Coordinación Prácticos-Remolcadores
- ▶ Doble Práctico

▶ Otras medidas operativas

- ▶ Predicción meteorológica-marítima fiable
- ▶ Ventanas de marea
- ▶ Limitaciones viento-oleaje-corriente
- ▶ Formación de remolque (escolta, amarre)
- ▶ Limitaciones tráfico concurrente (cruces, menores, ocupación atraques)
- ▶ Limitación de velocidad-distancia de paso
- ▶ Mejora de señalización (nocturna)
- ▶ Control de tráfico (VTS)
- ▶ DST
- ▶ Refuerzo de amarre
- ▶ Bolardos de tormenta
- ▶ Sistemas activos de amarre

Simulación

Simulación

► Etapa 4: Evaluación de coste y beneficio

► Criterio ALARP

► “As low as reasonably practicable”

► Determinar y comparar coste-beneficio de cada OCR

► Evaluación de eficacia

► Estimación de costes

► Coste unitario de reducción de riesgo

► Clasificación

Simulación



Ejemplo:

1. Prohibición de tránsito simultáneo de embarcaciones menores
2. Mejora en número-potencia de remolcadores
3. Remolcador adicional para buques máximos
4. No atraque simultáneo en muelles adyacentes (combinación de esloras)
5. Entrada con escolta (buque máximo-meteo exigente)
6. Remolcador “stand-by” (salida de emergencia)
7. Refuerzo de líneas (meteo dura)
8. Remolcador(es) de apoyo en el atraque



- ▶ **Etapas 5: Recomendaciones para la toma de decisiones**
 - ▶ **Elaboración de recomendaciones**
 - ▶ Comparación y clasificación de los peligros y de sus causas determinantes
 - ▶ Comparación y clasificación de las opciones de control de riesgo (coste-beneficio)
 - ▶ Selección de OCR más favorables
 - ▶ Aplicación práctica y sencilla (fase inicial)
 - ▶ **Reevaluación del escenario de riesgo**
- ▶ **Procedimiento de Operaciones**
- ▶ **Plan de Contingencia**
- ▶ **Plan de Capacitación/Entrenamiento**



- ▶ **Riesgo**
 - ▶ **Filosofía de Diseño - Operación**
- ▶ **Aplicación**
 - ▶ **Puertos-Terminals importantes**
 - ▶ **Infraestructura relevante**
 - ▶ **Afección en caso de incidentes/accidentes**
- ▶ **Consecuencias**
 - ▶ **Daños personales**
 - ▶ **Medioambientales**
 - ▶ **Económicas - Operativas**
 - ▶ **Reputación**
 - ▶ **Responsabilidad**
- ▶ **Proceso HAZID-HAZOP FSA-OMI**
 - ▶ **Identificación**
 - ▶ **Evaluación**
 - ▶ **Probabilidad**
 - ▶ **Consecuencias**
 - ▶ **Criterio de aceptación**
 - ▶ **Medidas de prevención/respuesta**



▶ Simulación

- ▶ Herramienta de enorme utilidad
- ▶ Acceso - Estancia - Tráfico - Salida

▶ Factor humano

- ▶ Esencial y complejo
- ▶ Capacitación y entrenamiento
- ▶ Conocimiento - Aptitudes - Actitud

▶ Multidisciplinar

- ▶ Autoridad Portuaria - Marítima
- ▶ Operador
- ▶ Prácticos - Remolcadores - Amarradores
- ▶ Navieras
- ▶ Ingenierías

▶ Procedimiento de Operaciones

▶ Plan de Contingencia

▶ Plan de Capacitación/Entrenamiento





Consultoría Especializada en Estudios de Maniobra y Comportamiento de Buques

Contacto:
siport21@siport21.es

Siport21
Chile, 8 - 28290 Las Matas (Madrid) - España
Tel.: 0034 91 630 70 73
www.siport21.com



Síguenos en:

