

**Incremento de la temperatura en el
medio como causa del
funcionamiento del cable y su efecto
en la biota**

elittoral

**INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN EL
MEDIO COMO CAUSA DEL
FUNCIONAMIENTO DEL CABLE Y SU EFECTO
EN LA BIOTA**

AUTORES

Teresa Carreira Galván

Noelia Arto Cuesta

José A. Valdazo Hernández

MAYO DE 2019

ÍNDICE

1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO	7
2. TEMPERATURA ALCANZADA POR EL CABLE	12
3. INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN EL MEDIO POR EMISIÓN DE CALOR	14
3.1 Factores que determinan la temperatura en el medio.....	14
3.2 Simulación de calor en el marco del presente proyecto.....	18
3.3 Aplicación al ámbito del Proyecto Interconexión Eléctrica España - Francia por el Golfo de Bizkaia	19
3.4 Afección a la fauna marina	23
4. CONCLUSIONES.....	27
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dependencia de la temperatura del conductor según el sustrato del que se rodea. Fuente: Hughes (2016).	15
Figura 2. Simulación de la radiación térmica alrededor de un cable con aislamiento XPLE, funcionando a la temperatura máxima (70°C), enterrado a 1 m de profundidad y en un ambiente marino a 15°C. Fuente: RTE (2019).....	19
Figura 3. Estaciones de dragado en el sector occidental del trazado del cable.	20
Figura 4. Estaciones de dragado en el sector oriental del trazado del cable.	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Temperatura alcanzada en el conductor y cubierta del cable en fase de operación según el tipo de cable a emplear.....	12
Tabla 2. Propiedades térmicas de suelos saturados de agua. Fuente: Smoltczyk (2001).	17
Tabla 3. Caracterización granulométrica de la zona ámbito de instalación del cable submarino según clasificación Wentworth (1922) y Folk y Ward (1957).....	21
Tabla 4. Evaluación de la sensibilidad térmica de los hábitats de fondos blandos en el ámbito de estudio en fondos sedimentarios.	25

1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO

REE (Red Eléctrica de España), que administra la red pública de transmisión de electricidad de alto voltaje en España continental y RTE (Red de Transmisión de Electricidad, su contraparte francesa) están considerando el desarrollo de una línea eléctrica de CC entre Cubnezais, cerca de Burdeos, y Gatica, al norte de Bilbao. Esta conexión eléctrica implica la instalación de unos 280 km de cables submarinos, incluidos 95 km en aguas españolas.

En el presente estudio se lleva a cabo una evaluación de la afección sobre la biota marina a causa del incremento de la temperatura en el medio, en la fase de operación del cable submarino en el marco del proyecto Interconexión Eléctrica España - Francia por el Golfo de Bizkaia. Para ello se realiza una recopilación de referencias bibliográficas entorno a esta temática.

El objetivo de esta evaluación es que posteriormente, y a partir de la información recopilada y aplicada al ámbito de estudio, sea posible determinar el impacto sobre el medio biótico de la instalación del cable submarino en la fase de operación. Para ello, a partir de las temperaturas máximas alcanzadas en la cubierta del cable submarino, se realiza un análisis para determinar el incremento de temperatura en el medio ambiente ocasionado por el cable en funcionamiento y, por último, la evaluación de la afección de dicho incremento en la biota marina.

2. TEMPERATURA ALCANZADA POR EL CABLE

La temperatura alcanzada en el conductor y en la cubierta del cable durante la fase de operación y funcionamiento de este, depende del tipo de cable. En este caso las temperaturas alcanzadas por tipo de cable se indican en la Tabla 1 (Chen *et al.*, 2015; Liu, 2013).

Tabla 1. Temperatura alcanzada en el conductor y cubierta del cable en fase de operación según el tipo de cable a emplear.

Tipo de cable	Conductor °C	Cubierta °C
Cu1000 XLPE submarino	70	46
Cu1800 XLPE submarino (PHD aterraje)	70	59
Cu1400 MIND submarino	55	36,2
Cu2500 MIND submarino (PHD aterraje)	55	46

Estas temperaturas hacen referencia, en el caso de la columna de “Conductor”, a la temperatura máxima que puede alcanzar (la cual según los fabricantes se estima en 80 – 90 °C), no a la temperatura de operación. En el caso de la columna “Cubierta” hace referencia a la temperatura alcanzada durante la fase de operación en condiciones normales.

Para la evaluación de la afección del incremento de la temperatura a causa del funcionamiento del cable en el medio marino y a la fauna marina, se tendrán en cuenta temperaturas máximas de 59°C en la zona de PHD y de 46°C en tramos submarinos ya que son las temperaturas máximas alcanzables en la cubierta del cable.

3. INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN EL MEDIO POR EMISIÓN DE CALOR

3.1 Factores que determinan la temperatura en el medio

El transporte de energía provoca un aumento en la temperatura en el interior del cable y su cubierta. Parte del calor pasa al medio que lo rodea y que se encuentra en contacto directo con este. La transmisión de calor y la temperatura alcanzada en el medio que lo rodea depende de diversos factores (Taormina *et al.*, 2018):

- Tipo de cable y características físicas,
- Tipo de sustrato: granulometría, permeabilidad, conductividad térmica, resistencia térmica, etc., y
- Profundidad de enterramiento del cable.

En este caso, la instalación se proyecta sobre sustrato rocoso, sustrato arenoso y sustrato limoso. La instalación sobre sustrato rocoso lleva consigo la generación de una berma de protección con material con granulometría desde los 25 mm a los 125 mm, con una altura de 1,5 m. Es, por tanto, que la disipación de calor a causa del calentamiento del cable va a ser diferente según el tipo de sustrato en el que se instale.

La dispersión de calor desde la fuente (cable submarino) hacia al medio depende de las características del sustrato, fundamentalmente de la permeabilidad (resultado de la relación entre porosidad y tamaño de grano), que determina la capacidad de conductividad térmica del material. Se pueden distinguir dos tipos de materiales según su conductividad térmica: conductivos y convectivos. Los materiales más permeables son convectivos mientras los menos permeables son conductivos. Los sedimentos arenosos se encuentran en el límite entre material conductivo y convectivo (Brakelmann y Stammen, 2017; Emeana *et al.*, 2016; Hughes, 2016).

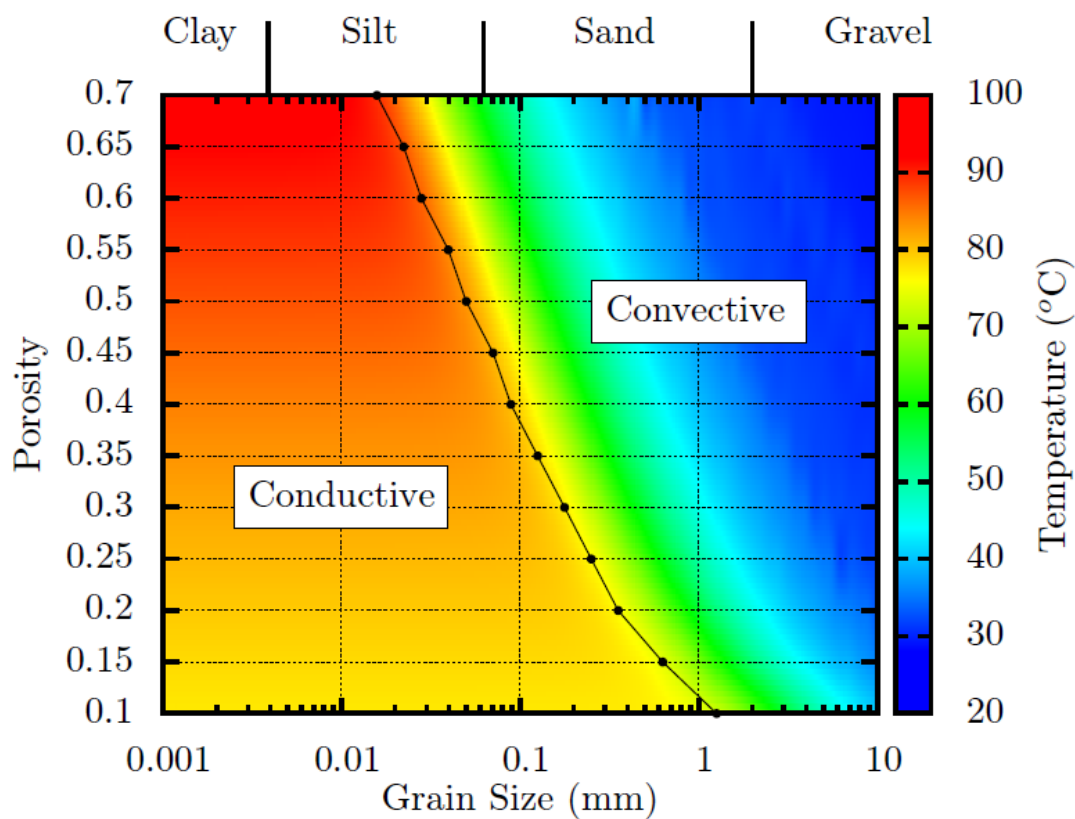


Figura 1. Dependencia de la temperatura del conductor según el sustrato del que se rodea.
Fuente: Hughes (2016).

En este estudio se hace a su vez hincapié en la influencia en la transferencia del calor producido por la presencia del cable, la homogeneidad del sedimento y la profundidad de enterramiento. En las técnicas que conllevan la apertura de zanjas en las que el sedimento que cubre el cable es el removido para su posterior deposición, sucede que ese material removido genera capas de sedimento de naturaleza heterogénea. La heterogeneidad generada afecta directamente a las propiedades del sedimento como la porosidad y, por tanto, la permeabilidad. Esto supone una afección a la efectividad en la transferencia de calor.

En el estudio previamente mencionado se modeliza la transferencia de calor para diferentes escenarios de tipo de enterramientos:

- Sustrato homogéneo,
- Sustrato heterogéneo causado por la instalación del cable en zanjas,

- Capa de baja permeabilidad de 10 cm de espesor en la superficie del sustrato donde se entierra el cable,
- Cable instalado a 50 cm por debajo de una capa de material de relleno.

En la modelización de cada escenario se usaron diferentes tamaños de grano del sedimento, porosidad y permeabilidad, para cables enterrados a 1 m de profundidad.

Como resultado de la modelización, la capa más superficial del sedimento muestra temperaturas de 10°C superiores a la temperatura ambiente, para una temperatura del conductor de 80°C para todos los escenarios. En los casos de mayor permeabilidad del sedimento, la temperatura del cable disminuye debido al enfriamiento conductivo (disipación conductiva), no obstante, el transporte de calor se da en dirección ascendente afectando a mayor espesor de sedimento. Esto genera mayores gradientes de temperatura con respecto a la temperatura ambiente en sedimentos de mayor permeabilidad.

En este sentido Emeana *et al.*, (2016), determina el incremento de la temperatura con respecto a la temperatura ambiente provocada por un cable submarino, según el tipo de sedimento y la temperatura alcanzada por la fuente de calor (superficie del cable). El tamaño de grano usado para la modelización del incremento de la temperatura en el sustrato en este estudio va desde el limo grueso (0.045 mm), arena fina (0.20 mm) hasta arena muy gruesa (1.23 mm). Los resultados obtenidos para limo grueso (material puramente conductivo), muestran un incremento de la temperatura sobre la temperatura ambiente mayor a 10°C para una fuente de calor de 60°C y a una distancia de 40 cm desde la fuente. En el caso de arenas finas y con una fuente de calor a 55°C, se determinaron diferencias mayores a 10°C a un metro por encima de la fuente. Por último, para la arena muy gruesa donde la transferencia de calor es conductiva el incremento de temperatura se determinó incluso en 18°C por encima de la temperatura ambiente a una distancia de 1 metro.

En cuanto al incremento de la temperatura en el sedimento a causa de cables submarinos y su afección a la fauna bentónica, la agencia alemana "Federal Maritime and Hydrographic Agency", establece la evaluación del efecto mediante la aplicación del criterio 2 K. Este criterio se basa en que la diferencia entre la

temperatura a un punto a 20 cm de profundidad del sedimento no supere en 2°C la temperatura ambiente.

Sobre este criterio se evaluó el incremento de la temperatura en el sedimento en la instalación de un cable submarino utilizando modelizaciones FEM, según el tipo de cable y para un sedimento de 1.43 W/K m (ver Tabla 2) de conductividad térmica (sustrato arcillo-arenoso) y con un enterramiento previsto de 1.5 metros de profundidad. La temperatura del ambiente establecida para la modelización y la evaluación del incremento de temperatura causada por el cable es de 15°C. En este estudio de Brakelmann y Stammen (2017) se modelizan 12 casos diferentes, para diferentes tipos de cables HVDC con potencia de 525 kV. Los tipos de cables y temperaturas de operación tenidos en cuenta en dicho estudio son los siguientes:

- XLPE 1800 Cu, 70°C
- XLPE 1600 Cu, 70°C
- XLPE 2500 Al, 70°C
- XLPE 2000 Al, 70°C
- MIND 2000 Cu, 55°C
- MIND 1800 Cu, 55°C

El objetivo de la modelización es el de establecer el espesor de la capa de sedimento a depositar sobre el cable necesario para no sobrepasar el incremento de 2°C en los 20 cm por debajo de la superficie de este. En la Tabla 2 se muestra las propiedades térmicas de suelos saturados de agua.

Tabla 2. Propiedades térmicas de suelos saturados de agua. Fuente: Smolczyk (2001).

Propiedades Térmicas de sustratos saturados	Mín. conductividad térmica W/(K m)	Máx. conductividad térmica W/(K m)	Máx. resistencia térmica específica W/(K m)	Mín. resistencia térmica específica W/(K m)
Grava	2.00	3.30	0.50	0.30
Arena	1.50	2.50	0.67	0.40
Arcilla	0.90	1.80	1.11	0.56
Limo	1.4	2.00	0.71	0.50

Como resultado se obtuvo que el mayor incremento de temperatura se da en el caso de modelización de dos cables MIND 2000 Cu con una diferencia de 1.57°C para una capa de sedimento de 1.15 m.

El resultado de este estudio en la modelización de dispersión de la temperatura de un cable XLPE 1800 Cu, al igual que el cable a emplear en la zona de aterraje del PHD en la zona de Bakio-Lemóniz, la diferencia de temperatura a 20 cm de profundidad es de 0.51°C y una profundidad de enterramiento 0.40 m para una conductividad del sedimento de 1.43 W/K m.

Como última referencia al incremento de temperatura, en medidas realizadas en campo para un caso de cables submarinos en funcionamiento, en este caso de 132 kW y de corriente alterna, la máxima diferencia de temperatura entre el sustrato donde se encuentra instalado el cable y una estación de control fue de 2.5°C. (Meißner *et al.*, 2006).

3.2 Simulación de calor en el marco del presente proyecto.

Los equipos de RTE (2019) realizaron simulaciones teniendo en cuenta un solo cable, operando a su temperatura máxima a una profundidad de 1 m (enterramiento mínimo especificado a lo largo del trazado submarino).

Para evaluar las condiciones más estrictas para este estudio de impacto, se consideró la temperatura máxima más alta producida en el núcleo de un cable aislado sintéticamente (XLPE), es decir, aproximadamente 70°C.

Se simularon dos temperaturas de superficie de los fondos: 15°C y 18°C. En la Figura 2 se muestra el resultado de la simulación en un ambiente de 15°C, se pueden observar las isotermas de estado estacionario para la temperatura máxima de funcionamiento del cable.

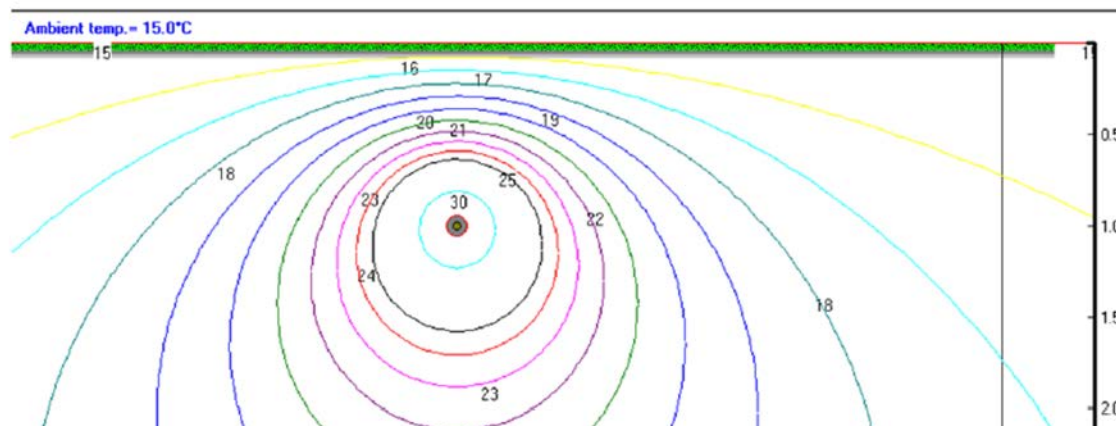


Figura 2. Simulación de la radiación térmica alrededor de un cable con aislamiento XPLE, funcionando a la temperatura máxima (70°C), enterrado a 1 m de profundidad y en un ambiente marino a 15°C. Fuente: RTE (2019)

En las condiciones ambientales simuladas, la temperatura de los fondos directamente encima del cable aumenta:

- un máximo de +3 °C a una profundidad de 30 cm, sobre una distancia horizontal de aproximadamente 30 cm a cada lado del eje del cable;
- en un máximo de +5°C a una profundidad de 50 cm, sobre una distancia horizontal de aproximadamente 50 cm a cada lado del eje del cable.

Estos valores máximos se simulan para un ambiente a 15°C y una resistividad térmica máxima del sedimento de 1m/W. En la superficie de los sedimentos del cable, la temperatura se aproxima a la del ambiente para todas las simulaciones realizadas, a más o menos 1°C.

3.3 Aplicación al ámbito del Proyecto Interconexión Eléctrica España - Francia por el Golfo de Bizkaia

El trazado del cable submarino se proyecta en diferentes tipos de sustrato y en consecuencia la instalación conlleva diferentes técnicas para el enterramiento de este. Un primer tramo donde se llevará a cabo la PHD hasta su salida al medio marino a través de sustrato rocoso, otra técnica a aplicar es *rock dumping* donde se proyecta una berma de protección del cable de 1.5 m de alto. El material para la generación de la berma va desde los 25 mm a los 125 mm. Por otro lado, la

instalación del cable en fondo arenoso se prevé la realización de zanja por medio de *jetting/ploughing*, donde la apertura de la zanja remueve el sedimento hasta llegar a 1.5 metros de profundidad. Para aquellas zonas donde el sustrato se caracterice por ser irregular con afloramientos rocosos y parches arenosos, se prevé que el cable se proteja mediante *rock dumping* sin ir enterrado en el sustrato.

Para la caracterización del bentos, de la zona a instalar el cable, se llevó a cabo una serie de muestreos de sedimento y determinación granulométrica. Las siguientes figuras (Figura 2 y Figura 3) y la Tabla 3, se muestran las localizaciones y los resultados de la caracterización granulométrica realizada en la zona de estudio en sustratos sedimentarios.

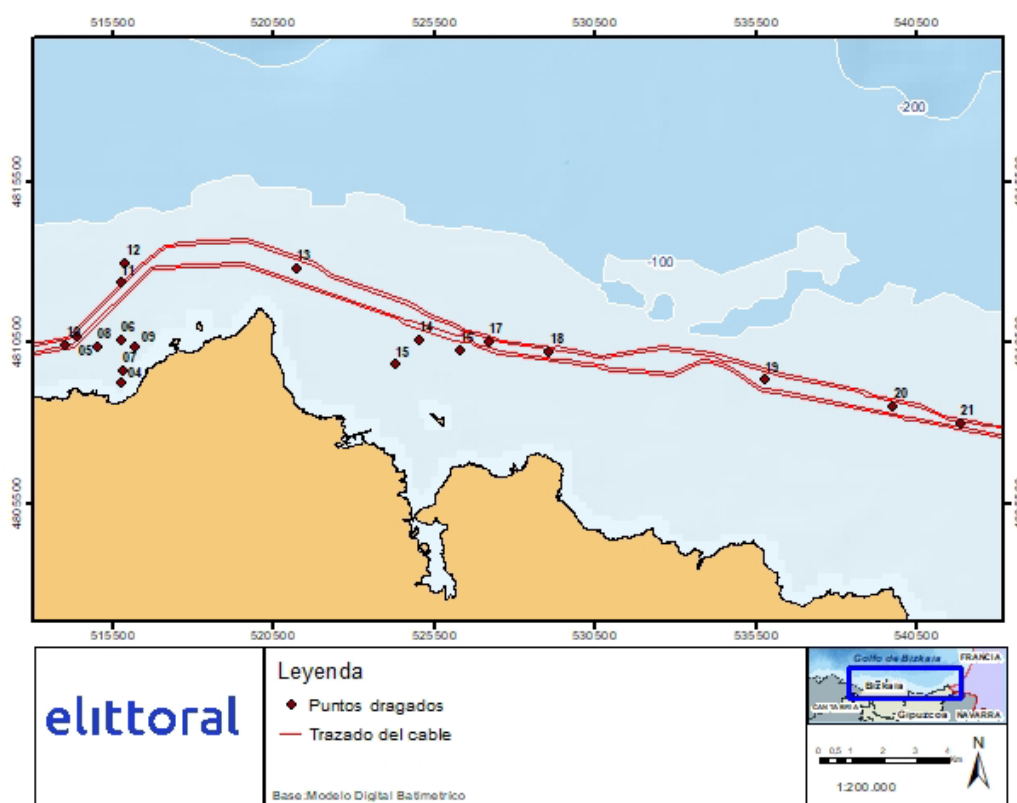


Figura 3. Estaciones de dragado en el sector occidental del trazado del cable.

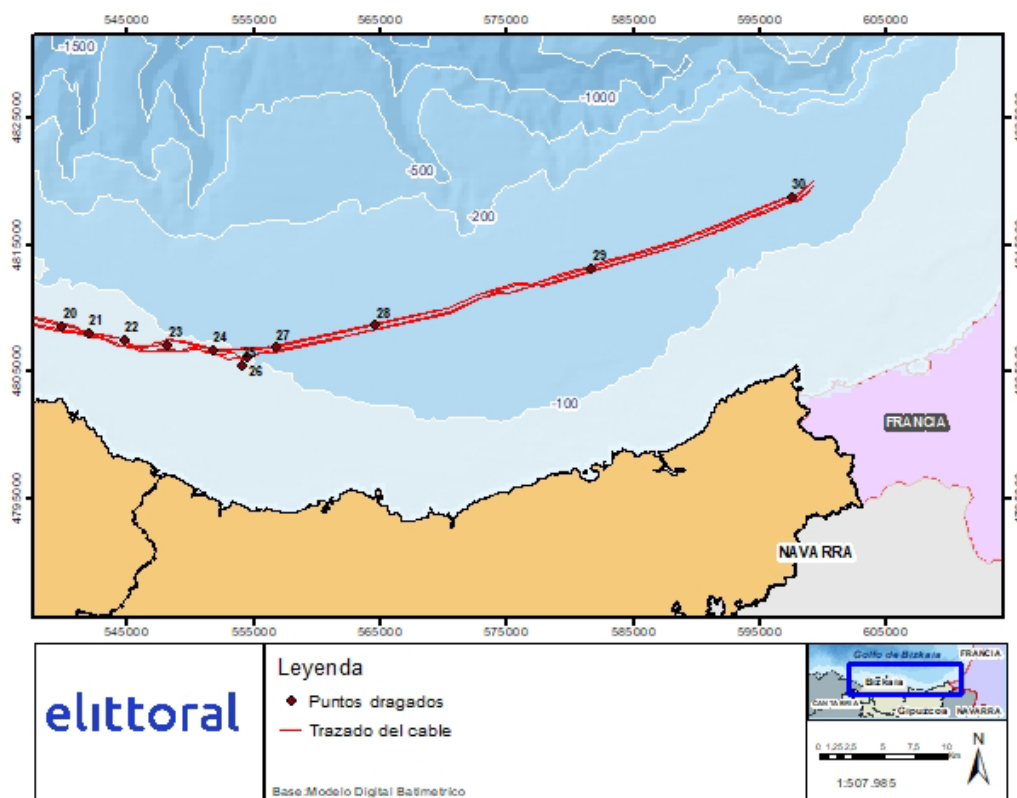


Figura 4. Estaciones de dragado en el sector oriental del trazado del cable.

Tabla 3. Caracterización granulométrica de la zona ámbito de instalación del cable submarino según clasificación Wentworth (1922) y Folk y Ward (1957).

Estación	D50 (μm)	Tipo de Sustrato
P1	557.5	Arena media
P2	135.2	Arena muy fina
P3	591	Arena gruesa
P4	300	Arena media
P5	566.9	Arena gruesa
P6	147.5	Arena fina
P7	176.9	Arena fina
P8	88.48	Arena muy fina
P9	152	Arena fina
P10	84.93	Arena muy fina
P11	852.7	Arena gruesa
P12	269.6	Arena fina
P13	363.6	Arena media

Estación	D50 (µm)	Tipo de Sustrato
P14	105.8	Arena muy fina
P15	95.15	Arena muy fina
P16	96.78	Arena muy fina
P17	95.90	Arena muy fina
P18	96.13	Arena muy fina
P19	80.46	Limo muy grueso
P20	80.24	Limo muy grueso
P21	910.5	Arena gruesa
P22	820.6	Arena gruesa
P23	312	Arena media
P24	95.21	Arena muy fina
P25	314.9	Arena gruesa
P26	66.74	Limo muy grueso
P27	63.15	Limo muy grueso
P28	66.95	Limo muy grueso
P29	165.2	Arena fina
P30	87.47	Arena muy fina

Tal y como puede observarse en la tabla anterior, el sustrato sedimentario del ámbito donde se proyecta la instalación del cable submarino para interconexión eléctrica España-Francia, cuenta con diámetros de partículas medio dispares entre sí. Esto implica que la transmisión de calor en cada uno de ellos va a ser diferente, ya que como se ha expuesto en apartados anteriores, el incremento de la temperatura en el medio sedimentario que rodea el cable submarino depende fundamentalmente de la permeabilidad del sustrato que viene determinada por el tamaño de partícula, porosidad y homogeneidad de este.

A su vez, el incremento de temperatura en el sustrato en zonas rocosas donde se da la protección del cable mediante la generación de una berma, así como en las zonas donde se da realice la PHD, dependerá de las propiedades térmicas.

En algunas experiencias en la instalación de cables submarinos, la profundidad del enterramiento del mismo, así como el material para cubrirlo se diseña en función

de predicciones de comportamiento térmico del sustrato a partir de modelizaciones (Hughes, 2016; Meißner *et al.*, 2006; Worzyk, 2009).

3.4 Afección a la fauna marina

Según lo dispuesto anteriormente, el incremento de temperatura que se producirá en la superficie del lecho marino dependerá del tipo de sustrato en el cual se instale el cable. Así mismo, la afección a la fauna bentónica debida al aumento de temperatura dependerá del tipo de sustrato en el cual se asiente. En este proyecto, el trazado del cable discurre principalmente enterrado en sustratos sedimentarios (90%). El 10% del trazado que discurre por sustrato duro/rocoso va cubierto por una berma o *rock dumping*. La porosidad de esta estructura favorecerá la disipación del calor rápidamente, por lo que no es previsible que afecten a las comunidades bentónicas que colonicen este sustrato. Las principales comunidades afectadas por el aumento de temperatura debido al funcionamiento del cable serán las comunidades de infauna que habitan en sustratos sedimentarios no consolidados.

Las comunidades de infauna se encuentran en los primeros centímetros de profundidad del sedimento, dependiendo de las características fisicoquímicas del mismo, como por ejemplo la disponibilidad de oxígeno, materia orgánica, actividad microbiana, etc. Según Carrasco (2004) la gran mayoría de los organismos se concentran en los primeros centímetros de la superficie del sedimento (primeros 5 cm). No obstante, existen especies capaces de enterrarse hacia capas más profundas. Es por ello por lo que las autoridades ambientales de Alemania establezcan el *2K-criterion* (incremento de temperatura inferior a 2°C en los primeros 20 cm de sedimento) con el fin de reducir el impacto sobre la fauna bentónica.

Asimismo, el tipo de sustrato y tamaño de partícula determina el tipo de fauna característica del sedimento (infauna). Al igual que la caracterización granulométrica del sustrato, se llevó a cabo la caracterización de los sustratos según el tipo de hábitat a partir de las especies de infauna identificadas en cada estación. Para ello se aplicaron los criterios de clasificación de hábitats que fundamentan tanto la Guía Interpretativa del Inventario Español de Hábitats Marinos (IEHM), como los del European Nature Information System (EUNIS), los cuales aplican los mismos criterios de clasificación para los ecosistemas. En los

Anexos 10.9 y 10.10, se pueden consultar los mapas de hábitats elaborados como resultado de las campañas bentónicas y someras, respectivamente.

La afección sobre la fauna bentónica, debido al incremento de temperatura tiene como principal efecto el cambio en las características fisicoquímicas conllevando variaciones en el pH, perfil de concentración de oxígeno, perfil redox. Por otro lado, el incremento de la temperatura del sustrato significa un cambio en la actividad bacteriana y microbiológica. Todo ello conlleva una posible sustitución de unas especies bentónicas por otras en la adaptación a las nuevas condiciones (Emeana *et al.*, 2016; Meißner *et al.*, 2006; Taormina *et al.*, 2018). En el peor de los casos, el incremento de la temperatura del bentos, podría provocar la existencia de “black spot” a lo largo del recorrido del cable submarino (Meißner y Sordyl, 2006).

En la Tabla 4 se lista los hábitats determinados en función de las comunidades identificadas durante la campaña bentónica (Anexos 10.9 y 10.10). También se muestra la sensibilidad a la temperatura de acuerdo con la metodología *Marine Evidence based Sensitivity Assessment* (MarESA) (Tyler-Walters *et al.*, 2018). En términos generales, se observa que la sensibilidad a los incrementos de temperatura de los hábitats identificados es baja, tienen una resistencia media y una resiliencia alta.

A continuación, describimos la sensibilidad de las especies de infauna con mayor abundancia:

- *Nephtys hombergii* es característica de sustratos de arenas fangosas, tal y como se describe en el tipo de hábitat de la tabla anterior. Esta especie es tolerante y poco sensible a los cambios de temperatura locales crónicos, entendidos como cambios en la temperatura en un rango de 2°C durante un año (Budd y Hughes, 2005).
- *Virgularia mirabilis* tiene una tolerancia moderada a los cambios crónicos en la temperatura local y una resistencia media (Hill y Wilson, 2000).
- *Pecten maximus* la tolerancia pasa a ser intermedia y con baja sensibilidad (Hill & Tyler-Walters, 2016).
- *Owenia fusiformis* una de las especies identificadas en la caracterización de los fondos sedimentarios, presenta intolerancia baja y una sensibilidad baja a los incrementos de temperatura crónicos (Neal y Avant, 2008).
- *Aphelocheata marioni* tiene una sensibilidad muy baja (Rayment, 2007).

- *Corophium volutator* tiene una sensibilidad muy baja (Neal y Avant, 2006).

Tabla 4. Evaluación de la sensibilidad térmica de los hábitats de fondos blandos en el ámbito de estudio en fondos sedimentarios.

Hábitats EUNIS	Evaluación de la sensibilidad térmica		
	Resistencia	Resiliencia	Sensibilidad
A5.135. <i>Glycera lapidum</i> en gravas y arenas móviles empobrecidas infralitorales.	Media	Alta	Baja
	https://www.marlin.ac.uk/habitats/detail/1137		
A5.261. <i>Abra alba</i> y <i>Nucula nitidosa</i> en arenas fangosas circalitorales o en sedimentos mixtos ligeramente mezclados.	Media	Alta	Baja
	https://www.marlin.ac.uk/habitats/detail/62		
A5.2. Arenas sublitorales.	Igual que A5.261		
A5.26. Arenas fangosas circalitorales.			
A5.352 <i>Thyasira</i> spp. y <i>Nuculoma tenuis</i> en fangos arenosos circalitorales.	Media	Alta	Baja
	https://www.marlin.ac.uk/habitats/detail/1106		
A5.354. <i>Virgularia mirabilis</i> y <i>Ophiura</i> spp. con <i>Pecten maximus</i> en fangos arenosos o conchígenos del circalitoral.	Alta	Alta	No sensible
	https://www.marlin.ac.uk/habitats/detail/66		
A5.3 Fangos sublitorales.	Igual que A5.352		
A5.36. Fangos finos circalitorales.	Igual que A5.352		

Las especies de infauna más abundantes identificadas en sustratos sedimentarios no presentan figuras de protección a nivel regional, ni internacional.

En cuanto a la fauna bentónica en aquellos tramos donde el cable submarino es cubierto por una berma, la temperatura alcanzada, al igual que en el caso de sustrato sedimentario, va a depender de las propiedades térmicas del sustrato seleccionado para la generación de dicha berma. Probablemente, en este tipo de sustrato la porosidad y la distancia a la superficie será muy grande, por lo que la temperatura de la superficie de la berma no se incrementará debido al funcionamiento del cable

Cabe mencionar, que la afección ocasionada sobre el sustrato por un incremento de temperatura a causa del cable en operación, se limita al sustrato que rodea el

cable, lo cual se traduce en un área de afección estrecha y, por tanto, el impacto ocasionado sobre la fauna bentónica no se supone elevado y de gran importancia (*Taormina et al.*, 2018). Tomando con referencia la simulación de RTE, estimamos un buffer de 0.5m de radio en la vertical del cable como superficie afectada por el aumento de la temperatura. Teniendo esto en cuenta, se forman 4 pasillos de 1m de ancho a lo largo de 375 kilómetros en sustratos sedimentarios, que abarcan 67 ha del pasillo de detalle en el estudio de impacto, esto corresponde aproximadamente al 0.01% del área estudiada.

En cuanto al efecto sobre la epifauna, este va a depender a su vez de la temperatura alcanzada en la superficie del sustrato, que como se menciona a lo largo de este informe, depende fundamentalmente de las características del sustrato. En la fase de instalación, tanto en sustrato rocoso como sedimentario, se lleva a cabo una alteración de este. Esto ocurre tanto en sustratos rocosos y la generación de una berma o *rock dumping* para su protección como en la apertura de zanja. En estos casos de alteración de sustrato y afección al hábitat, se genera una recolonización.

Diferentes estudios donde se ha evaluado la evolución de la biota tras la instalación de cables submarinos HVDC, mostraron que las diferencias entre las comunidades biológicas existentes antes de la instalación y después durante la fase de operación, no resultaron ser significativas (*Andrulewicz et al.* 2003; *Pegg et al.*, 2015; *Williams et al.*, 2016). No obstante, se ha de tener en cuenta que el grado de afección depende de múltiples factores como se ha mencionado a lo largo del presente informe de evaluación.

4. CONCLUSIONES

El incremento de temperatura en el medio, generado por el cable submarino en funcionamiento, depende de las propiedades térmicas (conductividad térmica, resistencia térmica) del sustrato que lo rodea. Las propiedades térmicas del sedimento dependen a su vez de sus características físicas, como la permeabilidad, porosidad, tamaño de partícula, etc. Otros factores, como la profundidad de enterramiento del cable son determinantes en el incremento de la temperatura en la capa y superficie del sedimento. La modelización del comportamiento térmico del sedimento según el tipo y características térmicas del sedimento es una herramienta cada vez más utilizada a la hora de evaluar el incremento de temperatura en el medio y evaluar así el impacto generado y, en ocasiones, un criterio a la hora de emplear en el diseño del trazado y profundidad en el enterramiento de cables submarinos.

En cuanto a la afección a la fauna bentónica, esta viene determinada por la temperatura alcanzada, depende de la sensibilidad y resistencia de los diferentes hábitats y especies presentes en el ámbito de estudio. No obstante, es posible afirmar que los cambios de temperatura en el sustrato conllevan una alteración de sus propiedades fisicoquímicas y, por tanto, una alteración de la actividad bacteriana y microbiológica.

En base a los estudios teóricos recopilados en este informe se podrían prever incrementos de temperatura de hasta 10°C en las capas superficiales del lecho marino. Pero las simulaciones realizadas en el marco del presente estudio de impacto ambiental realizadas por RTE, solo estiman aumentos máximos de 3°C a 30 cm de profundidad y 1°C en la superficie del lecho marino. Teniendo en cuenta estos modelos, y puesto que la mayoría de las comunidades de infauna viven en los primeros 5 cm, el impacto que sufrirán los hábitats descritos en este estudio será mínimo. Además, según se muestra en la Tabla 4, los hábitats identificados tienen una alta tolerancia a los incrementos de temperatura. También hay que reseñar que la proporción de los hábitats que se verán afectados por el funcionamiento del cable es mínima, del orden del 0.01% del área estudiada.

Además, hay que poner los resultados de las simulaciones en perspectiva, ya que estas simulaciones se refieren a los valores de funcionamiento de los cables a las

temperaturas máximas. Sin embargo, estos "regímenes" sólo se lograrán ocasionalmente durante la fase operativa.

Por último, hay que mencionar que los hábitats identificados en sustratos sedimentarios se encuentran clasificados en "*European Red List Habitats. Part 1. Marine habitats*" (Gubbay *et al.*, 2016), como *Amenazados* los A5.26, A5.261, A5.36 y A5.325, y como *Vulnerable* el A5.135. La principal amenaza que tienen estos hábitats proviene de la pesca de arrastre y la contaminación. El impacto provocado por el incremento de la temperatura debido al funcionamiento del cable es mínimo, como se explicado más arriba. Además, la superficie que se verá afectada es insignificante con respecto a la totalidad del sustrato sedimentario de la plataforma continental vasca.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrulewicz, E., Napierska, D., & Otremba, Z. (2003). The environmental effects of the installation and functioning of the submarine SwePol Link HVDC transmission line: A case study of the Polish Marine Area of the Baltic Sea. *Journal of Sea Research*, 49(4), 337–345. [https://doi.org/10.1016/S1385-1101\(03\)00020-0](https://doi.org/10.1016/S1385-1101(03)00020-0).

Brakelmann, H., & Stammen, J. (2017). *Thermal Emissions of the Submarine Cable Installation Viking Link in the German AWZ*.

Budd, G. C., & Hughes, J. R. (2005). *Nephtys hombergii* A catworm. In Tyler-Walters H. and Hiscock K. (eds) Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Reviews, [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. Retrieved March 12, 2019, from <https://www.marlin.ac.uk/species/detail/1710>

Carrasco, F. D. (2004). *Biología Marina y Oceanografía: Conceptos y Procesos. Tomo I. Capítulo XV*. (C. Werlinger I., Ed.). Concepción: Gobierno de Chile, Consejo Nacional del Libro y la Lectura.

Chen, G., Member, S., Hao, M., Member, S., Xu, Z., Vaughan, A., ... Wang, H. (2015). Review of High Voltage Direct Current Cables. *Csee Journal of Power and Energy Systems*, 1(2), 9–21. <https://doi.org/10.17775/CSEJPES.2015.00015>

Emeana, C. J., Hughes, T. J., Dix, J. K., Gernon, T. M., Gernon, T. J., Thompson, C. E. L., & Pilgrim, J. A. (2016). The thermal regime around buried submarine high-voltage cables. *Geophysical Journal International*, 206(2), 1051–1064. <https://doi.org/10.1093/gji/ggw195>.

Gubbay, S., Sanders, N., Haynes, T., Janssen, J.A.M., Rodwell, J.R., Nieto, A., Gacia Criado, M., Beal, S., Borg, J., Kennedy, M., Micu, D., Otero, M., Saunders, G. and Calix M. (2016). *European Red List Habitats. Part 1. Marine habitats*.

Hill, J. M., & Tyler-Walters, H. (2016). [Virgularia mirabilis] and [Ophiura] spp. with [Pecten maximus] on circalittoral sandy or shelly mud. In Tyler-Walters H. and Hiscock K. (eds) Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key

Information Reviews, [on-line]. Plymouth: Marine Bi. Retrieved from <https://www.marlin.ac.uk/habitat/detail/66>.

Hill, J. M., & Wilson, E. (2000). *Virgularia mirabilis* Slender sea pen. In Tyler-Walters H. and Hiscock K. (eds) Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Reviews, [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. Retrieved from <https://www.marlin.ac.uk/species/detail/1396>.

Hughes, T. J. (2016). *Environmental Controls on the State of HV Cables under the Seafloor*. University of Southampton.

Liu, R. (2013). Long-distance DC electrical power transmission. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 29(5), 37–46. <https://doi.org/10.1109/MEI.2013.6585855>.

Marshall, C. E., & Wilson, E. (2008). *Pecten maximus* Great scallop. In Tyler-Walters H. and Hiscock K. (eds) Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Reviews, [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. Retrieved March 12, 2019, from <https://www.marlin.ac.uk/species/detail/1398>No Title.

Meißner, K., Schabelon, H., Bellebaum, J., & Sordyl, H. (2006). *Impacts of submarine cables on the marine environment*.

Meißner, K., & Sordyl, H. (2006). Ecological Research on Offshore Wind Farms: International Exchange of Experiences. Part B: Literature Review of the Ecological Impacts of Offshore Wind Farms., 290.

Neal, K. J., & Avant, P. (2006). *Corophium volutator* A mud shrimp. In Tyler-Walters H. and Hiscock K. (eds) Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Reviews, [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom.

Neal, K. J., & Avant, P. (2008). *Owenia fusiformis* A tubeworm. In Tyler-Walters H. and Hiscock K. (eds) Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Reviews, [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the

United Kingdom. Retrieved March 12, 2019, from <https://www.marlin.ac.uk/species/detail/1703>

Pegg, J. R., Dunham, A., Davies, S., Boutillier, J., Carolsfeld, W., & Murfitt, I. (2015). Effects of submarine power transmission cables on a glass sponge reef and associated megafaunal community. *Marine Environmental Research*, 107, 50–60. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.04.003>.

Rayment, W. J. (2007). *Aphelochaeta marioni* A bristleworm. In Tyler-Walters H. and Hiscock K. (eds) Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Reviews, [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. Retrieved March 12, 2019, from <https://www.marlin.ac.uk/species/detail/1556>.

Smoltczyk, U. (2001). *Grundbau-Taschenbuch-Teil 2: Geotechnische Verfahren*. 6. Taormina, B., Bald, J., Want, A., Thouzeau, G., Lejart, M., Desroy, N., & Carlier, A. (2018). A review of potential impacts of submarine power cables on the marine environment: Knowledge gaps, recommendations and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96(September), 380–391. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.026>.

Tyler-Walters, H., Tillin, H.M., d'Avack, E.A.S., Perry, F., Stamp, T. (2018). Marine Evidence-based Sensitivity Assessment (MarESA) – A Guide. Marine Life Information Network (MarLIN). Marine Biological Association of the UK, Plymouth, pp. 91. Available from <https://www.marlin.ac.uk/publications>

Williams, A., Sherwood, J., Ho, P., Whitely, B., Crockett, P., Gwyther, D., ... Chidgey, S. (2016). Installation and operational effects of a HVDC submarine cable in a continental shelf setting: Bass Strait, Australia. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 1(4), 337–353. <https://doi.org/10.1016/j.joes.2016.10.001>.

Worzyk, T. (2009). *Submarine power cables: design, installation, repair, environmental aspects*. Springer Science & Business Media.