



**Puerto
de Sevilla**

**EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA NAVEGACIÓN EN LA EUROVÍA E.60.02
GUADALQUIVIR**



**ANEXO XIII. ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD ANTE
RIESGOS DE ACCIDENTES GRAVES Y/O CATÁSTROFES
NATURALES**



sener



TECNOAMBIENTE
A TRADEBE COMPANY

*“El contenido de esta publicación es
responsabilidad exclusiva de la U.T.E. MC
VALNERA, S.L. – SENER INGENIERÍA Y
SISTEMAS, S.A – TECNOAMBIENTE, S.L.
y no refleja necesariamente la opinión de la
Unión Europea”*



**Cofinanciado por
la Unión Europea**

ÍNDICE

<hr/>		1
1. OBJETO	<hr/>	4
2. INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA	<hr/>	4
2.1. DEFINICIONES	<hr/>	4
2.2. ALCANCE Y METODOLOGÍA	<hr/>	5
2.3. ANÁLISIS DE ACCIDENTES Y CATÁSTROFES RELEVANTES	<hr/>	6
3. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ANTE CATÁSTROFES NATURALES	<hr/>	6
3.1. RIESGOS GEOLÓGICOS	<hr/>	6
3.2. TERREMOTOS-RIESGO SÍSMICO	<hr/>	8
3.3. RIESGO POR TSUNAMIS	<hr/>	11
3.4. RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES	<hr/>	12
3.5. RIESGO POR INUNDACIÓN	<hr/>	20
3.6. RIESGO METEOROLÓGICO (TORMENTAS ELÉCTRICAS Y VIENTOS HURACANADOS)	<hr/>	24
3.7. SÍNTESIS DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ANTE CATÁSTROFES NATURALES	<hr/>	27
4. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ANTE ACCIDENTES GRAVES	<hr/>	27
4.1. FUENTES DE PELIGRO	<hr/>	30
4.2. SUCESOS INICIADORES	<hr/>	32
4.3. FACTORES CONDICIONANTES	<hr/>	35
4.4. IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS ACCIDENTALES Y PROBABILIDADES	<hr/>	35
4.5. CÁLCULO DE IDM Y RIESGO DE LOS ESCENARIOS RELEVANTES	<hr/>	40
4.6. SELECCIÓN DEL ESCENARIO DE REFERENCIA	<hr/>	42
4.7. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD A AMENAZAS INTERNAS	<hr/>	43
5. MEDIDAS DE PROTECCIÓN	<hr/>	44

5.1.	MEDIAS DE PROTECCIÓN ANTE CATÁSTROFES NATURALES	44
5.2.	MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE INCENDIO	44
5.3.	MEDIDAS DE PROTECCIÓN ANTE VERTIDOS ACCIDENTALES	45
6.	INFORMES DE CÁLCULO DEL IDM	45

1. OBJETO

El presente documento se desarrolla de acuerdo con lo establecido en la Ley 9/2018, de 5 de diciembre, por la que se modifica la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, la ley 21/2015, de 20 de julio, por la que se modifica la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes y la Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.

En su artículo 35, apartado d), indica lo siguiente:

d) Se incluirá un apartado específico que incluya la identificación, descripción, análisis y si procede, cuantificación de los efectos esperados sobre los factores enumerados en la letra c), derivados de la vulnerabilidad del proyecto ante riesgos de accidentes graves o de catástrofes, sobre el riesgo de que se produzcan dichos accidentes o catástrofes, y sobre los probables efectos adversos significativos sobre el medio ambiente, en caso de ocurrencia de los mismos, o bien informe justificativo sobre la no aplicación de este apartado al proyecto.

Para realizar los estudios mencionados en este apartado, el promotor incluirá la información relevante obtenida a través de las evaluaciones de riesgo realizadas de conformidad con las normas que sean de aplicación al proyecto.

En el mismo, se procede a la identificación, descripción, análisis y si procede, cuantificación de los efectos esperados sobre los factores considerados que se deriven de la vulnerabilidad del proyecto ante riesgos de accidentes graves o de catástrofes naturales, sobre el riesgo de que se produzcan dichos accidentes o catástrofes y sobre los probables efectos adversos significativos sobre el medio ambiente, en caso de ocurrencia de los mismos.

2. INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA

2.1. DEFINICIONES

La Ley 9/2018 que modifica la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental define los principales conceptos relacionados con el análisis de la vulnerabilidad del proyecto:

- **Vulnerabilidad del proyecto:** *características físicas de un proyecto que pueden incidir en los posibles efectos adversos significativos que sobre el medio ambiente se puedan producir como consecuencia de un accidente grave o catástrofe.*
- **Accidente grave:** *suceso, como una emisión, un incendio o una explosión de gran magnitud, que resulte de un proceso no controlado durante la ejecución, explotación, desmantelamiento o demolición de un proyecto, que suponga un peligro grave, ya sea inmediato o diferido, para las personas o el medio ambiente.*

- **Catástrofe:** suceso de origen natural, como inundaciones, subida del nivel del mar o terremotos, ajeno al proyecto que produce gran destrucción o daño sobre las personas o el medio ambiente.

Según la norma española UNE 150.008:2008 de Análisis y evaluación del riesgo ambiental, se define el **Riesgo/Riesgo ambiental** como el resultado de una función que relaciona la probabilidad de ocurrencia de un determinado escenario de accidente y las consecuencias negativas del mismo sobre el entorno natural, humano y socioeconómico.

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad o Frecuencia} \times \text{Consecuencias}$$

Según la norma española UNE 150.008:2008 de Análisis y evaluación del riesgo ambiental el factor ambiental se define como cualquier componente del medio ambiente que puede verse afectado por las actuaciones derivadas de las diferentes fases de construcción, explotación, mantenimiento y en su caso, clausura, cese o desmantelamiento de la actividad objeto del proyecto.

Los factores ambientales, sobre los que analizar el riesgo, descritos en el apartado 1c del artículo 35 de la Ley 9/2018, de 5 de diciembre, son:

- | | |
|--------------------|--|
| • La población | • El aire |
| • La salud humana | • El agua |
| • La flora | • El medio marino |
| • La fauna | • El clima |
| • La biodiversidad | • El cambio climático |
| • La geodiversidad | • El paisaje |
| • El suelo | • El patrimonio cultural |
| • El subsuelo | • Interacción entre todos los factores mencionados |

2.2. ALCANCE Y METODOLOGÍA

De acuerdo a lo establecido en la Ley 9/2018, se realiza un análisis de las amenazas de origen externo (catástrofes naturales) así como de origen interno (accidentes graves).

En relación a las amenazas externas el riesgo de que estas puedan desencadenar una catástrofe, se evaluará en base a lo recogido en la Ley 9/2018. El análisis de riesgo será de tipo cualitativo, basado en datos estadísticos recogidos por organismos oficiales (Instituto Geográfico Nacional, Plan de Emergencias por Incendios Forestales de Andalucía, Protección Civil, Red de Información Ambiental de Andalucía, Plan de gestión del riesgo de la inundación de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir). En el caso de que, en base a la información estadística consultada se determine que alguna de los factores considerados pueda dar lugar a una catástrofe, se analizarán y cuantificarán los probables efectos adversos significativos sobre el medio ambiente, en caso de ocurrencia de los mismos, en base a lo recogido en el artículo 35 apartado d), de la Ley 9/2018.

Por otro lado, para las amenazas internas (accidentes graves), se han evaluado los sucesos accidentales que podrían producirse con el objetivo de determinar si estos llegarían a dar lugar a un accidente grave. Para ello, se ha tomado como referencia la norma UNE 150.008 de Análisis y evaluación del riesgo ambiental.

Por medio de este procedimiento, se analiza el riesgo de una instalación a partir del peligro asociado a sustancias, procesos, etc., lo que permite identificar las condiciones peligrosas, determinar los escenarios de accidente y de ahí estimar las probabilidades. Todo ello conduce a unos resultados que permiten la toma de decisiones posterior.

2.3. ANÁLISIS DE ACCIDENTES Y CATÁSTROFES RELEVANTES

Para realizar este análisis, se trata de responder a:

1. Cuáles pueden ser los accidentes y catástrofes relevantes de la instalación y cuál es la probabilidad de que éstos sucedan.
2. Cuán vulnerable es la instalación frente a los accidentes o desastres identificados como relevantes y cuál es la vulnerabilidad de los factores ambientales.
3. Si se ve afectada la instalación por alguno de los accidentes o desastres frente a los que es vulnerable, que repercusiones tendrá sobre los factores ambientales descritos o bien, si aun no siendo vulnerable la propia actuación, ésta puede agravar el riesgo de algún modo.

3. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ANTE CATÁSTROFES NATURALES

Se tienen en consideración las siguientes catástrofes naturales:

- Riesgos geológicos
- Terremotos (riesgo sísmico)
- Riesgo por tsunamis
- Incendios forestales
- Inundaciones
- Riesgo meteorológico (tormentas eléctricas y vientos huracanados)

A continuación, se analizan y evalúan de forma cualitativa los peligros y amenazas de carácter externo y natural que se considera que podrían llegar a afectar a la zona del emplazamiento del proyecto, en caso de producirse.

3.1. RIESGOS GEOLÓGICOS

Se entiende como proceso geológico cualquier fenómeno natural que produzca cambios en los materiales de la corteza terrestre o en las formas que estos adoptan. Los cambios pueden ser desde modificaciones fisicoquímicas, hasta movilizaciones y transporte de los materiales. El funcionamiento habitual de la mayoría de los procesos geológicos tiene lugar de forma gradual, con tasas de liberación

de energía que generalmente no presentan graves problemas para los seres humanos. A pesar de lo cual, en determinados momentos y en ciertos lugares se producen fases paroxísmicas durante las cuales la magnitud del proceso es superior al habitual (cantidad de energía liberada, masas implicadas en el proceso, extensión del territorio implicado, etc.) provocando situaciones de peligro. Estas fases paroxísmicas, a pesar de no ser demasiado frecuentes, son una característica casi constante de los sistemas geológicos naturales y del funcionamiento de los diferentes procesos que en ellos se desarrollan. Al hablar de riesgos geológicos se ha de diferenciar entre el hecho de que el fenómeno se produzca y los daños que éste pueda provocar, es decir, diferenciar entre la peligrosidad y el riesgo propiamente dicho. El concepto de peligrosidad hace referencia a la probabilidad de ocurrencia, en un periodo de tiempo determinado y en un área específica, de un fenómeno potencialmente destructivo. Mientras que el término riesgo tiene en cuenta el posible efecto que este fenómeno se espera que tenga respecto a la población y/o bienes materiales.¹

Los riesgos geológicos se pueden clasificar en tres grupos principalmente:

- Riesgos geológicos internos: como los terremotos (ver apartado 4.2.)
- Riesgos geológicos externos: inundaciones (ver apartado 4.5) y movimientos de tierras
- Riesgos geológicos inducidos por el ser humano

En este apartado se abordarán los riesgos geológicos externos derivados de movimientos de tierra, al tratarse los otros riesgos en los siguientes apartados.

Se ha consultado el visor del Banco de Datos de la Naturaleza, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, en relación a la potencialidad de los movimientos en masa. En la siguiente figura se muestran los movimientos en masa en la zona de estudio. Se puede apreciar que la potencialidad de los movimientos en masa, para el entorno de la zona de actuación, es baja o moderada

¹ Font, X., Serra, J. y Pinto, V. (1996). Los riesgos geológicos en la Ordenación Territorial. Acta Geológica Hispánica, 30.

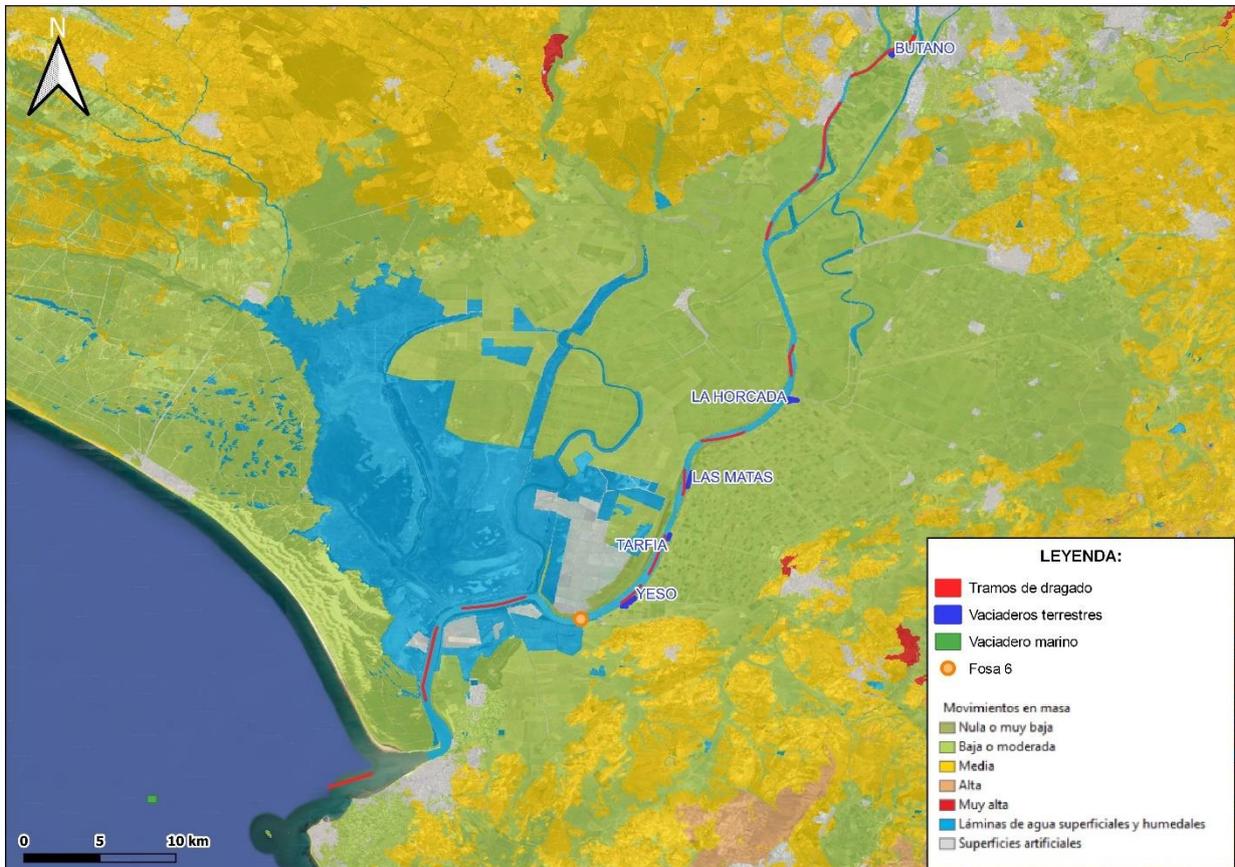


Ilustración 1. Movimientos en masa en el ámbito de estudio. Fuente: Visor Banco de datos de la Naturaleza, MITECO.

3.2. TERREMOTOS-RIESGO SÍSMICO

La actividad sísmica es un proceso relacionado con la actividad geológica que se produce en algunas zonas de la corteza terrestre, generando inestabilidad, y ligado a otros fenómenos geológicos como pueden ser la formación de cordilleras, emisiones volcánicas, manifestaciones termales...

La sismicidad es el conjunto de parámetros que definen el fenómeno sísmico en el foco, y se representa mediante distribuciones temporales, espaciales, de tamaño, de energía... El estudio de la distribución espacial de los terremotos ha sido uno de los factores más importantes a la hora de establecer la teoría de la tectónica de placas, de acuerdo con la cual la litosfera está dividida en placas tectónicas cuyos bordes son zonas sísmicamente activas.

Los mapas de peligrosidad realizados por el IGN se utilizan en la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico a la hora de definir las áreas de aplicación de dicha directriz.

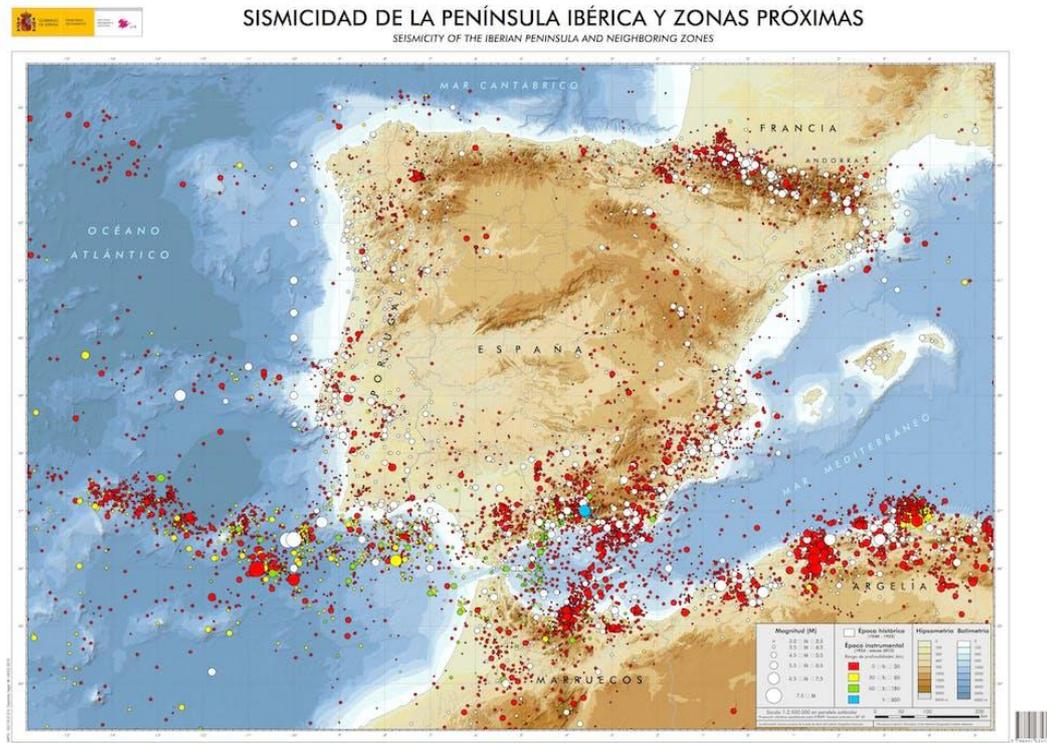


Ilustración 2. Mapa de sismicidad de la Península Ibérica. Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Los fenómenos naturales con mayor capacidad catastrófica sobre extensas áreas del territorio, generando daños en edificaciones, infraestructuras y otros bienes materiales, incluso llegando a interrumpir servicios esenciales y ocasionar víctimas entre la población, son los terremotos. España, debido a que su extremo sur se encuentra en el límite entre la placa Eurasia y la africana, se ubica en un área de actividad sísmica de relativa importancia, llegando a ocurrir en el pasado terremotos de considerable intensidad.

Se define peligrosidad sísmica en una localización como la probabilidad de que un determinado parámetro representativo del movimiento del terreno, ocasionados por terremotos, sobrepase un cierto valor en un determinado intervalo de tiempo.

La aceleración sísmica es la medida de un terremoto más utilizada, la cual consiste en una medición directa de las aceleraciones que sufre la superficie del suelo. Normalmente, la unidad de aceleración que se usa es la intensidad del campo gravitatorio ($g=9,81 \text{ m/s}^2$). Se trata de un valor que se usa para establecer normativas sísmicas y zonas de riesgo sísmico. A diferencia de otras medidas usadas para cuantificar terremotos (como la Escala Richter o la escala de magnitud de momento), no es una medida de la energía total liberada del terremoto, por lo que no es una medida de magnitud, sino de intensidad. Puede ser medida con acelerómetros, siendo sencillo correlacionar la aceleración sísmica con la escala de Mercalli. Durante un terremoto, el daño está relacionado con la velocidad y la aceleración sísmica, no con la magnitud del temblor. En terremotos moderados, la aceleración es un indicador preciso del daño,

no ocurre así en terremotos muy severos, donde la velocidad sísmica adquiere una mayor importancia. Se considera que una zona es de alta peligrosidad cuando los valores de aceleración se sitúan entre 2,4 y 4,0 m/s², zona de peligrosidad sísmica moderada cuando los valores se sitúan entre 0,8 y 2,4 m/s², y zona de baja peligrosidad sísmica cuando el valor de la aceleración es menor de 0,8 m/s².

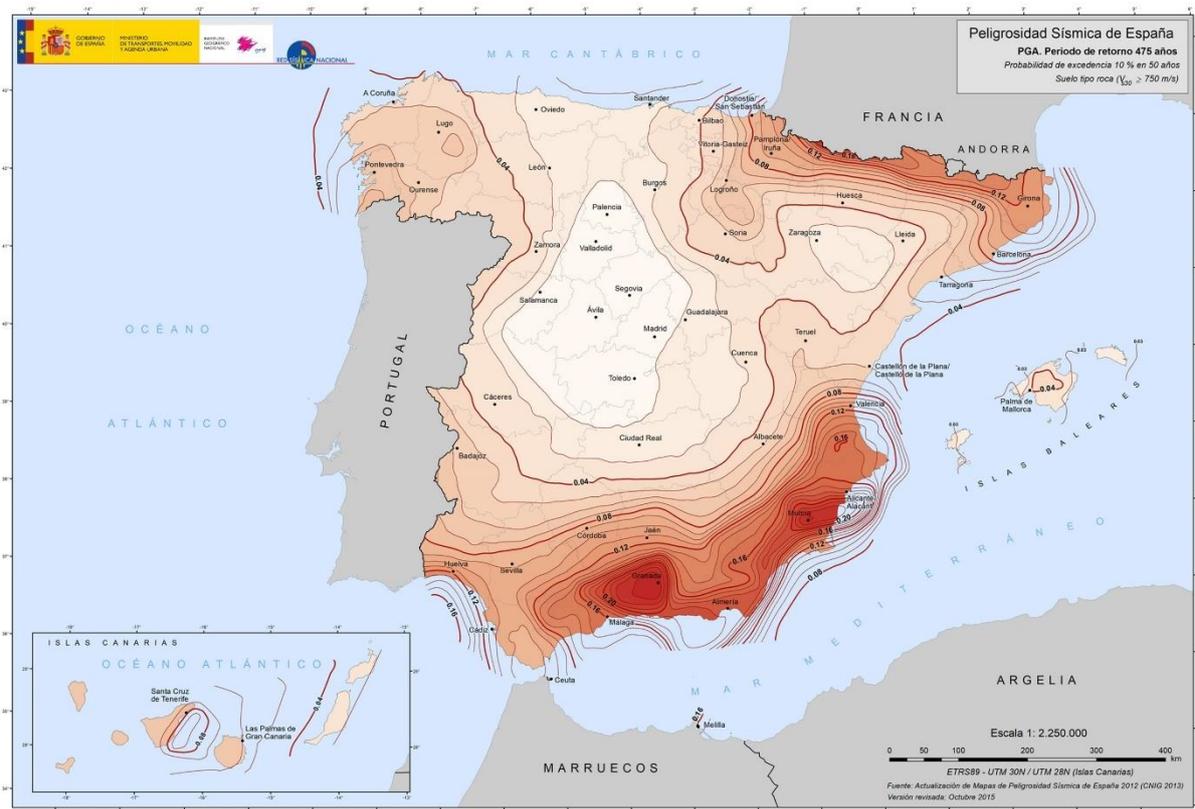


Ilustración 3. Mapa de peligrosidad sísmica en valores de aceleración. Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN)

El proyecto de Optimización de la navegación en la Eurovía E.60.02 Guadalquivir se encuentra en una zona de peligrosidad sísmica moderada, con valores de aceleración entre 0, 8 y 1,1 m/s², lo que implica una probabilidad de materializarse el riesgo de ocurrencia de sismo moderada.

La severidad del daño causado, en caso de llegar a producirse un sismo sería baja, puesto que la intensidad de los terremotos que han ocurrido a lo largo de la historia en el ámbito de estudio no es elevada, dando lugar a daños leves y reversibles a corto-medio plazo.

Tal y como marca la Norma de construcción sismorresistente: NCSE-02, la obra está calificada como de importancia normal, por lo que no es necesario tener en cuenta los posibles efectos del sismo en terrenos potencialmente inestables. El grado de exposición de la solución planteada es medio, al atravesar zonas de riesgo sísmico medio. Por otro lado, la fragilidad de la alternativa planteada es nula, ya que en el diseño de los elementos que lo requieren se ha tenido en cuenta la influencia de la sismicidad.

3.3. RIESGO POR TSUNAMIS

Los tsunamis están estrechamente relacionados con los sismos y, si bien el riesgo por sismos en el golfo de Cádiz ya ha sido analizado y determinado como poco probable, éste sí puede verse afectado por la propagación de la onda del tsunami producido en aguas del océano Atlántico.

En el proyecto europeo TRANSFER (FP7), cuyos objetivos son mitigar el riesgo por tsunamis y colaborar en la preparación de las comunidades y de la población ante la eventual ocurrencia de los tsunamis, se analizaron las estructuras sísmicas capaces de producir un sismo que genere un tsunami cuya onda propagada afecte al golfo de Cádiz, así como las mayores magnitudes que sus terremotos puedan alcanzar.

Para realizar la valoración del riesgo, se tiene en consideración lo expuesto y analizado en el trabajo “Desarrollo de metodologías para el cálculo del riesgo por tsunami y aplicación para el caso de Cádiz” elaborado por Mauricio González (IH Cantabria) y recogido dentro de la revista “El riesgo de maremotos en la Península Ibérica a la luz de la catástrofe del 1 de noviembre de 1755” del Instituto Español para la Reducción de los Desastres (IERD).

Se considera que la probabilidad de materializarse el riesgo de ocurrencia de un sismo en las zonas analizadas en el proyecto TRANSFER capaz de originar un tsunami que se propague hasta el puerto de Sevilla es media, al desconocerse su período de retorno, tal y como asegura en la misma revista anteriormente mencionada Gregorio Gómez Pina, en su trabajo titulado “¿Qué es un tsunami?: importancia de la educación ciudadana”.

Por otro lado, la severidad del daño causado en caso de que la onda de tsunami producido en el océano Atlántico se propague hasta el puerto de Sevilla, sería baja en el puerto por la distancia a la costa, pero alta en el entorno del inicio de la Eurovía por el efecto devastador que tienen los tsunamis. Como se está evaluando la vulnerabilidad del proyecto de la optimización de la navegación en la Eurovía del Guadalquivir y no en las infraestructuras de la dársena del puerto de Sevilla, el nivel de riesgo se considera Alto.

El grado de exposición del proyecto es alto, ya que la canal no estará adaptada al riesgo por tsunami. Sin embargo, la fragilidad de la solución no es elevada, pudiendo recuperarse relativamente pronto de los fenómenos adversos, considerándose una vulnerabilidad medio-alta.

Como no se conoce ni el periodo de retorno, el origen, ni las características que pueda tener un tsunami que pueda llegar a afectar a la Eurovía del Guadalquivir, no se toman en este proyecto medidas adicionales para paliar su efecto, más que se deberá de tener en cuenta que el Puerto de Sevilla deba adaptarse a los sistemas de gestión, prevención y alerta temprana de tsunamis que establezcan las Autoridades competentes para reducir el riesgo que pueda producirse por esta catástrofe.

3.4. RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES

De acuerdo al Real Decreto 407/1992, de 24 de abril, por el que se aprueba la Norma Básica de Protección Civil, el Plan de Emergencia por Incendios Forestales de Andalucía (Plan INFOCA) (aprobado mediante Decreto 371/2010, de 14 de septiembre, y modificado por el Decreto 160/2016, de 4 de octubre, en el que se procede a la revisión del apéndice sobre los municipios andaluces que, de manera total o parcial, están incluidos en zonas de peligro) refleja la política y las medidas en materia de prevención y extinción de incendios forestales, estableciendo la organización y procedimientos de actuación de aquellos recursos o servicios que sean necesarios para asegurar una respuesta eficaz del conjunto de las Administraciones Públicas, ante situaciones de emergencia por incendios forestales.

Para poder caracterizar el riesgo de incendio en el ámbito de estudio se ha consultado el análisis de riesgo realizado en el Plan de Emergencia ante el Riesgo de Incendios Forestales en Andalucía (Plan INFOCA) disponible en la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM).

El riesgo de incendios se define como la probabilidad de que se produzca un incendio en una zona y en un intervalo de tiempo determinado, este riesgo dependerá de aquellos factores que nos determinan el comportamiento del fuego como pueden ser:

- Las características de la vegetación y las condiciones de los modelos de combustibles presentes.
- Las características orográficas
- El clima y las condiciones meteorológicas

De la misma manera, inciden en el riesgo de incendios forestales las actividades humanas, así como otros factores capaces de desencadenar los incendios, por tanto, ha de tenerse en cuenta los factores de causalidad de los distintos incendios acaecidos en el territorio y su recurrencia.

El riesgo local de incendios de una zona ha sido obtenido a partir de dos factores, el Índice de Peligrosidad determinado por las características estructurales del lugar, así como el índice de Riesgo Histórico, que tiene en cuenta la frecuencia de los incendios, así como sus causas.

Los factores básicos considerados han sido los siguientes:

- Pendiente del terreno.
- Tipo de combustible forestal.
- Intensidad de vientos.
- Déficit hídrico de la vegetación.
- Recurrencia de incendios.

Para cada uno de dichos factores se ha calculado un índice de riesgo básico, con una graduación en cinco niveles: muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto. El índice de riesgo local se ha calculado por agregación sucesiva de dichos índices de riesgo básicos calculados a partir de la información base.

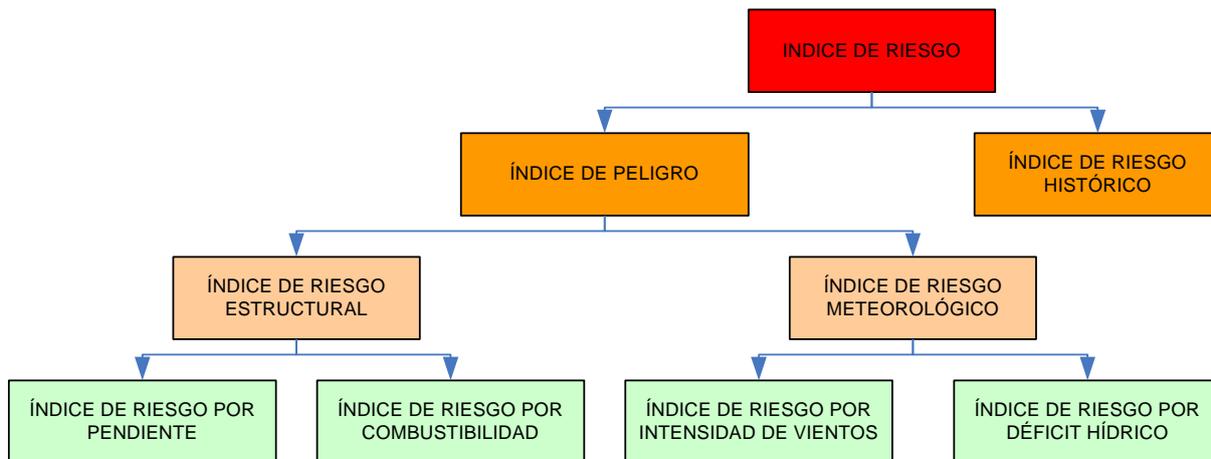


Ilustración 4. Esquema general del cálculo del Índice de riesgo local.

Para el cálculo de cada uno de los índices de riesgo agregados, se ha realizado una combinación lineal de los índices base correspondientes, utilizando coeficientes con un valor de entre 0 y 1, de forma que se asigna una importancia relativa diferenciada a cada uno de los índices de riesgo básicos. Posteriormente a esta combinación lineal se ha efectuado una reclasificación según cinco intervalos de riesgo.

A continuación, se detalla el valor de cada índice asociado a la zona de estudio, para posteriormente determinar el riesgo de incendio en el ámbito analizado.

Índice de peligro

El índice de peligrosidad refleja la probabilidad de propagación del incendio una vez iniciado éste. No depende de los incendios que se hayan producido en la zona, sino de aquellos factores de carácter casi permanente del monte y de las condiciones climáticas que pueden afectar al inicio y posterior desarrollo del incendio.

Está formado por la conjunción de dos índices, el estructural y el meteorológico.

- Riesgo estructural

Refleja la probabilidad de propagación del incendio debido a factores intrínsecos al sistema forestal, como son la topografía del terreno y la carga y composición de los combustibles forestales. Los índices básicos considerados para su cálculo son el índice de riesgo por pendiente y el índice de riesgo por combustibilidad.

- Riesgo por pendiente

La pendiente es un factor topográfico de gran influencia en el comportamiento del incendio, al favorecer la continuidad vertical del combustible. A medida que la pendiente aumenta se acelera la propagación del fuego, puesto que los combustibles están más cerca de las llamas y se calientan más rápidamente.

La clasificación del riesgo por pendiente que se ha establecido para el cálculo del riesgo estructural se recoge en la tabla siguiente:

INTERVALO DE PENDIENTE	CLASIFICACIÓN DEL RIESGO POR PENDIENTE	ÍNDICE NUMÉRICO
0-10 %	MUY BAJO	1
10%-20%	BAJO	2
20%-30%	MEDIO	3
30%-50%	ALTO	4
> 50%	MUY ALTO	5

Concretamente, en la zona de ejecución del proyecto, el riesgo por pendiente es muy bajo, con predominio de pendientes bajas.

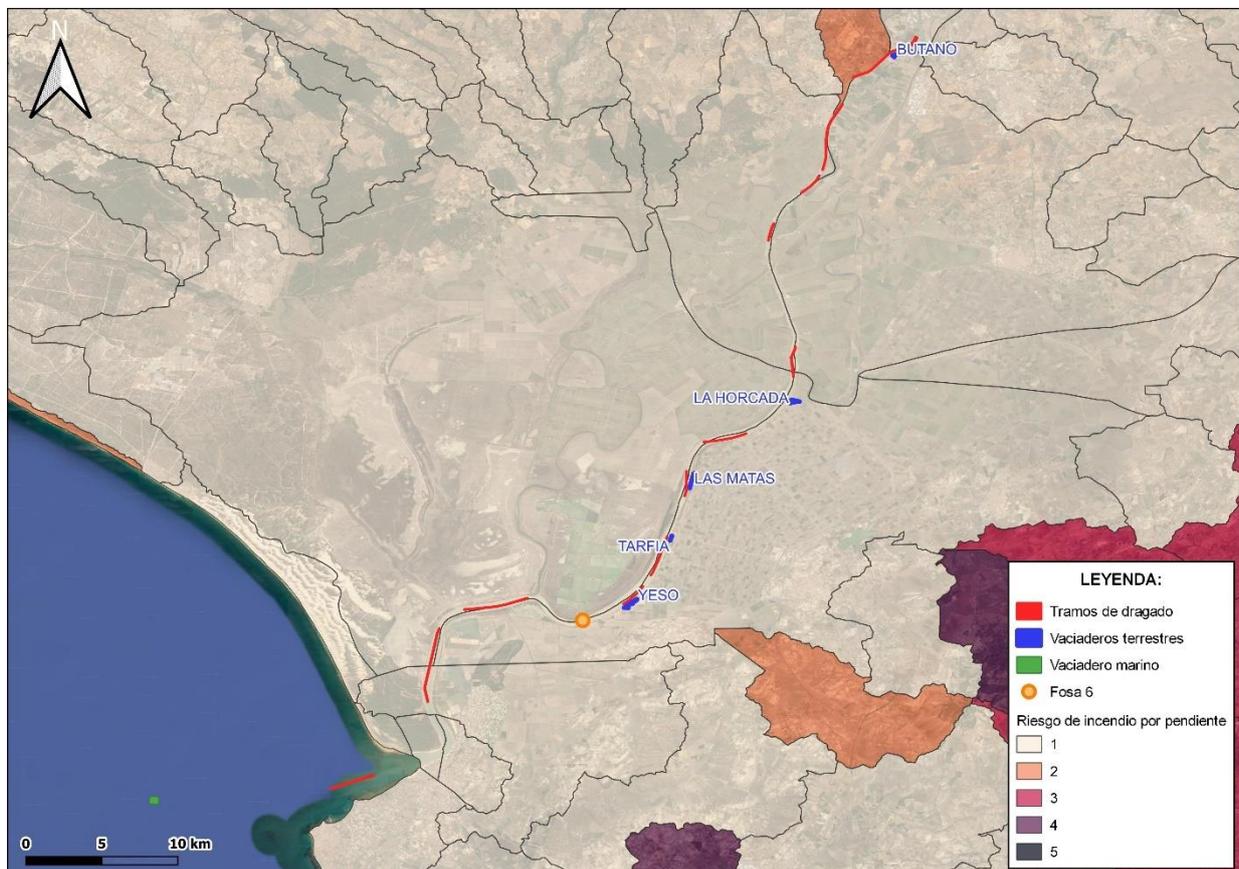


Ilustración 5. Riesgo de incendio por pendiente en la zona de estudio. Fuente: REDIAM.

- Riesgo por combustibilidad

El índice de riesgo por combustibilidad se ha obtenido a partir de una cobertura de combustibles forestales de 30 metros de resolución espacial. Dicha cobertura incluye asimismo información acerca de aquellas zonas en las que, a pesar de no poseer vegetación de tipo natural, presentan cultivos agrícolas cuya estructura, composición y estado hídrico los hace susceptibles de propagar un incendio en caso de ser alcanzados por un frente de llama o alcanzar las condiciones de ignición. Cada uno de los modelos, presenta distinto comportamiento frente al fuego, contribuyendo a una mayor o menor rapidez en la

propagación del mismo. Se ha establecido una clasificación de combustibilidad, según las tablas del “Manual de campo para las operaciones de control y extinción de incendios forestales” de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. La clasificación de los modelos de combustibles contenida en estas tablas ha sido realizada en función de características dinámicas y energéticas como son:

- Intensidad de radiación, I_r (kw/m²).
- Velocidad de propagación, V_p (m/min).
- Intensidad lineal, I . Lineal (kw/m).
- Calor desprendido, Calor/S (Kj/m²).
- Longitud de llama (m).
- Clasificación de los modelos de combustible de la C.A.A.

MODELOS DE COMBUSTIBLE	CLASIFICACIÓN DEL RIESGO POR COMBUSTIBILIDAD	ÍNDICE NUMÉRICO
Sin combustible dentro de superficie forestal	INCOMBUSTIBLE	1
8, 5	BAJO	2
11, 9, 1, 3	MODERADO	3
7, 6, 2	ALTO	4
4	MUY ALTO	5

En la zona de ejecución del proyecto, el riesgo por combustibilidad es alto en la parte noroeste del tramo final del río e incombustible en el resto.

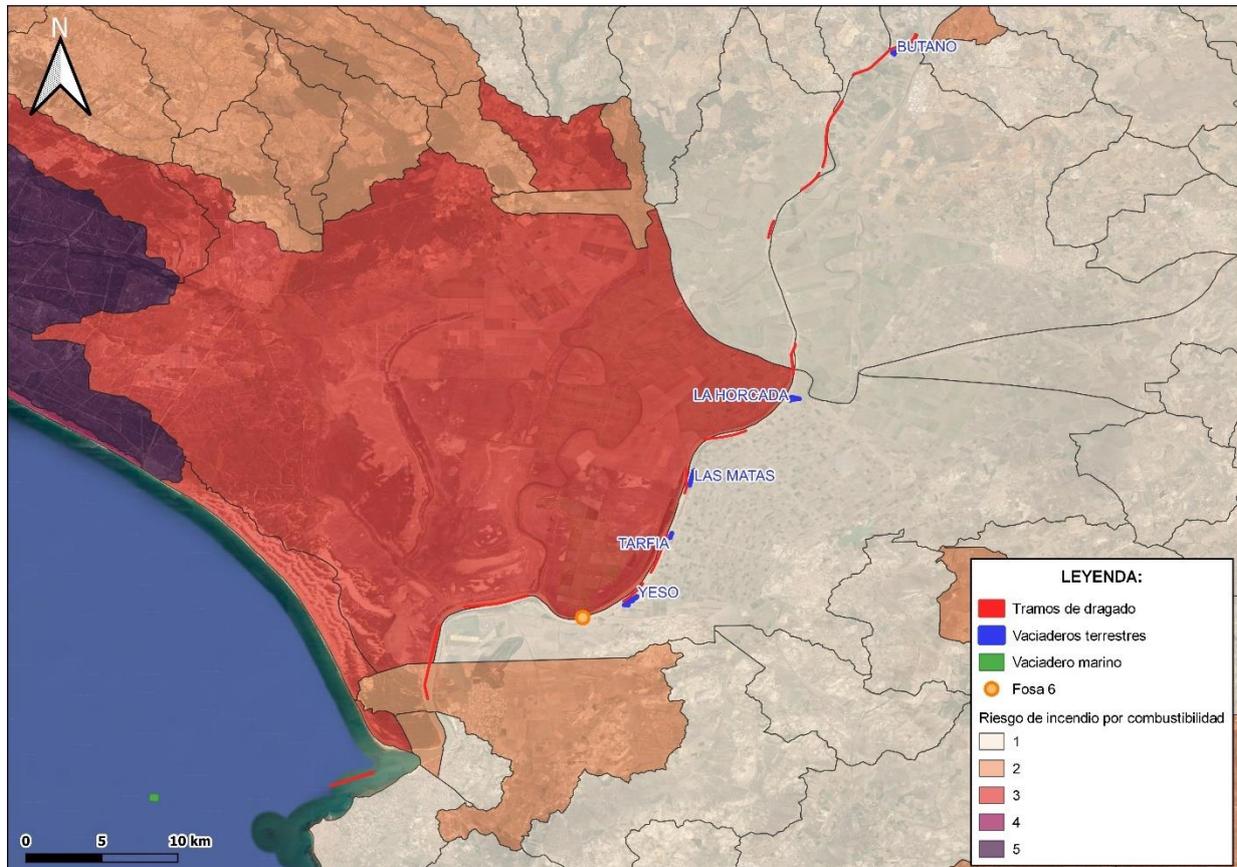


Ilustración 6. Riesgo de incendio por combustibilidad en la zona de estudio. Fuente: REDIAM.

Una vez calculados tanto el índice de riesgo por pendiente como el de combustibilidad, ambos se han combinado para obtener el índice de riesgo estructural. Para realizar dicha combinación, se ha efectuado una suma ponderada de los dos índices obtenidos, aplicando al índice de riesgo por combustibilidad un peso relativo del 50% frente al índice de riesgo por pendiente.

$$\text{IRE} = \text{IRP} + 0,5 \text{IRC}$$

El índice de riesgo estructural en el ámbito de estudio es de 3.

- Riesgo meteorológico

El segundo componente del índice de peligro de incendio forestal corresponde al índice de riesgo meteorológico. Este índice refleja aquellos factores relacionados con las condiciones meteorológicas que van a influir en el desarrollo del incendio forestal. Estos factores son la velocidad del viento y el déficit hídrico de la vegetación, que se evalúan por medio del índice de riesgo por intensidad de vientos y del índice de riesgo por déficit hídrico respectivamente.

- Riesgo por intensidad de vientos

El viento es uno de los factores más influyentes en el comportamiento del fuego, acelerando el avance del frente de llama y aumentando el flujo de aporte de oxígeno al proceso de combustión. Para el cálculo

de este índice se han empleado los datos de la serie histórica 1995-2005 obtenidos por un total de 134 estaciones meteorológicas pertenecientes a las redes del Instituto Nacional de Meteorología y de la Consejería de Agricultura, distribuidas por el territorio de la Comunidad Autónoma Andaluza. Para cada una de estas estaciones y para toda la serie histórica de datos se han tomado valores de velocidades medias y máximas anuales, clasificados según la dirección en cuatro cuadrantes

En función de los valores obtenidos, se ha realizado una clasificación del territorio y una asignación de los valores del índice de riesgo. Los intervalos considerados han sido los siguientes:

INTERVALO DE VELOCIDAD	ÍNDICE NUMÉRICO	ÍNDICE DE RIESGO POR INTENSIDAD DE VIENTOS
< 30 Km/h	1	Muy bajo
30-50 Km/h	2	Bajo
50-70 Km/h	3	Moderado
70-90 Km/h	4	Alto
> 90 Km/h	5	Muy alto

En la zona de ejecución del proyecto, el riesgo por intensidad de vientos es alto.

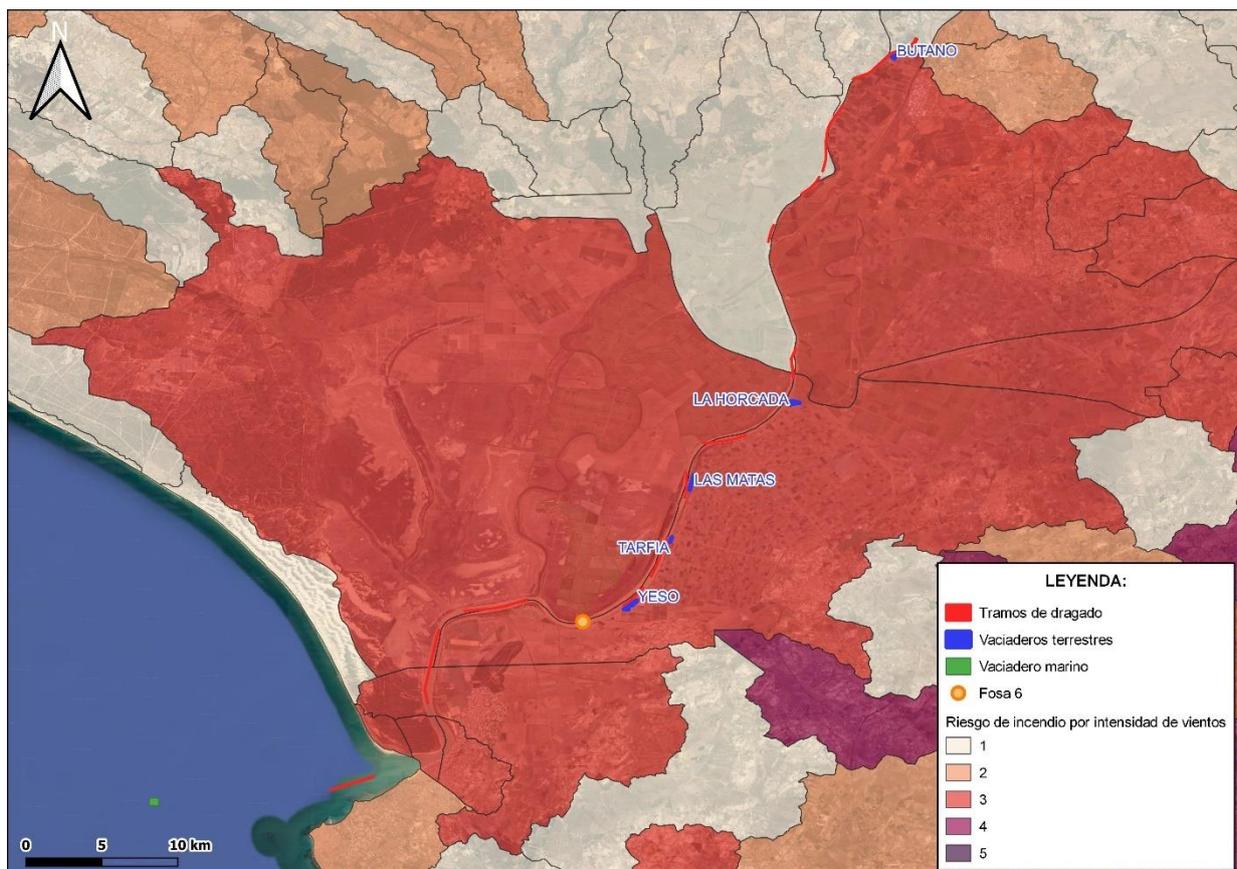


Ilustración 7. Riesgo de incendio por intensidad de vientos en la zona de estudio. Fuente: REDIAM.

- Riesgo por déficit hídrico

El índice de riesgo por déficit hídrico hace referencia al estado de humedad de la vegetación que constituye el combustible forestal y que va a influir en la combustibilidad del mismo, acelerando o retardando la propagación del incendio. Para su cálculo se ha partido de la información proporcionada por las mismas estaciones empleadas en el cálculo del índice de riesgo por intensidad del viento. Se ha tomado como valor de cálculo del índice la relación o cociente entre la precipitación y la evapotranspiración potencial, considerando que existe déficit hídrico cuando la evapotranspiración es superior a la precipitación y por tanto el valor del índice es inferior a 1.

Los intervalos considerados para el cálculo del índice de riesgo por déficit hídrico han sido los siguientes:

INTERVALO DE VELOCIDAD	ÍNDICE NUMÉRICO	ÍNDICE DE RIESGO POR DÉFICIT HÍDRICO
>1,08	1	Muy bajo
1,08-0,81	2	Bajo
0,81-0,63	3	Moderado
0,63-0,45	4	Alto
< 0,45	5	Muy alto

En la zona de ejecución del proyecto, el riesgo por déficit hídrico es moderado-muy bajo.

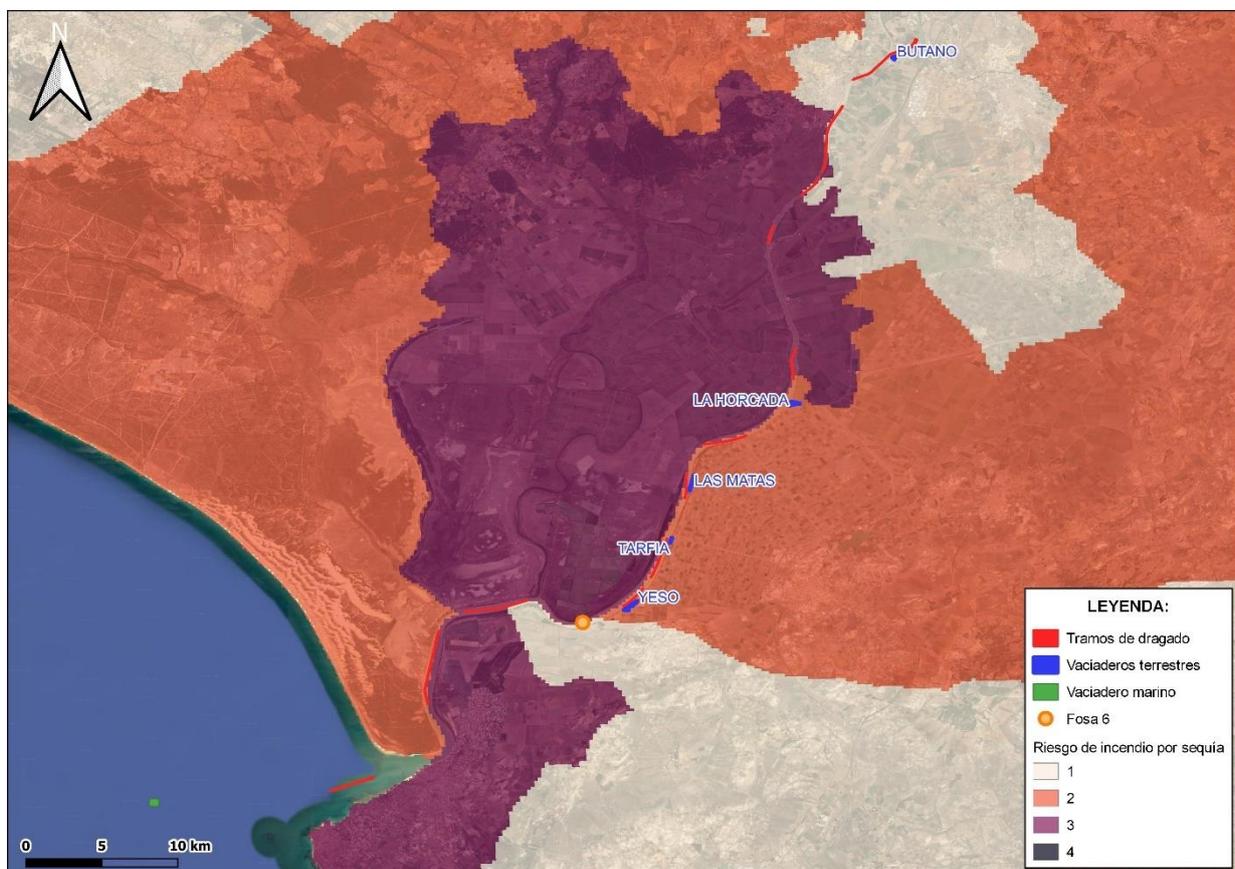


Ilustración 8. Riesgo de incendio por sequía en la zona de estudio. Fuente: REDIAM.

Para la obtención del índice de riesgo meteorológico se ha realizado la combinación lineal del índice de riesgo por intensidad de viento y del índice de riesgo por déficit hídrico, asignando los siguientes pesos relativos o coeficientes:

$$\text{IRM} = 0,6 \text{ IRV} + 0,3 \text{ IRDH}$$

El índice de riesgo meteorológico en el ámbito de estudio es de 3,3.

El índice de peligro, finalmente se ha obtenido como combinación lineal del índice de riesgo estructural y del índice de riesgo meteorológico, con los siguientes coeficientes:

$$\text{IPIF} = \text{IRE} + 0,4 \text{ IRM}$$

El índice de peligro en el ámbito de estudio es de 4,32.

Índice de riesgo histórico

El otro factor obtenido para determinar el Índice de Riesgo Local es el Índice de Riesgo Histórico, formado por el Índice de Frecuencia y por el de Causalidad.

A partir de la base de datos de incendios desde el año 1987 hasta el 2005 se ha realizado el análisis tanto de la frecuencia de incendios como de las causas que los acontecen.

El índice de riesgo histórico refleja la probabilidad de que se produzca un incendio forestal en función de la recurrencia o frecuencia histórica de incendios para cada punto del territorio.

NÚMERO DE INCENDIOS	ÍNDICE NUMÉRICO	ÍNDICE DE RIESGO HISTÓRICO
0	1	Muy bajo
1	2	Bajo
2	3	Moderado
3-4	4	Alto
5	5	Muy alto

El índice de riesgo histórico en el ámbito de estudio es bajo.

A partir de los cálculos anteriores se determina el **índice de riesgo local:**

$$\text{IRL} = \text{IPIF} + 0,3 \cdot \text{IRH}$$

El valor obtenido para el ámbito de estudio es de 4,92. El índice de riesgo local es moderado concentrada en la zona de la desembocadura del Guadalquivir, donde se encuentra la zona forestal en el ámbito de estudio.

De todos los municipios que comprende el proyecto, únicamente el municipio de Almonte, en la zona de la desembocadura del Guadalquivir, y la parte noroeste del municipio de la Puebla del Río, están incluidos como Zona de Peligro por riesgos de incendios forestales descritas en el apéndice del Decreto 371/2010, de 14 de septiembre, afectado por el riesgo de incendios forestales, y, por lo tanto, tiene la obligación de elaborar, actualizar y revisar su correspondiente Plan Local de Emergencia por Incendios Forestales.

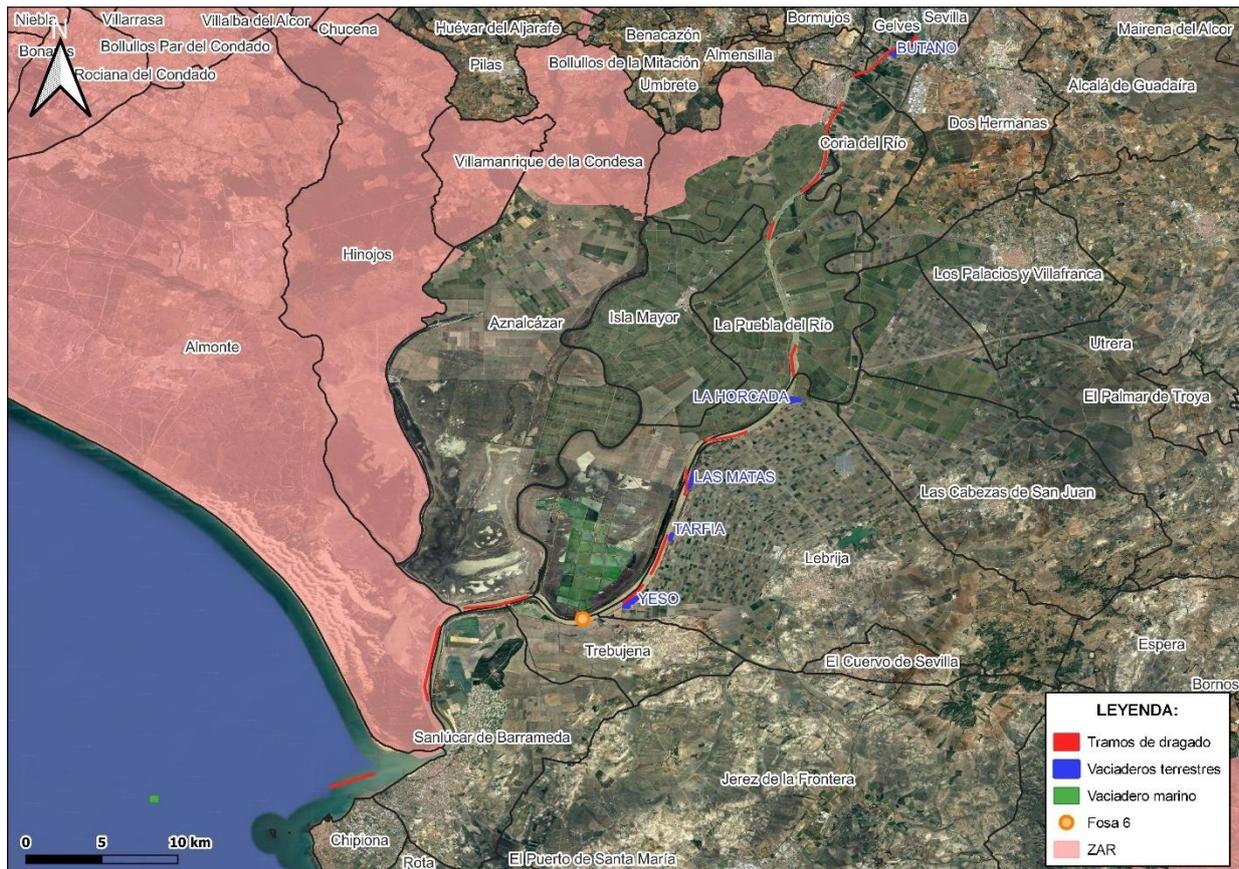


Ilustración 9. Zonas de Alto Riesgo de Incendio forestal (ZAR). Fuente: REDIAM.

3.5. RIESGO POR INUNDACIÓN

El Real Decreto 903/2010, de 15 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundaciones, establece un marco para la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, con el objeto de reducir las consecuencias adversas potenciales de la inundación para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural, la actividad económica y las infraestructuras. De esta forma, el referido real decreto regula los procedimientos para realizar la evaluación preliminar del riesgo de inundación, los mapas de peligrosidad y riesgo, y los planes de gestión de los riesgos de inundación en todo el territorio español.

En virtud de lo dispuesto en el artículo 13.4 del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, el Gobierno ha aprobado el Plan de Gestión del Riesgo de Inundación

de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir, donde se localiza la zona de estudio, mediante el Real Decreto 18/2016, de 15 de enero, por el que se aprueban los Planes de gestión del riesgo de inundación de las demarcaciones hidrográficas del Guadalquivir, Segura, Júcar y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana, Ebro, Ceuta y Melilla.

Las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs) se definen como aquellas zonas de los Estados Miembros de la UE para las cuales se ha llegado a la conclusión de que existe un riesgo potencial de inundación significativo, o bien en las cuales la materialización de tal riesgo pueda considerarse probable como resultado de los trabajos de Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación.

La Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir ha elaborado la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI) y la Identificación de las Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs). Tras la realización de la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación, se identificaron un total de 109 Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación.

Tal y como se recoge en el artículo 10 del Real Decreto 903/2010, los mapas de peligrosidad y de riesgo de inundación constituirán la información fundamental en que se basarán los Planes de gestión del riesgo de inundación. La delimitación de zonas inundables y consecuentemente la elaboración de mapas de peligrosidad y riesgo de inundación son aspectos claves en la gestión del riesgo de inundación y el segundo paso a la hora de implementar la Directiva de Inundaciones.

En base a esto, y de acuerdo a la información disponible en el Visor SNCZI-Inventario de Presas y Embalses, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, en el entorno de ubicación del proyecto se localizan tres ARPSIs:

- ES050_ARPSFR_CS002-01
- ES050_ARPSFR_CS003-01
- ES050_APSFR_BG013

La primera se localiza en la desembocadura del río Guadalquivir, de origen marino, mientras que las otras dos se ubican en el tramo más alto del río, próximas al puerto de Sevilla, siendo, de origen marino y fluvial, respectivamente.

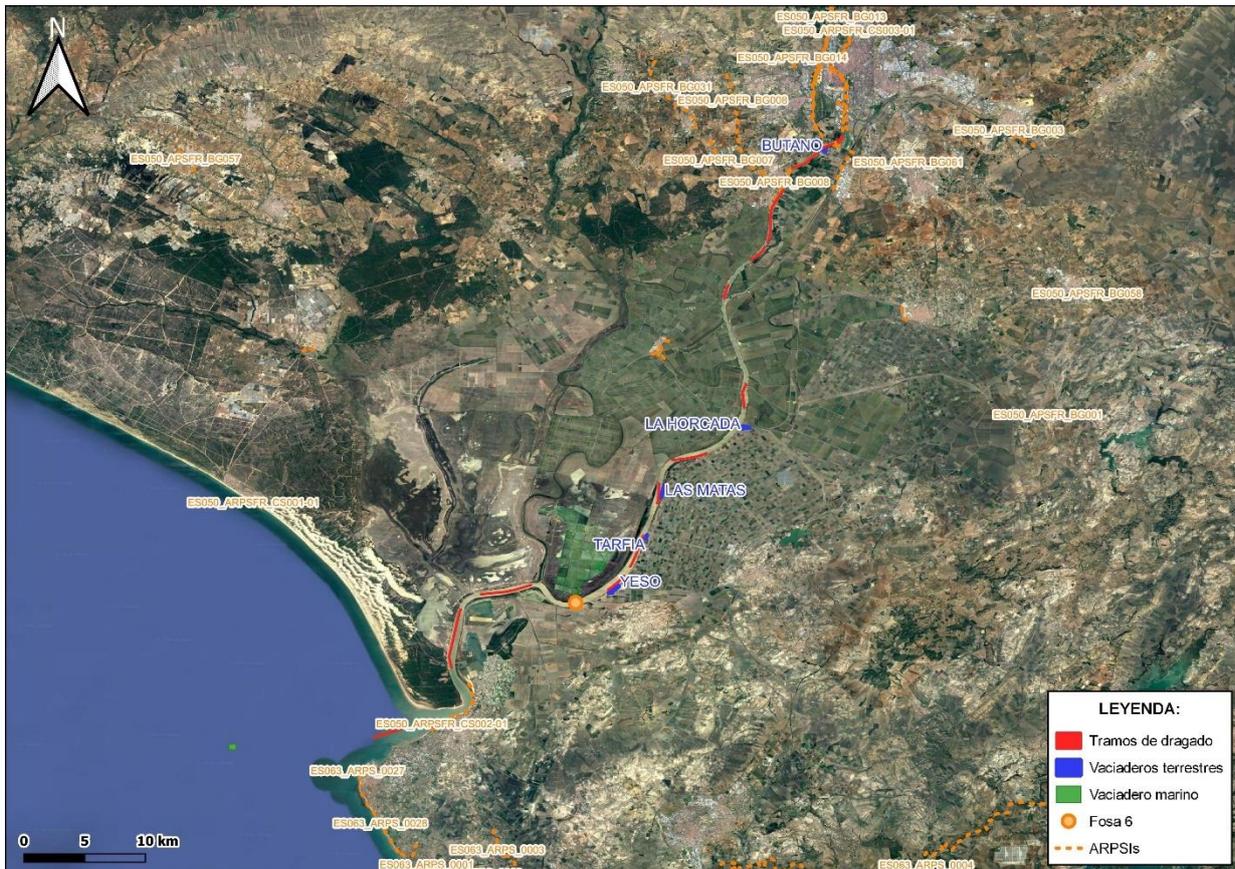
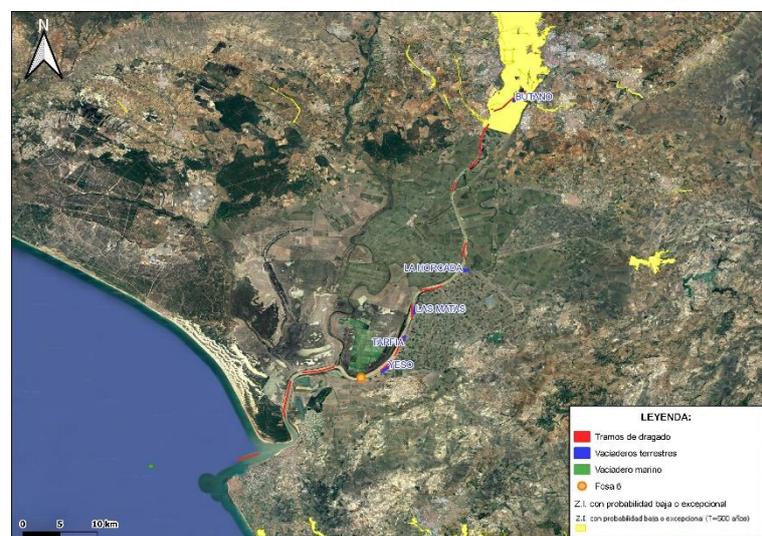
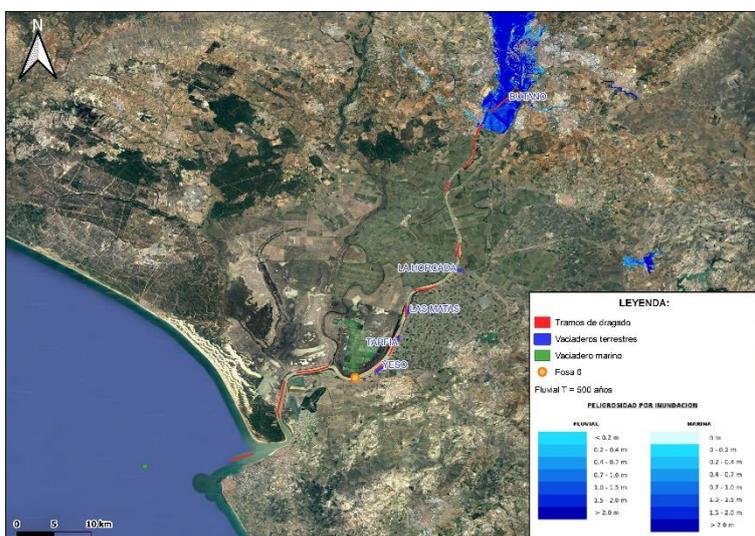
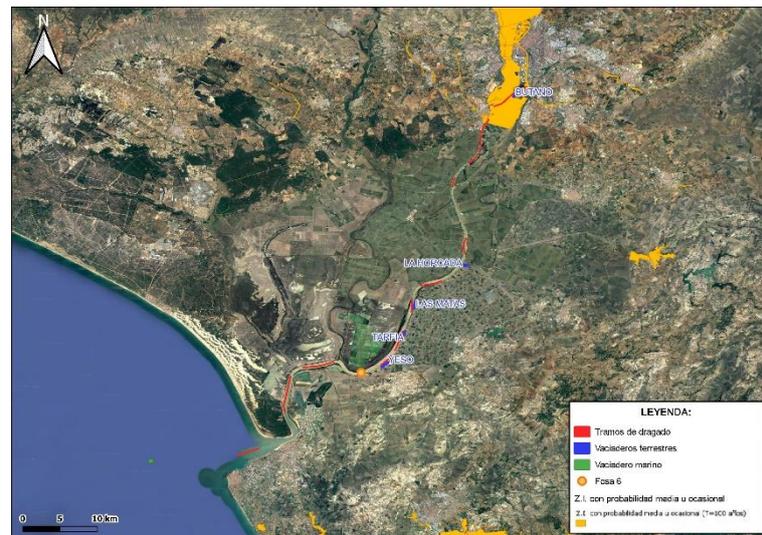
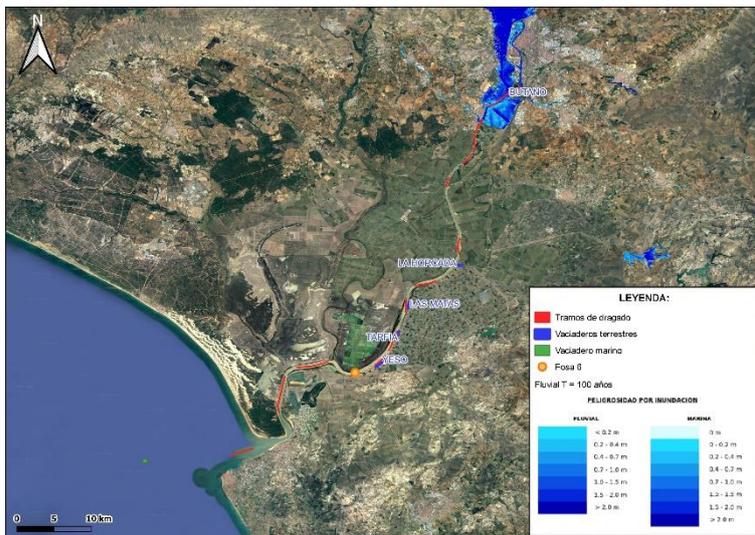
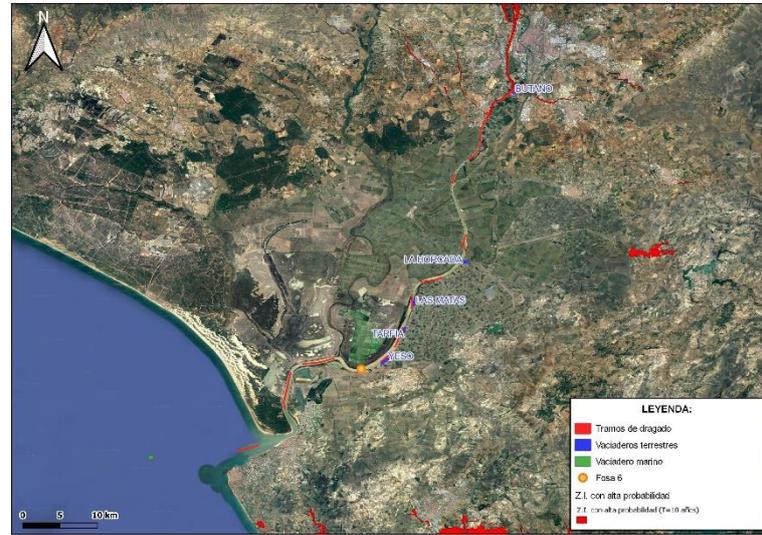
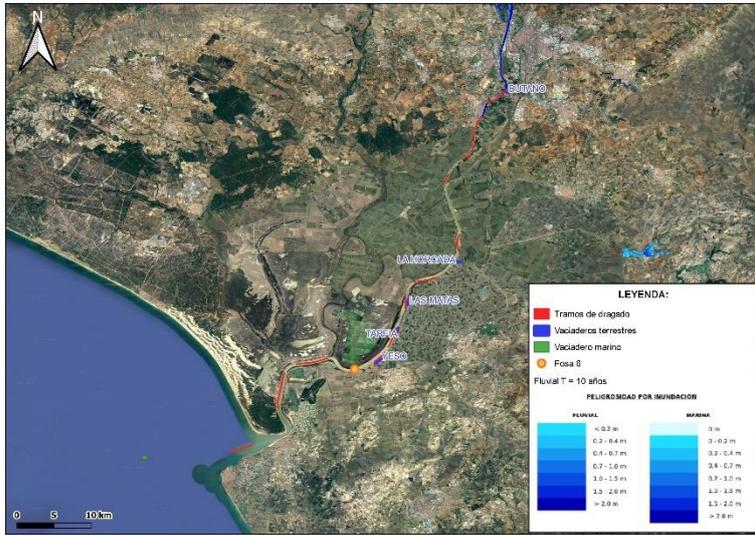


Ilustración 10. ARPSIs próximas a la zona de actuación considerando. Fuente: Visor Redes de Seguimiento del Estado e información Hidrológica, MITECO.

En las siguientes figuras se presentan los mapas de riesgos por inundación fluvial y marina. Se puede apreciar como la zona de actuación

Se considera que la probabilidad de materializarse el riesgo de ocurrencia de una inundación fluvial es baja en todo el ámbito del estudio. Por otro lado, la severidad del daño causado, en caso de llegar a producirse una inundación, sería baja. De este modo, el nivel del riesgo se considera BAJO.

El grado de exposición del proyecto es medio, por ubicarse en el cauce del Guadalquivir, así como su fragilidad es nula. Por tanto, la vulnerabilidad se considera BAJA.



3.6. RIESGO METEOROLÓGICO (TORMENTAS ELÉCTRICAS Y VIENTOS HURACANADOS)

3.6.1. Tormentas eléctricas

Según las normas de medición legales y técnicas existentes que aporta el Código Técnico de Edificación Documento básico DB-SUA8, el número de impactos sobre el terreno por año en la zona de estudio es de 1,5 rayo por km²/año.

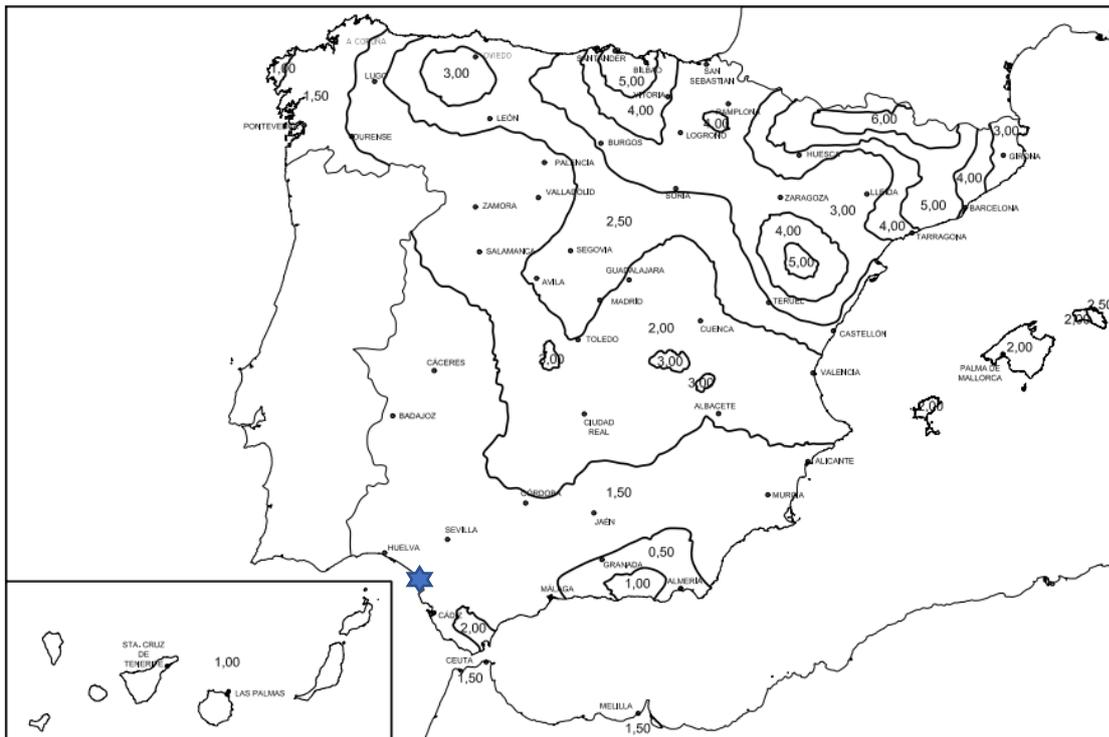


Ilustración 11. Mapa de densidad de impactos sobre el terreno. Fuente: CTE Documento Básico-Seguridad de Utilización y accesibilidad.

Se indica, a continuación, el mapa de la actividad eléctrica relativa provincial de la Agencia Estatal de Meteorología. Se observa que, para la zona de estudio la densidad es baja.

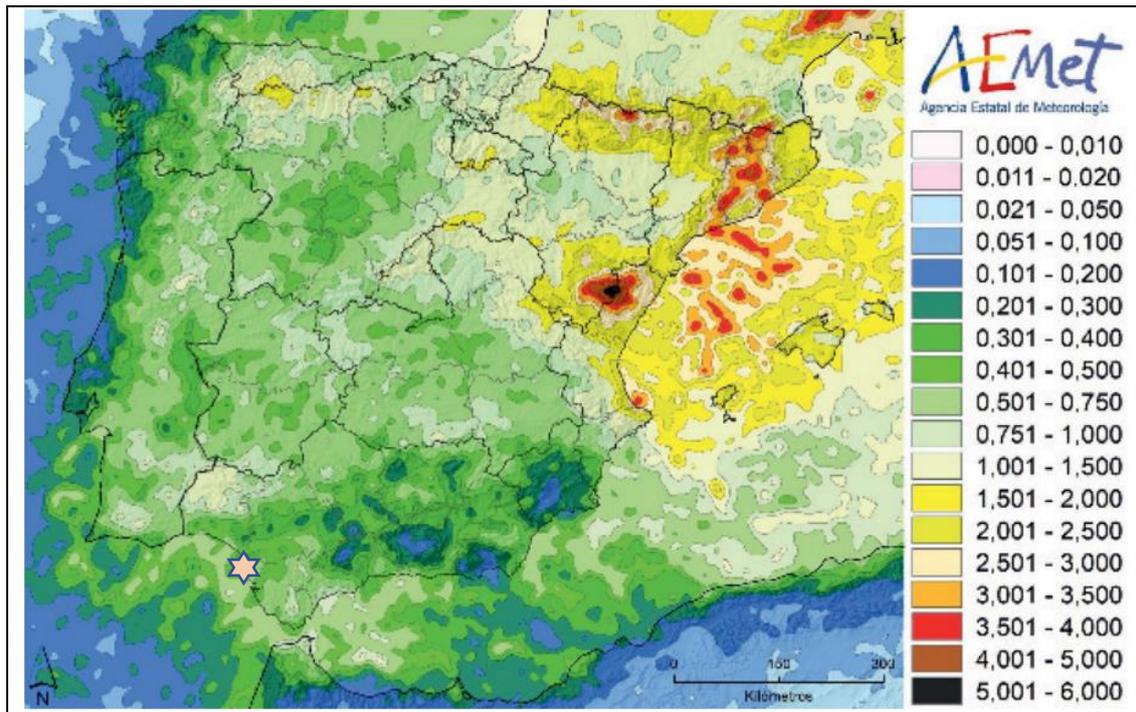


Ilustración 12. Densidad anual de descargas en la Península y Baleares. Fuente: AEMET²

Por todo ello, y en base a las medidas de protección existentes se considera que, aunque pueda haber baja probabilidad de impacto de un rayo, la posibilidad de que dicho impacto tenga efectos significativos sobre las embarcaciones del proyecto provocando efectos adversos sobre el medio ambiente es muy baja.

3.6.2. Vientos huracanados

No se considera el riesgo por vientos huracanados debido a que ante condiciones meteorológicas adversas se procede a la suspensión de la actividad hasta que éstas remitan.

No obstante, se describen a continuación los regímenes de viento de la zona de estudio. Según lo indicado en la memoria del Estudio de Impacto Ambiental, En el “*Proyecto AIRIS II – SYNCHRO Estudios de navegación en la vía navegable*” se llevó a cabo un análisis de la serie temporal de viento desde enero de 2018 a mayo de 2019 (que corresponde a un total de 17 meses de datos), proveniente de dos mareógrafos: Mareógrafo de Bonanza 2 situado en la zona exterior del río Guadalquivir, y Mareógrafo de Sevilla 2 situado en la zona interior, próximo a la Esclusa. De este estudio se obtuvo que las velocidades medias de viento más frecuentes, cuya probabilidad de ocurrencia es de 69,0%, toman valores de 3,0-5,0 m/s, y menos del 1,0% del tiempo se exceden velocidades de viento de 12,5 m/s. La zona interior

² Núñez, J.A., Riesco, J. y Mora, M.A., (2019). Climatología de descargas eléctricas y días de tormenta en España. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio para la Transición Ecológica.

presenta porcentajes sensiblemente inferiores, al tratarse de una zona más protegida. Así, en la zona interior, las velocidades medias de viento más frecuentes, cuya probabilidad de ocurrencia es de 68,0%, alcanzan un valor de 2,5 m/s, y menos del 0,05% del tiempo se excede la velocidad de 12,5 m/s. En cuanto a las calmas ($V_v < 1,0$ m/s), en la zona exterior corresponden al 9,2%, mientras que en la zona interior alcanzan el 20,8%.

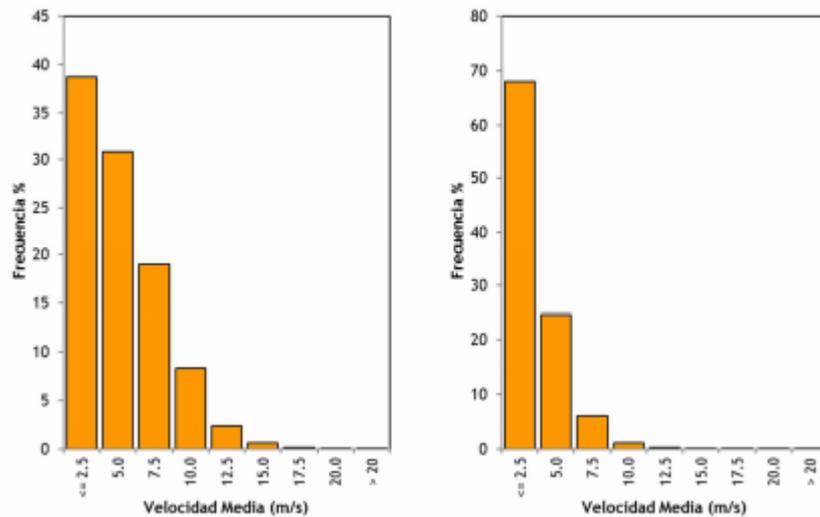
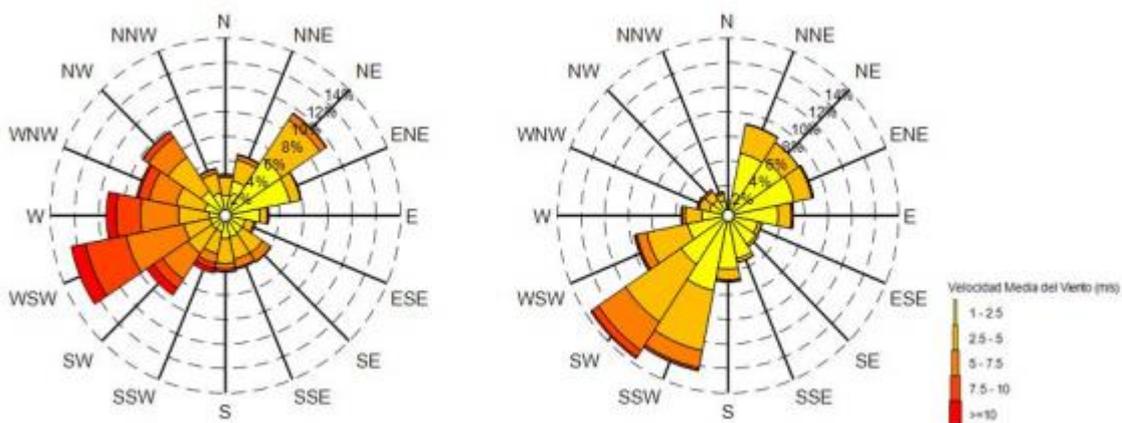


Ilustración 13. Histogramas escalares anuales de la velocidad media del viento. Mareógrafo de Bonanza 2 (zona exterior) y Mareógrafo de Sevilla 2 (zona interior). Periodo 2018-2019. Fuente: Proyecto AIRIS II – SYNCHRO Estudios de navegación en la vía navegable. Deliverable D.2.1

En la zona de estudio, tanto los vientos reinantes (mayor frecuencia de ocurrencia) como los dominantes (mayor intensidad), proceden del tercer cuadrante (SSW, SW y WSW). En la zona exterior, la frecuencia de ocurrencia es superior al 24,0%, mientras que en la zona interior es superior al 33,0%. Cabe destacar que, en la zona exterior, existe un porcentaje alto de presentación de vientos procedentes del W, y que abarcan un 24,0% agrupando las direcciones desde el W al NW. Este porcentaje decrece a un 8,0% en la zona interior.



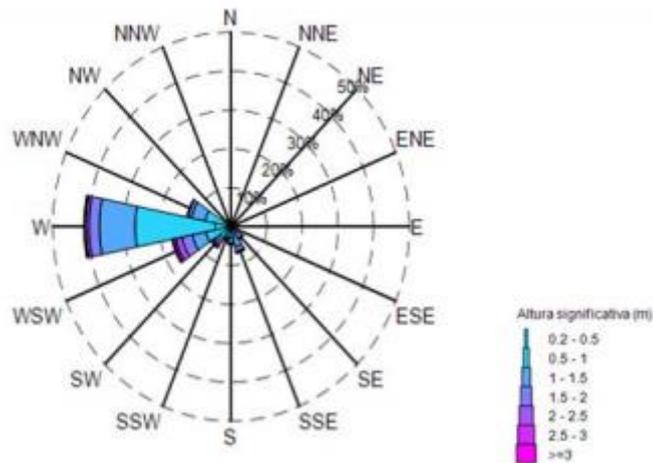


Ilustración 14. Rosas anuales de la velocidad media del viento. Mareógrafo de Bonanza 2 (izq.) y Mareógrafo de Sevilla 2 (dcha.). Periodo 2018-mayo 2019. Fuente: Proyecto AIRIS II – SYNCHRO Estudios de navegación en la vía navegable. Deliverable D.2.1.

3.7. SÍNTESIS DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ANTE CATÁSTROFES NATURALES

Se presenta la siguiente tabla en la cual se refleja, de forma sintetizada, la vulnerabilidad del proyecto ante las distintas catástrofes naturales consideradas.

Tabla 1. Resumen de Análisis de vulnerabilidad ante catástrofes naturales (amenazas externas)

Catástrofe natural	Probabilidad de ocurrencia	Vulnerabilidad del proyecto
Riesgos geológicos	Baja	Baja
Terremoto	Media	Baja
Tsunami	Muy baja	Baja
Incendio forestal	Moderada	Baja
Inundaciones	Baja	Baja
Tormenta eléctrica	Baja	Muy baja
Viento	Muy Baja	Nula

Considerando el riesgo inherente de catástrofes naturales en la zona de implantación del proyecto, los datos recopilados y, sumado a las medidas de protección/prevención de la instalación, **la vulnerabilidad del proyecto ante amenazas externas es baja**, no siendo susceptible de dar lugar a una afección significativa o destacable al medio ambiente, de acuerdo a la Ley 9/2018.

4. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ANTE ACCIDENTES GRAVES

Debido a las características del proyecto, y su posterior fase de “explotación” se considera que no están afectadas por la siguiente legislación relativa a accidentes graves:

- Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban las medidas de control de riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

Tampoco está incluida en el Anexo III de la Ley de Responsabilidad Medioambiental, que indica que se aplicará a los daños medioambientales y a las amenazas inminentes de que tales daños ocurran, cuando hayan sido causados por las actividades económicas o profesionales enumeradas en el anexo III, aunque no exista dolo, culpa o negligencia.

De todas formas, aunque el proyecto no está afectado por la legislación de accidentes graves y no se prevé que se produzcan catástrofes, y se han evaluado de manera pormenorizada los posibles impactos sobre el medio ambiente, se realiza en los siguientes apartados un análisis de la vulnerabilidad, para continuar con la tramitación de Evaluación de Impacto Ambiental Ordinaria del citado Proyecto.

Para el análisis de la vulnerabilidad del proyecto ante accidentes graves se ha empleado la metodología recogida en la norma UNE 150.008 de Análisis y evaluación del riesgo ambiental.

Esta norma se basa en la determinación de las probabilidades de ocurrencia de accidentes ambientales (riesgo ambiental). La norma UNE 150.008 se estructura en dos grandes bloques:

- a) Diagnóstico de fuentes que permiten identificar condiciones peligrosas, determinar los escenarios de accidente y de ahí estimar las probabilidades.
- b) Estimación de consecuencias, identificando los elementos de calidad y/o vulnerabilidad.

La conexión entre ambos tipos de escenarios son los sucesos iniciadores, que son el hecho físico generado por el escenario causal que da lugar a la primera de las consecuencias.

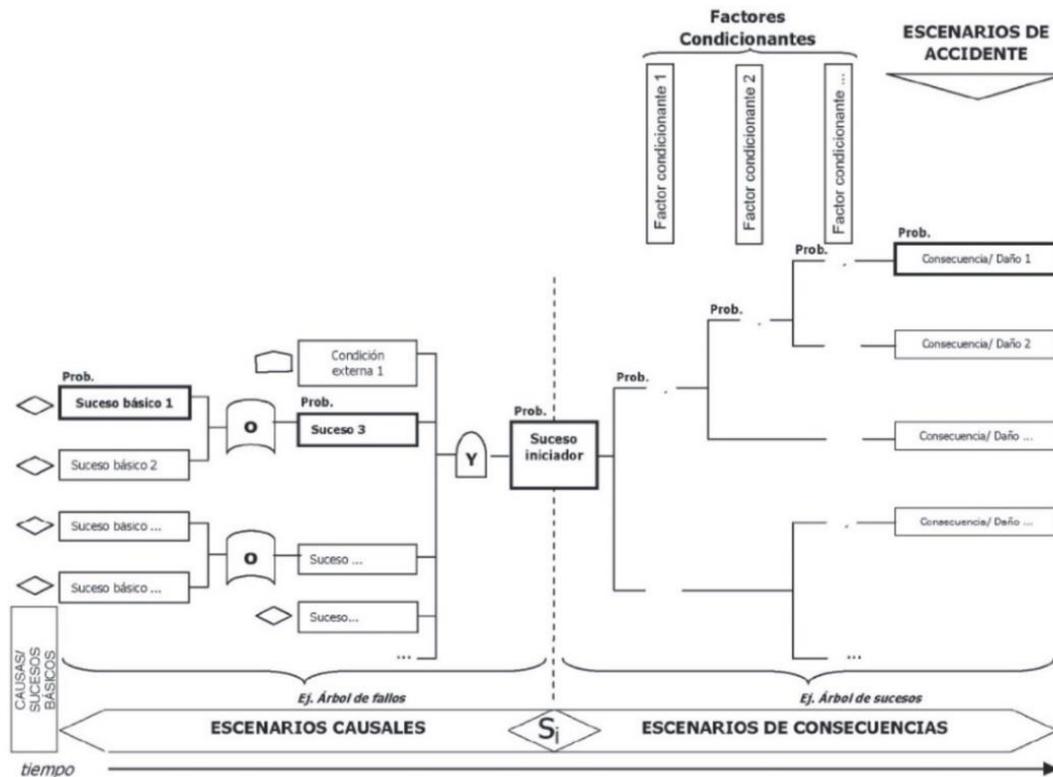


Ilustración 15. Norma UNE 150.008:2008 "Análisis y evaluación del riesgo ambiental"

Las fases del análisis de riesgo contempladas son las siguientes:

- Identificación de las variables y de los factores determinantes del riesgo
 - o Identificación de las fuentes de peligro
 - o Identificación de sucesos iniciadores
 - o Identificación de factores condicionantes
- Identificación y probabilidad de los escenarios accidentales

Para comprender mejor la metodología de análisis de riesgos, reflejada en la figura anterior, se definen los siguientes conceptos:

- **Suceso iniciador:** hecho físico que puede generar un incidente o accidente, en función de cuál sea su evolución en el espacio tiempo. Cada suceso iniciador lleva asociada una probabilidad de ocurrencia.
- **Factores condicionantes:** permiten determinar las diferentes consecuencias que pueden desencadenarse a partir de la ocurrencia de cada suceso iniciador. Son elementos condicionantes de los escenarios de accidente que pueden tener un papel importante como efecto multiplicador o dispersor del peligro.
- **Escenarios de accidente:** a partir de los sucesos iniciadores identificados se define la secuencia de eventos o alternativas posibles que, comuna probabilidad conocida, pueden dar lugar a los

distintos escenarios de accidente. Para cada escenario de accidente se estiman las potenciales consecuencias de un suceso iniciador sobre el medio receptor. Cada escenario de accidente lleva asociada una probabilidad de ocurrencia. Esta es el resultado de la probabilidad del suceso iniciador correspondiente modificada por efecto de los factores condicionantes.

Para establecer todas las probabilidades mencionadas se pueden utilizar diferentes criterios. En este caso, se han basado en datos contenidos en bibliografía especializada.

4.1. FUENTES DE PELIGRO

En este apartado se procede a identificar los peligros asociados con:

- Actividades e instalaciones asociadas al proyecto (instalaciones de proceso, auxiliares, sustancias, etc.)

4.1.1. Instalaciones del proyecto

4.1.1.1. Fase de construcción/desmantelamiento

Proceso de dragado y vertido

- Draga
- Equipo de vertido en vaciadero terrestre o playa

Proceso de ejecución de una estructura de parada intermedia

- Instalación de equipos eléctricos
- Zonas de almacén de sustancias peligrosas (depósitos de combustible)
- Zonas de acopios temporales
- Embarcación para hincado de pilotes y ensamblaje

4.1.1.2. Fase de explotación

- Presencia de embarcaciones

4.1.2. Actividades del proyecto

4.1.2.1. Fase de construcción/desmantelamiento

Proceso de dragado y vertido

- Dragado
- Vertido de material dragado a vaciadero terrestre o playa
- Vertido de material dragado a vaciadero marino

Proceso de ejecución de una estructura de parada intermedia

- Hincado de pilotes y ensamblaje

4.1.2.2. Fase de explotación

- Tráfico de embarcaciones
- Amarre de embarcaciones

4.1.3. Sustancias

La principal sustancia asociada al proyecto que puede dar lugar a accidente, por el volumen presente, es el combustible de la draga y el resto de las embarcaciones. A continuación, se recogen sus principales características.

Sustancia	Categoría FRTR	Estado físico	Comportamiento en el suelo	Comportamiento en el agua	Potencial afección a hábitats y especies
Refinados de petróleo	COSV no halogenado	Líquido	Sustancia recogida en el Anexo VI del Real Decreto 9/2005	Posee un potencial bioacumulativo. Persiste en condiciones anaeróbicas	Tóxico para los organismos acuáticos y puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático

4.1.4. Procesos

Los procesos que se llevarán a cabo han sido descritos anteriormente. A continuación, se presentan datos relevantes y necesarios para el cálculo del riesgo medioambiental relacionados con la actividad.

Tabla 2. Características de los procesos.

Proceso	Frecuencia
Nº buques/año atraque	20
Tráfico de buques total/año	1.125
Tiempo medio de atraque (h)	6
Tiempo transporte hasta vaciadero marino (h)	1
N.º viajes a vaciadero marino	3
Tiempo medio de transporte hasta puerto de Sevilla (h)	5

4.1.5. Listado de fuentes de peligro

Las fuentes de peligro consideradas en el análisis de riesgos se recogen en la siguiente tabla. Constituyen el origen de los escenarios accidentales.

Tabla 3. Fuentes de peligro identificadas

FUENTE DE PELIGRO	
Fase de construcción/desmantelamiento	
Dragado	Fuga/derrame/vertido de sustancias
Vertido a vaciadero terrestre	Fuga/derrame/vertido de sustancias
Vertido a vaciadero marino	Fuga/derrame/vertido de sustancias
Instalación de equipos eléctricos	Incendio
Zona de almacenamiento de sustancias peligrosas	Incendio/explosión
Zona de acopios temporales	Vertido de inertes
Embarcación para hincado y ensamblaje	Fuga/derrame/vertido de sustancias
Fase de explotación	
Tráfico de embarcaciones	Fuga/derrame/vertido de sustancias
Atraque de embarcaciones	Fuga/derrame/vertido de sustancias

4.2. SUCESOS INICIADORES

Los sucesos iniciadores se entienden como los agentes causantes del daño que aparecen en lugares donde no deberían estar atendiendo al normal funcionamiento de la instalación y cuyo desencadenamiento se produciría por una o diversas causas de accidente.

Para cada una de las fuentes de peligro identificadas en el proyecto se han detectado los sucesos iniciadores, que son uno de los elementos clave de los árboles en los que se apoya el análisis de riesgos. Basándose en las causas y fuentes de peligro enumerados anteriormente, se han identificado los siguientes sucesos iniciadores:

- Incendio
 - o Problema eléctrico en equipos eléctricos
 - o Almacenamiento de sustancias peligrosas
- Fuga/derrame/vertido de sustancias
 - o Dragado
 - o Vertido a vaciadero terrestre
 - o Vertido a vaciadero marino
 - o Zona de acopios temporales
 - o Embarcación para hincado y ensamblaje
 - o Tráfico embarcaciones
 - o Atraque embarcaciones

En la siguiente tabla se presentan los sucesos iniciadores, así como las posibles causas de accidente, que podrían desencadenar dichos sucesos.

Tabla 4. Sucesos iniciadores identificados.

SISTEMA	SUCESO BÁSICO	SUCESO INICIADOR	CÓDIGO
FASE CONSTRUCCIÓN/DESMANTELAMIENTO			
Dragado	Fatiga de materiales Diseño inadecuado	Fuga de líquidos en embarcación	FC.1
Vertido a vaciadero terrestre	Fatiga de materiales Diseño inadecuado	Fuga de líquidos en embarcación	FC.2
Vertido a vaciadero marino	Fatiga de materiales Diseño inadecuado Impacto mecánico	Fuga de líquidos en embarcación	FC.3
Instalación de equipos eléctricos	Problema eléctrico	Incendio	FC.4
Zona de almacenamiento de sustancias peligrosas	Fatiga de materiales Impacto mecánico Diseño inadecuado	Fuga de líquidos en depósito aéreo	FC.5
Zona de acopios temporales	Fatiga de materiales Impacto mecánico Diseño inadecuado	Vertido de inertes	FC.6
Embarcación para hincado y ensamblaje	Fatiga de materiales Diseño inadecuado	Fuga de líquidos en embarcación	FC.7
FASE DE EXPLOTACIÓN			
Tráfico embarcaciones	Fatiga de materiales Impacto mecánico Diseño inadecuado	Fuga de líquidos en embarcación	FE.1
Atraque embarcaciones	Fatiga de materiales Impacto mecánico Diseño inadecuado	Fuga de líquidos en embarcación	FE.2

Para la asignación de probabilidades de los sucesos iniciadores se ha empleado un método cuantitativo basado en fuentes bibliográficas. En aquellos casos en los que el suceso iniciador lleva asociada una probabilidad de ocurrencia ligada directamente al propio suceso, se ha empleado esta, mientras que para aquellos sucesos en los que la probabilidad de ocurrencia estaba relacionada con un suceso básico, la probabilidad se ha estimado en base a las probabilidades de los sucesos básicos.

A continuación, se recogen las probabilidades de cada suceso iniciador identificado:

Sistema	Código	Suceso Iniciador	Suceso básico	Observaciones	Probabilidad base (años ⁻¹)	Fuente (2)	Probabilidad final (años ⁻¹)
FASE DE CONSTRUCCIÓN/DESMANTELAMIENTO							
Dragado	FC.1.1	Fuga de líquidos en embarcación	Fatiga de materiales Diseño inadecuado	Vertido continuo de 20 m ³ en 1800 s	5,00E-07	1	5,00E-07
Vertido a vaciadero terrestre	FC.2.1	Fuga de líquidos en embarcación	Fatiga de materiales Diseño inadecuado	Vertido continuo de 20 m ³ en 1800 s	5,00E-07	1	5,00E-07
Vertido a vaciadero marino	FC.3.1	Fuga de líquidos en embarcación	Fatiga de materiales Diseño inadecuado Impacto mecánico	Vertido continuo de 20 m ³ en 1800 s	(1)	1	1,55E-13
Instalación de equipos eléctricos	FC.4.1	Incendio	Problema eléctrico		9,00E-04	2	9,00E-04
Zona de almacenamiento de sustancias peligrosas	FC.5.1	Fuga de líquidos en depósito aéreo	Fatiga de materiales Impacto mecánico Diseño inadecuado		5,00E-06	1	5,00E-06
Zona de acopios temporales	FC.6.1	Vertido de inertes	Fatiga de materiales Impacto mecánico Diseño inadecuado		5,00E-06	1	5,00E-06
Embarcación para hincado y ensamblaje	FC.7.1	Fuga de líquidos en embarcación	Fatiga de materiales Diseño inadecuado	Vertido continuo de 20 m ³ en 1800 s	5,00E-07	1	5,00E-07
FASE DE EXPLOTACIÓN							
Tráfico de embarcaciones	FE.1.1	Fuga de líquidos en embarcación	Fatiga de materiales Diseño inadecuado	Vertido continuo de 20 m ³ en 1800 s	5,00E-07	1	5,00E-07
	FE.1.2		Impacto mecánico	Vertido continuo de 20 m ³ en 1800 s	(1)	1	2,90E-10
Atraque de embarcaciones	FE.2.1	Fuga de líquidos en embarcación durante atraque	Fatiga de materiales Diseño inadecuado	Vertido continuo de 20 m ³ en 1800 s	5,00E-07	1	5,00E-07
	FE.2.2		Impacto mecánico	Vertido continuo de 20 m ³ en 1800 s	(1)	1	6,20E-12

(1) La probabilidad base se calcula del siguiente modo:

$$f_0 = 0,006 \times 6,7 \times 10^{-11} \times T \times t \times N$$

En donde:

T es el número total de buques por año

t es la duración media de la carga/descarga por buque

N es el número de transbordos por año

(2) Fuente:

1. "Reference Manual Bevi Risk Assessments". RIVM, 2009.
2. "Risk assessment for explosive failures in transformers and strategies to reduce such risks". Petersen, 2008, en Martín, 2009.

4.3. FACTORES CONDICIONANTES

En los árboles de sucesos creados para definir los distintos escenarios se emplean una serie de factores condicionantes que permiten determinar las diferentes consecuencias que pueden desencadenarse a partir de la ocurrencia de cada suceso iniciador, de tal forma que cada rama del árbol se corresponde con una hipotética evolución del suceso iniciador.

Partiendo de cada suceso iniciador y teniendo en cuenta las características de la zona donde este se produciría, se ha elaborado el listado de factores condicionantes que podrían actuar. En este listado se incluyen factores que determinan la ocurrencia de un escenario accidental u otro por su existencia o no. Se han incluido los siguientes factores de este tipo:

- Existencia de barreras de contención/material absorbente
- Existencia de zonas por las que se pueda propagar un incendio

Además, también se incluyen factores condicionantes que tienen asociadas probabilidades de éxito/fallo o de ocurrencia/no ocurrencia, las cuales se han determinado a partir de fuentes bibliográficas.

- Fallo en los sistemas de protección de incendios
- Fallo en los sistemas de detección de incendios
- Supervisión del operador

Factor condicionante	Información	Probabilidad	Referencia bibliográfica
Fallo en los sistemas de protección de incendios	Sistema de extinción manual	0,7	Assessment of benefits of fire compartmentation in chemical warehouses. HSE, 2003
Fallo en los sistemas de detección de incendios	Sistema de detección manual	0,9	
Fallo en la supervisión del operador	Operador no observa	0,01	van gebruik in betrouwbaarheidsstudies en Risico-Analysis". TNO, 1998

4.4. IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS ACCIDENTALES Y PROBABILIDADES

Una vez identificados los sucesos iniciadores de las instalaciones, se debe establecer la secuencia de alternativas posibles que, con una probabilidad conocida, puedan dar lugar a distintos escenarios de accidente, sobre los que posteriormente se estimarán las consecuencias sobre el medio receptor.

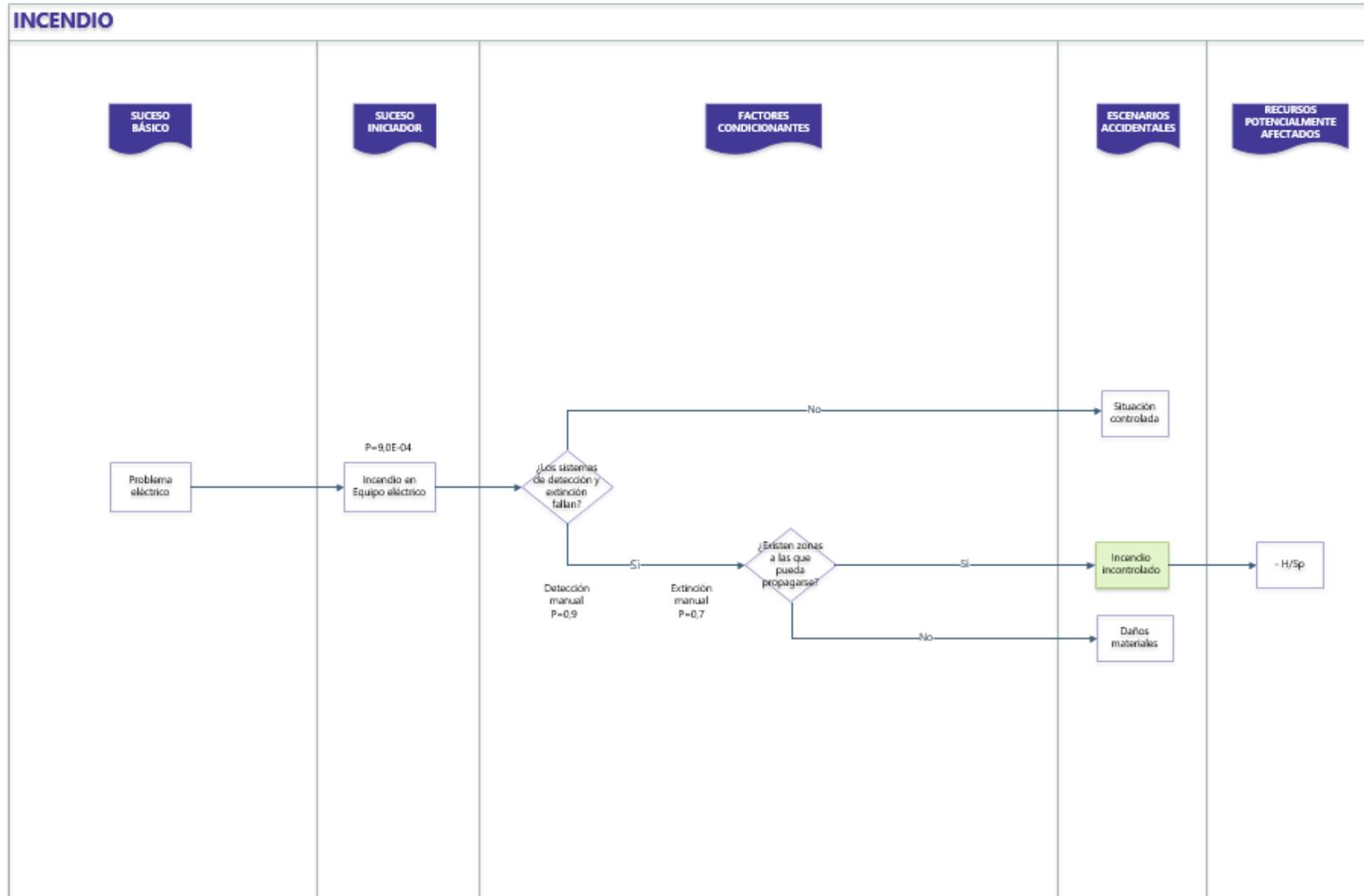
Este análisis se realiza mediante los árboles de fallos, donde se tienen en cuenta los sucesos iniciadores y los distintos factores condicionantes que dan lugar a los distintos escenarios accidentales. En los árboles se emplean los factores condicionantes indicados antes, que permiten determinar las diferentes consecuencias que pueden desencadenarse a partir de la ocurrencia de cada suceso iniciador, de tal forma que cada rama del árbol se corresponda con una hipotética evolución del suceso iniciador.

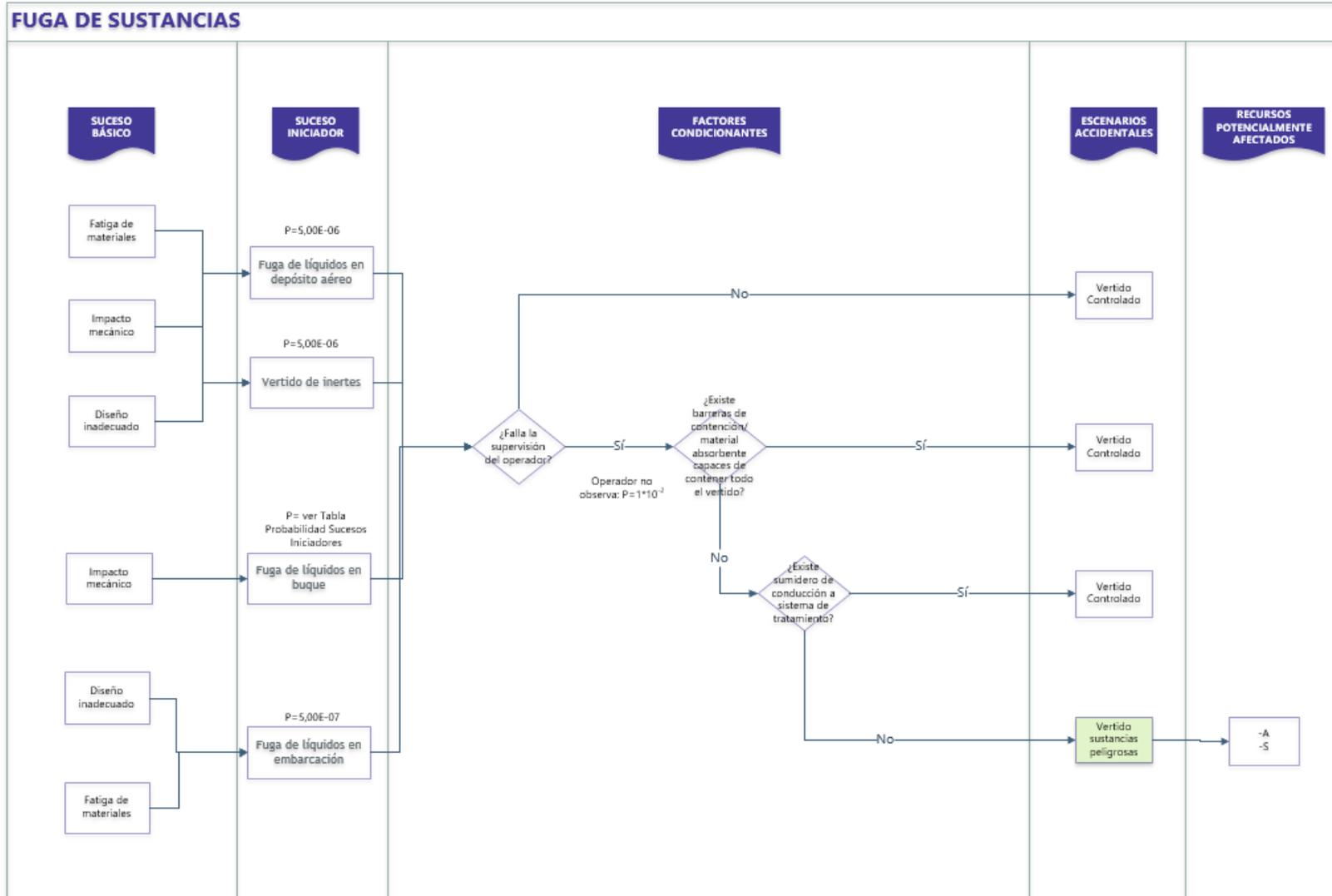
En los árboles de fallos se aporta la siguiente información:

- Sucesos iniciadores: hechos que pueden generar un accidente
- Factores condicionantes: que modifican un escenario accidental o la probabilidad de que esto ocurra
- Posibles consecuencias: se incluye el hecho concreto generado por un accidente
- Recursos ambientales susceptibles de ser afectados: en función de las posibles consecuencias se verán afectados unos u otros recursos ambientales.

A continuación, se presentan los árboles de fallos con los principales escenarios accidentales identificados:

- Incendio incontrolado
- Vertido de sustancias





Tras recorrer el árbol consecucional correspondiente a cada suceso iniciador se obtienen escenarios accidentales. El volumen para cada escenario accidental se ha calculado de la siguiente manera:

- Fuga de líquidos en depósito aéreo: se considera que se produce el vertido del contenido total de un depósito de combustible de 1 m³.
- Vertido de inertes: se considera que se produce el vertido de 1 tonelada considerando el máximo volumen vertido.
- Fuga/derrame/vertido de sustancias: se considera una fuga continua de 20 m³ en 1800 s, de acuerdo a Reference Manual Bevi Risk Assessments". RIVM, 2009

En la siguiente tabla se indican las probabilidades de cada escenario accidental, así como el volumen asociado a los mismos.

Código	Suceso Iniciador	Escenario accidental	Agente químico	Código escenario	Probabilidad	Volumen (m ³)	Recursos afectados		
							S	A	H/Sp
FC.1.1	Fuga de líquidos en embarcación	Vertido de sustancias peligrosas	COSV no halogenado	FC.1.1.S.1	5,00E-09	20		X	
FC.2.1	Fuga de líquidos en embarcación	Vertido de sustancias peligrosas	COSV no halogenado	FC.2.1.S.1	5,00E-09	20		X	
FC.3.1	Fuga de líquidos en embarcación	Vertido de sustancias peligrosas	COSV no halogenado	FC.3.1.S.1	1,55E-15	20		X	
FC.4.1	Incendio	Incendio incontrolado	-	FC.4.1.I.1	5,67E-04	-			X
FC.5.1	Fuga de líquidos en depósito aéreo	Vertido de sustancias peligrosas	COSV no halogenado	FC.5.1.S.1	5,00E-08	1	X	X	
FC.6.1	Vertido de inertes	Vertido de sustancias peligrosas	Sustancia inorgánica	FC.6.1.S.1	5,00E-08	1 tn		X	
FC.7.1	Fuga de líquidos en embarcación	Vertido de sustancias peligrosas	COSV no halogenado	FC.7.1.S.1	5,00E-09	20		X	
FE.1.1	Fuga de líquidos en embarcación	Vertido de sustancias peligrosas	COSV no halogenado	FE.1.1.S.1	5,00E-09	20		X	
FE.1.2	Fuga de líquidos en embarcación	Vertido de sustancias peligrosas	COSV no halogenado	FE.1.2.S.1	2,90E-12	20		X	
FE.2.1	Fuga de líquidos en embarcación durante atraque	Vertido de sustancias peligrosas	COSV no halogenado	FE.2.1.S.1	5,00E-09	20		X	
FE.2.2	Fuga de líquidos en embarcación durante atraque	Vertido de sustancias peligrosas	COSV no halogenado	FE.2.2.S.1	6,20E-14	20		X	

¹ Recursos ambientales susceptibles de ser afectados:

S: Suelo

A: agua marina

H/Sp: Hábitats o especies

4.5. CÁLCULO DE IDM Y RIESGO DE LOS ESCENARIOS RELEVANTES

Para poder estimar las consecuencias asociadas a los escenarios de accidente, la norma UNE 150.008 otorga libertad para emplear la metodología de estimación de consecuencias que se considere más apropiada. En este caso, se ha realizado por medio del cálculo del Índice de daño medioambiental (IDM), que permite estimar el daño asociado a cada escenario accidental.

El cálculo del IDM, índice relacionado con la magnitud de los potenciales daños medioambientales que pueden originarse bajo las hipótesis establecidas en cada escenario medioambiental, se calcula aplicando la siguiente ecuación, que se trata de un modelo dividido en diferentes secciones dirigidas a cada combinación agente-recurso de cada escenario accidental:

$$IDM = \sum_{i=0}^n [(Ecf + A \times Ecu \times (B \times \alpha \times Ec) + p \times M_{acc}^q + C \times Ecr) \times (1 + Ecc)]_i + (\beta \times Eca)$$

El cálculo se ha realizado utilizando la herramienta desarrollada por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, disponible en la página web <https://servicio.mapama.gob.es/mora/idm/editarIdmInforme.action>

El IDM ofrece un resultado semicuantitativo que en ningún caso podrá interpretarse como el valor real del daño asociado a cada escenario. Los informes de cálculo del IDM se incluyen al final del documento.

En la siguiente tabla se muestran las variables cualitativas específicas, según los criterios establecidos en el IDM.

Tabla 5. Variables cuantitativas según criterios establecidos en IDM

AGENTE	
Variable	Descripción
Volumen de vertido	El volumen de vertido se ha calculado específicamente en cada árbol de sucesos partiendo de un volumen inicial de suceso iniciador.
Degradabilidad de la sustancia	De acuerdo con el IDM, se clasifica en función del porcentaje de sustancia que se biodegrada durante un tiempo determinado. Alta Media Baja
Duración estimada de los daños	Alta: superior a dos años. Media: Entre 6 meses y 2 años Baja: Inferior a 6 meses
Forma de vertido	Fugas continuas Fugas instantáneas
Toxicidad de la sustancia	Alta: sustancias con efectos adversos claros y a corto plazo sobre el medio receptor, con consecuencias evidentes sobre los ecosistemas y sus hábitats y especies. Afección prevista sobre al menos el 50 % de la población expuesta. Media: sustancias con posibles efectos adversos a largo plazo para un porcentaje de la población expuesta entre el 10 y 50 %. Baja: sustancias que pueden afectar al menos al 1 % de la población expuesta.
Viscosidad de la sustancia	Poco viscosa Medianamente viscosa Muy viscosa
Solubilidad de la sustancia	Insoluble: Solubilidad inferior a 0,1 mg/l de agua a 20 °C.

AGENTE	
Variable	Descripción
	Poco soluble: Solubilidad de la sustancia entre 0,1 y 10 mg/l de agua a 20 °C. Muy soluble: Solubilidad sustancia superior a 10 mg/l de agua a 20 °C.
Volatilidad de la sustancia	Baja: Punto de ebullición (PE) > 325 °C Media: PE entre 100 y 325 °C Alta: PE < 100 °C

Los recursos afectados pueden ser los hábitats y especies, el suelo y el agua, en base a esto y a la localización del daño se establecen las siguientes variables:

Tabla 6. Variables establecidas para la determinación de la afección

RECURSO/ZONA AFECTADA	
Variable	Descripción
Pendiente media del terreno	Alta > 10 % Media entre 5 y-10 % Baja < 5 %
Pedregosidad del terreno	Pedregoso: formado por rocas de todos los tamaños. Suelos irregulares No Pedregoso: formado por materiales compactados. Suelos fácilmente transitables.
Precipitación media anual	Zona seca < 400 mm Zona media entre 400-700 mm Zona húmeda > 700 mm
Temperatura media anual	Alta > 17,5 °C Media: entre 10-17, 5°C Baja: < 10 °C
Velocidad del viento	Fuerte > 5 m/s Media entre 1-5 m/s Suave < 1 m/s
Permeabilidad del suelo	Alta: suelo formado por gravas, arena suelta, calizas, etc Media: Suelo formado por arenas limosas, arcillosas, limos, etc Baja: Suelo formado por arcillas, margas, roca no fracturada, etc.
Nivel freático	Somero < 10 m Medio entre 10 y 50 m Profundo > 50 m
Distancia a la vía más cercana	Una vez ejecutado el proyecto, la distancia a vía más cercana es de 0 m.
Densidad de vegetación	Muy densa: Densidad de pies superior a 700 pies/ha, matorral o herbazal muy denso Media: Densidad de pies entre 50-700 pies/ha, matorral o herbazal de densidad media Poco densa: Densidad de pies inferior a 50 pies/ha, matorral o herbazal poco denso

El cálculo del riesgo se lleva a cabo según la siguiente ecuación:

$$\text{Riesgo} = \text{IDM} \times \text{Probabilidad}$$

En la siguiente tabla se presenta el volumen, probabilidad, IDM y Riesgo asociado a cada escenario relevante.

Tabla 7. Probabilidad, IDM y riesgo asociado a cada escenario relevante

Código	Suceso Iniciador	Escenario accidental	Código escenario	Probabilidad	Volumen (m ³)	IDM	RIESGO	%RIESGO
FC.1.1	Fuga de líquidos en embarcación	Vertido de sustancias peligrosas	FC.1.1.S.1	5,00E-09	20	106.228,02	5,31E-04	3,07E-03
FC.2.1	Fuga de líquidos en embarcación	Vertido de sustancias peligrosas	FC.2.1.S.1	5,00E-09	20	106.228,02	5,31E-04	3,07E-03
FC.3.1	Fuga de líquidos en embarcación	Vertido de sustancias peligrosas	FC.3.1.S.1	1,55E-15	20	106.228,02	1,65E-10	9,53E-10
FC.4.1	Incendio	Incendio incontrolado	FC.4.1.I.1	5,67E-04	-	30.451,58	1,73E+01	1,00E+02
FC.5.1	Fuga de líquidos en depósito aéreo	Vertido de sustancias peligrosas	FC.5.1.S.1	5,00E-08	1	106.155,31	5,31E-03	3,07E-02
FC.6.1	Vertido de inertes	Vertido de sustancias peligrosas	FC.6.1.S.1	5,00E-08	1 tn	3.160,04	1,58E-04	9,15E-04
FC.7.1	Fuga de líquidos en embarcación	Vertido de sustancias peligrosas	FC.7.1.S.1	5,00E-09	20	106.228,02	5,31E-04	3,07E-03
FE.1.1	Fuga de líquidos en embarcación	Vertido de sustancias peligrosas	FE.1.1.S.1	5,00E-09	20	106.228,02	5,31E-04	3,07E-03
FE.1.2	Fuga de líquidos en embarcación	Vertido de sustancias peligrosas	FE.1.2.S.1	2,90E-12	20	106.228,02	3,08E-07	1,78E-06
FE.2.1	Fuga de líquidos en embarcación durante atraque	Vertido de sustancias peligrosas	FE.2.1.S.1	5,00E-09	20	106.228,02	5,31E-04	3,07E-03
FE.2.2	Fuga de líquidos en embarcación durante atraque	Vertido de sustancias peligrosas	FE.2.2.S.1	6,20E-14	20	106.228,02	6,59E-09	3,81E-08

4.6. SELECCIÓN DEL ESCENARIO DE REFERENCIA

Por último, en la siguiente tabla, se recogen los cálculos realizados con objeto de seleccionar el escenario accidental que sirva como referencia. El procedimiento para la selección del escenario de referencia se describe en el apartado VI.2.2 de la Guía Metodológica del IDM, que a su vez recoge el procedimiento descrito en el Real Decreto 2090/2008.

En esencia, el proceso de selección consiste en ordenar los escenarios relevantes de mayor a menor valor de IDM. Posteriormente, se calcula el riesgo total de la instalación —mediante la suma del riesgo de todos los escenarios relevantes— con objeto de determinar el riesgo relativo de cada escenario, siendo éste el resultado de dividir el riesgo del escenario entre el riesgo total de la instalación.

Por último, se seleccionan exclusivamente los escenarios que aglutinan el 95 por ciento del riesgo acumulado de la instalación, y de estos escenarios que representan el 95 por ciento del riesgo total, se fija como escenario de referencia el que tiene el IDM más elevado.

Tabla 8. Selección del escenario de referencia

Código	Suceso Iniciador	Escenario accidental	Código escenario	Probabilidad	Volumen (m ³)	IDM	RIESGO	%RIESGO	RIESGO ACUMULADO
FC.1.1	Fuga de líquidos en embarcación	Vertido de sustancias peligrosas	FC.1.1.S.1	5,00E-09	20	106228,02	5,31E-04	3,07E-03	100,00
FC.2.1	Fuga de líquidos en embarcación	Vertido de sustancias peligrosas	FC.2.1.S.1	5,00E-09	20	106228,02	5,31E-04	3,07E-03	100,00
FC.3.1	Fuga de líquidos en embarcación	Vertido de sustancias peligrosas	FC.3.1.S.1	1,55E-15	20	106228,02	1,65E-10	9,53E-10	99,99
FC.7.1	Fuga de líquidos en embarcación	Vertido de sustancias peligrosas	FC.7.1.S.1	5,00E-09	20	106228,02	5,31E-04	3,07E-03	99,99
FE.1.1	Fuga de líquidos en embarcación	Vertido de sustancias peligrosas	FE.1.1.S.1	5,00E-09	20	106228,02	5,31E-04	3,07E-03	99,99
FE.1.2	Fuga de líquidos en embarcación	Vertido de sustancias peligrosas	FE.1.2.S.1	2,90E-12	20	106228,02	3,08E-07	1,78E-06	99,99
FE.2.1	Fuga de líquidos en embarcación durante atraque	Vertido de sustancias peligrosas	FE.2.1.S.1	5,00E-09	20	106228,02	5,31E-04	3,07E-03	99,99
FE.2.2	Fuga de líquidos en embarcación durante atraque	Vertido de sustancias peligrosas	FE.2.2.S.1	6,20E-14	20	106228,02	6,59E-09	3,81E-08	99,98
FC.5.1	Fuga de líquidos en depósito aéreo	Vertido de sustancias peligrosas	FC.5.1.S.1	5,00E-08	1	106155,31	5,31E-03	3,07E-02	99,98
FC.4.1	Incendio	Incendio incontrolado	FC.4.1.I.1	5,67E-04	-	30451,58	1,73E+01	1,00E+02	99,95
FC.6.1	Vertido de inertes	Vertido de sustancias peligrosas	FC.6.1.S.1	5,00E-08	1 tn	3160,04	1,58E-04	9,15E-04	0,00

4.7. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD A AMENAZAS INTERNAS

En la siguiente tabla se muestra el escenario accidental resultante del análisis del riesgo y su probabilidad.

Tabla 9. Cuadro resumen del escenario accidental de referencia

Código	Escenario	Agente	Recurso
FC.4.1.1.1	Incendio incontrolado durante la instalación de equipos eléctricos en la fase de construcción del muelle	-	Matorral no amenazado

En relación con el escenario accidental considerado, incendio incontrolado durante la Instalación de equipos eléctricos en la fase de ejecución del muelle, y a la vista de los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología propuesta, la evaluación del riesgo existente en el proyecto da como resultado un riesgo bajo, aun considerando el peor escenario posible, con una probabilidad de 5,67E-04.

5. MEDIDAS DE PROTECCIÓN

En el Estudio de Impacto Ambiental se han detallado todas las medidas preventivas necesarias para la protección al medio ambiente. En base al análisis realizado, se pueden considerar las siguientes.

5.1. MEDIDAS DE PROTECCIÓN ANTE CATÁSTROFES NATURALES

Terremotos:

- Seguimiento de la actividad sísmica a través del Instituto Geográfico Nacional

Inundaciones, Tormentas eléctricas y Climatología adversa:

- Seguimiento de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

Incendios por caída de rayos:

- Seguimiento de alertas de incendios del INFOCA
- Mantenimiento de los equipos de extinción disponibles

5.2. MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE INCENDIO

Las medidas de protección de incendios se incluyen más detalladas en el Plan de Autoprotección de incendios, de manera resumida son:

- Sistema de comunicación
- Sistema de control autónomo
- Sistema de alarmas automático y manual
- Mantenimiento de los equipos de detección y extinción de incendios.

- Formación del personal

5.3. MEDIDAS DE PROTECCIÓN ANTE VERTIDOS ACCIDENTALES

- Queda prohibido cualquier tipo de vertido al mar, que no sea el material previsto a depositar en el vaciadero marino.
- La utilización de embarcaciones y de medios auxiliares para las operaciones de dragado han de cumplir la normativa vigente en cuanto al vertido al mar de sustancias peligrosas desde buques (MARPOL).
- Tener localizadas las barreras de contención de contaminación por HC más próximas.
- Planificar la duración de las operaciones de dragado para reducir, en la medida de lo posible, el tiempo de intervención de las embarcaciones y la maquinaria sobre el medio.
- Utilizar los medios adecuados (sistema de dragado y extracción del material), que provoquen la menor resuspensión posible de sedimentos al medio. La técnica water injection se aplicará en los tramos donde predomine el fango y se combinará con la succión cuando sea necesario para mantener la rasante actual. En los tramos arenosos se propone la succión en marcha.

6. INFORMES DE CÁLCULO DEL IDM
