Ciencia para las Políticas Públicas

¿Cómo gestionar los peligros submarinos?

Terremotos, deslizamientos y tsunamis

Coordinado por:
Gemma Ercilla Zárraga · Juan Tomás Vázquez Garrido
Jesús Galindo Zaldívar · Miguel Llorente Isidro · Ricardo León Buendía

CSIC
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
SCIENCE 4 POLICY

Ciencia para las Políticas Públicas

Informe de transferencia de conocimiento

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
SCIENCE 4 POLICY

Este es un libro de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).
Más información sobre esta licencia en https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Las noticias, los asertos y las opiniones contenidos en esta obra son de la exclusiva responsabilidad del autor o autores. La editorial, por su parte, solo se hace responsable del interés científico de sus publicaciones.

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:
https://cpage.mpr.gob.es

EDITORIAL CSIC: http://editorial.csic.es (correo: editorialcsic@csic.es)

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
EDITORIAL CSIC
SCIENCE 4 POLICY

Departamento de Comunicación
Gabinete de Presidencia
CSIC, Calle Serrano 117
28006 Madrid
Correo: science4policy@csic.es

NIPO: 155-26-007-2
e-NIPO: 155-26-008-8
Depósito legal: M-1872-2026

Edición no venal

Coordinadores:
Gemma Ercilla Zárraga
Juan Tomás Vázquez Garrido
Jesús Galindo Zaldívar
Miguel Llorente Isidro
Ricardo León Buendía

Coordinadores de la colección Ciencia para las Políticas Públicas:
Jorge Hernández-Moreno
Cindy Matos Ramos

Edición:
Marta García Gonzalo
Caja Alta Edición y Comunicación

Ilustraciones:
Freepress Coop

Diseño y maquetación:
David Pamplona Roche

Como citar este informe: Ercilla Zárraga, G., Vázquez Garrido, J. T., Galindo Zaldívar, J., & Llorente Isidro, Miguel. León, R. (Coords.). *¿Cómo gestionar los peligros submarinos? Terremotos, deslizamientos y tsunamis.* CSIC.

Impreso en España. *Printed in Spain*

En esta edición se ha utilizado papel ecológico sometido a un proceso de blanqueado ECF, cuya fibra procede de bosques gestionados de forma sostenible.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

El CSIC tiene entre sus funciones la de informar, asistir y asesorar en materia de ciencia y tecnología a entidades públicas y privadas, según recoge el artículo 5 de su estatuto. Enmarcado en esta función, el informe *¿Cómo gestionar los peligros submarinos? Terremotos, deslizamientos y tsunamis*, de la colección Ciencia para Políticas Públicas, se presenta como un documento dirigido a administraciones y a la sociedad en general. En él se explica qué son los peligros geológicos submarinos y cómo se clasifican en función de su origen, destacando terremotos, deslizamientos y tsunamis como los procesos con mayor capacidad de generar impactos severos en entornos costeros y marinos. Se advierte que el cambio climático pueder elevar la probabilidad de algunos de estos peligros. El informe explica la capacidad del CSIC para estudiar y monitorizar los tres peligros mediante tecnologías, modelos numéricos y una infraestructura científica de primer nivel. También subraya la necesidad de profundizar en la investigación, mejorar la monitorización del fondo marino y desarrollar modelos predictivos capaces de anticipar escenarios potenciales. Todo ello resulta fundamental para asesorar a las Administraciones en la gestión del riesgo geológico en el entorno marino y contribuir a una planificación más segura y sostenible.

Índice

uno

Fundamentos y tipología

1.1. Introducción: ¿qué son los peligros geológicos?

1.2. Relevancia y desafíos para la sociedad, la ciencia y las Administraciones

1.3. Tipologías, características claves y principales efectos

dos

El papel del CSIC en la gestión y mitigación de los peligros geológicos submarinos

2.1. Investigación y análisis

2.2. Actuaciones de monitorización, evaluación y pronóstico

2.3. Asesoramiento científico multinivel y multifactor: planificación territorial y gestión de desastres

2.4. Divulgación y concienciación social ante los peligros geológicos submarinos

tres

Conclusiones y recomendaciones

cuatro

Listado de centros

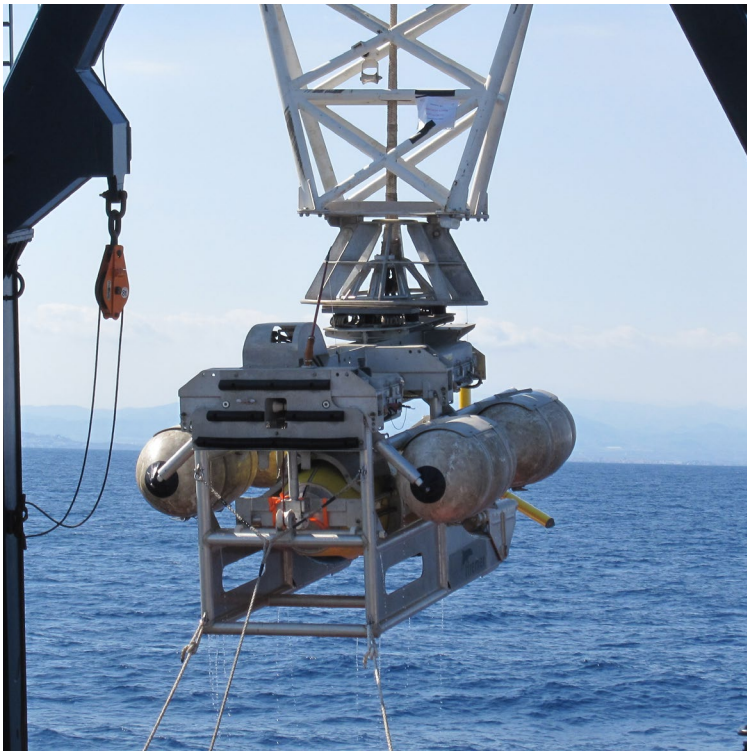
cinco

Para saber más

UNO

Fundamentos y tipología

Los peligros geológicos submarinos son fenómenos naturales que pueden provocar impactos significativos tanto en el medio marino como en las poblaciones cercanas a las costas. Por ello, comprender su naturaleza, frecuencia y características resulta fundamental para la gestión de riesgos, una tarea relevante no solo para la comunidad científica, sino también para las Administraciones y la sociedad en general. Terremotos, deslizamientos submarinos y tsunamis son los principales tipos de peligros, por lo que cabe destacar sus efectos característicos y los desafíos que plantean, además de algunos casos históricos.



Estructura de lanzamiento y recuperación para despliegue de un vehículo autónomo submarino.

1.1.

Introducción: ¿qué son los peligros geológicos?

Los fondos marinos son entornos geológicamente activos, escenarios de una constante interacción de fuerzas internas y externas de la Tierra. Esta actividad inherente al planeta da lugar a una serie de fenómenos que, por su naturaleza y potencial, se clasifican como peligros geológicos. Existen varias definiciones de *peligro geológico*. En este cuaderno, adoptamos la definición propuesta por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), que recoge una visión integradora y orientada a la gestión del peligro desde las ciencias de la Tierra. El IGME define los peligros geológicos como «aquellos fenómenos o condiciones en tierra o mar, de origen natural, inducidos por la actividad humana o resultantes de la interacción de ambos, que pueden causar daños y cuya predicción, prevención o corrección se apoya en el conocimiento geológico».

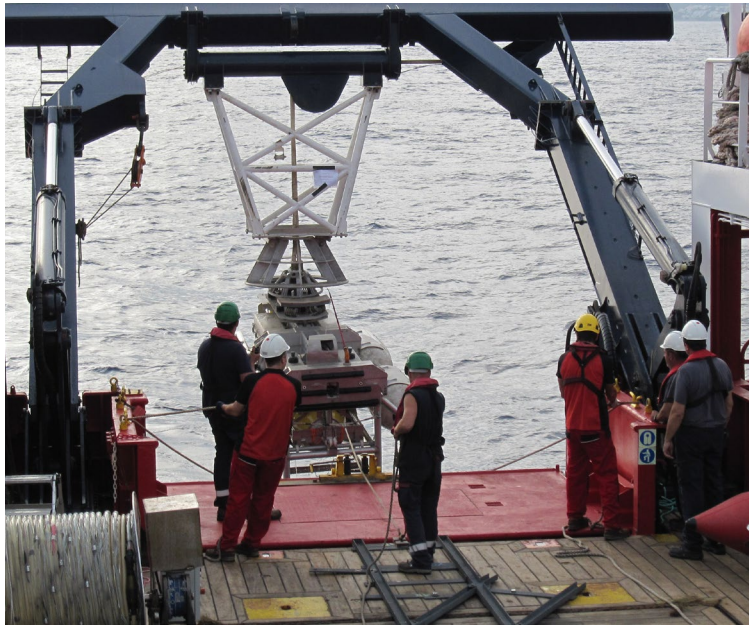
La clasificación de los peligros geológicos submarinos, al igual que en su contraparte terrestre, se basa fundamentalmente en su origen geodinámico. Los procesos de origen endógeno son aquellos vinculados a las fuerzas y los movimientos que tienen lugar en el interior de la Tierra. Ejemplos claros son los terremotos y el vulcanismo. Por su parte, los peligros de origen exógeno son aquellos que provienen de la dinámica externa del sistema terrestre. En esta categoría se incluyen fenómenos como los deslizamientos submarinos y las emanaciones o la presencia de gases en los sedimentos. Además, en el caso del mar resulta crucial entender que los procesos oceanográficos físicos también afectan al fondo marino. En este sentido, las mareas, las ondas internas o el oleaje extremo ejercen una influencia significativa sobre ese fondo. Estos fenómenos, aunque no son de origen geológico directo, pueden afectar la dinámica sedimentaria y alterar las propiedades mecánicas del sedimento, lo que, a su vez, puede actuar como un factor desencadenante para otros peligros, como los deslizamientos submarinos, la erosión y la migración de formas sedimentarias del fondo marino.

Si bien los tiempos de desarrollo de estos procesos pueden abarcar desde escalas geológicas —que se miden en milenios o millones de años— hasta otras más cercanas a la vida humana, su impacto, una vez que se desencadenan, suele ser repentino y de acción rápida. Esta disparidad entre la larga acumulación de energía o las lentas transformaciones y la súbita liberación de fuerza hace que el análisis, la predicción y la gestión de los peligros geológicos submarinos constituyan tareas de gran complejidad.

1.2.

Relevancia y desafíos para la sociedad, la ciencia y las Administraciones

La relevancia de los peligros geológicos submarinos radica en que constituyen una amenaza para la sociedad, las infraestructuras críticas y la integridad del medioambiente, sobre todo en un contexto de creciente ocupación del litoral y de desarrollo de actividades en el medio marino. Aunque ocultos bajo el mar, estos fenómenos pueden desencadenar consecuencias devastadoras. Ejemplos históricos como el tsunami de Sumatra (2004), el de Tōhoku (2011) —que causó el accidente nuclear de Fukushima I— o la erupción del Krakatoa (1883) demuestran su enorme capacidad destructiva. Más cerca de nuestro entorno, el terremoto y tsunami de Lisboa (1755), con epicentro en el golfo de Cádiz, es un recordatorio de la vulnerabilidad de nuestras costas. Este tsunami causó varios miles de muertes en España, principalmente en Cádiz, aunque no existe un número exacto documentado. Si ocurriera un evento similar hoy, se estima que más de 10 000 personas podrían verse directamente afectadas. Un tsunami en el Mediterráneo podría incluso triplicar esta cifra, sobre todo en temporada turística.



Operación con el pórtico de popa para despliegue de manera segura de un vehículo autónomo submarino.

Tabla 1 Ejemplos documentados de peligros geológicos submarinos a lo largo de la historia

Riesgo marino	Casos prehistóricos e históricos	Consecuencias
Terremotos relacionados con fallas sismogénicas	Terremoto de Japón de 2011 (océano Pacífico norte), de magnitud 9.	Provocó un tsunami de hasta 40 metros de altura. Casi 16 000 personas murieron y más de 400 000 edificios colapsaron. Originó el accidente nuclear de Fukushima I.
	Terremoto de Mesina de 1908 (Mediterráneo central), de magnitud aproximadamente 7,1, con epicentro en el estrecho de Mesina.	Fue uno de los terremotos más destructivos de Europa, con más de 80 000 víctimas. Un tsunami golpeó las costas pocos minutos después.
Deslizamientos	Deslizamiento de Grand Banks de 1929 (Atlántico Norte), provocado por un terremoto de magnitud 7,2.	Causó 28 víctimas y produjo el corte de 12 cables telegráficos submarinos transatlánticos en cadena.
	Deslizamiento de Storegga (mar de Noruega), ocurrido hace unos 8200 años.	Generó un tsunami con olas de hasta 20 metros que golpeó la costa oeste de Noruega, Escocia, Shetland y las islas Feroe. Es posible que destruyera asentamientos humanos.
Tsunamis	Tsunami del banco de Gorringe de 1755 (océano Atlántico), con olas de hasta 10 metros, vinculado al terremoto de Lisboa, Portugal (magnitud 8,6).	Se considera la mayor catástrofe natural registrada en Europa. En la capital lusa causó varias decenas de miles de víctimas.
	Tsunami del océano Índico de 2004, con olas de hasta 34 metros, provocado por un terremoto (magnitud 9,3).	Fue de los peores tsunamis de la historia moderna, con 227 898 víctimas.

CONTINÚA EN LA PÁGINA SIGUIENTE.

Tabla 1 Ejemplos documentados de peligros geológicos submarinos a lo largo de la historia *(continuación)*

Riesgo marino	Casos prehistóricos e históricos	Consecuencias
Escape de fluidos (gas, lodo y diapirismo de sal)	Formación de depresiones en el fondo marino frente a Patras y Aigion (norte del Peloponeso, Grecia).	Estas depresiones liberaron gas antes del terremoto (magnitud 5,4) del 14 de julio de 1995.
	Escape incontrolado de gas durante perforaciones de exploración en el mar del Norte (1963 y 1990).	Provocó cambios significativos en el relieve del fondo marino en un corto período.
Erosión, socavación y movilidad del fondo marino por corrientes de fondo	Socavación del fondo marino en el parque eólico de Arklow Bank (mar de Irlanda).	Resultó afectado por el desplazamiento general del fondo marino, la migración de canales y la socavación causada por fuertes corrientes (de más de 2 metros por segundo).
	Roturas de oleoductos submarinos en el delta del río Misisipi y el golfo de México.	La socavación producida por corrientes provocó que las tuberías quedaran sin soporte.

Para la sociedad, el principal desafío es la percepción del peligro. Mientras que los terremotos o los tsunamis han calado en el imaginario colectivo, otros fenómenos, como los deslizamientos submarinos siguen siendo casi desconocidos, pese a que su capacidad destructiva puede ser equivalente. Esta falta de percepción del riesgo se traduce en una escasa preparación, tanto ciudadana como institucional, frente a estos eventos. Además, la creciente concentración de población en zonas costeras —con más de 20 millones de personas en España— aumenta la exposición a las amenazas de los peligros geológicos submarinos. Las regiones litorales se han consolidado como núcleos clave de desarrollo económico y social, lo que las convierte, a su vez, en áreas especialmente vulnerables ante estos peligros.

Desde la perspectiva científica, uno de los principales desafíos es el estudio y monitoreo de estos peligros. La investigación en ambientes marinos profundos requiere tecnologías costosas y complejas, lo que limita la observación directa y la recolección de datos continuos. Aun así, se están dando pasos significativos: cartografías de alta resolución del fondo marino, estudios de sedimentos, ensayos de laboratorio y modelos numéricos permiten reconstruir eventos pasados y simular escenarios futuros. Particular atención merece la investigación de los peligros en cascada —por ejemplo, un terremoto que desencadena un deslizamiento, que a su vez genera un tsunami—, ya que estos encadenamientos pueden multiplicar los efectos y complicar aún más su anticipación.

En paralelo, el cambio climático introduce nuevos factores de incertidumbre. El deshielo, los cambios del nivel del mar y las alteraciones en las dinámicas oceanográficas pueden incrementar la frecuencia y/o magnitud de algunos procesos geológicos submarinos. Por ejemplo, posibles reajustes isostáticos tras la pérdida de masa glaciar podrían inducir terremotos, mientras que los cambios en la estabilidad de los sedimentos marinos podrían favorecer la ocurrencia de deslizamientos. Estos vínculos requieren una investigación más profunda, con un enfoque multidisciplinar e interinstitucional.

Para las Administraciones públicas, el principal desafío es integrar este conocimiento emergente en la toma de decisiones. La planificación territorial, la gestión de emergencias, la ordenación del litoral y las políticas de infraestructuras deben incorporar los peligros geológicos marinos como variables clave. La exposición de infraestructuras críticas —como puertos, aeropuertos, plantas industriales, piscifactorías, cables submarinos, gasoductos y zonas residenciales— a estos fenómenos exige una evaluación del peligro rigurosa y basada en la mejor evidencia científica disponible.

Además, las propias actividades humanas pueden generar o intensificar peligros geológicos. La construcción de islas artificiales, la explotación de recursos, el dragado de la superficie del fondo marino, la minería submarina o la instalación de estructuras fijas pueden alterar la estabilidad del terreno submarino y desencadenar procesos peligrosos que, en condiciones naturales, podrían no haberse desencadenado. Por tanto, se requiere una política claramente preventiva, que incluya evaluaciones geológicas desde la fase inicial de los proyectos.

En este contexto, la cooperación entre ciencia, sociedad y Administración resulta crucial. Afrontar estos desafíos requiere una acción coordinada, basada en el conocimiento científico, respaldada por decisiones políticas firmes y apoyada por una ciudadanía consciente. La inversión en conocimiento, prevención y adaptación no solo reducirá el riesgo futuro, sino que también favorecerá un aprovechamiento más seguro y sostenible los recursos y las oportunidades que ofrece el medio marino.

1.3.

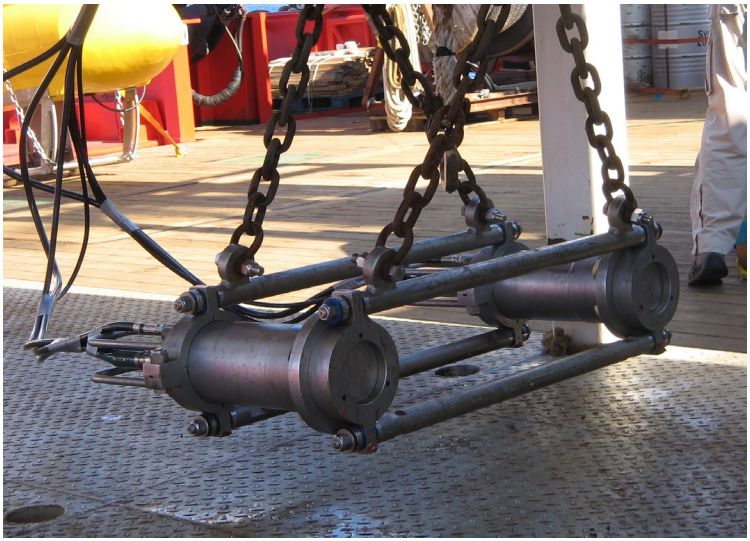
Tipologías, características claves y principales efectos

Los peligros geológicos submarinos incluyen fenómenos como terremotos, deslizamientos y tsunamis, que difieren en su origen, dinámica y consecuencias para el entorno marino y litoral. Por ello, comprender las tipologías y características clave de estos eventos es esencial para evaluar riesgos, planificar medidas de prevención y reducir impactos sobre infraestructuras, ecosistemas y poblaciones.

Terremotos

Un terremoto es una liberación súbita de energía acumulada en la corteza terrestre que se propaga en todas las direcciones mediante ondas sísmicas. Su origen suele estar asociado a zonas de falla y regiones volcánicas. La mayoría de los sismos son superficiales —los más destructivos— y se producen a profundidades menores de 70 kilómetros, aunque también pueden registrarse a profundidades de hasta unos 700 kilómetros. Los terremotos se generan por el movimiento continuo de las placas litosféricas, que se acomodan mediante deformación dúctil o frágil en sus límites y dan lugar a fallas geológicas. Muchos de estos límites se localizan en dominios marinos y se clasifican en tres tipos principales: **divergentes**, donde se genera litosfera oceánica (como en las dorsales del Atlántico, el Pacífico o el Índico); **convergentes**, donde se destruye la litosfera por subducción (como en las zonas de Nazca, el Caribe o Japón); y **transformantes**, que conectan segmentos de los otros dos tipos, de forma que permiten desplazamientos laterales (como la falla de Gibbs o la del mar Muerto).

Las fallas geológicas son fracturas naturales en las rocas de la corteza terrestre con desplazamiento relativo entre bloques. En el contexto de los terremotos, este desplazamiento, conocido como *salto de falla*, responde a la necesidad de liberar esfuerzos tectónicos acumulados. Se clasifican en tres grandes tipos según el tipo de salto de falla: **fallas normales**, donde el bloque superior se hunde; **fallas inversas,** donde el bloque superior asciende; y **fallas de desgarre**, donde los bloques se desplazan lateralmente (dextra o sinistra). También existen fallas de comportamiento mixto, que combinan distintos tipos de desplazamiento.



Cañones de aire para sísmica, una fuente de energía empleada en estudios de geología marina para obtener imágenes y caracterizar la estructura del fondo y del subfondo marino.

Entre las **características clave** de una falla destaca el tipo de material que afecta, ya que este influye en su comportamiento y en su potencial para generar terremotos. Las fallas que atraviesan rocas rígidas —como ígneas, metamórficas o carbonatadas— acumulan deformación elástica hasta que superan el umbral de ruptura, momento en el que liberan la energía en forma de terremoto. Por el contrario, en rocas poco resistentes, aunque pueda haber una gran actividad tectónica, no se generan sismos significativos. Además, las fallas presentan un comportamiento frágil-dúctil en función de la profundidad. En niveles superiores, tienden a ser frágiles y sísmicamente activas, mientras que en profundidad la deformación es más continua y dúctil. Las fallas submarinas más peligrosas son aquellas que afectan a rocas rígidas, se localizan a poca profundidad, tienen una gran extensión y generan deformación vertical del fondo oceánico, sobre todo las fallas normales e inversas.

Otra característica es el modo de desplazamiento. Las fallas activas pueden experimentar desplazamiento asísmico (lento y sin terremoto) o sísmico, que libera la energía acumulada de forma brusca. Estas últimas son conocidas como *fallas sísmicas* y constituyen un peligro geológico de primer orden.

La tipología y las características de las fallas se determinan mediante estudios interdisciplinarios que integran métodos geológicos (reconocimiento de estructuras), geofísicos (análisis del subsuelo y de la actividad sísmica) y geodésicos (deformación del terreno). Muchas de estas fallas cruzan el límite entre la tierra y el mar, lo que permite su análisis conjunto mediante técnicas terrestres y marinas. Para llevar a cabo una evaluación completa es necesario profundizar en su conocimiento mediante tecnologías modernas que permitan caracterizar con precisión su geometría, su historia tectónica y la cronología de eventos. La incorporación de sistemas de monitorización continua —mediante sismómetros, acelerómetros o inclinómetros— permite conocer el estado de esfuerzos acumulados en fallas críticas. Esta información resulta esencial para el diseño de sistemas de alerta temprana y contribuye a mitigar los impactos asociados a los efectos sísmicos y geodinámicos de las fallas submarinas activas.

El **principal efecto** de un terremoto es la vibración del terreno y su deformación. Además de estos efectos directos, los terremotos pueden provocar consecuencias secundarias devastadoras para la población y las infraestructuras costeras y marinas, lo que los convierte en el principal peligro geológico de origen interno. Por ello, para evaluar la peligrosidad de las fallas submarinas es fundamental considerar su proximidad a zonas emergidas, ya que los movimientos sísmicos pueden propagarse hacia tierra firme y causar importantes deformaciones del terreno. Además, cuando las fallas son capaces de transmitir el desplazamiento tectónico y la deformación cosísmica, se pueden desencadenar deslizamientos submarinos, tanto por la sacudida del terremoto como por la inestabilidad asociada a escarpes de falla con pendientes pronunciadas. Estos procesos pueden, asimismo, perturbar significativamente la columna de agua y dar lugar a tsunamis con alto potencial destructivo.

Los principales efectos de las fallas sísmicas submarinas han quedado registrados en eventos históricos de gran magnitud y elevado impacto humano y económico. El terremoto de Valdivia (Chile, 1960, magnitud 9,5) causó más de 5700 víctimas. El de Sumatra (2004, magnitud 9,3) provocó un tsunami que afectó a más de 14 países y se saldó con cerca de 230 000 víctimas mortales. El

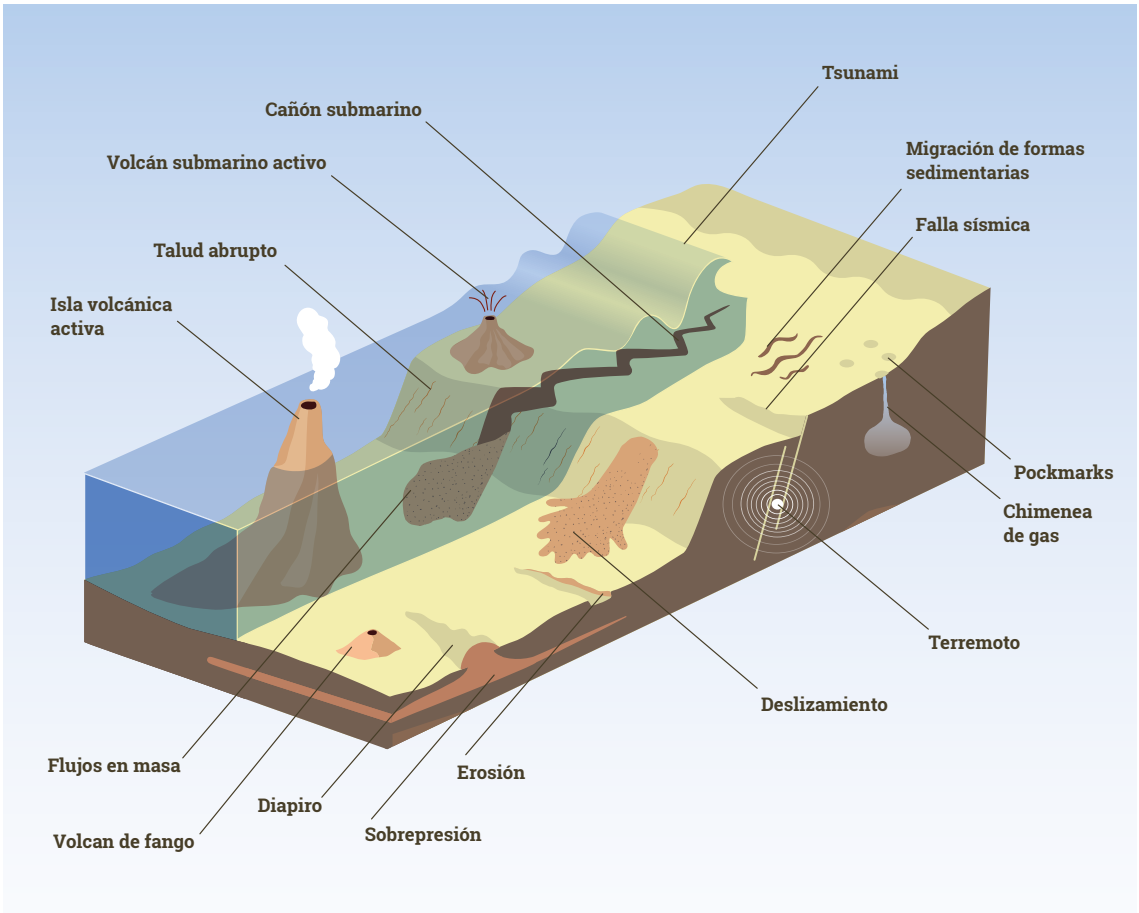
de Tōhoku (Japón, 2011, magnitud 9,1) dejó casi 16 000 fallecidos y desencadenó una crisis nuclear. Estos eventos se localizaron en zonas de subducción (límites convergentes), donde la acumulación de esfuerzos es máxima.

En el contexto español, la actividad sísmica se distribuye de forma desigual. El golfo de Cádiz y el mar de Alborán son zonas con un elevado riesgo sísmico, porque en esa región las placas tectónicas de África y Eurasia chocan de manera oblicua, con una orientación aproximadamente noroeste-sureste. Este movimiento, aunque muy lento —de apenas 2 a 5 milímetros al año—, acumula energía que puede liberarse en forma de terremotos. En el golfo de Cádiz destaca la falla dextra SWIM *(southwest Iberian margin)*, que está conectada al este con estructuras compresivas del Rif. Otras fallas activas, como la del banco de Gorringe o la de Herradura, tienen potencial de generar terremotos de magnitud entre 8,3 y 9, como el que provocó el tsunami de Lisboa en 1755.

En el mar de Alborán, las fallas más activas son las transcurrentes sinistras —fracturas horizontales en la corteza terrestre donde los bloques se deslizan lateralmente en sentido izquierdo—, como la de al-Idrissi. Esta falla puede generar terremotos de magnitudes superiores a 7 y ha estado implicada en eventos sísmicos como el terremoto de Alhucemas (Mediterráneo suroccidental) de 1993-1994 y la crisis sísmica de 2016, que alcanzó una magnitud de 6,3 y provocó 26 heridos, además de daños materiales en Melilla valorados en 11,9 millones de euros. También se identifican fallas inversas y normales dextras en Averroes, Campo de Dalías o Balanegra, que estuvieron implicadas en sismos históricos como el de 1993. Al este, el margen de Alicante presenta fallas como la de San Miguel de las Salinas y la del Bajo Segura.

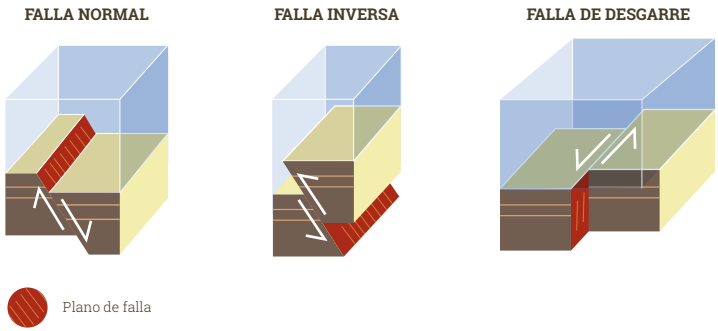
En otras regiones, como Cataluña, Asturias o Galicia, también se detecta actividad sísmica asociada a fallas, aunque con menor intensidad. Por otra parte, en Canarias, perteneciente a la placa de Nubia, la sismicidad responde a un régimen diferente al del sur peninsular.

Figura 1 Representación de los procesos y estructuras geológicas en el fondo y subfondo marinos que pueden representar un peligro para la sociedad



Fuente: Ercilla *et al.*, 2021

Figura 2 Tipos de fallas



Deslizamientos

Los deslizamientos submarinos son movimientos en masa de sedimentos y rocas que ocurren en el fondo marino, impulsados por la fuerza de la gravedad y que presentan una gran complejidad por su dinámica y diversidad morfológica y sedimentológica. No se trata de un único tipo de movimiento, sino de procesos que pueden combinar distintos mecanismos en una misma secuencia temporal y espacial. Los movimientos más comunes son, por un lado, los deslizamientos en masa, que implican el desplazamiento coherente de una masa a lo largo de una superficie de deslizamiento o plano de cizalla, y, por otro, los flujos gravitacionales, en los que sedimentos mezclados con agua forman una mezcla densa y turbulenta. Entre estos flujos destacan las avalanchas de derrubios, los flujos en masa y los flujos turbidíticos. En muchos casos, un evento comienza como un deslizamiento y, al incorporar agua durante el movimiento, evoluciona hacia un flujo en masa o turbidítico.

Su tamaño es muy variable: existen desde deslizamientos pequeños, que movilizan pocos metros cúbicos de sedimento, hasta otros gigantescos, que desplazan cientos o miles de kilómetros cúbicos y recorren distancias de varios cientos de kilómetros. Por ejemplo, el deslizamiento de Nuuanu, en Hawái, es uno de los mayores conocidos, con un volumen estimado de unos 5000 kilómetros cúbicos. En los flancos submarinos de las islas Ca-

narias, se han identificado deslizamientos de menor volumen —de varios cientos de kilómetros cúbicos—, pero que recorren distancias enormes, de hasta 700 kilómetros, equivalentes a la que separa los Pirineos de Almería. En el Atlántico nororiental, el deslizamiento de Storegga, frente a Noruega, afecta a una extensión del fondo marino cercana a los 90 000 kilómetros cuadrados, comparable a la superficie de Castilla y León.

Los deslizamientos constituyen uno de los peligros geológicos más frecuentes en el medio marino. Se encuentran en prácticamente todos los océanos y mares, y son más habituales en zonas con pendientes pronunciadas, como taludes continentales, cañones submarinos y flancos volcánicos de islas. Aunque algunos taludes presentan pendientes suaves, incluso de uno o dos grados, bajo ciertas condiciones pueden volverse inestables y desencadenar deslizamientos.

Una de las características clave de los deslizamientos submarinos es su complejidad, resultado de un control multifactorial: rara vez se deben a una única causa y suelen desencadenarse debido a la interacción entre factores precondicionantes y detonantes. Los precondicionantes actúan a largo plazo debilitando el terreno y comprenden las pendientes elevadas, la acumulación rápida de sedimentos, la erosión en la base del talud, la sobrepresión de poros causada por fluidos o gases, la disociación de hidratos o la presencia de capas débiles y flujos ascendentes. Por otro lado, los detonantes son eventos puntuales que desestabilizan un equilibrio frágil, tales como terremotos, tormentas intensas, actividad volcánica e incluso actividades humanas, como perforaciones e instalaciones submarinas.

El cambio climático introduce nuevos factores de incertidumbre y actúa como potenciador de procesos geológicos que afectan la estabilidad del fondo marino. El calentamiento de las aguas profundas puede inducir la disociación de hidratos de gas, lo que incrementa la sobrepresión de poros y debilita los sedimentos. Por su parte, los cambios en el nivel del mar, la salinidad y la circulación oceánica modifican el equilibrio físico-químico de los

sedimentos y provocan inestabilidad en zonas antes seguras. A su vez, fenómenos extremos, un mayor aporte sedimentario y la erosión basal también aumentan el riesgo de deslizamientos, lo que complica la evaluación del peligro y eleva la probabilidad de ocurrencia en un contexto de cambio climático acelerado.

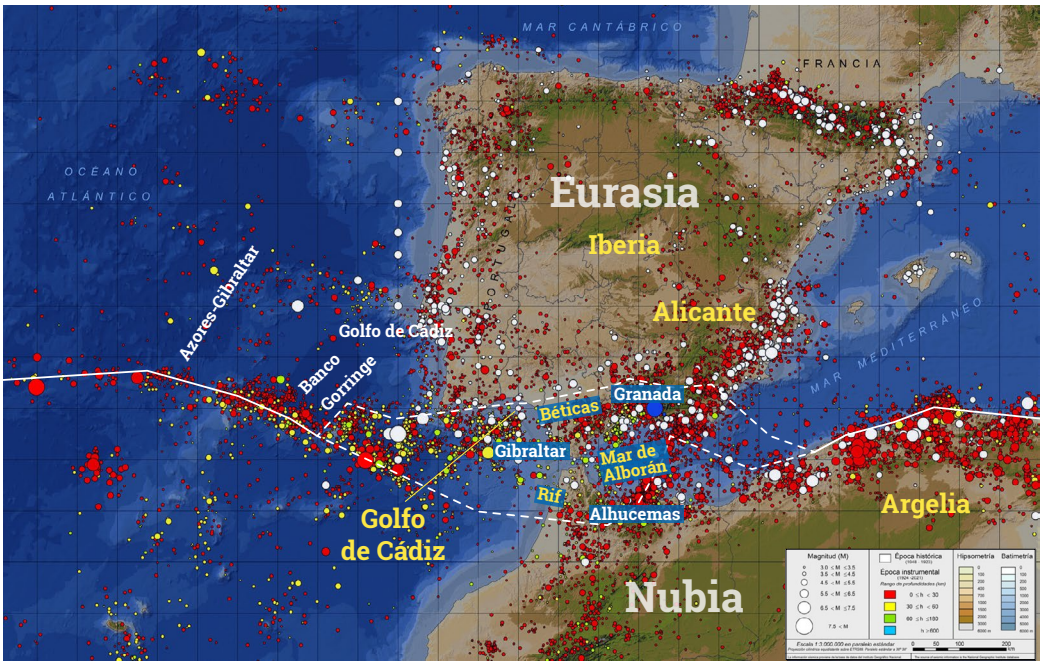
La detección y la monitorización de deslizamientos submarinos siguen siendo un desafío debido a la dificultad de tipificarlos, identificar sus características y determinar si las zonas permanecen activas o cuándo podrían volver a deslizarse. Los intervalos de recurrencia superan a menudo los 1000 años y exceden con mucho la duración típica de proyectos de observación —habitualmente de menos de 5 años—, lo que limita el desarrollo de modelos predictivos robustos. No obstante, recientemente se han desarrollado tecnologías avanzadas para la monitorización del entorno marino, entre las que se incluyen sensores geotécnicos de presión intersticial e inclinación instalados en el lecho marino, redes de sismómetros de fondo oceánico (OBS), perfiles acústicos Doppler, sistemas multihaz, batimetría de alta resolución, sensores acústicos distribuidos mediante cables de fibra óptica, vehículos submarinos autónomos (AUV), plataformas móviles y sistemas geodésicos submarinos diseñados para detectar desplazamientos lentos.

Estos métodos permiten caracterizar mejor la magnitud y frecuencia de los deslizamientos en cañones submarinos profundos, prodeltas activos y zonas someras altamente inestables. Sin embargo, la imposibilidad de predecir el lugar exacto del próximo deslizamiento limita la eficacia del monitoreo localizado. En España aún no se ha desarrollado un programa sistemático de observación para estos fenómenos, lo que dificulta evaluar la estabilidad sedimentaria del fondo marino. Por ello, resulta urgente establecer sistemas de monitorización continua y de alerta temprana basados en múltiples parámetros físicos y químicos, mejorar la coordinación entre científicos, Administraciones públicas y operadores, y desarrollar plataformas tecnológicas nacionales y europeas de observación a largo plazo enfocadas en áreas vulnerables y estratégicas.

El **principal efecto de los deslizamientos submarinos es su carácter repentino y su alta velocidad,** que puede oscilar desde unos pocos metros por hora hasta varios metros por segundo, lo que los convierte en eventos potencialmente muy destructivos. Representan una amenaza directa para las infraestructuras marinas al poder arrastrar o enterrar cables submarinos de telecomunicaciones —que transportan más del 95 % del tráfico digital global—, romper tuberías y oleoductos —interrumpiendo así el transporte de recursos energéticos—, desestabilizar plataformas fijas debido a la pérdida de soporte del fondo marino y, por último, provocar fallos estructurales por erosión, colapso o pérdida de cimentación. Algunos ejemplos históricos relevantes son el deslizamiento de Grand Banks, al sureste de la isla canadiense de Terranova (1929), que rompió 12 cables a profundidades de hasta 4000 metros, y el ocurrido en el estrecho de Luzón, en Filipinas (2006), que dañó 6 cables y afectó a las comunicaciones en Asia durante semanas. En aguas españolas, se han documentado posibles daños a cables relacionados con deslizamientos submarinos en el golfo de Cádiz y Canarias.

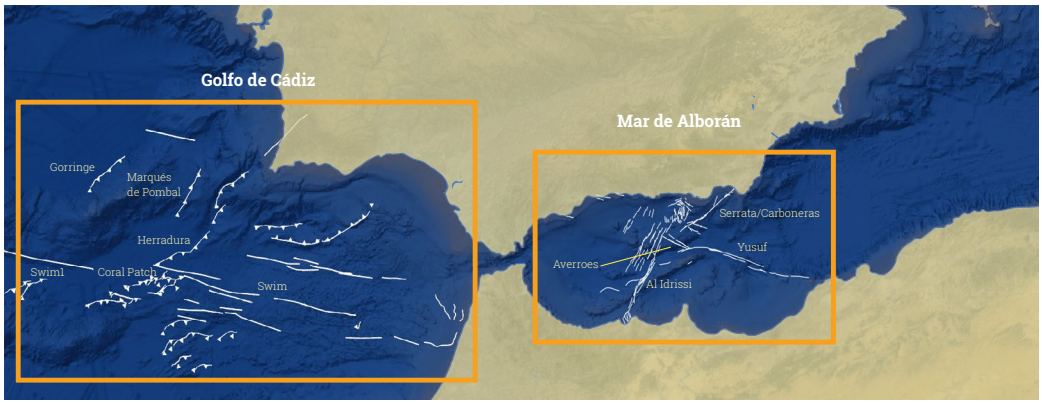
En nuestro país, existen numerosos deslizamientos submarinos distribuidos en fondos atlánticos y mediterráneos. En Canarias, estos procesos están asociados al volcanismo insular, con flancos inestables en las islas de El Hierro, La Palma y Tenerife, entre los que destaca el posible colapso del flanco suroeste de Cumbre Vieja. En el golfo de Cádiz, una zona con alta actividad tectónica y gran aporte sedimentario, se han cartografiado múltiples deslizamientos. Por su parte, el mar de Alborán presenta deslizamientos ligados a la deformación actual del fondo marino por la interacción entre las placas de Nubia y Eurasia. El margen catalán contiene deslizamientos heredados del último período glacial relacionados con una rápida sedimentación, pendientes elevadas y sobrepresión de poros. Por último, en el margen cantábrico, los deslizamientos se atribuyen principalmente a pendientes pronunciadas de cañones submarinos y taludes continentales.

Figura 3 La sismicidad en España se concentra al sur de Iberia, por la convergencia entre las placas de Nubia y Euroasia, formando un cinturón sísmico activo desde el Golfo de Cádiz hasta Alicante y el norte de Argelia



Fuente: Instituto Geográfico Nacional

Figura 4 Principales fallas que generan terremotos en el Golfo de Cádiz y Mar de Alborán



Fuente: Modificado de Váquez *et al.*, 2022

Figura 5 Tipos y evolución de los deslizamientos submarinos

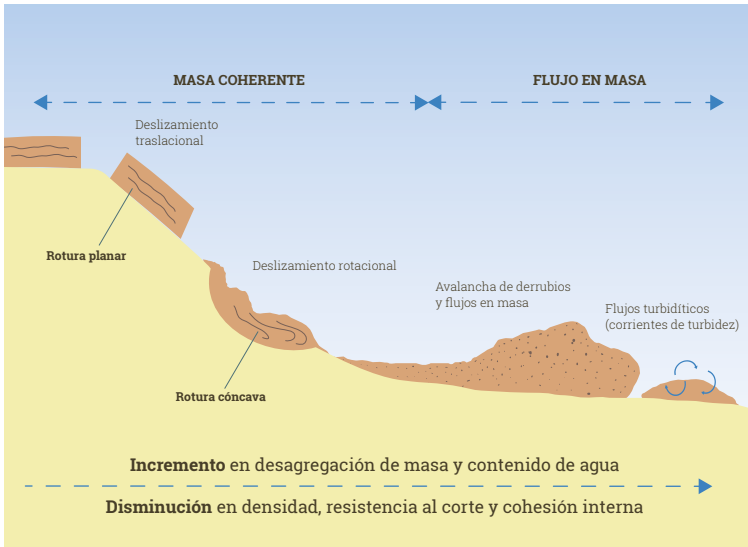
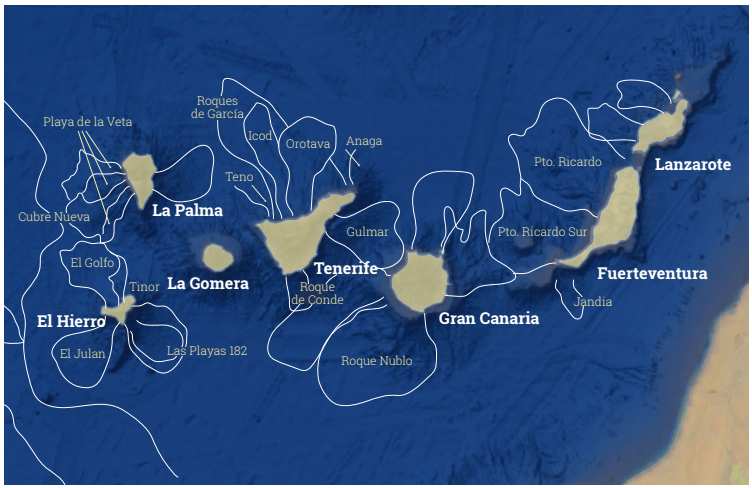
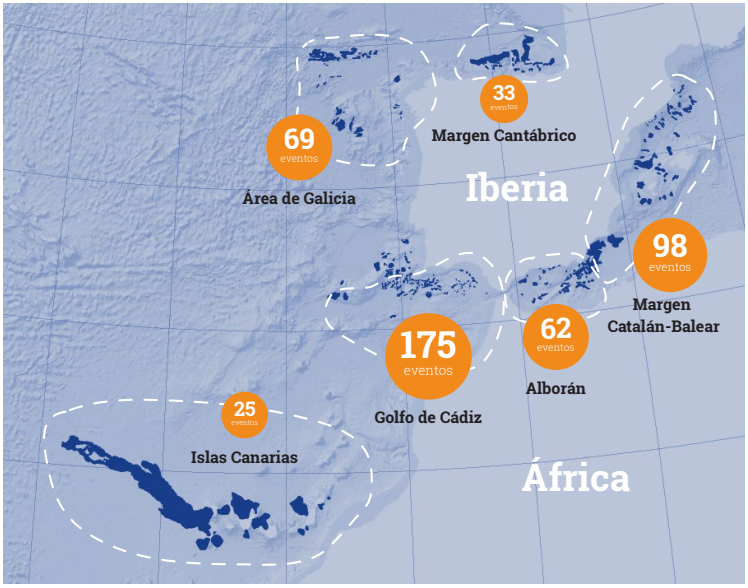


Figura 6 Distribución de deslizamientos submarinos en los flancos volcánicos de las islas Canarias



Fuente: IGME

Figura 7 Catálogo de deslizamientos submarinos en los fondos marinos de la Península Ibérica y Canarias



Fuente: IGME

Tsunamis

El término *tsunami* proviene del japonés y se traduce al español como «maremoto», combinando los términos latinos *mar* y *movimiento*. Este fenómeno consiste en una perturbación oscilatoria de una masa de agua no confinada, causada por eventos inusuales y diferentes a los que generan el oleaje común. Los mecanismos geológicos que desencadenan tsunamis con mayor potencial destructivo suelen estar relacionados con movimientos del fondo marino, principalmente el desplazamiento súbito de bloques a lo largo de grandes fallas tectónicas activadas por terremotos. A estos se suman otras **tipologías** causadas por deslizamientos submarinos o costeros, erupciones volcánicas, la liberación repentina de grandes volúmenes de gas desde el subfondo marino, perturbaciones atmosféricas (meteotsunamis) e incluso impactos meteoríticos.

La mayoría de los tsunamis registrados tienen su origen en terremotos con epicentro submarino. Sin embargo, no todos los sismos son capaces de generarlos. Solo aquellos que provocan un desplazamiento vertical brusco del fondo oceánico —por lo general, terremotos someros, a menos de 30 kilómetros de profundidad, y de magnitud superior a 6,5— pueden desencadenar un tsunami. Especialmente relevantes son los asociados a fallas inversas o normales. En las primeras, el bloque levantado empuja la columna de agua y genera un pulso positivo en la superficie; en cambio, en las segundas, el bloque hundido produce un pulso negativo. Estos tsunamis pueden impactar tanto en regiones costeras próximas como en zonas alejadas a miles de kilómetros. Un ejemplo ilustrativo es el terremoto de Valdivia (Chile, 1960, magnitud 9,5), que generó un tsunami que cruzó todo el Pacífico y provocó víctimas en Japón 22 horas después.

Otra tipología importante son los tsunamis generados por deslizamientos submarinos, capaces de movilizar grandes volúmenes de sedimentos y rocas, y transferir esa energía a la columna de agua. Los deslizamientos costeros que penetran de forma abrupta en el mar también pueden generar tsunamis. La aceleración inicial del sedimento y el volumen deslizado se consideran determinantes en la geometría (depresión-elevación) de la ola inicial. A diferencia de los tsunamis sísmicos, estos son más difíciles de detectar, ya que no emiten señal sísmica previa, por lo que se los conoce como *tsunamis silenciosos*. El tsunami de Indonesia en 2018 fue provocado por un deslizamiento submarino sin un gran terremoto previo. Este tipo de tsunamis suelen afectar áreas costeras más limitadas que los provocados por terremotos, pero pueden alcanzar alturas de ola significativamente mayores. Por ejemplo, el deslizamiento en bahía Lituya (Alaska, 1958) generó una ola que alcanzó una altura de hasta 524 metros en la costa opuesta, la más alta registrada hasta la fecha.

Tabla 2 Impacto de los tsunamis según el mecanismo geológico de formación

Mecanismo del tsunami	Área afectada	Alcance geográfico	Intensidad local	Tiempo de aviso	Observaciones clave
Terremoto	Costas locales y distantes	Transoceánico	De moderada a alta	De minutos a horas	Alta previsibilidad si se detecta el terremoto y su mecanismo
Deslizamiento	Zonas muy cercanas al evento	Local o regional	Muy alta	De segundos a pocos minutos	Difícil de detectar con anticipación. Alto impacto puntual
Erupción volcánica	Costas cercanas a la isla o volcán	Local o regional, ocasionalmente más lejano	Alta (por explosión o colapso)	De minutos a una hora, dependiendo del tipo de evento	Puede combinar múltiples mecanismos: deslizamientos, explosiones, colapsos de caldera…

Las **erupciones volcánicas** pueden generar tsunamis mediante distintos procesos, como deslizamientos de material volcánico desde tierra al mar o en los flancos submarinos del volcán, que desplazan grandes volúmenes de agua. También pueden originarse por el colapso de calderas tras explosiones volcánicas, que afectan a la columna de agua y generan olas concéntricas en la superficie del mar. En el caso de erupciones altamente explosivas, la entrada de corrientes piroclásticas en el mar también puede generar olas de tsunami. Aunque en Canarias no se han registrado históricamente megatsunamis (olas mayores de 40 metros), sí existen evidencias geológicas de eventos pasados. Por ejemplo, el colapso del flanco norte de El Hierro, hace unos 15 000 años, generó un deslizamiento masivo que, según modelos numéricos, pudo producir olas de hasta 100 metros de altura con efectos locales.

Asimismo, las **características claves de los tsunamis**, que los diferencian de las olas comunes, no solo se relacionan con su origen, sino también con su comportamiento físico, ya que en mar abierto presentan alturas reducidas, pero alcanzan velocidades superiores a 500 kilómetros por hora y longitudes de onda mucho mayores, lo que les permite transportar una gran cantidad de energía que no se disipa con facilidad, por lo que pueden recorrer grandes distancias. En cambio, su comportamiento al acercarse a la costa cambia de forma drástica: disminuyen su velocidad a entre 30 y 50 kilómetros por hora y aumentan considerablemente su altura.

Otra característica clave es la forma de propagación, que depende de factores como la energía del evento generador, la geometría de la fuente y la morfología del fondo marino. Relieves submarinos como dorsales, cañones o montes pueden desviar, refractar o amplificar la energía del tsunami. A su vez, la geomorfología costera —con sus bahías, cabos, playas o deltas— condiciona la intensidad del impacto, de modo que una misma ola puede ser poco destructiva en una zona y devastadora en otra cercana. Los tsunamis suelen llegar a la costa en trenes de olas sucesivas, separadas por varios minutos. Dependiendo del mecanismo que los origine, la primera ola puede manifestarse como un retroceso del mar (pulso negativo) o como un ascenso repentino del nivel del mar (pulso positivo).

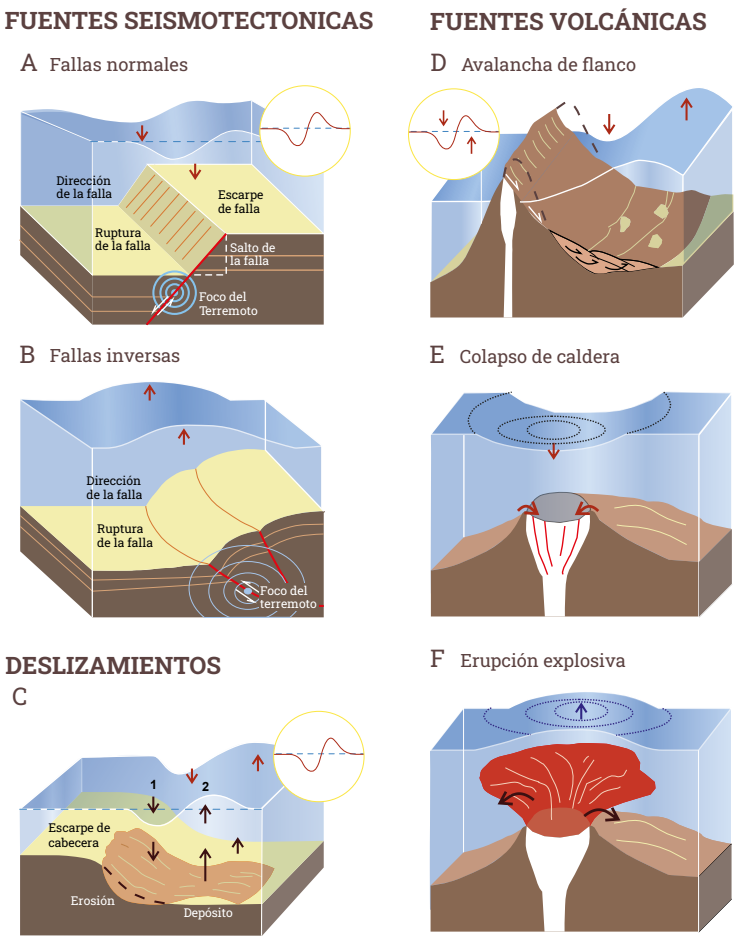
Las características de los tsunamis han sido objeto de notables avances científicos en las últimas décadas, con investigaciones centradas en comprender sus mecanismos generadores, la dinámica de los fondos marinos y el desarrollo de modelos matemáticos para simular su origen, propagación e impacto en zonas costeras. Sin embargo, la investigación científica aún enfrenta retos importantes, entre ellos, la reducción de la incertidumbre en torno a los mecanismos generadores, la mejora del conocimiento sobre la recurrencia de estos eventos más allá del período histórico e instrumental y la necesidad de simulaciones regionales y globales precisas, que requieren abundantes datos de calidad y una elevada capacidad computacional. Por último, es necesario mejorar la calidad de la cartografía submarina y costera.

A pesar de que los tsunamis no son fenómenos frecuentes, sus efectos representan una amenaza multidimensional con consecuencias catastróficas, sobre todo en zonas costeras densamente pobladas. La enorme energía que transportan y su capacidad para inundar vastas áreas en pocos minutos los convierten en una de las amenazas naturales más destructivas. Además de las pérdidas humanas, causan graves daños en infraestructuras y su impacto ambiental es significativo. Por ejemplo, entre los efectos más importantes sobre el entorno destacan la alteración del perfil submarino y costero, la deposición de sedimentos marinos tierra adentro y la intrusión de agua salada en acuíferos de agua dulce, procesos que modifican la composición del suelo y afectan la vegetación y los hábitats naturales.

Se estima que cada año ocurren al menos 2 tsunamis capaces de generar daños locales y, aproximadamente cada 10 a 15 años, uno con efectos devastadores. Estas estimaciones se ven agravadas por la creciente urbanización costera. Dos ejemplos recientes son el tsunami del Índico (2004) y el de Japón (2011). Con olas superiores a 30 metros, ambos provocaron más de 400 000 víctimas mortales directas y afectaron gravemente a la economía, el transporte y las infraestructuras en múltiples países, además de causar enormes daños ambientales.

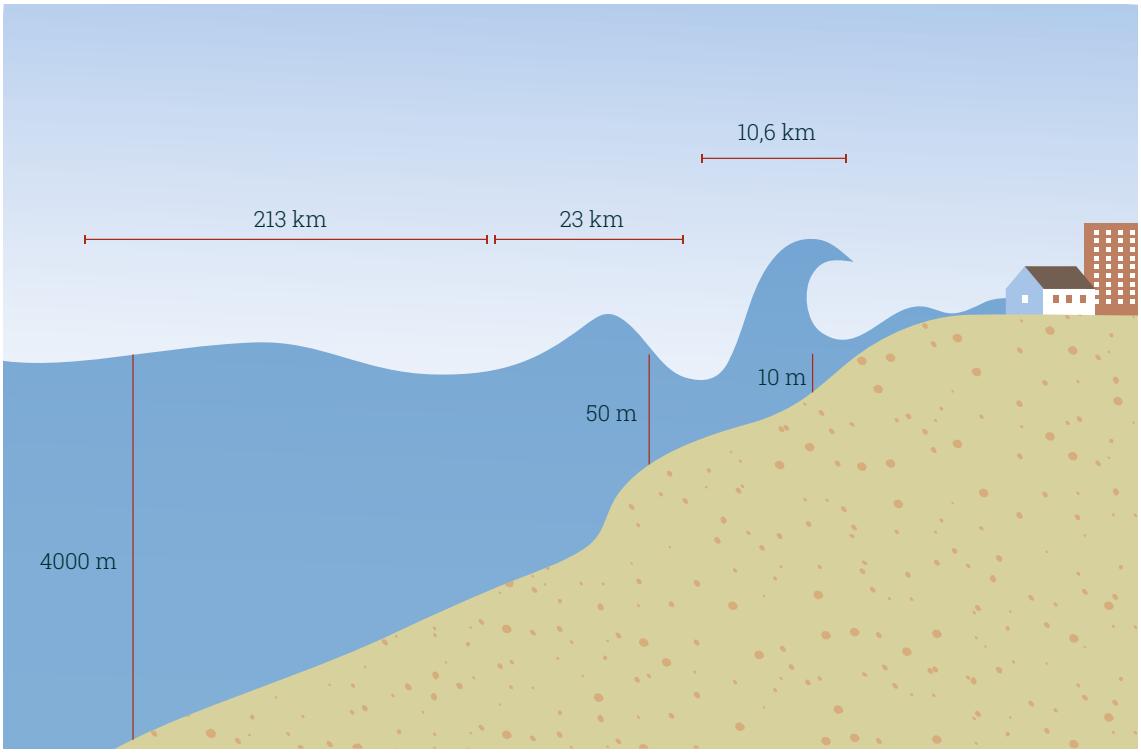
En el ámbito mediterráneo, según la Unesco, es probable que se produzca un tsunami cada 30 años. España ha sufrido varios, aunque el más grave fue el de 1755, provocado por el terremoto de Lisboa. El evento más reciente que requirió la intervención del Consorcio de Compensación de Seguros tuvo lugar en 2003 y provocó daños materiales en las islas Baleares y en varios puntos de la costa mediterránea. En cuanto a la probabilidad, se estima un 14 % anual para las costas mediterráneas españolas y un 5 % para las atlánticas. Según un estudio del IGME y el Consorcio de Compensación de Seguros, el riesgo asegurado asociado a tsunamis alcanza los 2000 millones de euros para una probabilidad anual del 5 ‰. Las zonas más expuestas son las provincias de Almería, Granada, Málaga, Huelva, Cádiz y Murcia, así como las islas Baleares y Canarias. La actividad sísmica del norte de África es un factor adicional de riesgo, ya que puede generar tsunamis que afecten al litoral español.

Figura 8 Esquema de fuentes tsunamigénicas geológicas y su impacto en la superficie del mar: (a) falla normal — depresión; (b) falla inversa — cresta; (c) deslizamiento submarino — depresión y cresta; (d) colapso volcánico — depresión y cresta; (e) explosión volcánica — olas concéntricas



Fuente: Modificado de Ercilla *et al.*, 2021

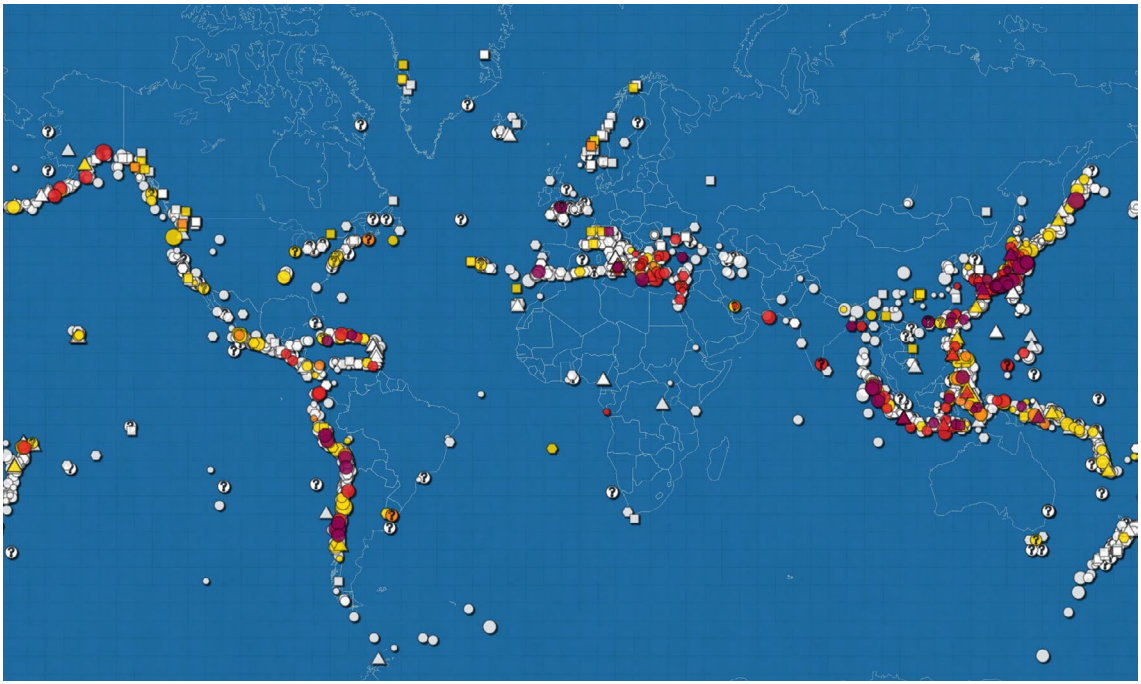
Figura 9 Esquema de una ola de tsunami alcanzando la costa



Fuente: International Tsunami Information Center, 2024

El riesgo por tsunami pone en evidencia un reto crucial para la gestión pública: la baja frecuencia no implica bajo riesgo. Estos eventos, aunque esporádicos, exigen preparación constante, sostenida y transversal. Incluir este tipo de peligros en la planificación territorial, reforzar los sistemas de alerta temprana y fomentar la educación en gestión del riesgo son medidas fundamentales para reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de las comunidades costeras. La cooperación y la coordinación transnacional son también esenciales para una respuesta eficaz ante amenazas que pueden tener su origen más allá de las fronteras nacionales.

Figura 10 Base de datos de la National Oceanic and Atmospheric Administration de los Estados Unidos (NOAA) sobre tsunamis (https://maps.ngdc.noaa.gov/).

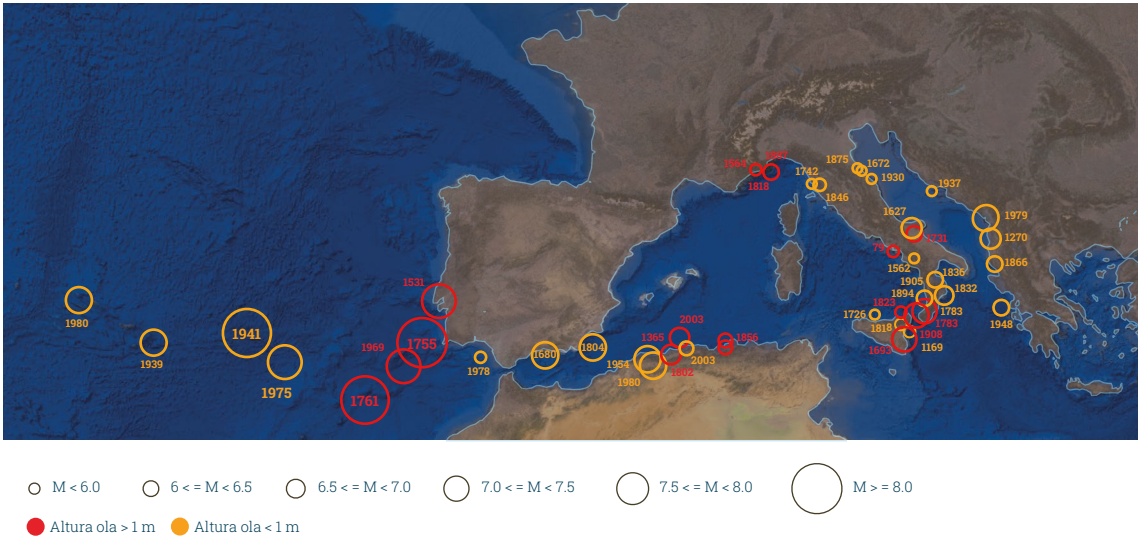


Terremotos
Volcanes
Deslizamientos

Un gran numero de fallecimientos
Muchos fallecimientos
Algunos fallecimientos
Pocos fallecimientos
Sin fallecimientos conocidos

Fuente: https://noaa.maps.arcgis.com/home/item.html?id=5a44c3d4d465498993120b70ab568876

Figura 11 Tsunamis históricos en el Mediterráneo occidental y el noreste Atlántico



M < 6.0 | 6 < = M < 6.5 | 6.5 < = M < 7.0 | 7.0 < = M < 7.5 | 7.5 < = M < 8.0 | M > = 8.0

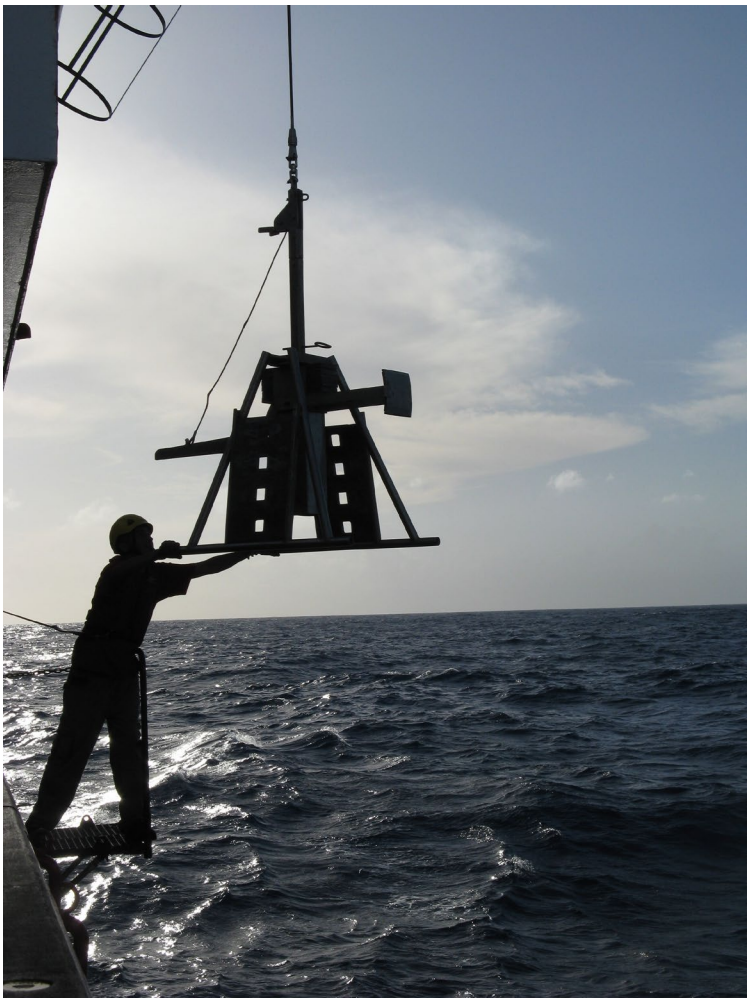
Altura ola > 1 m | Altura ola < 1 m

Fuente: Instituto Geográfico Nacional

dos

El papel del CSIC en la gestión y mitigación de los peligros geológicos submarinos

El CSIC desempeña un papel fundamental en la comprensión y gestión de los peligros geológicos submarinos combinando investigación, monitorización y análisis de riesgos. Sus actuaciones abarcan desde la evaluación y el pronóstico de eventos hasta el asesoramiento técnico a distintos niveles de planificación territorial y gestión de desastres. Además, promueve la divulgación y la concienciación social, con lo que pretende fomentar el conocimiento y la preparación frente a fenómenos naturales.



Sacatestigos de caja, equipo para muestreo de sedimento marino.

2.1.

Investigación y análisis

El CSIC desarrolla una intensa labor científica orientada a la identificación, caracterización y evaluación de peligros geológicos submarinos, como terremotos, deslizamientos y tsunamis. Su enfoque se basa en una estrategia integradora, multidisciplinar y tecnológicamente avanzada que permite abordar de manera eficaz los retos asociados a estos fenómenos naturales, que pueden tener graves consecuencias para las sociedades costeras y los ecosistemas marinos.

Uno de los ejes centrales de actuación del CSIC en este ámbito es la **investigación de fallas activas** localizadas en el fondo marino. Sus equipos científicos cartografían estas estructuras; determinan su geometría, extensión y segmentación; y analizan sus propiedades geológicas y sismológicas, esenciales para comprender la física de los terremotos y su potencial sísmico. Estas acciones permiten delimitar zonas de ruptura potencial, estimar la magnitud y la frecuencia de los eventos que podrían generarse y valorar su posible impacto en zonas cercanas, incluida la generación de tsunamis. Además, reconstruyen la historia paleosísmica de estas fallas mediante el análisis del registro sedimentario, lo que permite establecer patrones de recurrencia en la actividad tectónica.

Asimismo, el CSIC lleva a cabo un **análisis integral de los deslizamientos submarinos,** en el que se analiza la morfología del fondo y subfondo marino, se delimitan cicatrices de deslizamiento y depósitos movilizados, y se estudian las propiedades sedimentológicas, físicas y geotécnicas de los materiales para evaluar su potencial estabilidad. Estas acciones permiten identificar los factores que favorecen o desencadenan la inestabilidad y modelizar posibles escenarios futuros de deformación o desplazamiento del terreno submarino.

Respecto a los tsunamis, la actuación del CSIC se centra en la identificación de estructuras potencialmente tsunamigénicas, en especial fallas activas y zonas de deslizamiento submarino, así como en el desarrollo de modelos numéricos que permitan simular su generación, propagación e impacto en zonas costeras.

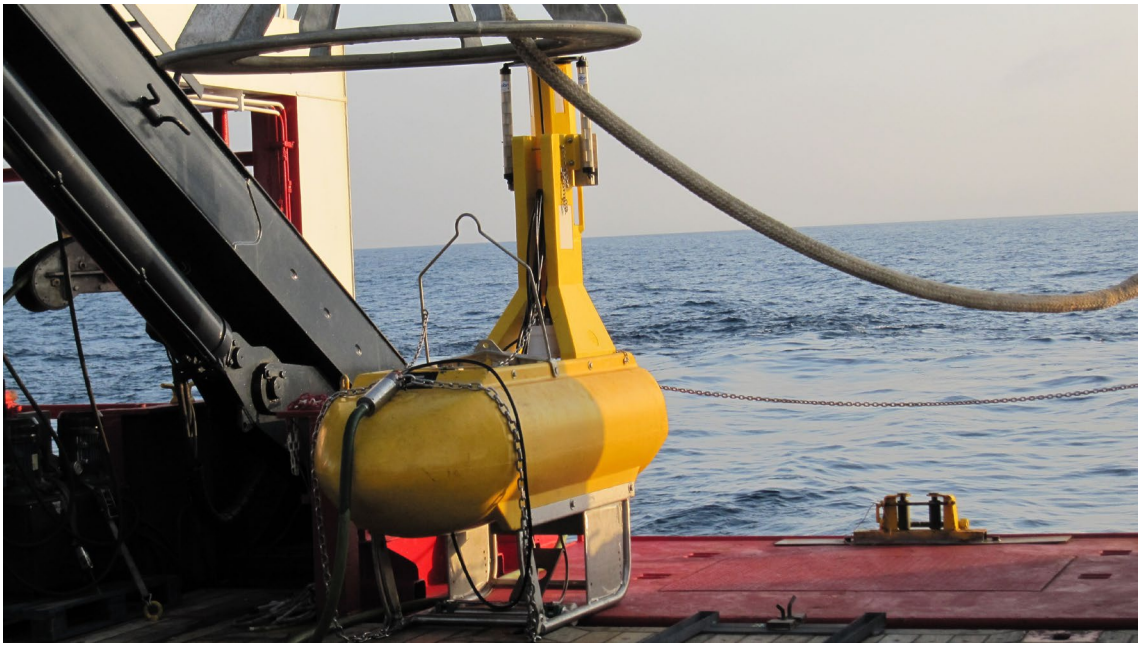
Para ello, se combinan datos estructurales de las zonas fuente, que constituyen el punto de partida para la simulación numérica del comportamiento de la ola generada en la zona cero con información detallada sobre la batimetría y la morfología del fondo marino. Esta integración permite determinar las características de las olas generadas —altura, velocidad y trayectoria—, así como predecir su propagación hacia las zonas costeras.

Todas estas investigaciones se sustentan en una **infraestructura científica y tecnológica de primer nivel,** operada y gestionada por el CSIC. En este sentido, una de las principales herramientas son los buques oceanográficos, que actúan como laboratorios flotantes de observación y experimentación. Estos buques, incluidos en las Infraestructuras Científicas y Técnicas Singulares (ICTS) del sistema español de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), permiten realizar campañas oceanográficas en entornos locales, regionales y oceánicos gracias a su diversa capacidad operativa, ya que están equipados con tecnología de adquisición de datos en tiempo real y sistemas integrados de navegación, geolocalización y control instrumental. Además de las capacidades que ofrecen sus buques oceanográficos, el CSIC dispone de una amplia variedad de equipamiento científico especializado y de personal técnico altamente cualificado, lo que permite explorar con gran precisión tanto el fondo como el subfondo marino. Entre estos equipos se encuentran instrumentos geofísicos, vehículos submarinos autónomos (AUV), muestreadores de sedimento superficial y de gran longitud, así como observatorios e instrumentación fondeados de larga duración. Este instrumental posibilita la obtención de datos directos e indirectos en entornos de difícil acceso, tanto someros como profundos, incluidos los márgenes polares y los volcanes submarinos activos.

Además de su labor en el mar, el CSIC dispone de **laboratorios terrestres especializados,** donde se analizan las muestras obtenidas durante las campañas oceanográficas. En ellos se realizan estudios sedimentológicos, geotécnicos, geoquímicos, isotópicos y paleontológicos, que permiten caracterizar los materiales del fondo marino y su composición, origen y evolución. Estos estudios complementan la información geofísica y permiten validar los modelos teóricos con datos empíricos.

Otra línea de actuación esencial del CSIC es el **procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos científicos.** La complejidad de la información recogida durante las campañas requiere el uso de servidores de alto rendimiento y programas informáticos específicos de modelización e interpretación geológica. Asimismo, se emplean técnicas avanzadas de inteligencia artificial y aprendizaje automático para detectar patrones, identificar correlaciones y optimizar la toma de decisiones científicas. Los resultados de estas investigaciones se integran en modelos geodinámicos y simulaciones numéricas que permiten comprender mejor la evolución de las estructuras tectónicas y sedimentarias submarinas, así como su comportamiento ante diferentes condiciones naturales o inducidas. De este modo, se pueden generar mapas de peligrosidad y riesgo, de gran utilidad para instituciones públicas, organismos de protección civil y gestores del territorio.

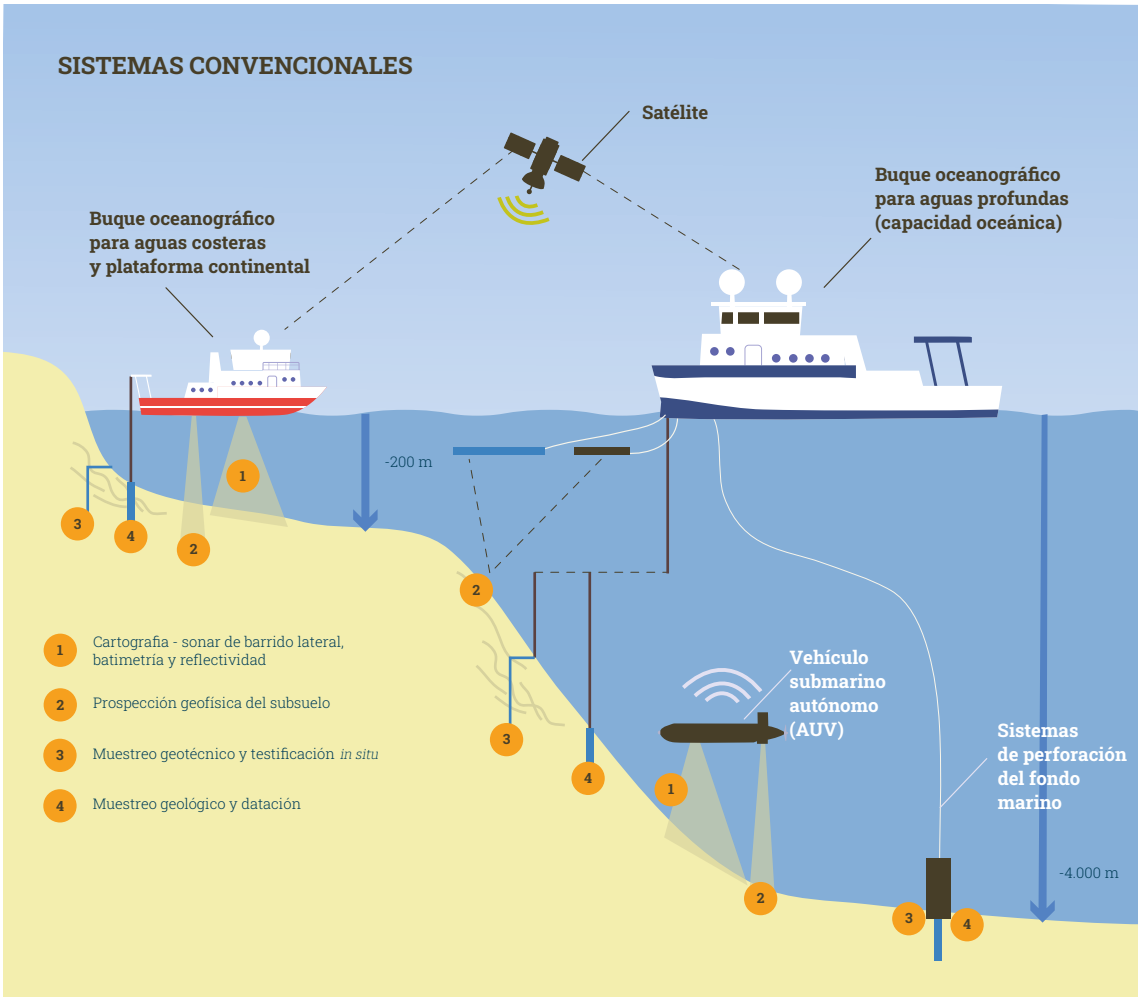
Otra de las acciones llevadas a cabo por el CSIC es el **desarrollo de bases de datos específicas,** tanto en el dominio marino como en el terrestre, sobre procesos clave para el análisis y la valoración del peligro. Entre ellas destacan la base de datos de Fallas del Cuaternario de la Península Ibérica (QAFI), con evidencias geológicas de actividad durante ese período; la base de datos de Movimientos del Terreno (BDMOVES), que incluye los deslizamientos submarinos; y la base de datos de Zonación Sismogénica de Iberia (ZESIS), empleada en la actualización del mapa de peligrosidad sísmica de España, donde puede consultarse la división del territorio de la península ibérica y su entorno en zonas según su potencial para generar terremotos. En el plano europeo, el CSIC participa en la base de datos euromediterránea de deslizamientos submarinos (The Euro-Mediterranean Submarine Landslide Database o EMSS25), que recopila información sobre procesos gravitacionales, como movimientos de ladera y deslizamientos en el medio marino. Además, colabora activamente en la Red Europea de Observación y Datos Marinos (EMODnet), orientada a armonizar y poner a disposición pública datos sobre la batimetría, la geología del fondo marino y los eventos geológicos asociados. Estas acciones fortalecen la base científica necesaria para estudiar y evaluar los peligros geológicos submarinos.

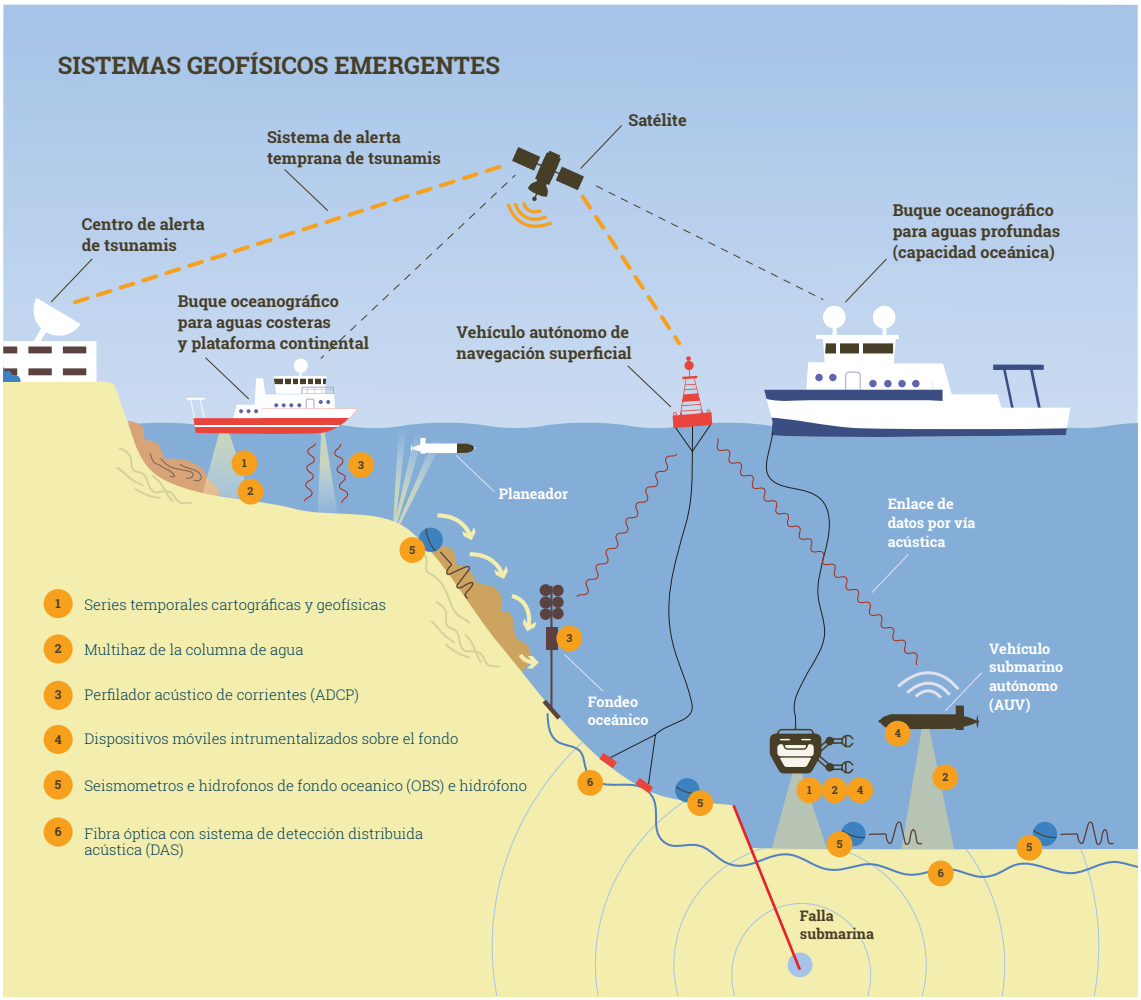


Baliza de posicionamiento de un streamer de sísmica de reflexión multicanal.

En definitiva, con el respaldo de su infraestructura tecnológica, su red de centros y su personal altamente cualificado, el CSIC dispone de información robusta y actualizada sobre los terremotos con epicentros en el mar, los deslizamientos submarinos y los tsunamis, lo que permite mejorar la comprensión de sus mecanismos y contribuir a la gestión del riesgo natural en zonas vulnerables. Cabe destacar que muchas de estas investigaciones se desarrollan en el marco de proyectos nacionales e internacionales, en colaboración con otros organismos científicos, universidades, agencias gubernamentales y consorcios europeos. Esta cooperación refuerza la capacidad del CSIC para abordar problemáticas complejas, acceder a recursos compartidos y difundir el conocimiento generado a escala global. Esta aproximación resulta sobre todo relevante en un contexto de creciente exposición de las poblaciones y actividades humanas a los efectos de los peligros geológicos submarinos.

Figura 12 Sistemas convencionales y emergentes para la investigación de fallas sísmicas y deslizamientos submarinos





Fuente: Ercilla *et al.*, 2021

Figura 13 A) AUV Hugin 6000, recientemente adquirido por el CSIC. Es un robot submarino que opera de forma autónoma bajo el agua y puede alcanzar los 6000 metros de profundidad. B) Ejemplo de imagen del fondo marino proporcionada por este equipo. La resolución es de 0,5 metros. IMÁGENES CEDIDAS POR IRENE P. DÍEZ

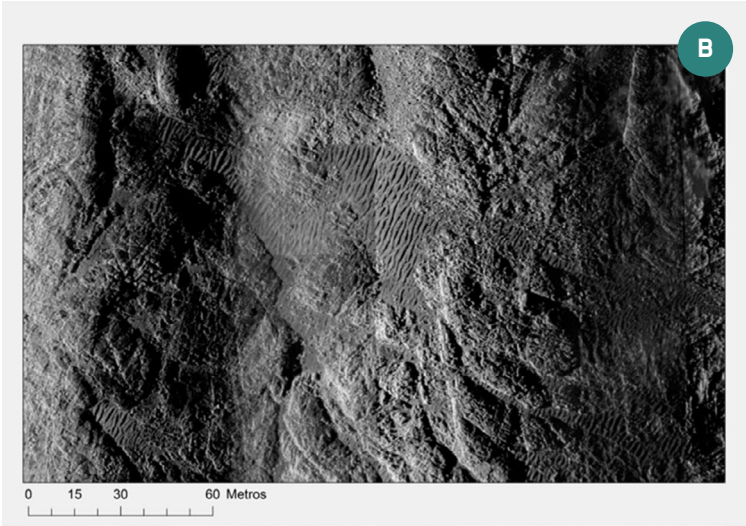
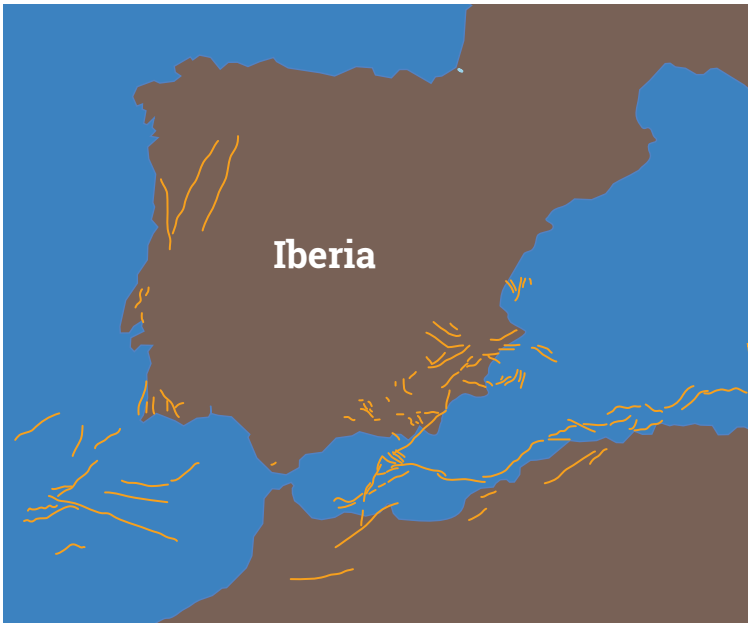


Figura 14 Base de datos de Fallas del Cuaternario de la Península Ibérica (QAFI). (https://info.igme.es/qafi/)



2.2.

Actuaciones de monitorización, evaluación y pronóstico

La ciencia desarrollada por el CSIC no solo se centra en la detección de procesos geológicos submarinos potencialmente peligrosos, sino también en la monitorización, evaluación y modelización de escenarios, con el objetivo de contribuir al diseño de sistemas eficaces de alerta temprana y a la reducción del riesgo. La vigilancia, el análisis y la predicción de fenómenos como terremotos, deslizamientos submarinos y tsunamis constituyen pilares fundamentales en la estrategia nacional de gestión del riesgo, tal como recoge el Plan Nacional de Vigilancia Sísmica, Volcanológica y de Otros Fenómenos Geofísicos, que busca reforzar las redes de observación y mejorar la capacidad de respuesta ante estos eventos. La naturaleza compleja y, a menudo, interconectada de estos eventos exige un enfoque multidisciplinar y una infraestructura de vigilancia robusta que permita la detección temprana y la caracterización precisa para la protección de la población y las infraestructuras costeras. En este contexto, el CSIC está especialmente capacitado para estudiar los procesos implicados, desarrollar nuevas técnicas de análisis, diseñar experimentos y proponer metodologías y protocolos eficaces que refuercen los sistemas de vigilancia, alerta temprana y protección.

Para ello, el CSIC dispone de capacidades y tecnologías avanzadas para la observación y el estudio de la actividad sísmica submarina. Aunque la detección en tiempo real se realiza principalmente a través de la red del Instituto Geográfico Nacional (IGN), algunos centros del CSIC cuentan con redes locales de sismómetros que complementan esta vigilancia, en especial en zonas de interés específico. En el ámbito marino, el CSIC emplea OBS, que permiten registrar con alta resolución espacial la actividad sísmica directamente sobre el lecho marino, incluso en entornos remotos como los márgenes polares o las zonas volcánicas submarinas. Sin embargo, estos dispositivos no operan en tiempo real, por lo que los datos deben ser recuperados *a posteriori* para su análisis detallado. Asimismo, el CSIC también emplea datos de redes del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) para detectar deformaciones del terreno en zonas costeras activas y participa en proyectos de tecnologías emergentes, como la detección

acústica distribuida (DAS), que convierte cables de fibra óptica submarinos existentes en sensores sísmicos continuos capaces de detectar terremotos y otras perturbaciones submarinas hasta unos 50 kilómetros de distancia desde la terminal terrestre.

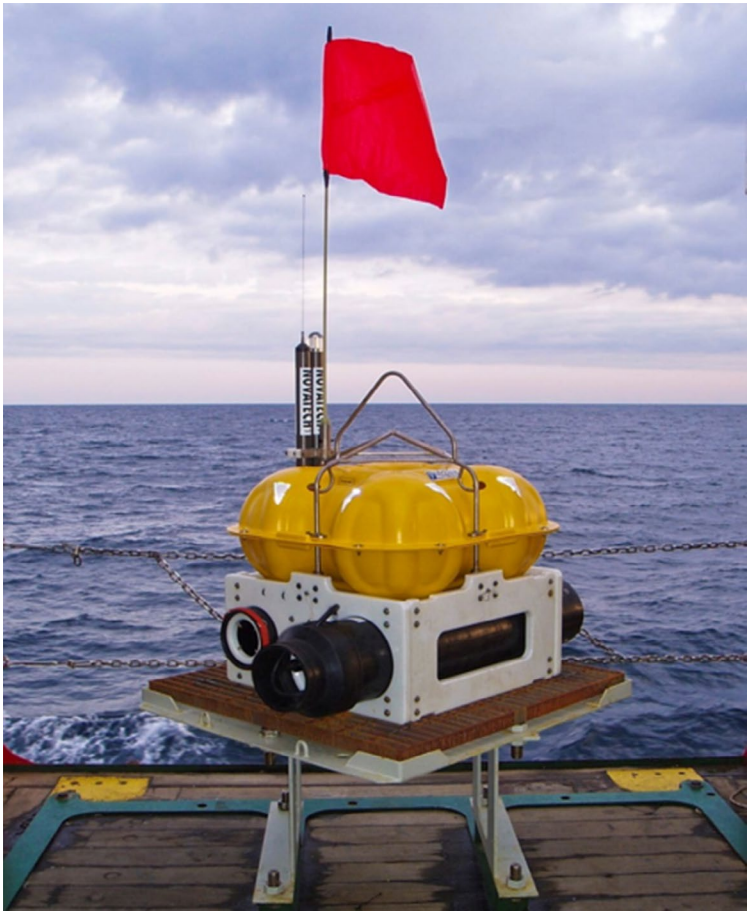
Por otro lado, para la detección y el seguimiento de posibles tsunamis, se emplea la red principal de mareógrafos operada por Puertos del Estado y se complementa con los mareógrafos del IGN. A su vez, el Instituto Español de Oceanografía (IEO) dispone tanto de sus propios mareógrafos en puertos e infraestructuras costeras, que miden el nivel del mar, como de boyas océano-meteorológicas, instrumentos que en la actualidad se están integrando en la red principal nacional.

En el ámbito de la evaluación y el pronóstico, el CSIC desarrolla modelos estadísticos con el objetivo de estimar la frecuencia esperada de los peligros geológicos submarinos y sus características más probables. Entre las herramientas utilizadas, se encuentran la simulación numérica de terremotos submarinos, centrada en el estudio de la propagación de ondas sísmicas y la deformación del fondo marino, así como el modelado de deslizamientos submarinos, que abarca tanto la fase de rotura como el desplazamiento de la masa deslizada en sus diferentes tipologías (deslizamientos en masa y flujos). Además, el CSIC lleva a cabo el modelado de tsunamis considerando tanto su generación por fallas geológicas como por deslizamientos, su propagación oceánica y la inundación en zonas costeras vulnerables. Para ello, utiliza principalmente el modelo numérico HySEA, una herramienta validada a escala internacional y desarrollada por el grupo de investigación EDANYA de la Universidad de Málaga, que se aplica tanto en simulaciones operativas como en estudios de riesgo. Todos estos modelos integran variables geológicas, geofísicas, batimétricas y oceanográficas, lo que permite generar simulaciones realistas y útiles para la planificación territorial, el diseño de infraestructuras costeras y el desarrollo de sistemas eficaces de alerta temprana.

Gracias a las herramientas actuales de monitorización y evaluación, es posible analizar el impacto que pueden tener las fallas sísmicas y los deslizamientos submarinos en la generación de tsunamis, además de detectar en tiempo real terremotos submarinos y los propios tsunamis, y valorar sus posibles efectos. Esta capacidad resulta fundamental para activar protocolos de respuesta ante emergencias. En este contexto, el Sistema Nacional de Alerta por Maremotos (Sinam), en el que participa el CSIC, es capaz de emitir avisos pocos minutos después de un terremoto submarino con potencial destructivo. Aunque no ofrece el mismo grado de alerta temprana que las boyas DART, desplegadas en aguas profundas, resulta esencial para confirmar la llegada de un tsunami a la costa y registrar su altura y características en puntos concretos del litoral. El Sinam está integrado en el Sistema de Alerta Temprana contra los Tsunamis y Atenuación de sus Efectos en el Atlántico Nororiental y el Mediterráneo y Mares Adyacentes (NEAMTWS), coordinado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco) y la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI). Sin embargo, persisten dos grandes limitaciones: por un lado, los márgenes de tiempo para reaccionar son extremadamente reducidos debido a la proximidad de las fuentes generadoras; por otro, la eficacia de las medidas de respuesta depende en gran medida de la capacidad de las infraestructuras locales, cuya resiliencia está condicionada por la planificación y la prevención.

A pesar de la existencia de estructuras potencialmente peligrosas en las zonas marinas españolas, ni en el CSIC ni en otros organismos españoles se han desarrollado estudios específicos ni se ha implementado un programa sistemático de observación y monitorización de los deslizamientos submarinos, que no siempre se desencadenan por terremotos. Por ello, en el contexto de un sistema de alerta temprana, la evaluación y el pronóstico de la ocurrencia de estos peligros representan un reto, y es precisamente en este ámbito en el que el CSIC necesita avanzar con mayor intensidad para mejorar la capacidad de respuesta ante posibles eventos. En la actualidad, se dispone de herramientas como las mediciones repetidas de batimetría, geofísica y sedimentología, que permiten monitorizar la evolución del fondo marino en cuatro dimensiones (4D), es decir, incorporando el factor tiempo.

Figura 15 Sismómetros de fondo oceánico, que permiten registrar con alta resolución espacial la actividad sísmica directamente sobre el lecho marino. FOTO CEDIDA POR LA UNIDAD DE TECNOLOGÍA MARINA (UTM) DEL CSIC

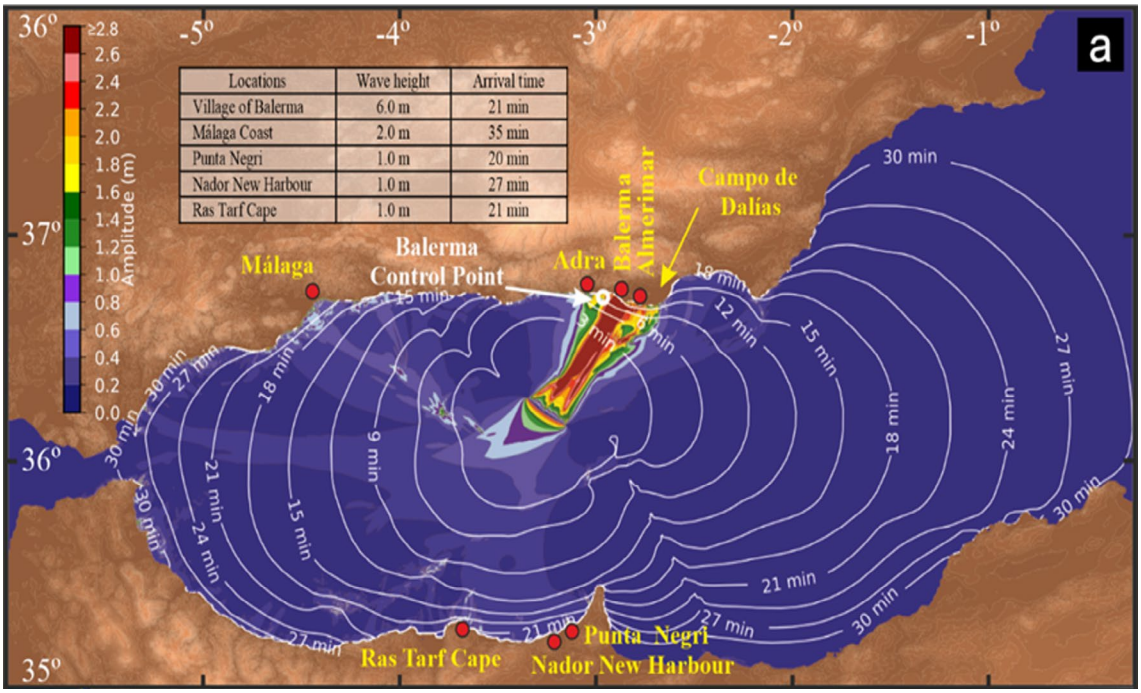


Estas herramientas facilitan la detección de deformaciones y cambios morfológicos, así como variaciones en múltiples parámetros físicos y geoquímicos del sedimento, que podrían actuar como indicadores tempranos de inestabilidad y contribuir a anticipar la ocurrencia de deslizamientos submarinos.

Figura 16 Boya océano-meteorológica situada en Santander, junto al buque oceanográfico Ramón Margalef. FOTO CEDIDA POR EL IEO

Uno de los principales retos científicos y tecnológicos en los que trabajan actualmente los investigadores del CSIC dedicados al estudio de los peligros geológicos submarinos es el desarrollo y la mejora de sistemas de vigilancia permanente en zonas críticas. En este contexto, destacan los observatorios submarinos conectados por cable a estaciones en tierra *(cabled observatories),* que permiten el acceso en tiempo real a diversos parámetros físico-químicos y geodinámicos. Estos datos resultan fundamentales para la detección temprana de señales que pueden actuar como precursoras de actividad en estructuras geológicas de riesgo previamente identificadas. Esta estrategia se complementa con el desarrollo y despliegue de sensores autónomos de larga duración, sobre todo útiles en regiones remotas o sin infraestructura fija. De forma paralela, en el CSIC ya se trabaja en la integración de técnicas de inteligencia artificial y procesamiento de datos en tiempo real, con el objetivo de reducir significativamente los tiempos de detección y emisión de alertas ante eventos submarinos potencialmente peligrosos.

Figura 17 Modelo de propagación de un tsunami en el mar de Alborán, generado por un terremoto en la falla activa de Averroes, simulado mediante el modelo numérico HySEA. La escala de colores representa la altura de las olas (en metros), mientras que las líneas de contorno indican el tiempo estimado de llegada de la primera ola a distintas áreas costeras (en minutos). FIGURA TOMADA DEL ARTÍCULO ESTRADA *ET AL.*, 2021.



2.3.

Asesoramiento científico multinivel y multifactor: planificación territorial y gestión de desastres

El CSIC desarrolla proyectos de investigación y participa activamente en el asesoramiento científico a distintos ministerios con el objetivo de contribuir al diseño de planes de ordenación del espacio marítimo en España y al seguimiento de procesos que pueden tener un impacto significativo sobre la sociedad y el medioambiente. Asimismo, el CSIC representa a España en foros europeos e internacionales donde se evalúan estos procesos y se analizan sus posibles consecuencias. Un ejemplo destacado es su participación en la COI de la Unesco, organismo que coordina los esfuerzos globales para mejorar la preparación, la respuesta y los sistemas de alerta temprana ante tsunamis. En este marco, el CSIC colabora en el desarrollo de iniciativas como el Programa de Tsunamis del Decenio del Océano y el Programa de Reconocimiento Tsunami Ready, orientadas a fortalecer la resiliencia de las comunidades costeras frente a estos fenómenos.

Por otro lado, el CSIC desempeña un papel fundamental en el asesoramiento científico para la planificación territorial marina. En relación con ello, ha formado parte del grupo de expertos coordinado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (Miteco) y ha participado de forma activa en la elaboración de los planes de ordenación del espacio marítimo (POEM) en el ámbito nacional. Esta labor contribuye directamente a la implementación de directivas europeas centradas en la conservación de los ecosistemas marinos, como la *Directiva 2008/56/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de junio de 2008, por la que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino* (directiva marco sobre la estrategia marina) y la *Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestre*, conocida como *Directiva Hábitats*. Dada la amplitud y diversidad del conocimiento disponible en sus distintos centros, el CSIC asume el reto de proporcionar asesoramiento

técnico especializado para que se tenga en cuenta el impacto de los peligros geológicos submarinos en futuras revisiones de los POEM. Los terremotos, deslizamientos submarinos y tsunamis pueden provocar alteraciones significativas en la morfología del fondo marino y, en consecuencia, afectar a los ecosistemas bentónicos, a las infraestructuras situadas tanto en el medio marino como en las zonas costeras, así como a las actividades socioeconómicas asociadas a estos entornos.

El CSIC ha participado activamente en la redacción del Plan Nacional de Vigilancia Sísmica, Volcanológica y de Otros Fenómenos Geofísicos (2025-2028), gestionado por el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible a través del IGN. Este plan, aprobado por el Consejo de Ministros el 4 de marzo de 2025, tiene como objetivo optimizar los recursos disponibles y reforzar los sistemas de vigilancia, detección y regulación técnica frente a fenómenos naturales potencialmente destructivos, como terremotos y tsunamis, tanto en el ámbito terrestre como marino. Asimismo, incorpora expresamente los procesos de inestabilidad del terreno en el catálogo de peligros objeto de seguimiento.

Además de su implicación en la fase de elaboración del plan, el CSIC desempeñará un papel clave en su implementación aportando su capacidad científica y tecnológica en áreas fundamentales como la monitorización geofísica, el análisis de peligros y la evaluación de riesgos asociados a estos fenómenos.

Por ello, el CSIC ejerce un rol esencial en todas las fases de la gestión de desastres, desde la planificación preventiva hasta la respuesta inmediata y la recuperación postemergencia. Esta labor se enmarca en un enfoque integral que busca no solo mitigar los efectos de los desastres naturales, sino también fortalecer la resiliencia de las comunidades y los ecosistemas afectados.

Asimismo, durante los períodos de normalidad, es decir, entre eventos catastróficos, el CSIC contribuye activamente a la planificación estratégica mediante la elaboración de cartografías de peligrosidad y riesgo, esenciales para la identificación de zonas donde ocurren procesos naturales y su intensidad. Estas cartografías representan el diagnóstico para planificar medidas de adaptación y así poder convivir mejor con los procesos naturales peligrosos. Además, participa en el desarrollo de normativa técnica y metodológica, así como en la planificación de recursos humanos y materiales necesarios para afrontar futuras catástrofes. En particular, se han desarrollado metodologías avanzadas para el análisis y la prevención de riesgos asociados a tsunamis que permiten explotar al máximo todo el conocimiento científico e integrar de manera eficaz la información proveniente de distintas disciplinas científicas y técnicas. El CSIC complementa esta labor proporcionando asesoramiento técnico sobre la distribución espacial de daños más frecuentes en caso de tsunamis. Esta información resulta clave para la estimación de pérdidas económicas y la planificación financiera conforme a la normativa europea vigente, en especial en el marco de la *Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio* (Directiva Solvencia II), que regula la capacidad de las aseguradoras para hacer frente a grandes siniestros.

Durante la fase de emergencia, el CSIC participa en comités técnicos de asesoramiento científico apoyando la toma de decisiones críticas como la selección de emplazamientos para hospitales de campaña, zonas de vertido controlado, localización de víctimas, pronósticos de evolución de los procesos y evaluación de daños mediante sensores remotos, sistemas de información geográfica (SIG) y herramientas de simulación numérica. Esta capacidad de respuesta rápida y basada en evidencia científica permite optimizar la gestión de catástrofes, reducir el impacto social de los procesos peligrosos y facilitar las labores de recuperación.

Por último, en la etapa de recuperación, el CSIC continúa aportando conocimiento especializado en distintos niveles de la cadena de toma de decisiones. Su contribución incluye propuestas innovadoras y soluciones basadas en la evidencia científica que promueven un desarrollo sostenible y resiliente, alineado con los objetivos de reducción del riesgo de desastres y de adaptación al cambio climático establecidos por la Unión Europea y organismos internacionales como la ONU.

Este enfoque multidisciplinar y colaborativo del CSIC refuerza la capacidad del sistema científico español para anticipar, responder y recuperarse frente a los peligros geológicos submarinos. Además, contribuye a posicionar a nuestro país como referente en la gestión integrada de los desastres naturales en el contexto europeo que abarca no solo la planificación territorial, sino también otros ámbitos estratégicos de la gestión del riesgo.

2.4.

Divulgación y concienciación social ante los peligros geológicos submarinos

El trabajo del CSIC va más allá de la investigación científica. Sus equipos científicos marinos no solo se dedican a la recolección y el análisis de datos, sino que también desempeñan un papel esencial en la divulgación y en la concienciación social. En el caso de los terremotos, deslizamientos submarinos y tsunamis, esta labor adquiere una especial relevancia debido a su baja visibilidad y escaso conocimiento público, a pesar de su alto potencial destructivo. Además, la relación entre la crisis climática y el aumento de ciertos peligros geológicos aún no es reconocida como un factor relevante por buena parte de la población.

El CSIC, como principal organismo público de investigación en España, desarrolla diversas iniciativas de divulgación científica orientadas a públicos variados. Estas acciones incluyen desde materiales educativos para centros escolares hasta exposiciones interactivas, charlas divulgativas, documentales y colaboraciones en medios de comunicación. Esta labor reviste especial relevancia, dado que factores como la edad, el sexo, el nivel educativo, la presencia de menores en el hogar o el perfil de residencia (local o turista) influyen de forma significativa en la percepción social de los peligros naturales y en la forma en que se entienden sus amenazas y consecuencias.

El CSIC impulsa iniciativas como la plataforma Ciudad Ciencia, que organiza actividades participativas en municipios de toda España; el programa Ciencia en el Aula, con charlas de investigadores en centros educativos; o la Semana de la Ciencia y la Tecnología, en la que muchos de estos institutos abren sus puertas al público general. Además, desarrolla exposiciones interactivas sobre peligros geológicos submarinos y colabora en la producción de documentales y materiales audiovisuales dirigidos a medios y redes sociales. Un ejemplo destacado es el documental *¿Preparados para el tsunami?*, estrenado en Movistar Plus+ en diciembre de 2023 y posteriormente emitido en La 1 y La 2 de RTVE. Esta producción, que contó con la participación de investigadores del CSIC, analiza el riesgo de tsunamis en España y pone en valor la investigación científica y las tecnologías de alerta temprana como herramientas fundamentales para la prevención y la protección de la población.

Ya sea a bordo de un buque oceanográfico, en una escuela o a través de una infografía, el personal científico del CSIC hace que el conocimiento de los peligros geológicos submarinos salga del laboratorio y llegue a donde más importa: a la ciudadanía y a los sectores que impulsan la economía. Por ello, organiza actividades como Pequeños Oceanógrafos, que lleva la oceanografía al aula en educación primaria; Oceánicas en la escuela que incluye charlas, talleres experimentales y materiales didácticos; y los proyectos de Ciencia Ciudadana que desarrollan espacios, herramientas y materiales para involucrar a la sociedad en una investigación real. Además, el CSIC difunde sus investigaciones en formatos creativos como el Science Slam, donde los jóvenes científicos presentan su trabajo al público de forma amena y participativa. Por otro lado, como parte del programa Converge, los Itinerarios Cicerón ofrecen una vía directa de conexión entre la ciencia y las empresas, Administraciones públicas y medios de comunicación mediante jornadas temáticas con el objetivo de mostrar de manera directa cómo sus investigaciones abordan retos económicos y sociales clave. En la actualidad, desde la Conexión Geociencias para un Planeta Sostenible del CSIC, se está preparando el Itinerario Cicerón titulado *Desafíos y Soluciones para Infraestructuras Críticas Marinas*. El propósito del evento es dar a conocer a las partes públicas y privadas responsables de estructuras críticas marinas —como son puertos, plataformas de extracción o almacenamiento de hidrocarburos, tuberías submarinas y cables submarinos eléctricos y de telecomunicaciones— el trabajo que desarrollan los centros del CSIC en relación con los peligros geológicos submarinos, desde su identificación y evaluación hasta su mitigación. A lo largo de la jornada, se exponen avances científicos y tecnológicos que, además de facilitar el seguimiento y control de estos riesgos, contribuyen a una gestión más sostenible y resiliente de las infraestructuras situadas en el medio marino.

Figura 18 El documental *¿Preparados para el tsunami?* es una coproducción entre Goat Knight y RTVE, que se estrenó por primera vez en el Instituto de Ciencias del Mar (ICM) en Barcelona

FOTO DE: HTTPS://GOATKNIGHT.COM/PREPARADOS-PARA-EL-TSUNAMI-PREMIERES-AT-THE-INSTITUTO-DE-CIENCIAS-DEL-MAR-ICM-CSIC-IN-BARCELONA/

A través de todas estas actividades de divulgación científica, el personal investigador del CSIC explica de forma clara, accesible y rigurosa en qué consisten estos fenómenos, cómo se originan y por qué es crucial estar preparados, a la vez que fomentan una cultura de prevención en torno a los peligros geológicos submarinos, ya que una ciudadanía informada es más resiliente. La comprensión básica de estos fenómenos permite a la población identificar señales de alerta, responder adecuadamente a situaciones de emergencia y apoyar políticas públicas orientadas a la reducción del riesgo. Además, una mayor concienciación fortalece el respaldo social a la investigación científica y a las inversiones necesarias en monitorización y sistemas de alerta temprana.

Figura 19 Visitas escolares a centros del CSIC, en las que se abordan cuestiones relacionadas con los peligros geológicos submarinos

tres

Conclusiones y recomendaciones

Las siguientes conclusiones y recomendaciones sintetizan los hallazgos y aprendizajes clave sobre los peligros geológicos submarinos destacando su relevancia en España y el papel fundamental del CSIC para que autoridades, empresas y la propia ciudadanía puedan actuar de manera informada frente a los riesgos que estos fenómenos naturales representan.

Conclusiones

Los peligros geológicos submarinos, como los terremotos, deslizamientos y tsunamis, forman parte de la dinámica natural de los fondos marinos, pero su impacto puede ser devastador para la sociedad. Aunque no pueden evitarse, sus efectos pueden reducirse de forma notable mediante una adecuada preparación, vigilancia y prevención.

En España, los entornos con mayor exposición a estos riesgos se sitúan en las islas Canarias, el golfo de Cádiz, el mar de Alborán y el resto de las costas mediterráneas, donde confluyen factores geológicos con una elevada concentración de población e infraestructuras, lo que incrementa tanto la exposición como la vulnerabilidad. La ausencia de eventos recientes no equivale a ausencia de peligro: la geología conserva una memoria mucho más extensa que la historia escrita e ignorarla implica asumir riesgos innecesarios. En este contexto, el papel de la ciencia es esencial para comprender, anticipar y mitigar los efectos de estos procesos naturales.

La evidencia y el conocimiento generados por el CSIC son fundamentales para comprender, caracterizar y modelizar estos fenómenos. Gracias al uso de tecnología puntera, sus equipos científicos investigan tanto el origen como el comportamiento de estos procesos geológicos peligrosos. En este sentido, el CSIC ha demostrado su capacidad científica y tecnológica para afrontar de manera eficaz los peligros geológicos submarinos y transferir activamente el conocimiento obtenido —a través de sistemas de observación marina, modelos de propagación de tsunamis y herramientas y protocolos— a las autoridades públicas, responsables de emergencias, así como a la propia ciudadanía.

Recomendaciones

Para los políticos y responsables públicos:

Integrar los peligros geológicos submarinos en la planificación y normativa pública: incluir de forma sistemática la evaluación de los peligros sísmicos, deslizamientos y tsunamis en la ordenación del litoral, la planificación marítima, las infraestructuras críticas y los planes de emergencia.

Crear una base de datos unificada y de acceso público: integrar y actualizar bases como QAFI, BDMOVES y ZESIS para garantizar su interoperabilidad con plataformas europeas y su acceso abierto a investigadores, Administraciones y empresas.

Desarrollar un programa nacional de observación y monitorización del fondo marino: implementar un sistema continuo y avanzado de monitorización para detectar señales tempranas de los peligros geológicos submarinos, priorizando zonas como Canarias, el golfo de Cádiz y el mar de Alborán.

Desarrollar y mantener modelos de simulación y escenarios de riesgo actualizados: aplicar modelos validados para evaluar los impactos de terremotos, deslizamientos y tsunamis, y asegurar su disponibilidad para los servicios de protección civil y los gestores del territorio.

Fortalecer los sistemas de alerta temprana y respuesta rápida: mejorar los sistemas de alerta por tsunami con tecnologías en tiempo real y reforzar la coordinación entre organismos para garantizar una respuesta eficaz y basada en la evidencia científica.

Fomentar la cooperación interinstitucional y el asesoramiento científico continuo: consolidar canales estables entre la comunidad científica, las Administraciones públicas, los gestores y los organismos europeos para asegurar decisiones basadas en conocimiento actualizado y riguroso.

Para las empresas y los operadores del medio marino:

Fomentar la cooperación público-privada basada en la ciencia: colaborar con centros de investigación, Administraciones y organismos de emergencia para acceder a información fiable que respalde una toma de decisiones efectiva.

Impulsar el desarrollo de capacidades técnicas en geociencias marinas a través de alianzas estratégicas con centros de investigación: promover conjuntamente infraestructuras, tecnologías y programas de formación técnica que reduzcan vulnerabilidades operativas y aumenten la resiliencia empresarial frente a los peligros geológicos submarinos.

Incorporar la dimensión transnacional del peligro en las estrategias corporativas: participar activamente, desde el sector privado, en redes internacionales para compartir datos, protocolos y buenas prácticas ante riesgos geológicos submarinos que trascienden fronteras.

Para la sociedad:

Promover una cultura de prevención y resiliencia ciudadana: impulsar campañas continuas de educación y sensibilización, especialmente en zonas costeras y turísticas, con información accesible y multilingüe que prepare a la población ante emergencias geológicas submarinas.

Apoyar la transparencia y el acceso abierto a la información: garantizar que la ciudadanía disponga de datos claros y fiables sobre los peligros geológicos submarinos, lo que mejorará la respuesta ante las emergencias, facilitará la recuperación y reforzará la confianza en las instituciones.

Participar en ejercicios de simulación y protocolos de emergencia: fomentar la participación ciudadana en simulacros y entrenamientos ante tsunamis u otros peligros geológicos, con el fin de fortalecer la preparación individual y colectiva.

Para los medios de comunicación:

Informar con rigor y promover la prevención: difundir información verificada, comprensible y contextualizada sobre los peligros geológicos submarinos para fomentar una cultura de prevención más allá de la cobertura inmediata tras los desastres.

Dar visibilidad a la ciencia y a la cooperación institucional: comunicar el trabajo desarrollado por la comunidad científica, así como las colaboraciones entre instituciones, empresas y organismos de protección civil, para fortalecer la confianza ciudadana en las medidas de gestión del riesgo.

cuatro

Listado de centros

CENTRO	PÁGINA WEB	CORREO ELECTRÓNICO
Geociencias Barcelona (GEO3BCN, CSIC)	www.geo3bcn.csic.es	info@geo3bcn.csic.es
Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (IACT, CSIC)	www.iact.csic.es	direccion.iact@csic.es
Instituto de Ciencias del Mar (ICM, CSIC)	www.icm.csic.es	direccion.icm@csic.es
Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA, CSIC)	www.idaea.csic.es/es/home_es/	direccion.idaea@csic.es
Centro Oceanográfico de Málaga (COMA-IEO, CSIC)	www.ieo.es	webmaster@ieo.csic.es
Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC)	wwww.igme.es	sec.dg@igme.es
Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEDEA, CSIC-UIB)	www.imedea.uib-csic.es/	aorfila@imedea.uib-csic.es
Unidad de Tecnología Marina (UTM, CSIC)	www.utm.csic.es	direccion.utm@csic.es

cinco

Para saber más

European Marine Observation and Data Network (EMODnet)

Marine Geohazards

Marine Hazards and models marine geohazards

Marine Geohazards and the Blue Economy

Monograph on Marine Geohazards in the Mediterranean

Publicación del Plan Nacional de Vigilancia Sísmica, Volcánica y otros Fenómenos Geofísicos

Submarine Landslides

Tsunami risk mitigation and early warning systems

Ciencia para las Políticas Públicas

Informe de transferencia de conocimiento

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
EDITORIAL CSIC

SCIENCE 4 POLICY