



**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

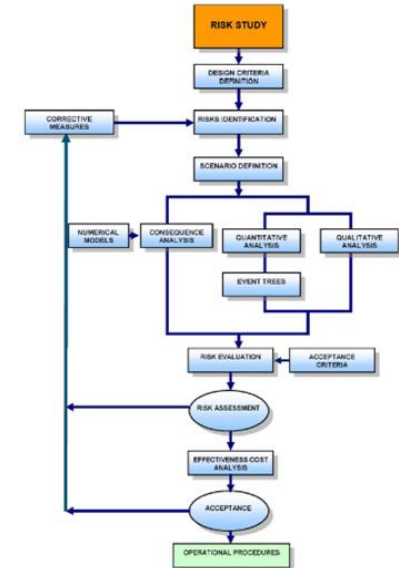
- Cambio de flota
- Optimización (ampliar ventanas de operación)

## ► 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)



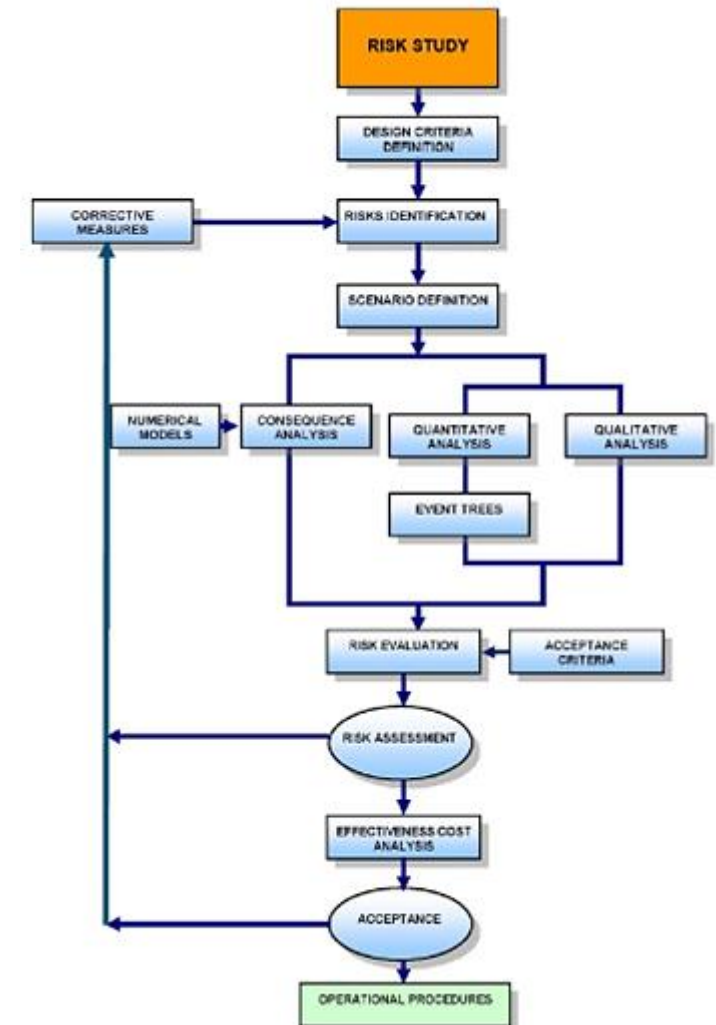


- ▶ **Terminales de cargas peligrosas**
  - ▶ **Petróleo crudo, hidrocarburos, LNG, amoníaco, químicos**
- ▶ **Consecuencias**
  - ▶ **Daños**
    - ▶ **Personas**
  - ▶ **Medioambientales**
    - ▶ **Vertidos**
    - ▶ **Incendios**
    - ▶ **Emisiones**
  - ▶ **Económicas**
    - ▶ **Carga**
    - ▶ **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

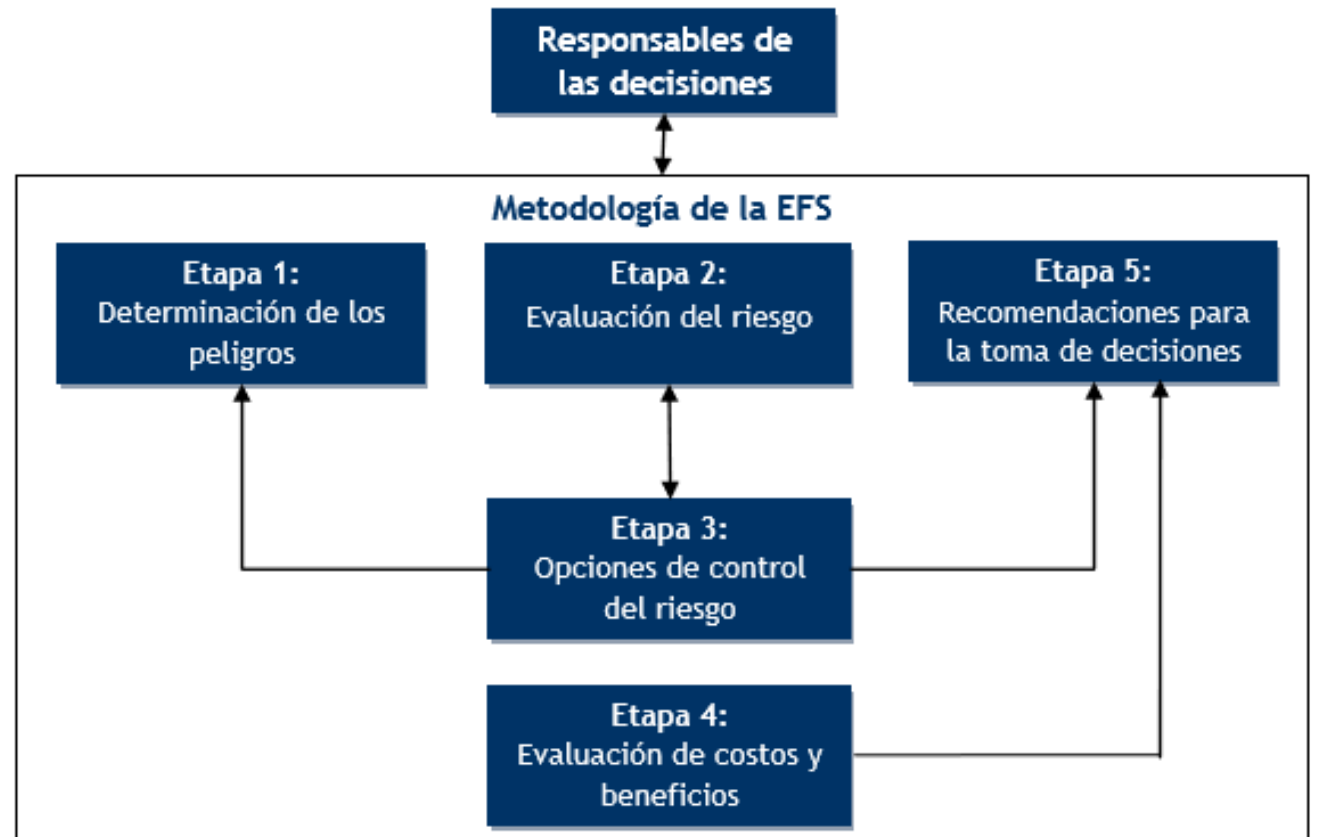
- Metodología de Evaluación Formal de la Seguridad (EFS)
- Recomendaciones “Formal Safety Assessment (FSA) MSC - MEPC.2/Cic.12 - 8 July 2013”

## ► 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

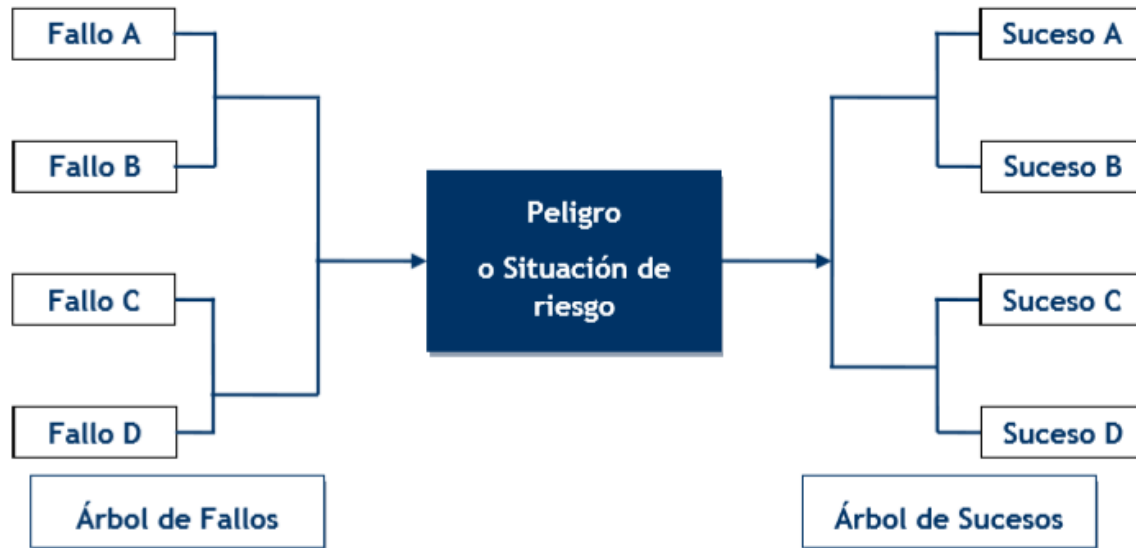
- Listar
- Clasificar
- Priorizar
- Frecuencia x Importancia
- Acceso
  - Varada
  - Colisión
  - Abordaje
  - Fuego o explosión
- Estancia
  - Movimiento excesivo (carga/descarga)
  - Rotura de líneas
  - Pérdida de carga
  - Deriva



## ► 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

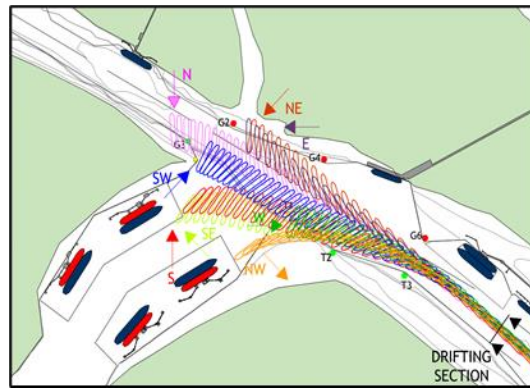
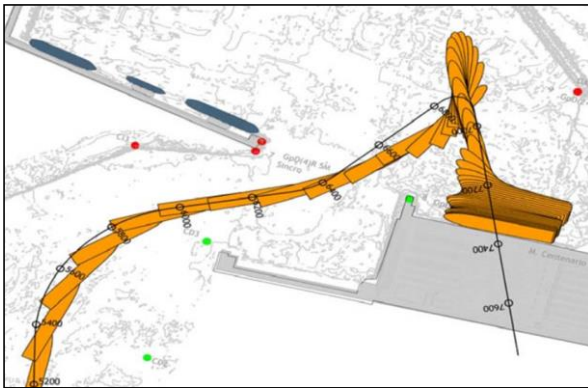
Código	Personas	Ambiental	Material	Reputación
C-1	<b>Despreciable</b> Posible lesión menor	<b>Despreciable</b> No se produce efecto apreciable Costo: < 10k€	<b>Despreciable</b> Costo: < 10k€	<b>Despreciable</b> Costo: < 10k€
C-2	<b>Leve</b> Lesiones únicas o poco importantes	<b>Leve</b> Nivel 1 a 2: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

Vida Útil del Canal de Navegación

Buques por Año

Push Button

Periodo de Retorno

**Datos Climáticos en la Zona Portuaria**

Fichero de Oleaje

Fichero de Marea

**Batimetría del Puerto**

Fichero de Batimetría

L.Superior

L.Inferior

**Condiciones Límite**

KC mínimo (m)

Ventana Mínima (min)

Máx Nivel de Agua (m)

Cargar Datos Límites

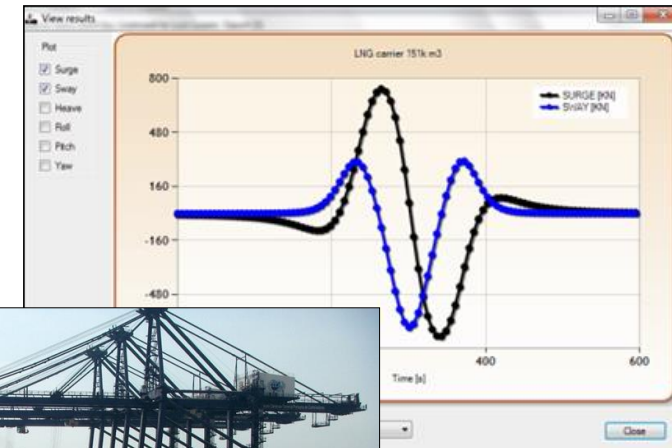
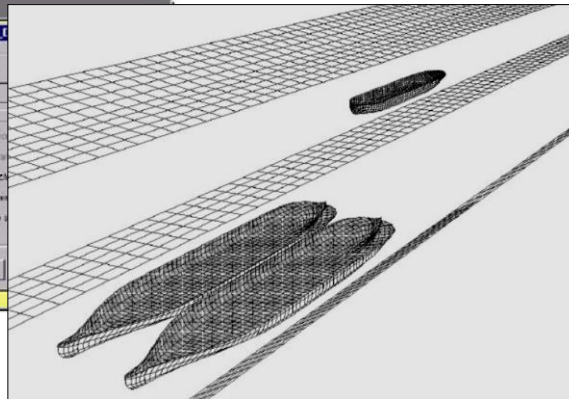
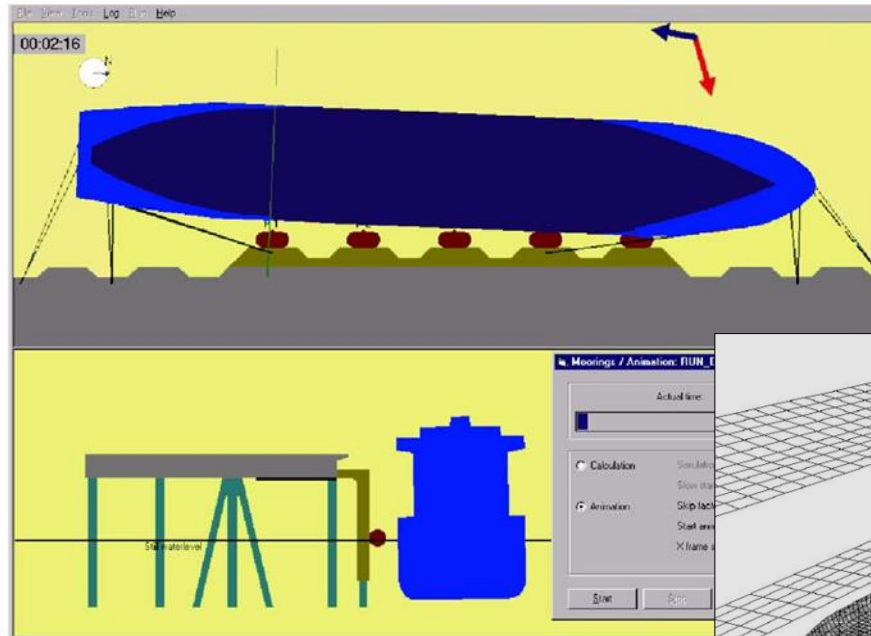



Buque		200 000 TPM		Buque		200 000 TPM								
Calado		19.0 m		Calado		19.0 m								
Canal de Acceso		Actual		Canal de Acceso		Actual								
Probabilidad de Contacto		1E-04		Probabilidad de Contacto		1E-04								
Dirección del Oleaje		NorOeste				Dirección del Oleaje		NorOeste						
Altura Significante (Hs)		Periodo de Pico (Tp)					Altura Significante (Hs)		Periodo de Pico (Tp)					
		10	12	14	16	18			10	12	14	16	18	
0.00 - 0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25 - 0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50 - 0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.75 - 1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00 - 1.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25 - 1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.50 - 1.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.75 - 2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00 - 2.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.70	0.77	0.44
2.25 - 2.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.70	0.92	1.72	1.16
2.50 - 2.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.47	1.32	2.01	2.39	2.01
2.75 - 3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.88	1.59	2.39	2.96	2.39
3.00 - 3.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.96	2.01	2.96	3.34	2.96
3.25 - 3.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.11	1.44	2.50	3.34	3.95	5.20	3.95
3.50 - 3.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.28	1.90	3.25	3.95	5.20	5.20	3.95
3.75 - 4.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.44	2.11	3.32	5.20	5.20	5.20	3.95
4.00 - 4.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.63	2.75	4.18	5.20	5.20	5.20	3.95
4.25 - 4.50	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15	2.99	5.20	5.20	5.20	5.20	3.95
4.50 - 4.75	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	3.62	5.20	5.20	5.20	5.20	3.95
4.75 - 5.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.32	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	3.95

## ► Amarre

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

\* probabilista



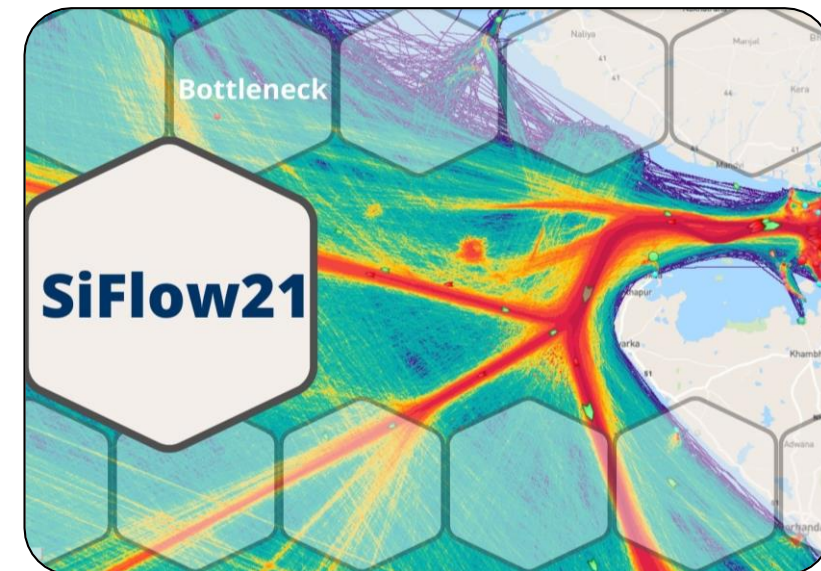
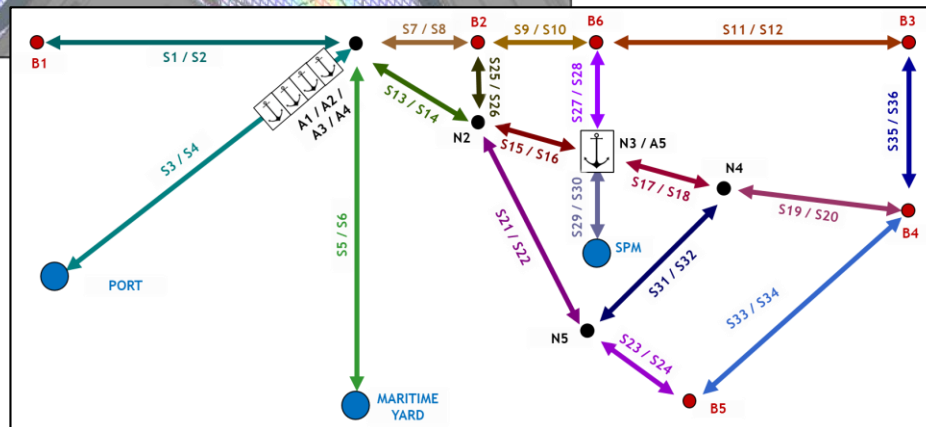
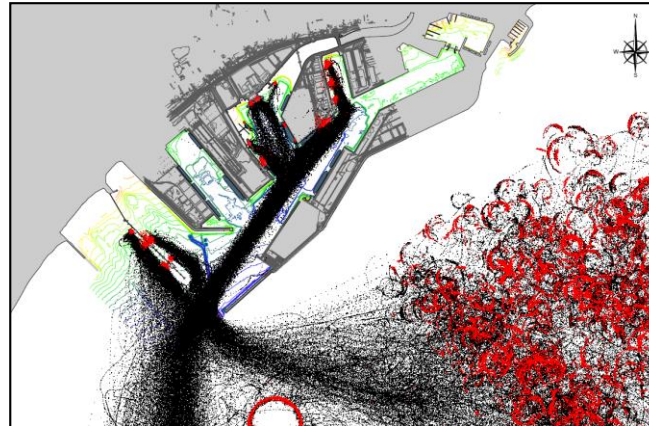
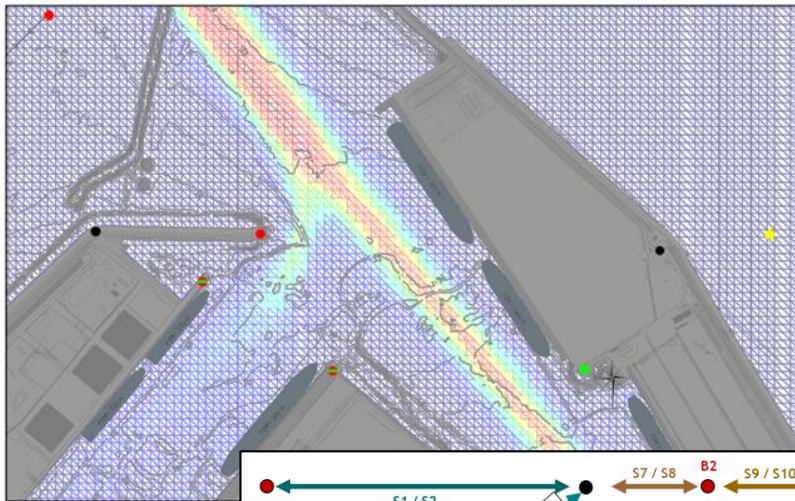


## ► Tráfico

- **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

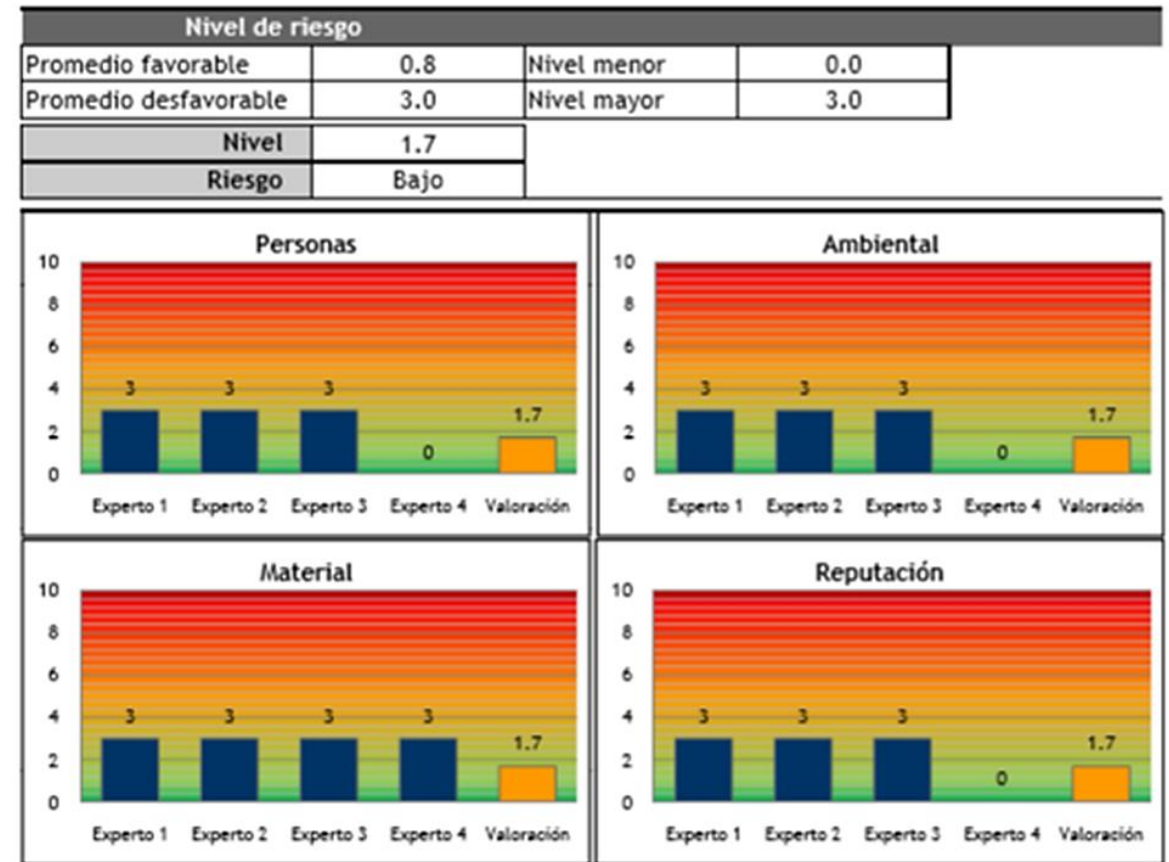
- Matriz de riesgo
- Asignación a cada escenario
  - Configuración
  - Buque
  - Meteo
  - Recursos auxiliares
  - Zona de avería
  - Velocidad

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



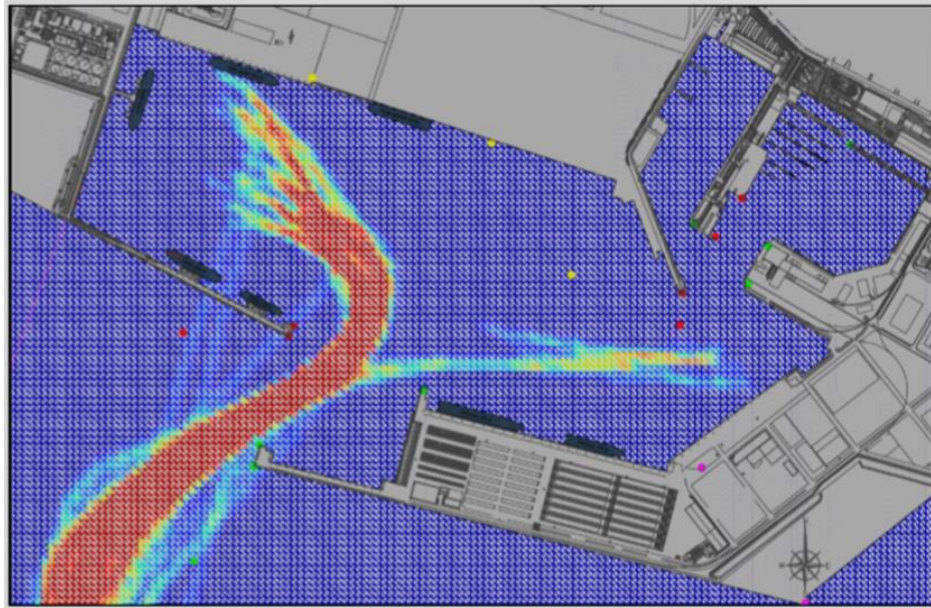


## ► Etapa 2: Análisis del riesgo

### ► Evaluación detallada de riesgos más importantes

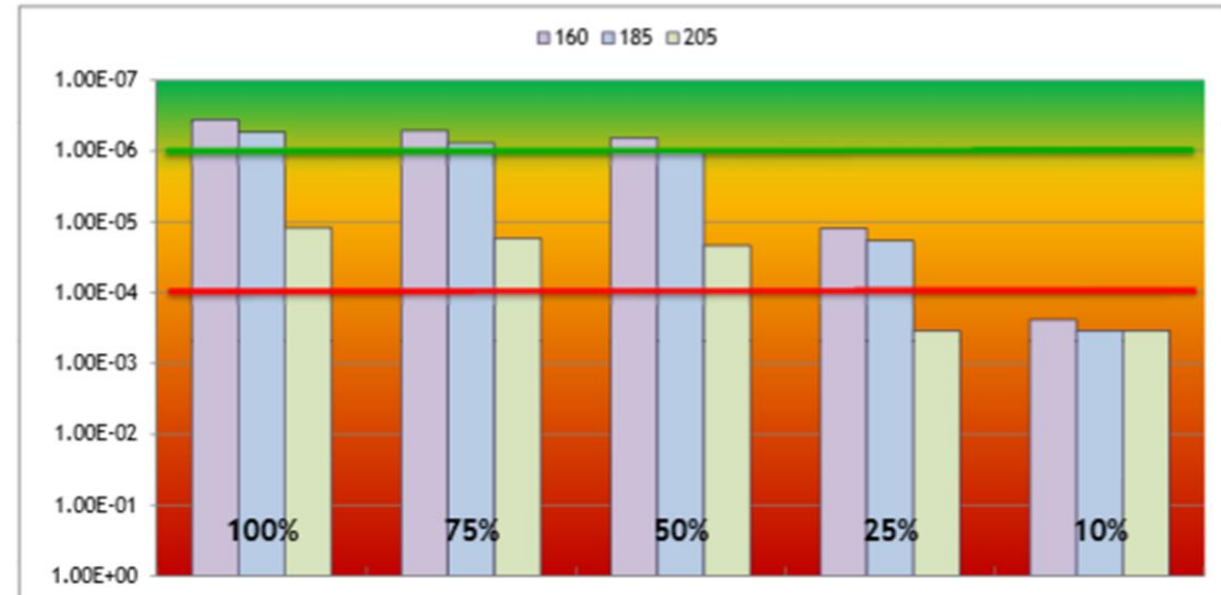
- Caso: pérdida de propulsión (“black-out”)
- Distintos tamaños de buque
- Maniobra avante y con reviro
- Condiciones meteo
- Eficiencia de remolque
- Posición del fallo
- Velocidad
- Densidad de tráfico (AIS)

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)

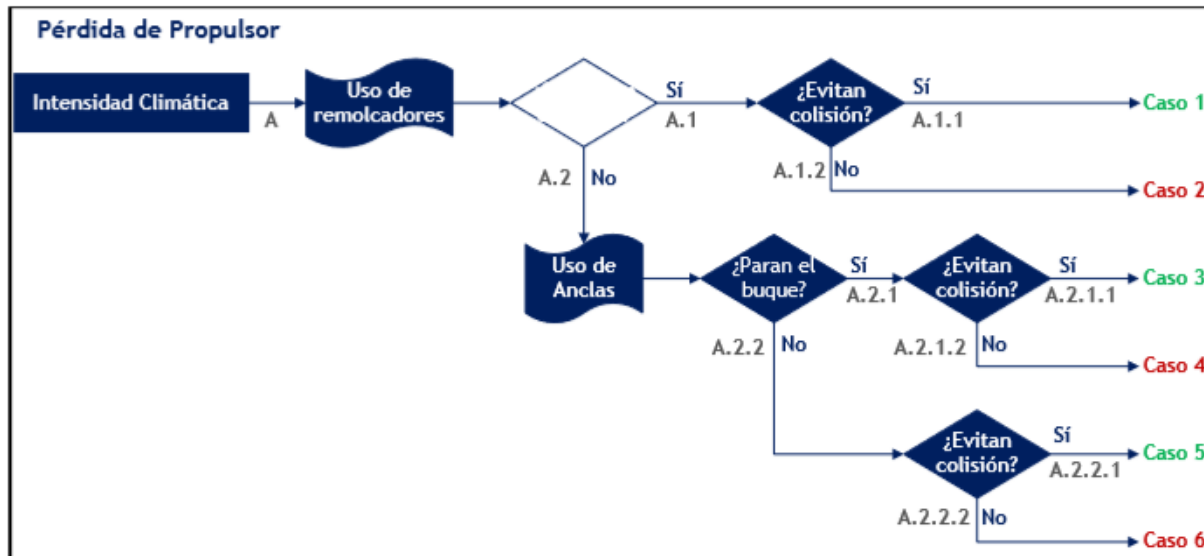


Figura 20. Árbol de fallos de pérdida del propulsor



## ▶ 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

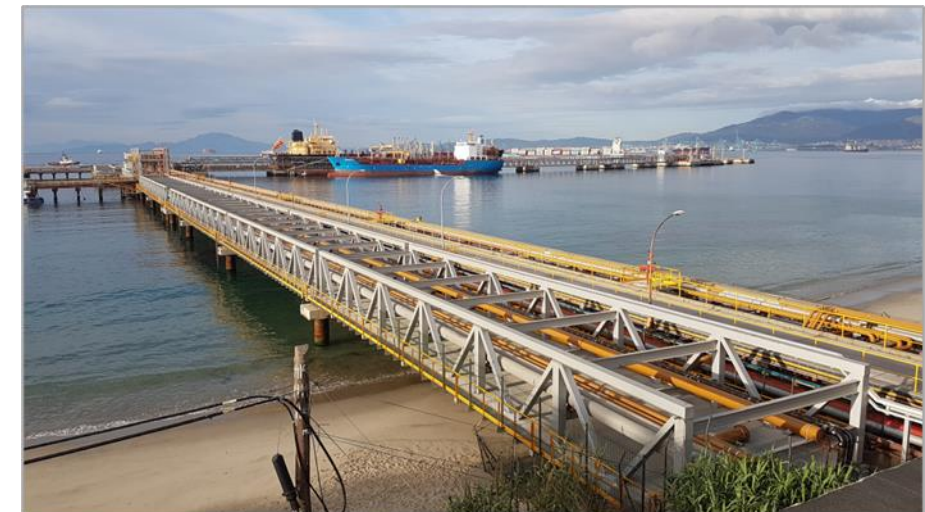
► Clasificación

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](mailto:siport21@siport21.es)

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



Síguenos en:

