

PLAN NACIONAL DE VIGILANCIA SÍSMICA, VOLCÁNICA Y DE OTROS FENÓMENOS GEOFÍSICOS

**Plan Nacional de Vigilancia
Sísmica, Volcánica
y de otros Fenómenos Geofísicos**

Índice

1	Introducción, marco y antecedentes	7
1.1	Contexto general del Plan.....	7
1.2	Contexto histórico-normativo	8
1.3	Contexto tecnológico e internacional	10
2	Objetivos generales del Plan	13
3	Aproximación a los georriesgos	15
3.1	Georriesgos en España	15
3.2	Terremotos	16
3.3	Erupciones volcánicas	18
3.4	Tsunamis	20
3.5	Inestabilidad del terreno y aludes de nieve.....	21
3.6	Meteorología espacial.....	23
4	Recursos de las Administraciones Públicas para la vigilancia y alerta de geopeligros	25
4.1	Introducción. Antecedentes históricos	25
4.2	Disposiciones normativas	31
4.3	Infraestructuras y recursos técnicos	33
5	Objetivos y retos específicos del Plan. Medidas e instrumentos para el refuerzo y coordinación de los sistemas de vigilancia en España	37
5.1	Introducción. Aproximación al esfuerzo económico en vigilancia de geopeligros	37
5.2	Tipos de propuestas contempladas en el plan.....	38
5.3	Planteamientos y medidas específicas para el refuerzo y coordinación de la vigilancia de geopeligros en España	40
5.3.1	Vigilancia sísmica	40
5.3.2	Vigilancia de la actividad volcánica	45
5.3.3	Vigilancia de tsunamis	53
5.3.4	Vigilancia de inestabilidad del terreno	58
5.3.5	Vigilancia en meteorología espacial	65
6	Seguimiento, desarrollo y revisión del Plan. Hitos e indicadores	67
6.1	Objetivos del seguimiento y evaluación del plan.....	67
6.2	Coordinación y proceso de seguimiento y evaluación.....	68
7	Anexos.....	69
Anexo I.	Tabla de disposiciones normativas	70
Anexo II.	Tabla de infraestructuras y recursos técnicos.....	74
Anexo III.	Relación de medidas propuestas en el Plan	86
Anexo IV.	Relación de acrónimos presentes en el texto	92
Anexo V.	Relación de instituciones, entidades y organizaciones del grupo de trabajo y sus subgrupos que han participado en la preparación del Plan	97

1 Introducción, marco y antecedentes

1.1 Contexto general del Plan

En virtud de la disposición adicional séptima del Real Decreto-ley 2/2022, de 22 de febrero, el Gobierno encargó al entonces Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, la elaboración de un Plan Nacional de vigilancia sísmica, volcánica y de otros fenómenos geofísicos.

Dicho Plan pretende, mediante la optimización de los recursos y mejora de los sistemas de alerta temprana, monitorización, vigilancia, detección y regulación técnica de los peligros incluidos en él, **fortalecer el sistema con el que cuenta nuestro país para poder cumplir las necesidades nacionales en materia de riesgos por fenómenos geofísicos**, así como el cumplimiento de compromisos internacionales, tales como la comprensión del riesgo de desastres naturales, el fortalecimiento de su gobernanza y preparación, a fin de poder ofrecer una respuesta eficaz ante estos fenómenos.

La vigilancia sísmica, volcánica o de otros fenómenos geofísicos es clave para la gestión y mitigación del riesgo que suponen dichos fenómenos. En España, esta gestión se realiza desde 1985 a través del Ministerio de Interior y el Sistema Nacional de Protección Civil y está regulada por la Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil. Por lo tanto, **el objetivo de este Plan no es la mejor gestión de los riesgos naturales**, que como anteriormente referimos es competencia del Sistema Nacional

de Protección Civil, **sino de una de las premisas necesarias y sustanciales para llevar a cabo esta tarea: la vigilancia de los fenómenos que producen estos riesgos en nuestro territorio.**

Una definición de **riesgo** la encontramos en la Estrategia Internacional para Reducción de Desastres (ISDR), que define el **riesgo** como **la combinación de la probabilidad de que se desencadene un determinado fenómeno o suceso que, como consecuencia de su propia naturaleza o intensidad y la exposición y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, puede producir efectos perjudiciales en las personas o pérdidas de bienes**. El **peligro** es definido en la citada Ley de 2015, **como el potencial de ocasionar daño en determinadas situaciones a colectivos de personas o bienes que deben ser preservados por la protección civil**. El Plan que se presenta en las páginas siguientes trata principalmente de analizar la situación actual con el objetivo de **dotar de completitud a los sistemas encargados de la identificación y vigilancia de los peligros naturales, con el principal fin de mitigar y minimizar el riesgo asociado, y ser así de máxima utilidad a los gestores responsables del manejo de las emergencias**.

Así pues, este Plan Nacional tiene como alcance la optimización de los recursos disponibles para el manejo de los **geopeligros**¹. Dentro de estos peligros se han incluido las erupciones

¹ Geopeligro es un término científico que hace referencia a procesos geológicos activos que representan un nivel de amenaza para la vida humana, la salud y los bienes.

volcánicas, terremotos y maremotos de forma explícita, pero, dentro de otros fenómenos geofísicos, se han incluido las inestabilidades del terreno, enfocándose a los movimientos de ladera, las subsidencias, los deslizamientos submarinos y los aludes de nieve. Por último, se ha incluido la meteorología espacial, que engloba el estudio

de las condiciones ambientales en la magnetosfera, la ionosfera y la termosfera de la Tierra debidas al Sol y al viento solar, cuyas perturbaciones pueden influir en el funcionamiento y la fiabilidad de los sistemas y servicios espaciales y terrestres o poner en riesgo la propiedad o la salud humana.

1.2 Contexto histórico-normativo

No todos los riesgos asociados a estos peligros están regulados normativamente de forma homogénea. A nivel estatal, se han ido aprobando diferentes documentos para contribuir a mejorar la gestión del riesgo como las **directrices básicas de Protección Civil** ante el riesgo sísmico (1995), ante el riesgo volcánico (1996), y ante el riesgo de maremotos (2015). La **Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional** también reconoce a los fenómenos de meteorología espacial dentro de los retos en el ámbito aeroespacial, aunque no hay ningún documento que la aborde como un peligro a diferencia de los anteriormente descritos.

Los maremotos o tsunamis, los terremotos y la actividad volcánica están en el catálogo de riesgos objeto de planificación contemplado en la Norma Básica de Protección Civil (artículo 2 y Anexo) y por lo tanto son objeto de planes de protección civil de acuerdo con una Directriz Básica de Planificación. Esos planes deben contener sistemas de información y alerta, para cada territorio o riesgo.

Por otra parte, con la Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil, se crea la Red de Alerta Nacional de Protección Civil, como sistema de comunicación de avisos de emergencia a las autoridades competentes en materia de protección civil, a fin de que los servicios públicos esenciales y los ciudadanos estén informados ante cualquier amenaza de emergencia. De acuerdo con el artículo 12 de esa ley, todos los organismos de las Administraciones Públicas que puedan contribuir a la detección, seguimiento y previsión de amenazas de peligro inminente para las personas y bienes comunicarán de inmediato al Centro Nacional de Seguimiento y Coordinación de Emergencias de Protección Civil cualquier situación de la que

tengan conocimiento que pueda dar lugar a una emergencia de protección civil.

Por tanto, para poder reducir el riesgo es vital poder identificar, acotar, evaluar y comunicar los peligros a las autoridades responsables de la gestión de las emergencias de forma que la alerta temprana sea lo más eficaz y fiable posible. Para ello, la coordinación entre instituciones es de gran importancia ya que en nuestro país coexisten **varios niveles de administraciones públicas con competencias concurrentes en la gestión de los riesgos y la monitorización de variables geofísicas**. Por este motivo es crucial **evitar las duplicidades y maximizar la coordinación en el ejercicio de las gestiones necesarias para afrontar una emergencia** de la naturaleza que contempla este Plan, asegurando que la respuesta sea lo más efectiva posible.

España es un país con un importante grado de descentralización, y todos los georriesgos² mantienen una gestión descentralizada. Además de los planes estatales, la mayoría de las comunidades autónomas disponen de planes especiales de Protección Civil por riesgo sísmico y decenas de municipios cuentan con planes de actuación local; Canarias cuenta con el Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por riesgo volcánico en la Comunidad Autónoma de Canarias (PEVOLCA) aprobado en 2018 para hacer frente a crisis sismo-volcánicas; Catalunya con el Plan Especial de Emergencia por Aludes de nieve en Catalunya (ALLAUCAT) aprobado en 2009; y Andalucía en 2023 aprobó su Plan de Emergencia ante el Riesgo de Maremotos.

En los últimos años se han acelerado las actuaciones para el cumplimiento de las responsabilidades estatales, autonómicas y locales para los georriesgos. Asimismo, se

2 Riesgo asociado a un geopeligro.

ha producido un gran crecimiento en las infraestructuras de servicio y de investigación existentes en nuestro país con potencial para ofrecer servicios de alta calidad y datos de interés para la vigilancia y seguimiento de los geopeligros. Muchas de estas infraestructuras de servicio o de investigación no están coordinadas con los organismos responsables de la vigilancia de estos peligros, siendo algunas de ellas únicas y esenciales. Además, se hace notar la existencia de un creciente grado de redundancia que necesita de la coordinación de este Plan para asegurar el uso responsable de los recursos públicos y la máxima disponibilidad de los datos y servicios para el desarrollo de las labores de vigilancia de los geopeligros, asegurando la mayor utilidad, calidad, accesibilidad, disponibilidad, mantenimiento y uso público de los mismos.

Considerada la gobernanza como la forma de articular la participación de distintos sujetos con entidad propia en la toma de decisiones de una entidad superior, los planes en materia de riesgos deben fijar protocolos para dicha toma de decisiones, de forma que en momentos cruciales no haya dudas de qué entidad es la responsable en cada paso. La gobernanza se caracteriza por cinco principios: apertura, participación, responsabilidad, eficacia y coherencia, a partir de estos se deben articular las formas de participación de cada

administración para poder dotar de una plena coherencia al sistema y evitar duplicidades, así como zonas «oscuras» que, al no tener plenamente definida su regulación, puedan quedar sin responsables que las gestionen.

España se considera un país con un nivel global de riesgo geofísico moderado por la baja probabilidad de ocurrencia de terremotos, maremotos o eventos volcánicos significativos. Sin embargo, el riesgo no es inexistente como atestiguan los registros históricos, y desgraciadamente sus consecuencias sí son de alto impacto.

Durante el año 2021, año con una alta actividad sísmica, se registraron en España más de 18 000 terremotos, de los cuales, más de mil fueron sentidos por la población. Los registros históricos nos muestran que, hasta 14 maremotos o tsunamis, como son conocidos internacionalmente, han afectado a nuestras costas en los últimos 500 años aproximadamente, siendo el último con impactos económicos considerables el pequeño tsunami de mayo de 2003, consecuencia de un terremoto en la costa de Argelia, que causó importantes daños materiales en los puertos de Baleares (sólo en el puerto de Mahón se hundieron 33 barcos). Este tsunami, registrado en los mareógrafos del Mediterráneo occidental con mayor o menor amplitud, alcanzó en San Antoni la mayor altura de ola (1,96 metros), y en Ibiza



Grabado de 1755 mostrando los efectos del terremoto de Lisboa y el maremoto arrasando las embarcaciones del puerto.

y Formentera el agua llegó a penetrar tierra adentro unos 50 metros. En las Islas Canarias, zona especialmente activa desde el punto de vista volcánico, se han producido dos erupciones en los últimos quince años, una en El Hierro (2011-2012) y otra en La Palma (2021).

Precisamente, un claro ejemplo de ese alto impacto que pueden tener los fenómenos geofísicos ha sido la erupción volcánica de La Palma, que causó una gran conmoción no solo en la ciudadanía de la isla o de la Comunidad Autónoma, sino en toda la población española. Durante casi tres meses, se pudo contemplar día a día a través de los medios de comunicación cómo los peligros volcánicos iban arrasando más de 1 000 viviendas, colegios, centros de salud, animales, medioambiente, patrimonio histórico artístico y cultural, infraestructuras viarias

o hidráulicas y terrenos cultivados, provocando la evacuación de más de 7 000 personas.

Pero las erupciones volcánicas no son las catástrofes naturales que más impacto han tenido en nuestro país. El terremoto de Campredó (Girona) de 1428 provocó más de 1 000 víctimas mortales y daños en España y Francia, el de Torrevieja (Alicante) de 1829 provocó más de 400 víctimas mortales y el de Arenas del Rey (Granada) en 1884 llegó a ocasionar casi un millar de fallecidos y la destrucción de más de 4 000 edificios. El último terremoto con daños graves fue el de Lorca en 2011 con 9 víctimas mortales y más de 300 heridos. En época histórica, la mayor catástrofe natural de la península Ibérica fue el terremoto de Lisboa y el tsunami que produjo, con decenas de miles de víctimas en España, Portugal y Marruecos.

1.3 Contexto tecnológico e internacional

El desarrollo tecnológico en las últimas décadas ha propiciado un profundo cambio en la transmisión y almacenamiento de datos, lo cual ha posibilitado la implementación de redes de monitorización a cualquier nivel. En el ámbito que nos incumbe, el avance tecnológico ha impulsado la adquisición de datos masivos imprescindibles para la identificación de geopeligros, a través de métodos terrestres y satelitales con transmisión en tiempo real y con un coste muy reducido. **Estos avances tecnológicos han impulsado la existencia de redes de monitorización sísmica, volcánica y de cualquier otro fenómeno geofísico**, logrando obtener la información necesaria para la vigilancia, seguimiento y comunicación de la actividad y el peligro asociado.

La densificación de las redes de monitorización a cargo de diversas instituciones va a requerir procesos de análisis de grandes volúmenes de datos (*big data*). Para ello será fundamental el trabajo conjunto de las administraciones con el fin de no desperdiciar recursos analizando cantidades ingentes de información por duplicado y ser más eficientes en el análisis de las bases de datos masivas. Por todo ello es clave incorporar en la gobernanza la colaboración y la cooperación a nivel local, regional, estatal e internacional.

La Unión Europea (UE), a través del **Mecanismo de Protección Civil Europea** creado en

2001, trata de fomentar la cooperación entre los estados miembros para facilitar la coordinación en el ámbito de la protección civil con el fin de mejorar la eficacia de los sistemas de prevención, preparación y respuesta ante catástrofes naturales, aumentar la concienciación de la población y la preparación ante catástrofes y propiciar una asistencia rápida, eficaz y coordinada a las poblaciones afectadas.

La UE establece los Objetivos de Resiliencia para mejorar la eficacia de los sistemas de prevención, preparación y respuesta, buscando la sinergia entre los estados miembros. Para ello, se fija que los principios fundamentales de la resiliencia deben ser globales, intersectoriales, transfronterizos, inclusivos, sostenibles, basados en la anticipación y sustentados en conocimientos y experiencias. Estos objetivos, esenciales para el desarrollo del Plan Nacional, definen las áreas de trabajo en anticipación, preparación y alerta que debemos establecer en respuesta a los peligros identificados.

En el área de trabajo de la anticipación, el propósito es reforzar la identificación de peligros en el territorio para mejorar la evaluación del riesgo y la planificación. Como iniciativa emblemática se ha llevado a cabo la de diseñar los «escenarios de desastres», donde se han establecido 16 peligros, entre los que se encuentran las erupciones volcánicas, los terremotos y los tsunamis, abordados en este Plan Nacional.

A nivel internacional, el terremoto de Ciudad de México de septiembre de 1985 y la erupción del volcán colombiano Nevado del Ruiz de noviembre de ese mismo año, fueron dos eventos muy próximos en el tiempo cuyos efectos sociales y económicos abrieron los ojos a toda la comunidad internacional sobre la importancia de la gestión de los riesgos naturales, la coordinación, la exposición a los riesgos, la comunicación y la disponibilidad de medios para poder evitar o mitigar tragedias tan terribles como estas. De la misma manera, tuvo un enorme impacto en Europa la situación catastrófica por aludes de nieve el febrero de 1999 en los Alpes, de forma concentrada en el tiempo, pero con una gran extensión: en Austria (31 víctimas), Suiza (17 víctimas), Francia (12 víctimas), además de la destrucción del pueblo de Galtür en Austria y de la aldea de Montroc en Francia.

Tras estas dos catástrofes, la ONU designó la **década 1990-1999** como el **Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (DIRDN)** y comenzaron a celebrarse periódicamente las **conferencias mundiales sobre reducción de desastres como el mejor marco para su gestión**. A partir de estas dos catástrofes y las iniciativas que dieron lugar, se empezó a profundizar en los conceptos de peligrosidad, exposición, vulnerabilidad o riesgo, estableciendo políticas y recomendaciones a nivel internacional para desarrollarlos más específicamente y poder establecer coordinación a nivel supranacional de forma más efectiva. En la I Conferencia Mundial se elaboró el primer gran texto sobre reducción de desastres naturales: la *«Estrategia de Yokohama para un mundo más seguro»*, firmada en 1994 en la ciudad japonesa que da nombre al documento.

El tsunami del Océano Índico de 2004 y sus funestas consecuencias consiguieron acelerar el trabajo para establecer el objetivo de la reducción de riesgo de desastres en el entorno de la ONU y, así, la II Conferencia Mundial sobre Reducción de Riesgo de Desastres celebrada en Kobe (Japón) en 2005 consiguió que 168 países, entre ellos España, firmaran el **Marco de Acción de Hyogo (MAH)** considerado el primer gran hito en la puesta en marcha de políticas de reducción de riesgo de desastres mediante acciones de prevención, mitigación y gestión del riesgo. Con la firma del MAH los países se comprometían a una reducción sustancial y generalizada de las pérdidas por desastres. Para conseguirlo, había que profundizar en la creación de políticas de emergencias, la asignación de recursos y la promoción de la resiliencia ante

desastres. El MAH requería acometer principalmente tres tareas para la reducción del riesgo: el conocimiento y comunicación del riesgo, la reducción propiamente dicha y la gestión del riesgo residual, para ello estableció cinco prioridades para cumplir sus objetivos:

- Asegurarse de que la reducción de riesgo de desastres es una prioridad nacional y local con una base institucional fuerte para su implementación.
- Identificar, evaluar y monitorizar los fenómenos susceptibles de originar desastres, así como mejorar los sistemas de alerta temprana.
- Utilizar el conocimiento, la innovación y la educación para construir una cultura de seguridad y resiliencia en todos los niveles.
- Reducir los factores de riesgo subyacentes.
- Reforzar la preparación ante desastres para lograr respuestas efectivas a todos los niveles.

Tras una década de desarrollo del Marco de Acción, en 2015 se aprobó el **Marco de Sendai** en la III Conferencia Mundial sobre gestión de Riesgo de Desastres, un texto **vigente** en la actualidad, **hasta 2030**, y que marca un claro enfoque preventivo del riesgo de desastres naturales. Sendai conmina a prever el riesgo de desastres, planificar medidas y reducirlo para proteger de manera más eficaz a las personas, las comunidades y los países como primer objetivo. Además, el Marco de Sendai establece que el desarrollo sostenible y bien informado del riesgo de desastres no es una opción, sino un imperativo.

El Marco de Sendai **exhorta a que los gobiernos nacionales incrementen la disponibilidad de los sistemas de alerta temprana sobre amenazas múltiples** y de la información y evaluaciones sobre el riesgo de desastres transmitidas a las personas, así como el acceso a ellos, marcando como fecha límite el año 2030. El **objetivo es evitar nuevos riesgos, reducir los riesgos existentes y reforzar la resiliencia de las comunidades y países**.

A diferencia del MAH, el Marco de Sendai establece siete medidas claramente definidas, con sus correspondientes indicadores, y eso hace que sea más sencillo evaluar su implantación. Hyogo trató de incrementar la cultura de la reducción de riesgos y Sendai va a poder cuantificar si realmente se ha producido.

La reducción del riesgo de desastres es imposible separarla de las políticas y acciones para el desarrollo social y económico de España y es clave para que el desarrollo sea sostenible en el futuro. Desde la Estrategia de Yokohama ya quedó marcada la profunda interrelación entre la reducción del riesgo de desastres y el desarrollo sostenible.

Por último, en el ámbito internacional en esta década, a finales de 2015 se firmó otro gran tratado multilateral relacionado con las catástrofes naturales: el Acuerdo de París contra el cambio climático donde se aborda principalmente el aumento de la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y al mismo tiempo, la promoción de la resiliencia al clima.

La acción urgente para la reducción del riesgo es fundamental para alcanzar simultáneamente tres hitos: los objetivos del acuerdo de París, los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 así como el propósito fundamental del marco de trabajo de Sendai. El Gobierno de España se ha comprometido con su firma en los tres acuerdos y por ello debe trabajar en la reducción del riesgo de desastres.

España se ha sumado de forma destacada a la Agenda 2030, un plan de acción dentro de Naciones Unidas a favor de las personas, el planeta y la prosperidad. Este plan de acción

desgrana los objetivos de la comunidad internacional en el periodo 2016-2030 para erradicar la pobreza y favorecer un desarrollo sostenible e igualitario. **El Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, encargado de coordinar la redacción de este plan, es una pieza clave en el desarrollo de esta Agenda, en particular con la Estrategia de Movilidad Sostenible.** Comprender y reducir el riesgo en un mundo de incertidumbre es fundamental para lograr un desarrollo verdaderamente sostenible, como se afirma en el Informe de Evaluación Global para la Reducción del Riesgo de Desastres.

La Agenda 2030 para el desarrollo Sostenible reconoce y reafirma la necesidad urgente de reducir el riesgo de desastres. Para conseguir este objetivo, los factores a reducir son tanto la vulnerabilidad como la exposición a los peligros. Existen oportunidades específicas para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el marco de la reducción del riesgo de desastres. En concreto, mediante la construcción de infraestructuras resilientes, la promoción de la educación para el desarrollo sostenible y la creación de ciudades y comunidades sostenibles se avanzaría en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 4, 9 y 11 y, al mismo tiempo, se podría reducir el riesgo de desastres naturales.

2 Objetivos generales del Plan

España es un territorio con actividad sísmica, tsunamigénica, volcánica y de otros fenómenos geofísicos relacionados, que exige de vigilancia y control, tal como se reconoce en la normativa regulatoria de estos peligros. Actualmente, **se registran en promedio alrededor de 8 000 terremotos al año**, de los que más de 350 superan magnitud 3 y aproximadamente 300 son sentidos por la población.

Aunque el país ya dispone de un sistema de vigilancia sísmica y volcánica, de una normativa acorde y de una comunidad científica reconocida internacionalmente, **los recientes acontecimientos han puesto de manifiesto que resulta imprescindible contar de forma inmediata con un sistema de vigilancia moderno**, bien coordinado y adecuado, que cuente con la colaboración de los diferentes actores de las administraciones públicas involucrados en la materia y del que puedan extraerse conocimientos precisos para el establecimiento de normativas que refuercen la seguridad de las construcciones.

En la actualidad, por una parte, existe redundancia en la información generada por las redes de vigilancia, no solo en lo que se refiere a la parte instrumental, sino también a la información que llega al ciudadano y a los organismos gestores de la emergencia. Esto último es especialmente relevante en relación con el peligro sísmico y volcánico, con la existencia de redes autonómicas o de investigación que presentan solapamiento en su despliegue y que necesitan de un plan regulador. Por otra parte, **hay riesgos como el de la meteorología espacial o inestabilidades del terreno**, que están en fase incipiente de despliegue y que, en algunos casos, **no cuentan con la regulación adecuada para su gestión**. Asimismo, **se detecta falta de regulación y falta de protocolos para la sinergia de infraestructu-**

ras de investigación que pueden ser de gran interés durante una emergencia, como los buques oceanográficos, redes de investigación y laboratorios.

Por ello, **este Plan**, de vigencia cuatrienal, tendrá como finalidad la optimización de los recursos y la mejora de los sistemas de vigilancia, detección y regulación técnica de los fenómenos naturales destructivos de carácter geofísico como los terremotos, los tsunamis y las erupciones volcánicas. En concreto, **contendrá las medidas de refuerzo de las redes de vigilancia, promoviendo su gestión colaborativa y su densificación**, para avanzar en el conocimiento y en la investigación que permita mejorar la elaboración de pronósticos a corto, medio y largo plazo.

Con tal finalidad, se establecen los siguientes objetivos:

- La catalogación de todos los recursos disponibles, sean de vigilancia, científicos o de carácter mixto, incluyendo redes instrumentales de vigilancia e infraestructuras.
- La revisión de la legislación vigente en cada uno de los peligros, identificando el vacío o la redundancia de regulación en relación con un óptimo servicio al ciudadano.
- La propuesta de optimización de los recursos y mejora de los sistemas de vigilancia, detección y regulación técnica, a través de una mejor coordinación entre instituciones para fomentar el uso compartido de recursos.
- La propuesta de las medidas de refuerzo de las redes de vigilancia, promoviendo su gestión colaborativa y su densificación (con la instalación de las infraestructuras científicas necesarias en las zonas de mayor

peligrosidad y menos cubiertas instrumentalmente), para avanzar en el conocimiento y en la investigación que permita mejorar la elaboración de pronósticos a corto, medio y largo plazo.

- La mejora en la generación, comunicación y difusión de avisos, según los umbrales que se determinen para cada riesgo, en tiempo y forma para un adecuado cumplimiento de las responsabilidades adquiridas con Protección Civil, para que procedan a la mejor gestión de las emergencias.
- El desarrollo de protocolos de almacenamiento e intercambio de la información obtenida a partir de estos recursos en futuras emergencias para maximizar el retorno científico y, a su vez, avanzar en la mejora del conocimiento y la gestión en sucesivos episodios.

Mediante la orden ministerial de 8 de febrero de 2023, se creó el grupo de trabajo al que hace referencia la disposición adicional séptima del Real Decreto-ley 2/2022, de 22 de febrero, para la elaboración de la propuesta de plan, que

estará presidido por el Instituto Geográfico Nacional y del que formarán parte los ministerios y administraciones públicas con competencias en el ámbito de la vigilancia sísmica, volcánica y de otros fenómenos geofísicos.

En concreto, la composición del grupo ha contado con representantes del Instituto Geográfico Nacional, de la Armada, de la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas, de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias, del Ente público Puertos del Estado, de la Agencia Estatal de Meteorología, de las comunidades autónomas de Andalucía, Aragón, Asturias, Canarias, Catalunya, Extremadura, Galicia, Illes Balears, País Vasco, Valencia y de la Federación Española de Municipios y Provincias. El grupo contó, asimismo, con la colaboración imprescindible de cinco subgrupos de trabajo, uno por cada geopeligro considerado en este plan, en el que han participado numerosos organismos, universidades e instituciones del ámbito de la geofísica que han incrementado el necesario soporte científico-técnico en el mismo.

3 Aproximación a los georriesgos

3.1 Georriesgos en España

Los georriesgos son una preocupación importante en España debido a su historia geológica y a la variedad y complejidad de su geografía. España se encuentra en una zona tectónicamente activa, lo que implica la ocurrencia de fenómenos naturales potencialmente destructivos como terremotos, volcanes u otros fenómenos asociados a los anteriores como los tsunamis, en algunas áreas de su territorio. Además, factores como la topografía, fenómenos meteorológicos extremos y los procesos geomorfológicos también contribuyen a la existencia de otros tipos de georriesgos tales como inestabilidades de laderas y aludes de nieve.

Entre los georriesgos más significativos en España están los terremotos. El país se encuentra en la zona de colisión entre las placas tectónicas africana (Nubia) y euroasiática, lo que da lugar a una actividad sísmica significativa. Dentro de este marco general, las áreas más propensas a los terremotos en España son, en primer lugar, el sur y sureste peninsular, incluyendo Andalucía, Murcia y la Comunidad Valenciana y, en segundo, lugar los Pirineos. También cabe mencionar otras zonas con actividad sísmica reseñable como la Cordillera Costero Catalana, Galicia y las islas Canarias. El último terremoto significativo ocurrido en nuestro territorio es el de Lorca de 2011, de magnitud 5,1 que causó nueve víctimas mortales, severos daños y recordó el potencial destructor de estos fenómenos.

En cuanto al riesgo volcánico, las islas Canarias constituyen la principal área de volcanismo activo del país con un riesgo potencial para la población y las infraestructuras cercanas, como lo demuestra la reciente erupción de 2021 en la isla de La Palma, cuyas consecuencias siguen manifestándose en la fecha de redacción de este documento.

Los tsunamis son otro de los procesos que históricamente han ocasionado daños y pérdidas en España, como las más de 1 000 víctimas en nuestro país debidas al maremoto asociado al terremoto de Lisboa de 1755 ocurrido en el atlántico, al sur del cabo de San Vicente, o, más recientemente, los daños producidos en las islas Baleares como consecuencia del tsunami provocado por el terremoto de magnitud 6,8 en la costa de Argelia en 2003. La gran extensión de costa que tiene nuestro país, tanto en la península como en los dos archipiélagos, hace que sea uno de los geopeligros que, aun siendo menos frecuentes que los anteriores, pueden provocar grandes daños.

Además de los terremotos, erupciones volcánicas y tsunamis, otros georriesgos en España incluyen, hundimientos del terreno y movimientos de laderas (subaéreos y submarinos) y aludes de nieve. Estos fenómenos pueden estar relacionados con la topografía montañosa de algunas regiones y del medio marino, la presencia de suelos inestables en el continente, costa y fondo marino, y pueden verse incrementados por la actividad humana.

Por su parte, la meteorología espacial alerta de peligros de carácter geofísico relacionados con los eventos de alta actividad en el Sol que, si bien suponen un riesgo bajo, dada la latitud de nuestro país, deben considerarse por el efecto que pueden tener sobre nuestra sociedad tecnológica ante la ocurrencia de eventos extremos.

El estudio y la gestión de los georriesgos en España son tareas fundamentales para proteger

a la población y minimizar los impactos negativos. Las instituciones gubernamentales, el personal científico y profesional del campo de las Geociencias, juegan un papel crucial en la identificación de los peligros, la evaluación del riesgo asociado a estos fenómenos potencialmente destructivos, la monitorización de la actividad geológica y la implementación de medidas de prevención y mitigación del riesgo.

3.2 Terremotos

Algunos de los terremotos más importantes que han afectado al territorio español son:

1. **Terremoto de la Ribagorça (1373):** El epicentro de este terremoto, ocurrido el 3 de marzo de 1373, se situó entre el condado de la Ribagorça y la Val d'Aran. La intensidad epicentral fue de VIII-IX (EMS-98) y se le asigna una magnitud de 6,2 (Olivera et al. 2006). El terremoto afectó a los dos lados del Pirineo y gran parte de Catalunya, observándose daños en la ciudad de Barcelona.
2. **Serie de 1427-1428 en Girona:** Esta serie sísmica tuvo lugar en las comarcas de la Selva, la Garrotxa, la Cerdanya y el Ripollès. Durante casi un año se produjeron 6 terremotos de intensidades comprendidas entre VI y IX (EMSC 98). La serie culminó con el terremoto del día 2 de febrero de 1428, el cual tuvo una intensidad epicentral de IX y al que se asigna una magnitud de 6,5. Produjo más de 1000 muertos en Catalunya y destrucciones importantes en Catalunya y Francia (Olivera et al., 2006).
3. **Terremoto de Montesa (1748):** Tuvo lugar el 23 de marzo de 1748 con epicentro en Estubeny (Valencia) y una magnitud estimada de 6,0-6,2. Arruinó completamente las construcciones de las poblaciones de Estubeny, Sellent y Enguera y destruyó totalmente el Castillo de Montesa.
4. **Terremoto de Lisboa (1755):** Aunque el epicentro se ubicó en un área próxima a las costas de Portugal, este terremoto de magnitud estimada entre 8,5 y 8,7 tuvo un impacto significativo en España. Ocurrió el 1 de noviembre de 1755 y afectó principalmente a las regiones del suroeste de la península ibérica, incluyendo a Cádiz, Huelva y Sevilla.
- Este terremoto y el posterior tsunami que provocó causaron daños masivos y pérdidas de vidas en varias ciudades costeras españolas, además de las producidas en Portugal y en Marruecos.
5. **Terremoto de Torrevieja (1829):** El 21 de marzo de 1829, un terremoto de magnitud aproximada de 6,6 sacudió la comarca del Bajo Segura, en la provincia de Alicante, destruyendo varias poblaciones que hubo que reconstruir completamente (Almoradí, Benejúzar, Dolores, Guardamar y Torrevieja). Este evento sísmico causó daños significativos en varias localidades cercanas, incluyendo Orihuela y Elche. Además de los daños estructurales, se registraron cerca de 400 víctimas mortales.
6. **El terremoto de Arenas del Rey (1884):** Este terremoto en la provincia de Granada ocurrió el 25 de diciembre de 1884 y se estima que tuvo una magnitud de 6,5. Destruyó más de 4000 edificios, dañó alrededor de otros 13000 y produjo más de 800 víctimas mortales.
7. **Terremoto de Lorca (2011):** El 11 de mayo de 2011, un terremoto de magnitud 5,1 sacudió la ciudad de Lorca, en la región de Murcia, causando severos daños estructurales en diversos edificios y nueve víctimas mortales. Fue el terremoto más destructivo en España en décadas y generó una respuesta masiva de los servicios de emergencia.

Estos son solo algunos ejemplos de terremotos notables que han afectado al territorio español a lo largo de la historia. Para mayor información se puede consultar el Catálogo de terremotos (IGN), el Catálogo sísmico de

la península ibérica (800 a.C. - 1900) (Martínez Solares y Mezcuá, 2002), la Revisión del catálogo sísmico de las islas Canarias (1341-2000) (Rueda et al., 2020), el Atlas sísmico de Catalunya (880 a.C.-1999) (Susagna y Goula, 1999) y el Catálogo de los efectos geológicos de los terremotos en España (Silva y Rodríguez Pascua, 2019). Tal y como se indica en este último catálogo, la mayor parte de los terremotos citados estuvieron acompañados de efectos geológicos secundarios importantes como la licuefacción (Torrevieja 1829) o grandes procesos de desprendimientos y deslizamientos (Arenas del Rey 1884). En ambos casos estos procesos participaron y amplificaron los efectos destructivos. Por ello es necesario considerar la naturaleza y complejidad geológica de las zonas afectadas por estos terremotos. Así, es importante destacar **que España se encuentra en una región geológicamente compleja y tectónicamente activa, por lo que el conocimiento y seguimiento de las zonas con mayor actividad sísmica puede ayudar a establecer un plan de vigilancia adecuado.** Se pueden considerar las siguientes como las principales zonas sismogénicas en España:

1. Zona de deformación Banco de Gorringe

-Golfo de Cádiz: Esta es una de las zonas más importantes en términos de actividad sísmica en España. Se extiende desde el oeste en las zonas del Banco de Gorringe y monte submarino de Coral Patch hasta el este en las zonas del Golfo de Cádiz y el margen continental marroquí en el entorno de Larache. Esta zona de falla se considera una frontera tectónica entre las placas euroasiática y africana (Nubia). Los terremotos en esta región pueden tener magnitudes significativas y han afectado históricamente a ciudades como Lisboa, Huelva y Cádiz. Entre ellos el más importante es el ya mencionado terremoto de 1755. En esa misma zona ocurrió en 1356 un terremoto sentido con intensidad máxima VIII. En la zona del Golfo de Cádiz, destacan los terremotos de 1722 en Tavira (Portugal), con intensidad máxima VIII, y más al sur el de 1773 sentido con intensidad máxima de VII. En épocas recientes, el terremoto más importante de esta zona fue el de 1969 de magnitud 7,8, localizado al sureste del Cabo de San Vicente y sentido con una intensidad máxima de VIII-IX.

2. La cordillera Bética: Esta cordillera, junto a la cordillera del Rif en el norte de África

y el mar de Alborán, forman el segmento más occidental del orógeno alpino mediterráneo. Constituyen la región con mayor actividad sísmica de la península ibérica con abundantes terremotos superficiales de baja a moderada magnitud, algunos terremotos a profundidades intermedias en el sureste de la provincia de Málaga y, de forma ocasional, terremotos a profundidades de más de 600 km con epicentro en la provincia de Granada (terremoto de Dúrcal en 1954, $M=7,8$, $I=V$). Dentro de la cordillera Bética, aunque hay registrados terremotos históricos de intensidad VIII-IX en la parte occidental (1504 en Carmona, Sevilla y 1680 al NO de Málaga), destacan por su actividad sísmica el sector central y el oriental. En el sector central, la sismicidad se concentra en las cuencas de Baza (terremoto de 1531, $I=VIII-IX$), Dalías (terremoto de 1804, $I=VIII-IX$) y Granada (terremoto de 1884, $I=IX-X$). En el sector oriental se localiza al sur la zona de cizalla de las Béticas orientales, de unos 250 km de largo, con fallas activas transcurrentes como las de Crevillente, Bajo Segura, Carrascoy, Los Tollos, Alhama de Murcia, Palomares y Carboneras. En este sector han ocurrido importantes terremotos históricos como los de Vera en 1518 ($I=VIII-IX$), Almería en 1522 ($I=VIII-IX$) y Torrevieja en 1829 ($I=IX-X$). En la zona nororiental, la sismicidad reciente es escasa, sin embargo, han ocurrido terremotos históricos con intensidades VIII o IX como los de Tabernes de Valldigna (1396), Alcoy (1644) o Montesa (1748).

3. Zona del mar de Alborán y norte del Rif:

El mar de Alborán está situado entre la cordillera Bética y el Rif. Se caracteriza por una sismicidad principalmente superficial (<40 km) que se concentra esencialmente en una franja de dirección NE-SO que atraviesa el mar de Alborán entre el Campo de Dalías (Almería) y la región de Alhucemas en el norte de África. También existe cierta sismicidad a profundidades intermedias (40 - 120 km), que se localiza desde el sureste de la provincia de Málaga, ya mencionada anteriormente, hasta cerca de la costa africana, atravesando el sector occidental del mar de Alborán con una dirección aproximada N-S. Históricamente, han ocurrido terremotos de intensidad VIII al norte del mar de Alborán como el terremoto de 1494 al sur de Málaga o el de 1804 al sureste de Motril. Más recientemente, se

han detectado multitud de terremotos superficiales principalmente en la zona de Alhucemas, como el terremoto de M 6,2 en 2004 que causó 600 víctimas en Marruecos y en la zona de falla de Al Idrisi y un nuevo sistema de fallas (sistema Incrisis) al oeste, donde se localizó el terremoto de magnitud 6,3 en 2016.

4. **Los Pirineos:** Se extienden desde el Cap de Creus en el mar Mediterráneo hasta el golfo de Bizkaia en el mar Cantábrico, y se elevaron como consecuencia de la orogenia Alpina. Presenta una sismicidad moderada, fundamentalmente superficial. El sector oriental de esta cordillera tiene una actividad sísmica relativamente dispersa, pero también ha sufrido algunos terremotos históricos destructivos como la mencionada crisis sísmica de 1427-1428. En el sector central de los Pirineos, en época histórica destaca el terremoto de 1373 en la Ribagorça (Lleida) de intensidad VIII-IX y en

época instrumental el terremoto de 1923 en Vielha (Lleida) de intensidad VIII y magnitud 5,6. El sector noroccidental, es la región sísmicamente más activa de la cordillera, destacando el terremoto histórico de 1660 en Bagnères-de-Bigorre y el de Lourdes de 1750 con intensidades máximas en Francia de VIII-IX y VIII, respectivamente.

En la web del Instituto Geológico y Minero de España (www.igme.es) se encuentran cartografías y herramientas interactivas para la consulta de bases de datos con información relativa a las fallas activas y zonas sismogénicas en España y en la web del Instituto Geográfico Nacional (www.ign.es) se encuentra material actualizado en tiempo real y herramientas interactivas para la consulta de bases de datos e información relativa a la actividad sísmica en España.

3.3 Erupciones volcánicas

España tiene una historia de actividad volcánica reciente (Holoceno) por lo que se considera un país con volcanismo activo, con varias erupciones significativas en los últimos siglos. En periodo histórico la actividad volcánica se restringe a las islas Canarias, pero en la península ibérica, ha habido erupciones volcánicas recientes en términos geológicos (principalmente La Garrocha, con actividad en los últimos 10 000 años, aproximadamente).

Es importante destacar que las Islas Canarias, en particular las islas de Tenerife, Lanzarote y La Palma, han sido históricamente las más afectadas por la actividad volcánica, a la que hay que añadir la isla de El Hierro, afectada por la erupción submarina de 2011-2012. Se pueden citar, entre otras, las siguientes:

1. **Erupción de Fasnía, Siete Fuentes y Arafo, Tenerife (1704-1705):** Es una de las erupciones con mayor número de fallecidos (16 muertes) en Canarias debido a la crisis sísmica asociada.
2. **Erupción de Arenas Negras (Garachico), Tenerife (1706):** Es la erupción histórica en el archipiélago con el impacto económico

más prolongado en el tiempo y con efectos regionales. Es también la primera con un significativo impacto en la población. Se mantuvo activo durante 40 días y las coladas, flujos de bloques y cenizas alcanzaron la Villa y el Puerto de Garachico, destruyendo y quemando casas e infraestructuras como el puerto. Esta erupción condujo al declive económico de la zona.

3. **Erupción del Volcán Timanfaya, Lanzarote (1730-1736):** Es una de las erupciones volcánicas más famosas y prolongadas en la historia de España. Comenzó el 1 de septiembre de 1730 en la zona de Timanfaya, en la isla de Lanzarote, y duró aproximadamente seis años. Causó una gran destrucción, afectando a pueblos y cultivos y cubriendo grandes áreas con lava y piroclastos. A pesar de la larga duración de la erupción y del impacto de la misma, solo se produjo un fallecimiento. El evento tuvo una repercusión significativa en la agricultura y en la vida del archipiélago, e incluso a escala internacional, pues los aerosoles emitidos llegaron a lugares como Pirineos en España o Groenlandia.

4. **Erupción submarina en El Hierro (1777):** En diversas crónicas históricas se describen decoloraciones del agua del mar durante la erupción, aunque no aparecen referencias a la presencia de lava. Sí se menciona que el cráter emitió agua de colores rojizos a distancias de varias leguas en el mar el día 13 de septiembre. Existe otra probable erupción submarina en 1721 que podría haber generado una isla efímera al oeste de la isla de El Hierro, durante apenas 10 o 12 días.
5. **Erupción del Volcán Chinyero, Tenerife (1909):** Es la erupción más reciente en la isla de Tenerife. Duró solo 10 días, entre el 18 y el 27 de junio de 1909, siendo la erupción más corta del archipiélago canario. No produjo víctimas mortales, pero fue la primera erupción volcánica durante la cual se planteó el desvío de las coladas y también se organizó un plan de protección civil para evacuar a los residentes de las aldeas cercanas.
6. **Erupción del Volcán San Juan, La Palma (1949):** Esta erupción generó algún pequeño flujo piroclástico³ y coladas de lava que llegaron hasta la costa dando lugar a la formación de un delta lávico. Estas coladas afectaron a áreas agrícolas, carreteras y viviendas en la zona. El delta lávico fue posteriormente utilizado como terreno agrícola para la plantación de plátanos.
7. **Erupción del Volcán Teneguía, La Palma (1971):** Esta erupción comenzó el 26 de octubre de 1971 en la zona sur de la isla, en el área de Fuencaliente, y duró aproximadamente tres semanas. La erupción generó coladas de lava que se extendieron por la ladera del volcán y llegaron al océano. Esta erupción provocó, al menos, dos víctimas mortales de forma indirecta, así como la destrucción de viviendas, carreteras y cultivos en la zona afectada.
8. **Erupción del Tagoro en El Hierro (2011):** Fue la primera erupción volcánica registrada en la historia moderna de la isla. Consistió en una erupción submarina que se produjo en el Mar de Las Calmas, cerca de la localidad de La Restinga. La erupción comenzó el 10 de octubre de 2011, tras casi 4 meses de registro de sismicidad anómala en forma de

enjambres⁴ y deformación del terreno, y se prolongó durante varios meses, hasta marzo de 2012. Esta erupción generó cambios en el paisaje submarino y causó una serie de fenómenos asociados, como la aparición de manchas en el agua, material volcánico flotante, remolinos y explosiones. Se estableció un área de exclusión marítima alrededor de la zona de erupción para garantizar la seguridad de los barcos y evitar interferencias con la actividad volcánica. Aunque no se registraron víctimas mortales, esta erupción tuvo un impacto significativo en la comunidad local, especialmente en La Restinga, donde se produjo la evacuación de los residentes (en dos ocasiones) debido a los riesgos asociados, con el consiguiente daño a la economía local.

9. **Erupción de La Palma (2021):** Es la última erupción ocurrida en España, cuyo periodo de recuperación y reconstrucción continúa en la actualidad, casi tres años después de finalizada la erupción, lo que demuestra el enorme impacto social y económico de esta erupción, no solo entre los habitantes de la isla de La Palma, sino en todo el archipiélago canario. Esta erupción comenzó el 19 de septiembre de 2021, y, con una duración de 85 días, se convirtió en la más larga de la isla de La Palma, así como la que más daños y destrucción ha causado, debido en gran parte al aumento de población e infraestructuras expuestas, sobre todo en el último siglo. Fue una erupción fisural, de características estrombolianas, con algunas fases freatomagmáticas⁵ con aumento de la explosividad. El área cubierta por las coladas de lavas es de más de 1 200 ha, más de 7 000 personas fueron evacuadas, y cerca de 3 000 edificaciones resultaron destruidas.

En la Península Ibérica hay áreas que muestran signos de actividad volcánica en el Holoceno. Algunos ejemplos incluyen:

1. **Zona volcánica de la Garrotxa, Catalunya:** Esta área, situada en la provincia de Girona, en Catalunya, alberga una serie de volcanes y conos volcánicos. Aunque la última erupción en la zona, según dataciones, ocurrió

3 Flujo turbulento de partículas finas, gases, material volcánico o/y fragmentos de roca más denso y pesado que el aire circundante. Puede viajar entre 10 m/s y 300 m/s y alcanzar temperaturas por encima de los 1000°C.

4 Conjunto de terremotos localizados en un mismo área durante un breve periodo de tiempo.

5 Durante una erupción, es una fase de tipo explosiva resultado de una interacción entre aguas (subterráneas o superficiales) y magma.

hace aproximadamente 9 000 años, hay algunos indicios de actividad anterior. La actividad geotérmica y los manantiales termales en la región son evidencia de su historia volcánica.

2. Campo volcánico de la Calatrava, Castilla

La Mancha: Situado en la provincia de Ciudad Real, este campo volcánico es el resultado de erupciones ocurridas entre hace 9 y 1,75 millones de años. Aunque la actividad volcánica se extinguió hace mucho tiempo, la presencia de conos volcánicos, la mayoría producidos en erupciones hidromagmáticas⁶, además de otras forma-

ciones geológicas volcánicas en la zona, indican su pasado volcánico. También hay estudios que apuntan a la existencia de actividad volcánica en el Holoceno (volcán de la Columba, hace unos 5 500 años). Todavía se registran, actualmente, signos de actividad volcánica remanente en forma de actividad hidrotermal (hervideros y fuentes agrías) y salida de gases.

En la web del IGN, se encuentran numerosas herramientas para el seguimiento de la actividad volcánica (www.ign.es).

3.4 Tsunamis

Los tsunamis son eventos que pueden llegar a ser extremadamente destructivos, que se generan, principalmente, como resultado de terremotos submarinos o costeros. En un número significativamente menor de casos se pueden producir por otros fenómenos, siendo los más frecuentes las erupciones volcánicas, los deslizamientos de los flancos de las islas volcánicas o los deslizamientos submarinos. Además, hay que tener en cuenta el desarrollo de procesos en cascada: tras un terremoto se podría favorecer la formación de escarpes o deslizamientos en el fondo marino y ambos procesos (sismicidad más movimientos del terreno) pueden ser responsables de la formación de una ola de tsunami. Estos fenómenos generan olas de gran energía que pueden propagarse rápidamente a través del océano y causar daños significativos en las zonas costeras.

En cuanto a **España, aunque no se considera una zona de alto riesgo para tsunamis en comparación con otras regiones del mundo, existen áreas donde este peligro sí puede ser relevante**. El suroeste de la Península Ibérica, por su cercanía a las fuentes sísmicas de la zona anteriormente denominada Gorringe - Golfo de Cádiz, y las islas Canarias, también afectadas por estas mismas fuentes y por otras de origen local, ya que tanto la actividad volcánica como los deslizamientos pueden desencade-

nar tsunamis locales que pueden afectar a las costas cercanas.

Además, el mar de Alborán y las costas del norte de Argelia también pueden dar lugar a terremotos con magnitud suficiente para generar tsunamis catastróficos, especialmente en el sur y sureste de la península ibérica, Ceuta y Melilla y las islas Baleares.

En el caso de producirse un gran terremoto en la zona sismogénica «Gorringe-Golfo de Cádiz», un tsunami podría alcanzar las costas de la península ibérica, incluyendo las regiones costeras del suroeste de España y Portugal, como ya ha sucedido en ocasiones en el pasado, como con el gran terremoto de Lisboa de 1755.

En los últimos 500 años, se estima que España se ha visto afectada por al menos 14 tsunamis que han alcanzado las costas españolas. En general estos tsunamis han sido pequeños o moderados, salvo el de 1755 mencionado anteriormente; 5 de ellos se han producido en el Océano Atlántico y 8 en el Mar Mediterráneo (IGN. Catálogo de tsunamis en las costas españolas).

Es fundamental destacar que **España ha trabajado en la implementación de sistemas de alerta temprana y planes de emergencia para hacer frente a los tsunamis**. Estos siste-

⁶ Son un tipo de erupciones volcánicas en las que el magma interacciona con agua superficial de un lago, glaciar o de una capa freática.

mas permiten detectar rápidamente terremotos submarinos y emitir alertas a la población y a las autoridades locales, lo que ayuda a reducir el riesgo y mitigar los impactos potenciales. El Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Sistema de Mitigación y Alerta temprana de Tsunamis en el Atlántico nororiental, el Mediterráneo y mares conectados (NEAMTWS/IOC-UNESCO) son responsables de la detección y seguimiento de eventos susceptibles de generar tsunamis en dicho marco geográfico, así como de la emisión de alertas, por parte de Protección Civil, en caso de peligro inminente. Este sistema de alerta temprana no contempla la detección de tsunamis por otras causas, como deslizamientos submarinos o los deslizamientos costeros.

En resumen, aunque el riesgo de tsunamis en España no es tan alto en comparación con

otras regiones, es importante disponer de sistemas de alerta y estar preparado para mitigar los posibles impactos de estos eventos. La prevención, la educación pública y la conciencia sobre los tsunamis son esenciales para garantizar una respuesta efectiva en caso de un evento de este tipo y para minimizar el riesgo asociado a ellos, como ejemplo de trabajo realizado en estos campos, destaca la localidad de Chipiona, certificada (21/06/2024) como municipio *TsunamiReady*, lo que significa que la IOC-UNESCO reconoce sus esfuerzos para la protección de la población ante el riesgo de un tsunami.

Asimismo, en la web del IGN, se encuentran numerosas herramientas para el seguimiento de la actividad tsunamigénica (www.ign.es).

3.5 Inestabilidad del terreno y aludes de nieve

El riesgo de inestabilidades del terreno recoge un amplio grupo de fenómenos, que se resumen en dos grupos; los movimientos de ladera (subaéreos y submarinos) y los hundimientos.

Los movimientos de ladera subaéreos normalmente se han tratado de forma local, pero, en determinadas condiciones, se pueden producir una gran cantidad de movimientos de ladera en una región debido a un disparador generalizado. El más frecuente es la superación de umbrales de lluvia que saturan las laderas provocando inestabilidades, como por ejemplo el temporal que afectó el Pirineo oriental entre los días 6 al 8 de noviembre de 1982, o el episodio de deslizamientos generalizados de Asturias que tuvo lugar entre los días 9 y 16 de junio de 2010. Otros desencadenantes, menos frecuentes en la península, son los terremotos y aun en menor frecuencia el volcanismo. En este sentido destaca el episodio asociado al terremoto de Andalucía del 25 de diciembre de 1884 en que se registraron numerosos desprendimientos en la zona de Málaga y Granada. Las zonas más proclives a padecer movimientos de ladera son las regiones de montaña tales como las cordilleras Pirenaica, Bética y las del norte de España. La clasificación de los movimientos de ladera es compleja e intervienen distintos factores. Actualmente, la más aceptada es la clasificación de Varnes

(1978) y su actualización por Hungr et al., (2014), que se basa en una combinación entre la naturaleza del material movilizado (roca, suelo o derrubios) y del mecanismo de desplazamiento de la masa inestable (desprendimiento, vuelco, deslizamiento, flujo, extensiones laterales o complejo o compuesto en que se da una combinación de los anteriores).

Estos eventos pueden causar daños directos a personas e infraestructuras, pero también pueden generar otros peligros derivados como el bloqueo de la red de drenaje, generando inundaciones aguas arriba del bloqueo o avenidas repentinas debido a la rotura del represamiento. Así mismo, las inestabilidades de laderas pueden incorporar una gran cantidad de sedimento a la red fluvial modificando su dinámica e incrementando el impacto de las inundaciones en episodios de lluvias intensas.

Los movimientos de ladera subaéreos desde el punto de vista de gestión de la emergencia se suelen tratar como riesgos asociados al desencadenante, por lo que su tratamiento se encuentra en los planes ante inundaciones, de terremotos o riesgos volcánicos.

Por otro lado, los deslizamientos submarinos, no están legislados, aunque son uno de los peligros más comunes en el fondo marino, especialmente en los flancos de las islas volcáni-

cas de Canarias, cañones y montes submarinos. Los taludes abiertos del sureste ibérico también están frecuentemente afectados por deslizamientos submarinos. En el norte y noroeste de la Península Ibérica, los taludes destacan por sus dimensiones. A pesar de su importancia, este peligro no se tiene en cuenta por las autoridades para mitigar su impacto. Su desencadenamiento no tiene por qué estar sólo asociado a terremotos o erupciones volcánicas, ya que otros procesos, como la presencia de gas en el sedimento, la erosión por corrientes de fondo, o la falta de consolidación del sedimento, entre otras propiedades físicas y de composición de los sedimentos, pueden intervenir en su ocurrencia. Además, los deslizamientos submarinos pueden a su vez desencadenar tsunamis.

En cuanto a los **hundimientos** se pueden producir por causas naturales o inducidos por actividades humanas, como la extracción de recursos de subsuelo para aprovechamientos mineros o extracciones de agua. Los hundimientos cobran relevancia cuando afectan a zonas edificadas o con infraestructuras viarias ya que repercuten en la integridad estructural de los elementos expuestos causando grandes pérdidas. Algunos ejemplos se encuentran en el barrio de la Estació en la localidad de Sallent (provincia de Barcelona) o los hundimientos en los trabajos para la ejecución del tren de Alta Velocidad en Zaragoza.

En lo referente a los **aludes de nieve**, es el peligro más común durante la temporada invernal en las cordilleras Ibéricas. Este fenómeno está presente en distintos sistemas montañosos: Pirineo, Cordillera Cantábrica, Sistema Central, Sierra Nevada, Macizo Galaico, Sistema Ibérico; pero es especialmente en el Pirineo de Navarra, Huesca, Lleida y Girona y también en los Picos de Europa-Cordillera Cantábrica, donde se registran con más frecuencia y donde han tenido históricamente un mayor impacto social y económico.

Si bien la clasificación de los aludes de nieve es compleja (distintas clasificaciones: *Avalanche Atlas UNESCO, 1981*), cabe destacar que una de ellas incluye el tipo de desencadenamiento. Así un alud puede ser natural (desencadenado por las condiciones nivometeorológicas), accidental (al paso de una o varias personas) y

provocados (inducidos por explosivos u otros medios preventivos). El riesgo asociado a los aludes se puede subdividir en 3 tipos: el que afecta a zonas habitadas, vías de comunicación (interrupción de tráfico) y otras infraestructuras (torres eléctricas y de suministro, remotes mecánicos, casetas en estaciones de esquí, etc.); el que afecta al medio natural (bosques especialmente); y el que implica o afecta a las personas que desarrollan algún tipo de actividad deportiva, lúdica y laboral en la alta montaña invernal.

La gestión del riesgo asociado a las avalanchas es una tarea compleja y multidisciplinar que incluye tanto la cartografía de las zonas propicias a los aludes como la predicción temporal del fenómeno, la construcción de estructuras de defensa y el desencadenamiento artificial de las avalanchas. La predicción regional de aludes de nieve sigue los estándares europeos consensuados en la *European Avalanche Warning Services (EAWS)*. Actualmente hay una predicción del peligro de aludes a nivel regional (áreas de más de 100 km² para poder aplicar los estándares establecidos por EAWS) en las zonas más propensas a su ocurrencia, que se plasma en los Boletines de Peligro de Aludes (BPA) que se emiten con frecuencias diarias durante la temporada nival. Además, dado el impacto que puede tener sobre las personas y las infraestructuras, existen predicciones locales en algunas estaciones de esquí (Vall de Núria, Espot, Vallter, La Molina y Boí-Taüll) y en algunas carreteras (carretera del port de la Bonaigua, accesos a Llanos del Hospital de Benasque, acceso al Balneario de Panticosa, Túnel de Bielsa, etc.); también en algunos valles concretos como el boletín de peligro de aludes para el Valle del Alto Aragón.

Con respecto a las crisis de aludes, estas acontecen normalmente a causa de aludes naturales y especialmente cuando se alcanzan los grados de peligro 4 (fuerte) y 5 (muy fuerte) en base a la Escala Europea de Peligro de Aludes que consta de un máximo de 5 grados (estándar EAWS). En estas situaciones se pueden ver afectados fondos de valle, poblaciones, carreteras e infraestructuras a causa de aludes de muy grandes dimensiones (tamaño 4 en base a una escala de 5 tamaños, según EAWS) o extremadamente grandes (tamaño 5, máximo).

3.6 Meteorología espacial

La meteorología espacial, conocida internacionalmente como *Space Weather*, está relacionada con los procesos de alta actividad del Sol, tiene su origen externo a la Tierra por lo que no se puede considerar un riesgo geológico. Se trata, sin embargo, de unos fenómenos que siempre han existido en la historia de nuestro planeta pero que hasta épocas muy recientes han pasado desapercibidos por no tener una afección sobre la vida del ser humano. En la actualidad, el escenario ha variado notablemente y estos fenómenos suponen un riesgo que afecta cada vez más a nuestra sociedad tecnológica y que debe ser considerado con seriedad. **La meteorología espacial se ocupa de los fenómenos relacionados con el plasma ambiental⁷, los campos magnéticos, la radiación, los flujos de partículas en el espacio** y cómo estos fenómenos pueden afectar los sistemas tecnológicos. **La mayoría de los fenómenos de meteorología espacial están impulsados, en última instancia, por el Sol.** Más concretamente, las eyecciones de masa coronal solar⁸ y las regiones de interacción corrotativa⁹ (CME y CIR, respectivamente por sus siglas en inglés), que son la causa de la mayoría de las tormentas geomagnéticas severas, tienen un origen en el campo magnético solar. Lo mismo ocurre con las erupciones solares, que liberan una enorme cantidad de energía radiativa, alterando las condiciones del medio interplanetario y del viento solar, desencadenando, por ejemplo, flujos de partículas energéticas solares (SEP, por sus siglas en inglés).

Los fenómenos de meteorología espacial, especialmente las **tormentas geomagnéticas** que afectan a nuestro planeta, fueron descubiertos a mediados del siglo XIX. Fue el 1 de septiembre de 1859 cuando el astrónomo inglés Richard C. Carrington realizó la primera observación de una erupción solar mientras estaba estudiando las manchas solares. Dicha erupción se trataba de una Eyección de Masa Coronal (CME), que fue geoefectiva y dio lugar a la tormenta geomagnética más grande que se ha registrado en la Tierra. Era precisamente en esa época

cuando se estaban empezando a establecer los primeros observatorios geomagnéticos y gracias a ello se pudo tener una medida de su interacción en nuestro planeta. Las consecuencias de este fenómeno fueron importantes sobre uno de los grandes inventos tecnológicos del siglo XIX: el telégrafo. Las líneas de telégrafo de gran parte de Europa y América del Norte estuvieron fuera de servicio durante horas, los cables comenzaron a lanzar chispas, en algunos casos su caída produjo incendios y operadores de equipos sufrieron descargas eléctricas.

A lo largo del siglo XX se han repetido importantes eventos de meteorología espacial que han afectado a nuestro planeta, correspondiendo los daños más significativos a las corrientes inducidas en las redes ferroviarias que han paralizado grandes estaciones, o en las redes eléctricas que han supuesto el incendio de grandes transformadores y el correspondiente apagón en extensas áreas urbanas, o provocando apagones completos de las radio-comunicaciones transionosféricas y la correspondiente pérdida de integridad de estos sistemas. Más recientemente, el impacto de la meteorología espacial se ha hecho notar en las constelaciones de satélites que orbitan alrededor de nuestro planeta, produciendo la modificación de órbitas satelitales, la degradación de los sistemas de posicionamiento y navegación satelital, incluso daños graves en algunos satélites o la destrucción de un número importante de ellos durante su fase de despliegue.

Una estimación reciente del impacto de la meteorología espacial en diferentes sistemas tecnológicos arroja la siguiente cuantificación:

- El 85% de los satélites son de órbita baja (LEO, del inglés) y están expuestos a fenómenos de meteorología espacial que inducen cambios de órbitas, y que podrían causar la pérdida de varios activos comerciales y de los ingresos que generan con un coste estimado de **16 - 200 billones de €**.

7 Conjunto de las capas de gas que rodean a la Tierra y que se encuentran ionizadas, presentando una respuesta a los campos magnéticos y eléctricos.

8 Son grandes nubes de plasma y campo magnético expulsadas desde el Sol hacia el espacio a gran velocidad y que pueden ocasionar importantes perturbaciones en la magnetosfera de la Tierra cuando esta se encuentra en su dirección de propagación.

9 Son las interacciones entre sucesivas corrientes de viento solar rápidas y lentas que por su diferente velocidad producen choques en la zona de compresión originada entre ambas.

- Un apagón en las radiocomunicaciones terrestres de 3 horas en todas las regiones de latitud baja y media del lado diurno de la Tierra o de varios días en las regiones de latitud alta tendría unos costes estimados de **0,2 - 3 billones de €**.
- Una interrupción del sistema GNSS (para Navegación Satelital) de 14 días que afecte a los sectores de la agricultura de precisión, el transporte por carretera, la logística y la topografía en Europa, EE.UU. y Canadá provocaría unas pérdidas estimadas en **1-3 billones de €**.
- El impacto en otros sistemas tecnológicos, como los basados en radioastronomía, estaría por cuantificar.

El estudio del Sol y de las manchas solares ha permitido conocer de forma más precisa a los procesos que tienen lugar en él. Gracias a ello se sabe en la actualidad que el Sol tiene un periodo de 11 años de actividad conocido como ciclo solar. Dichos periodos van desde un mínimo de actividad en el que las manchas solares casi desaparecen hasta un máximo en el que las manchas solares son muy abundantes y en el que se producen Eyecciones de Masa Coronal con más frecuencia. Que estas Eyecciones de Masa Coronal sean más o menos violentas y que estén o

no dirigidas a nuestro planeta, van a condicionar que estos fenómenos nos afecten de una u otra manera.

En el caso de España, el riesgo debido a este tipo de fenómenos es considerado bajo. Los daños producidos por las tormentas geomagnéticas registradas desde 1859 han afectado fundamentalmente a las regiones con latitudes más altas, como cabe de esperar por la acción de la magnetosfera que protege a la Tierra y que ante eventos de alta radiación desvía a las partículas que le penetran hacia las zonas polares. No obstante, se plantea la cuestión de qué ocurriría si el Evento Carrington u otro evento aún mayor se produjese en la actualidad, en una sociedad tan tecnológica como la presente. **La aparición de corrientes geomagnéticamente inducidas supone un gran peligro para las redes de transporte de energía, pero también pueden afectar a otras redes como el ferrocarril, oleoductos, gaseoductos, etc.** Las señales de radio o el posicionamiento GNSS pueden verse interferidos por las tormentas asociadas en la ionosfera y la termosfera.

Por todo ello, es importante considerar y estudiar este riesgo geofísico, que, aunque potencialmente bajo para nuestro país, no se sabe en qué medida puede llegar a afectarnos ante la manifestación de un evento extremo.

4 Recursos de las Administraciones Públicas para la vigilancia y alerta de geopeligros

4.1 Introducción. Antecedentes históricos

El término **geopeligro** como tal es un concepto novedoso como para poder encontrar referencias antiguas en la normativa e **incluye aquellos peligros asociados a procesos geológicos que son estudiados usando métodos geofísicos**. Para poder encontrar precursores de los servicios actuales, hay que expandir nuestra mirada.

Por una parte, los peligros como tales se incluyen dentro del concepto de riesgo referido a catástrofes naturales y, por tanto, habría que investigar más bien por el término riesgo ya que hasta finales de los años noventa del s. XX en España, no se desligan ambos. Es por ello por lo que habría que acudir a fuentes científicas experimentales para poder encontrar un concepto similar.

La geofísica, aparece como ciencia a mediados del s. XIX en Alemania y, de ahí, va trasladándose al resto de Europa y América. Con anterioridad se hablaba de física o de forma más generalista de ciencia, donde la meteorología, la óptica, la cronometría y la Astronomía, serían las principales ciencias que los estados comienzan a intentar desarrollar y abordar, tanto para saber guiar a sus marinos en expediciones y conquistas (astronomía), proporcionándoles mapas clave, como para comunicarse (óptica) y tratar de adelantarse al mal tiempo meteorológico en acciones militares, agricultura y otras actividades.

No obstante, volviendo al ámbito de las ciencias del Globo, como también se denominó la geofísica en un principio, los estados siempre

han estado pendientes de los efectos causados por los desastres naturales, ya que una catástrofe de esta índole podría llegar incluso a derrocar a cualquier gobierno. Además, si se podía adelantar o evaluar los daños, las políticas reactivas serían mucho más eficaces.



Grabado en madera ilustrativo de la erupción de Monte Nuovo donde queda recogida la «terme del mare de prima» mostrando hasta donde llegaba la línea de mar con anterioridad.

Al tratar de encontrar las primeras referencias al estudio de los geopeligros, cabe destacar una legislación pionera en el mundo como fueron los edictos reales publicados por Fernando el Católico como Rey de Aragón y Dos Sicilias en 1511. Dichos edictos se emitieron para aclarar

cómo reorganizar los predios tras la elevación del terreno debida a la intrusión magmática que dio lugar décadas después, en 1538, a la erupción de Monte Nuovo, en Pozzuoli. En esos edictos, el rey Fernando concede a la ciudad de Pozzuoli toda la propiedad terrena que surge como consecuencia de la erupción.

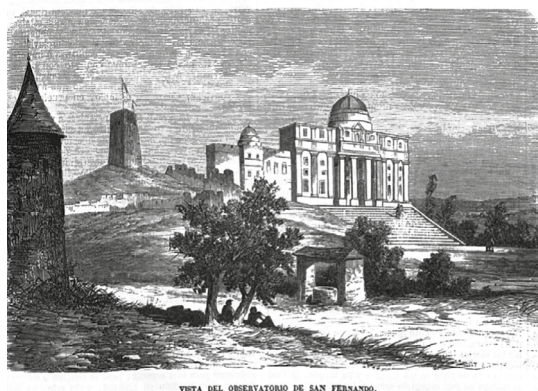
Se puede considerar a los registros meteorológicos como los precursores de los datos que sirven para modelar los geopeligros. A raíz de los avances de la termometría con Galileo y Torricelli, los estados pudieron empezar a tener equipos de medida asequibles para registrar de forma sistemática temperatura y humedad.

Hay que avanzar hasta el terremoto y tsunami de 1755 para encontrar el primer estudio sistemático de sus efectos, a través de la Orden Circular de 8 de noviembre de 1755. **El terremoto de Todos los Santos, como se le conoció, provocó un cambio de paradigma acerca del origen de las catástrofes.** Este temblor cambió el modo en que se identificaban y registraban los daños de los desastres naturales. Para ello, el Rey Fernando VI, a través de su ministro secretario Ricardo Wall, puso en marcha los primeros cuestionarios para tratar de recabar la mayor cantidad de información posible sobre el seísmo, evaluando los daños y comprobando las pérdidas.

que pudieron haber sufrido daños y, a partir de ella, se extrajo valiosa información sobre la situación en ese momento y se pudo enviar ayuda a Portugal.

Por aquel entonces, Jorge Juan ya había propuesto al Marqués de la Ensenada crear el primer observatorio en España en Cádiz, donde estaba la sede de la Academia de Caballeros Guardamarinas, para poder enseñar a los futuros oficiales todos los adelantos de la ciencia de la astronomía y sus aplicaciones. En 1753 se crea el Real Observatorio de Cádiz que proporciona un apoyo técnico y científico a las expediciones ilustradas a finales del siglo XVIII. En 1798 el observatorio se traslada a San Fernando (Cádiz) donde, desde entonces, continúa su actividad con gran tradición en el mundo de la geofísica.

El segundo observatorio español que aparece para comenzar a estudiar los fenómenos físicos es el Real Observatorio de Madrid (1790), con el objetivo de desarrollar la astronomía y la meteorología. Es heredero del Seminario de Nobles y, a su vez, del Colegio Imperial de Madrid. Uno de sus propósitos es el de establecer la Carta Geométrica de España, para lo que se crea el cuerpo de Ingenieros Cosmógrafos, que estudia la Tierra y el Cielo.



Vista del observatorio de San Fernando (Cádiz) en el siglo XIX.
El Museo Universal, 1861

Mapa de intensidades en escala EMS-98 del terremoto de Lisboa a través de los datos de la encuesta de la Orden Circular. Revista de Historia Moderna n° 40

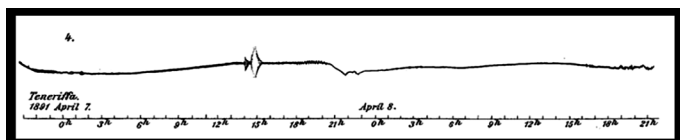
Estos cuestionarios se enviaron, mediante la citada orden, a todos los municipios españoles

Para encontrar más avances en la Geofísica institucional hay que avanzar al siglo XIX hasta que en 1849 aparece, mediante un Real Decreto de Isabel II, la creación de la **Comisión para la Carta Geológica de Madrid y General del Reino, precedente del Instituto Geológico y Minero de España y primera institución que comienza oficialmente el estudio de la geología aplicada en España.**

En 1824, durante la erupción de Tao, en la isla de Lanzarote, la ermita de Santa Bárbara fue designada por las autoridades civiles de la isla como observatorio para el seguimiento del fenómeno volcánico. Estaba situado cercano a Tegüise y, de hecho, desde ahí se dispararon varios cañonazos en señal de alarma para la ciudadanía, por lo que se considera el primer Observatorio Volcanológico de España.

En el último tercio del siglo, la geofísica como ciencia comienza su institucionalización. A pesar de ello, el impulso científico a nivel experimental lo volvería a proporcionar la Compañía de Jesús, ya que desarrolla, en Cuba primero y en Filipinas después, dos observatorios pioneros en la ciencia española: el Observatorio de Belén de la Habana (1858) y el Observatorio de Manila (1865). En estos momentos la geofísica comienza a instalarse en los observatorios y así el de Manila se convierte en el primer observatorio español con una rama de sismología y volcanología y uno de los primeros del mundo. Además, tiene otra rama de geomagnetismo con lo que la geofísica ya está plenamente integrada junto a la meteorología y la astronomía. Además, este observatorio pasa a manos del Estado en los últimos años previos a la pérdida de la entonces provincia de Filipinas.

La sismología instrumental en la península Ibérica se sistematiza a partir del terremoto de 1884 en Arenas del Rey, gracias al desarrollo del telégrafo y, así, se encuentra en el puerto de Málaga un equipo pionero que registraba los terremotos que estaban ocurriendo. En el Observatorio de la Armada y el Real Observatorio de Madrid se encuentran los primeros sismoscopios a partir de 1887. El primer registro sísmico se produce en La Orotava, en 1890, mediante un sismógrafo que estuvo instalado durante un tiempo breve en Tenerife y después en La Palma. Sin embargo, hay que esperar algo más para encontrar registros en los observatorios de la Península.



Primer registro sísmico de España. Rebeur-Paschwitz 1891 La Orotava (Tenerife).

En 1902 aparece el Observatorio de La Cartuja en Granada y dos años después el Observatorio del Ebro, en Roquetes (Tarragona). En 1904 se inaugura en Barcelona el Observatorio del Tibidabo, más tarde conocido como Observatorio Fabra. En 1909, con la instalación de la Estación Sismológica de Toledo se abre paso el Observatorio Geofísico Central que propone el ingeniero José Galbis en la ciudad imperial. De ahí y tras la apertura de las siguientes Estaciones (que más tarde fueron transformándose en Observatorios) de Almería (1911), Málaga (1913) y Alicante (1914) se creó el primer intento de Red Sísmica Nacional, cuyos datos se concentraban en Toledo.

Mientras, a principios del s. XX aparece el Observatorio Climatológico de Ofra hasta que se inaugura el Observatorio Aerológico y Climatológico de Izaña. En 1909 se instala un observatorio meteorológico alemán en las Cañadas del Teide que tiene que retirarse con el comienzo de la Gran Guerra.

En el ámbito de la sismología, que comienza su gran desarrollo a principios del siglo XX, también se instala un sismógrafo en 1907 en Olot (Girona), otra zona volcánica española. Todas estas estaciones comienzan a proporcionar datos sísmicos a la Administración para contribuir a la vigilancia de la sismicidad y poder comenzar a estudiar los terremotos.



Observatorio Geofísico de Almería, primer integrante de la red de observatorios para evaluación de terremotos del IGE cuyos datos se enviaban al Observatorio Central Geofísico de Toledo.

En 1921, se crea el Servicio Sismológico Español, dentro del Instituto Geográfico y Estadístico (actual IGN), siendo el primer servicio geofísico específico del Estado Español. En gravimetría había ya un servicio encargado de medir los valores de gravedad relativa, desarrollado también por Galbis, heredando los

estudios de Barraquer de 1882 en el Real Observatorio de Madrid.

Para el estudio del geomagnetismo en España los primeros observatorios que comenzaron a hacer registros continuos de las variaciones del campo magnético fueron el Real Observatorio de la Armada en San Fernando, Cádiz (1879) y el Observatorio del Ebro en Roquetes, Tarragona (1904). Para el Servicio de Geomagnetismo del Instituto Geográfico hubo que esperar a 1934 aunque en 1906, el entonces Instituto Geográfico y Estadístico, recibe el encargo de la realización del **Mapa Magnético de España**, cuyas campañas de campo comenzaron en 1912 publicándose finalmente en 1924.

En 1936 comienza a funcionar una sección de geomagnetismo en el Observatorio Geofísico de Toledo, si bien la guerra civil supondría un parón en sus registros recién comenzados y no empezaría a funcionar con normalidad hasta 1947. Con motivo de la celebración del Año Geofísico Internacional (IGY) en 1957, el IGN se comprometió a incrementar el número de observatorios geomagnéticos, comenzando a funcionar en 1955 una sección de geomagnetismo en el Observatorio Geofísico de Almería, y en 1957 en el Observatorio Geofísico de Logroño. Este compromiso de expansión seguiría tras el IGY, creándose dos nuevos observatorios geomagnéticos: uno en Moka, en la provincia de Guinea Ecuatorial, que estuvo

Mapa Magnético de España para la época 1924.0.



operativo y dependiente de la Administración Española entre 1958 y 1971; otro en Las Mesas, Tenerife, que estuvo operativo entre 1961 y 1992, cuando, como consecuencia de las interferencias causadas por el desarrollo de la televisión, fue trasladado al nuevo Observatorio de Güímar. En 1981, también debido a la presencia de interferencias, se traslada el Observatorio Geomagnético de Toledo a San Pablo de Los Montes cuyo primer anuario se publica ya en 1982 como Observatorio. Todos estos Observatorios pertenecían al Instituto Geográfico Nacional y proporcionaban datos geomagnéticos para la elaboración de los Mapas Magnéticos de España que regularmente actualiza y publica el IGN, así como para la monitorización de las variaciones del campo magnético interno de la Tierra y las perturbaciones puntuales producidas por efecto de la actividad solar.



Observatorio Geomagnético de Moka (Guinea Ecuatorial).

El Instituto Nacional de Geofísica se crea en 1941 con la intención de aunar toda la geofísica teórica y la aplicada. Así en la institución se encuentra el Servicio de Geofísica del IGME y el del Instituto Geográfico y Catastral (IGC, hoy IGN), el servicio de Meridianos del Consejo de Minería, el Instituto Español de Oceanografía y los Observatorios geofísicos particulares o de origen jesuita, así como las universidades.

En 1958 las Fuerzas Aéreas de los Estados Unidos de América establecen la Estación Sismológica de Sonseca (Toledo) consistente en un array sísmico después del acuerdo firmado en 1953 entre España y Estados Unidos. Esta estación formaba parte de una red de estaciones sísmicas a nivel mundial con el propósito de registrar y analizar señales que pudieran provenir de terremotos y explosiones nucleares. Esta estación fue retrocedida a España en 1996 en

base a un memorando de entendimiento entre las Fuerzas Aéreas de Estados Unidos y el IGN.

En 1962 aparece la Orden de 17 de mayo por la que **se crea la Comisión Interministerial para formular las instrucciones sismo-resistentes** (posteriormente denominada Comisión Permanente de Normas Sismorresistentes), primer organismo que trabaja con los efectos de los geopeligros y al que se le dota de una continuidad en la realización de trabajos de forma más directa, específicamente en el campo de la intensidad sísmica, hasta su desaparición en 2024.

A finales de los años 70 la Red Sísmica del IGC seguía dependiente de los Observatorios de Málaga, Alicante, Almería, Logroño y Santiago de Compostela, coordinados por el Observatorio Geofísico Central de Toledo. Además, existía el Laboratorio Central de Sismología e Ingeniería Sísmica en Madrid que recibía las bandas (registro continuo de sismogramas analógicos) por telegrama. En 1974, el IGN instala los primeros nueve acelerógrafos con registro analógico, y, en 1978, en el Valle de Cuelgamuros (antes denominado Valle de los Caídos) la primera estación sísmica con telemetría radio a Madrid. En 1983, el IGN comienza el proyecto de instalación de estaciones por telemetría por todo el territorio nacional y **en 1985 se establece la Red Sísmica Nacional** con ocho estaciones sísmicas analógicas. Desde 1991, con 30 estaciones operativas, se implementa en el IGN un servicio de vigilancia sísmica con personal 24/7 que da servicio ininterrumpidamente hasta el día de hoy.

A partir de 1979 se creará la red de microsismicidad y la red Sísmica de Andalucía, herederas del Observatorio de La Cartuja en Granada. **En el año 1981 se crea el servicio de sismología de Catalunya**, el cual inicia su actividad en el año 1983 dentro del El Servei Geològic del Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya. En el año 1984 se publica el primer boletín sismológico de Catalunya elaborado a partir de los registros sísmicos de los Observatorios Fabra y Ebro, de otras estaciones de Catalunya, del IGN y del Pirineo, propiedad de redes sísmicas francesas. En 1985, comenzó el despliegue de una red (Xarxa Sísmica de Catalunya) por todo el territorio catalán que ha evolucionado hasta la red sísmica actual. En 2017, el Institut Cartogràfic y el Geològic de Catalunya se fusionan creando el ICGC.

A mitad de la década de los 80, el CSIC instala la Estación Volcanológica de Canarias (EVC) que llega a monitorizar hasta con 5 estaciones sísmicas el entorno de las Cañadas del Teide. Esta estación registra el terremoto de 1989, al igual que las estaciones del IGN en el Centro Geofísico de Canarias. Este evento sísmico representa uno de los primeros registros sísmicos relacionados con la volcanología obtenidos en territorio español. Hacia finales de la década de los 80, el CSIC establece el Laboratorio de Geociencias de Lanzarote (anteriormente Laboratorio de Geodinámica de Lanzarote), dependiente del actual Instituto de Geociencias, IGEO (CSIC-UCM), con el objetivo de aplicar técnicas geodésicas y geofísicas en el estudio de las zonas volcánicas activas.

La volcanología, durante el s. XX, tiene poco desarrollo en infraestructuras más allá de lo ya aludido sobre la EVC y la RSN. La última erupción que tiene lugar sin el establecimiento legal de un organismo encargado de la alerta se produce en 1971 en La Palma de nuevo (Teneguía), donde acuden el CSIC y el IGC, además de las universidades (ULL y UCM entre otras). En noviembre de 1985 el IGN y la UCM participaron en la Misión Geofísica Española al Nevado del Ruiz organizada por Protección Civil. Durante 22 días esta Misión colaboró con 6 sismómetros en la vigilancia sísmica del volcán y con miras Invar en el seguimiento de su deformación. Al mismo tiempo un equipo de geólogos de la UCM, la Universidad de Cantabria y la Estación Volcanológica de Canarias participó en el estudio *in situ* del terreno y su evolución durante la etapa post-eruptiva.

Hay que esperar hasta el s. XXI para encontrar **los servicios con competencia de vigilancia y alerta del ámbito de la volcanología a nivel estatal (2004), en el Observatorio Geofísico Central del IGN**. Además, en 2010 el Cabildo Insular de Tenerife anunció el compromiso de creación del Instituto Volcanológico de Canarias (INVOLCAN) cumplimentando las decisiones unánimes del Senado (2005), Parlamento de Canarias (2006) y Congreso de los Diputados (2009), teniendo en cuenta el especial riesgo volcánico de Canarias, única zona del territorio español con registro de erupciones históricas.

En el año 2012, a raíz de la crisis sismo-volcánica submarina del volcán Tagoro en la isla de El Hierro, el Instituto Español de Oceanografía (IEO-CSIC) creó el grupo de investigación VULCANA (Volcanología Canaria Submarina y Oceanografía) y campañas oceanográficas asociadas, con el fin de proporcionar respuestas

científicas a los procesos físicos, químicos, biológicos y geológicos provocados por la actividad volcánica submarina y las fuentes hidrotermales en el archipiélago canario. Con un conjunto de datos acumulados durante más de 13 años, el IEO-CSIC ha brindado asesoramiento científico a las instituciones del Estado en las dos últimas crisis volcánicas en Canarias y ha proporcionado información científica al CIARA (Célula de Información y Análisis de Riesgos y Amenazas) del Gobierno de España.

A lo largo de la historia, los tsunamis han provocado numerosas muertes y destrucción en zonas costeras. Durante el siglo XX, y gracias al desarrollo de los sismómetros, se empiezan a crear, en las costas del Pacífico, los primeros sistemas de alerta de tsunamis para intentar mitigar sus efectos. Después del tsunami de 2004 en Sumatra, la comunidad internacional encomendó a la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la Unesco coordinar la creación de un sistema de alertas en el océano Índico. En junio de 2005, la Asamblea de la COI decidió oficialmente crear sistemas de alerta de tsunamis en el Índico, en el Atlántico Nororiental y el Mediterráneo y Mares Adyacentes y otro en el Caribe. Además, en España, a raíz del tsunami que provocó el terremoto de 2003 en Boumerdès, Argelia, se comenzó a hablar de crear un sistema nacional de alerta de tsunami, aunque se tuvo que esperar hasta que en 2013, el Congreso de los Diputados encomendó al IGN la implantación, en el menor tiempo posible, de una Red Nacional de Alerta de Tsunami, y a la Dirección General de Protección Civil y Emergencias (Ministerio del Interior) un Plan de Actuación de Protección Civil ante el Riesgo de Maremotos, incluyendo un Sistema de Alerta Temprana a los ciudadanos. En 2015 la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (IOC) de la UNESCO reconoció oficialmente al Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis de España, ligado desde su origen a la Red Sísmica Nacional.

En lo que se refiere a inestabilidades del terreno (movimientos de ladera, hundimientos, deslizamientos submarinos y aludes de nieve), hoy en día no hay ninguna entidad a nivel estatal responsable de una red de vigilancia. El Instituto Geológico y Minero de España desarrolla una gran actividad en el campo de movimientos de ladera y hundimientos, pero no ofrece un servicio de vigilancia ya que trabaja principalmente por proyectos específicos. Hay también un buen número de departamentos de geología y organismos científicos que llevan a cabo pro-

yectos aplicados e investigaciones financiadas mediante presupuestos de proyectos, pero sin una misión específica, ni continuidad en el tiempo. En referencia a los Aludes de Nieve, AEMET emite Boletines de Peligro de Aludes (BPA) para el Pirineo navarro y aragonés, el Pirineo catalán, parque Nacional de la Sierra de Guadarrama y el parque Nacional de los Picos de Europa y Sierras del Cordel y Peña Labra. No obstante, el equipo que se encarga de la emisión de Boletines es muy reducido. En Catalunya, el servicio público de predicción de aludes se inicia en 1986 en el Servei Geològic de Catalunya (actual ICGC) emitiendo los boletines de peligro de aludes para el Pirineo Catalán, realizando la cartografía de aludes y estableciendo una red de observación y vigilancia de aludes; también gestiona, mantiene y actualiza las bases de datos relacionadas. Actualmente además de estas tareas lleva a cabo la vigilancia del peligro de aludes, la coordinación del grupo nivometeorológico en el plan de protección civil ALLAUCAT para el Pirineo Catalán y la emisión de avisos especiales por peligro de aludes de nieve.

En el campo de los deslizamientos submarinos, el Instituto de Ciencias del Mar, el Instituto Español de Oceanografía y el Instituto Geológico y Minero de España, los tres del CSIC, desarrollan una importante labor de investigación, pero se carece de sistemas de redes de vigilancia que proporcionen información periódica sobre la susceptibilidad, el estado de los fondos submarinos, o los cambios en las infraestructuras susceptibles de utilizar en las tareas de vigilancia, de toma de datos, de bases de datos y de acuerdos de colaboración entre organismos.

Respecto a la meteorología espacial, sólo el Observatorio del Ebro y el Servicio de Geomagnetismo del IGN se han encargado tradicionalmente de las labores de monitorización de los efectos de las tormentas geomagnéticas en el Estado español. En el ámbito académico, la docencia y la investigación en meteorología espacial cobraron notable importancia en distintas Universidades españolas desde la primera década de este siglo. En el caso de la Universitat Politècnica de Catalunya y la UCM, como una expansión de los estudios sobre ionosfera desarrollados desde muchos años antes, y en la UA, para la monitorización de la actividad solar y su influencia en el entorno terrestre, desarrollada por dos grupos desde 2009. En este contexto, la Dirección General de Protección Civil, con el apoyo de la UCM, la UA y el OE, organizó en los años 2011, 2012, 2013 y 2015 unas Jornadas Técnicas sobre Clima y Meteorología Espacial que contribuyeron a la aproximación de esta problemática a Empresas, Instituciones o Administraciones Públicas particularmente vulnerables a eventos de meteorología espacial. Las Conclusiones de las IV Jornadas, celebradas en 2015, que pueden encontrarse en https://www.proteccioncivil.es/catalogo/naturales/climaespacial/jt_clima_espacial_2015, incluyen unos criterios para la elaboración de un sistema de alerta para la meteorología espacial de gran interés. En estas mismas jornadas se presentó, el Servicio Nacional de Meteorología Espacial (SeNMEs: www.senmes.es) creado en 2014 por el Grupo de Meteorología Espacial de la UA con la colaboración de la UCM. Finalmente, **desde 2022, la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) ha puesto en marcha un portal web donde se recopilan los recursos de monitorización de los distintos organismos nacionales e internacionales.**

4.2 Disposiciones normativas

Toda la normativa que abarca los georriesgos emana de forma originaria de la primera ley sobre protección civil (Ley 2/1985) ya derogada por la ley 17/2015 de 9 de julio del Sistema Nacional de Protección Civil actualmente vigente.

La Constitución Española obliga a los poderes públicos a garantizar el derecho a la vida y a la integridad física (artículo 15 C.E.) y, a partir de esa obligación, nace el concepto de la protección civil. La ley 2/1985 desarrolla esta obligación creando el Sistema Nacional de Protección Civil. Esta obligación exige a los poderes públi-

cos el estudio y prevención de las situaciones de grave riesgo, catástrofe o calamidad pública. La ley faculta al Gobierno de España para determinar el catálogo de actividades de todo orden que puedan dar origen a una situación de emergencia.

El Real Decreto 407/1992, por el que se aprueba la Norma Básica de Protección Civil (derogado por el Real Decreto 524/2023 de 20 de junio) contiene los contenidos mínimos para la elaboración de los Planes Territoriales a todos los niveles administrativos y de los planes espe-

ciales por sectores de actividad, tipos de emergencia o actividades concretas. Esta norma es la que ya establece como mínimo los riesgos a estudiar, entre los que se encuentran los sismos, tsunamis y la actividad volcánica.

Gracias a esta Norma Básica de Protección Civil se implementan las directrices básicas aprobadas por el Consejo de Ministros que, a día de hoy, recogen de forma específica tres de los peligros de los que trata el plan: la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil (DBPPC) ante el Riesgo de Maremotos (2015), la DBPPC ante el Riesgo Sísmico (1995) y la DBPPC ante el Riesgo Volcánico (1996). Actualmente en periodo de adaptación conforme a la nueva Norma Básica de Protección Civil (R.D 524/2023, de 20 de junio).

A continuación, a nivel estatal se encuentran los planes estatales de Protección Civil especiales que se han aprobado para los riesgos anteriores a los que hay que añadir el de inundaciones, ya que recoge aspectos que incluyen movimientos de ladera. Así, se han el Plan Estatal ante el Riesgo de Maremotos (2021), el Plan Estatal ante el Riesgo Sísmico (2010), el Plan Estatal ante el Riesgo Volcánico (2013) y el Plan Estatal ante el Riesgo de Inundaciones (2011).

Como apoyo a las autoridades de Protección Civil, también existe el Plan Nacional del Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos, Meteoaleta (2022), donde se incluye como fenómeno adverso los aludes.

A nivel estatal también encontramos que la Meteorología Espacial no está, incluida en el catálogo de riesgo de protección civil dentro de la Norma Básica de Protección Civil. Es por ello que las normativas en dicho ámbito se sitúan en el campo más específico de la Seguridad Nacional. De esta forma, se encuentra la Orden PCI de la Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional, aprobada por el Consejo de Seguridad Nacional (2019) y la Orden por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Seguridad Nacional (2022). En este caso no hay más legislación referida a la meteorología espacial, por lo que existe una falta importante de normativa para abordar esta realidad.

Por último, debe destacarse la normativa autonómica, la cual contiene planes de emergencias para varios riesgos en función del ámbito territorial. De esta forma, para el riesgo volcánico sólo se ha desarrollado un Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por Riesgo Volcánico en la Comunidad Autónoma de Canarias, como también se ha implantado en

el caso de los tsunamis en Andalucía, comunidad autónoma de mayor probabilidad de ocurrencia.

Para el riesgo sísmico, en cambio, existen hasta 12 planes especiales de las administraciones autonómicas: Andalucía, Aragón, Canarias, Catalunya, Extremadura, Galicia, Illes Balears, Murcia, Navarra, País Vasco, Comunidad Valenciana y Castilla La Mancha.

En el caso de las inestabilidades del terreno la gestión de las emergencias está definida en los planes territoriales, además encontramos que solamente se tiene un Plan Especial de Emergencias por aludes de nieve en Catalunya (ALLAUCAT) mientras que los movimientos de ladera son tratados, bien en los planes de riesgo de inundaciones (Catalunya, Illes Balears, Andalucía), bien en los planes de riesgo sísmico.

En el campo de la meteorología espacial destaca la publicación en marzo de 2012, en la página web de Protección Civil de Extremadura, de un decálogo de buenas prácticas ante una tormenta solar. Este decálogo, preparado por la Dirección General de Justicia e Interior de la Junta de Extremadura se basaba en un trabajo previo realizado por el Observatorio del Clima Espacial, institución de carácter privado muy activa en divulgación científica. Esta iniciativa propició, unos meses más tarde, la aprobación por la Comisión Mixta para la Unión Europea del Congreso de los Diputados de una proposición no de ley, presentada por el grupo socialista, sobre la necesidad de un protocolo de seguridad europeo para la prevención tecnológica ante fenómenos naturales solares.

La compilación completa de normativa se recoge en una tabla sita en el Anexo I, en la que se detallan los siguientes campos:

- Tipo de peligro a abordar (sísmico, volcánico).
- Título de la normativa a la que se hace referencia.
- Descripción de la normativa.
- Última actualización de la normativa.
- Enlace web para su descarga.

4.3 Infraestructuras y recursos técnicos

En la actualidad existen aproximadamente medio centenar de instituciones y centros que se dedican a la recolección, observación, análisis, registro de datos y la elaboración de servicios e investigaciones en materia de geopeligros. La organización del Estado español, con varios niveles diferentes de administraciones públicas, ha ido creando, evolucionando y perfeccionando instituciones que, a su vez, han adquirido competencias y desarrollado infraestructuras y estudios, principalmente a iniciativa propia, para la vigilancia e investigación de los geopeligros.

Dentro de las instituciones civiles a nivel estatal se hayan el Instituto Geográfico Nacional, el Instituto Geológico y Minero de España, el Instituto Español de Oceanografía, Geociencias Barcelona, Instituto de Productos Naturales y Agrobiología (Estación Volcanológica de Canarias), Instituto de Ciencias del Mar, y el Instituto de Geociencias (estos seis últimos integrados en la Agencia Estatal del Consejo Superior de Investigaciones Científicas), Puertos del Estado, la Secretaría General de Pesca y la Agencia Estatal de Meteorología. En el ámbito militar se encuentran el Real Instituto y Observatorio de La Armada, el Instituto Hidrográfico de la Marina y el Instituto Nacional de Técnicas Aeroespaciales.

A nivel autonómico también han surgido instituciones como el Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos, el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, servicios como el Servei Meteorològic de Catalunya, el Institut Cartogràfic Valencià y otras entidades como el Instituto Volcanológico de Canarias y el servicio sísmico Euskalsis del Ente Vasco de Energía.

En torno a la vigilancia y, en especial, la investigación en materia geofísica y geológica, hay que destacar principalmente a las universidades españolas dentro del sector público institucional, entidades autónomas que han ido desplegando redes de monitorización y laboratorios de investigación.

En el Anexo II del presente documento se ha registrado una instantánea de la situación de normativa y entidades hasta el nivel autonómico, e incluyendo al Instituto Volcanológico de Canarias (INVOLCAN) dependiente de Cabildo Insular de Tenerife a través del Instituto Tecnológico y de Energías Renovables (ITER), debido a su dedicación a la vigilancia volcánica desde hace

más de dos décadas y cuya labor complementa en Canarias la del resto de las entidades españolas que trabajan en vigilancia volcánica.

Debe tenerse en cuenta que, pese a que España aporta o utiliza recursos de entidades y organizaciones supraestatales (o de instituciones de países geográficamente próximos), estos no se han considerado dentro del alcance de este plan nacional. No obstante, merece la pena citar algunas de ellas como GEOFON, *EarthScope consortium*, *Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA)*, *Institut National des Sciences de l'Univers (CNRS)*, *Centre de Recherche en Astronomie Astrophysique et Géophysique (CRAAG)*, *Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRS)*, *Observatoire Midi-Pyrénées de Toulouse (OMP)*, *Institut d'Estudis Andorrans (IEA)*, el Programa de Observación de la Tierra de la Unión Europea, COPERNICUS, la Agencia Espacial Europea (ESA), el Centro Europeo para los Pronósticos Meteorológicos de Rango Medio (ECMWF) y la Universidad de Nagoya (Japón).

Dentro de los recursos que se detallan en el cuadro que se proporciona en el Anexo II se encuentran las redes de monitorización, estaciones individuales, laboratorios y también equipos que, por su relevancia, se han incluido individualmente. Si se hace caso a la división establecida en el siglo XIX entre estación, observatorio, red, centro y laboratorio, una estación es un punto de recogida de datos, un observatorio es un espacio con varios puntos de recogida de diferentes datos; una red consiste en varios puntos de recogida de datos homogéneos; y un centro o institución es aquél que dirige una red u observatorio. Por último, un laboratorio es una instalación, normalmente con condiciones ambientales controladas, donde se sitúan equipos para el análisis y experimentación.

En la clasificación de los recursos se ha adoptado una división dependiendo del tipo de uso, ya que hay infraestructuras que se utilizan principalmente para la vigilancia y monitorización en tiempo real y otros que se utilizan exclusivamente para la investigación, proporcionando datos más a largo plazo, aunque no por ello menos valiosos. Principalmente, las redes se utilizan para monitorización y los laboratorios para investigación, aunque luego se encuentran instalaciones

mixtas u otras formas de trabajar, como el análisis de imágenes satelitales, que pueden tener también una naturaleza mixta.

En la descripción que se presenta figuran redes fundamentales de vigilancia como las redes sísmicas, que son la pieza clave para diferentes peligros, ya que se utilizan para el servicio de alerta sísmico y de tsunamis, y son imprescindibles en el riesgo volcánico y de deslizamientos de ladera (subaéreos y submarinos). Entre estas redes, sobresale la Red Sísmica Nacional del IGN (con unas 400 estaciones diseminadas por todo el territorio español midiendo velocidad y aceleración del terreno) a nivel estatal, así como redes regionales en Canarias (INVOLCAN), Catalunya (ICGC), EuskalSIS del Ente Vasco de Energía, SISCOVA de la Generalitat Valenciana (ICV), la Red Sísmica de Andalucía del Instituto Andaluz de Geofísica, la *Red Western Mediterranean* (ROA-UCM) o la Red Sísmica de la Universidad de Jaén. Además, el INVOLCAN dispone de un sistema DAS conectado de forma permanente a un cable submarino de CANALINK (empresa pública dependiente del ITER) que va desde La Palma a Tenerife.

Dentro del ámbito de las redes de monitorización también se utilizan otras técnicas como son las redes geodésicas (IGN, IGEO-CSIC/UCM), INVOLCAN, Universidad de Cádiz, redes de mareógrafos (Puertos del Estado, IGN, IEO-CSIC, SOCIB, IHM), de inclinómetros (IGN, IGEO-CSIC/UCM, INVOLCAN), la Red Lora, así como redes de monitorización de gases del INVOLCAN (Tenerife, Lanzarote, El Hierro y La Palma), del proyecto ALERTA CO₂ (IGN e INVOLCAN), y las del IGN desplegadas en Tenerife y La Palma.

Por último, y como infraestructura de apoyo tanto en volcanología como en inestabilidad del terreno y aludes, se ha incluido la Red Meteorológica Nacional con más de 800 estaciones pertenecientes a la Agencia Estatal de Meteorología (Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico) que sirven de apoyo a las redes de monitorización, así como la Red de Radares Meteorológicos (actualmente 15 distribuidos por todo el territorio nacional) y la red de radiosondeos (existen 7 estaciones de radiosondeos gestionados por AEMET). También se han incluido para la vigilancia de aludes de nieve la Red de estaciones meteorológicas automáticas de alta montaña de AEMET y del *Servei Meteorològic de Catalunya*. Además de esta red de monitorización, para la predicción y vigilancia de aludes, existen en Pirineos, Picos de Europa-Cordillera

Cantábrica, las redes de toma de datos nivológicos: sondeos y perfiles nivológicos y tests de estabilidad del manto nivoso. Sin un mínimo de este tipo de datos no es posible realizar una predicción de aludes ni su vigilancia.

No solo existen redes de estaciones que registran datos en campo de forma homogénea sino, que también, se incluyen otros equipos como líneas de medida de geoelectricidad (Observatorio Geofísico de San Pablo de Los Montes), los Sismógrafos de Fondo Oceánico (OBS), las ecosondas y los equipos geofísicos de sísmica, magnetometría y gravimetría de la Unidad de Tecnología Marina del CSIC, radiotelescopios de la red *e-Callisto* de la Universidad de Alcalá de Henares o la red de webcams de la Federación Aragonesa de Montañismo (Programación y Realizaciones Aragonesas de Montaña, Escalada y Senderismo) y del Sistema de Observación Costera del Instituto de Ciencias del Mar del CSIC.

Además, se incluyen varios observatorios como los históricos del Real Observatorio de la Armada de Cádiz, el Real Observatorio de Madrid, el Observatorio Fabra en Barcelona, el Observatorio de la Cartuja en Granada (hoy sede el Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres), el Observatorio Geofísico de Toledo y algunos más específicos en el campo del geomagnetismo como son: Observatorio del Ebro, Observatorio de San Pablo de los Montes en Toledo o el Observatorio de Güímar en la isla de Tenerife, que añaden a los recursos para la monitorización de los peligros otros equipos como variómetros o magnetómetros.

Puertos del Estado dispone de un sistema de observación y predicción océano-meteorológica en toda la costa española, cuyo principal objetivo es proporcionar información de las condiciones del medio marino al sistema portuario de interés estatal. Dicho sistema, que comenzó su despliegue a finales de los 80 y principios de los 90, está hoy constituido por 41 mareógrafos, 25 boyas oceanográficas, radares HF y más de 100 modelos operativos de predicción marina a diferentes escalas (regional, costera y portuaria). Estos datos se integran y ponen a disposición del público a través del sistema PORTUS: PORTUS (Puertos del Estado). También se incluye SOCIB, el sistema de observación costera del gobierno de las Illes Balears junto con el CSIC, que ofrece una observación multiplataforma recopilando datos meteoceánicos desde la costa hasta mar abierto y un sistema de predicción de oleaje y meteotsunamis.

Dentro de las infraestructuras de la Administración Pública que se destinan principalmente a la monitorización o investigación en geopeligros se encuentran una gran variedad de laboratorios, como los de geología y geofísica que posee el Instituto Geológico y Minero de España en varias de sus sedes, los laboratorios de geología del Centro Geofísico de Canarias (IGN), de la Universidad de La Laguna, de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. En el caso del INVOLCAN se dispone de un laboratorio de geoquímica de fluidos equipado con 5 espectrómetros de masas de sector magnético (2 IRMS, 2 NGMS y 1 TMS) así como equipos de ICP-MS, QMS, microGC, GC, IC, GCMS e IRIS. Además, el INVOLCAN dispone de sensores ópticos remotos para la monitorización de gases (OP-FTIR, miniDOAS, COSPEC y TDL). Así mismo, destacan, del Geociencias Barcelona (CSIC), el Laboratorio de Microscopía Óptica y Electrónica y de Análisis de Imágenes, el Laboratorio de Imágenes espectrales, el Laboratorio de Paleomagnetismo y el Laboratorio Científico de Registro Geofísico en Sondeos especializado en *borehole*, y, del IGN, el Laboratorio de Magnetismo de Materiales y Magnetismo Ambiental, situado en el Real Observatorio de Madrid. El Instituto de Geociencias (CSIC-UCM) dispone del Laboratorio de Geociencias de Lanzarote, que contempla el estudio de parámetros geodésicos y geofísicos para interpretación de señales asociadas a la actividad volcánica. El Instituto de Ciencias del Mar posee laboratorios de sedimentología, geoquímica y geotecnia, y de análisis y procesado de la señal sísmica. El IEO-CSIC dispone de un observatorio semipermanente sobre el volcán Tagoro de la isla de El Hierro. El IGN también posee un laboratorio de geoquímica especializado en volcanología en su Centro Geofísico de Canarias.

Las universidades poseen varias instalaciones dedicadas tanto a la investigación, como a la vigilancia: la Universidad de Salamanca posee un laboratorio de Petrología y Geoquímica, así como el Laboratorio XRD, el Laboratorio de Isótopos Estables y Gases Nobles, el de Análisis Elemental Cromatografía y Masas y el Laboratorio de Nanoelectrónica y Nanomateriales. La Universidad de Granada dispone de un laboratorio de Geodinámica. La Universitat de Barcelona cuenta con un laboratorio de campo para el desarrollo de técnicas de monitorización de inestabilidades de ladera. La Universidad de Cantabria cuenta con tanques de agua para la realización de estudios sobre corrientes y tsunamis que proporcionan un gran apoyo a la inves-

tigación en tsunamis. Aparte de los laboratorios, la Universidad de Salamanca cuenta con una sala de balanzas y el IGME-CSIC dispone de cámaras climáticas.

Por último, se destaca el uso de la ICTs-Flota del IEO-CSIC, con sus buques oceanográficos, perfectamente equipados para el estudio multidisciplinar del océano desde la superficie hasta más de 6000 metros de profundidad. Entre estos buques se encuentran el Sarmiento de Gamboa operado por la UTM-CSIC, mientras que el IEO-CSIC opera el Ramón Margalef y el Ángeles Alvariño, y desde octubre de 2024, se suma el nuevo buque insignia con capacidad polar, el Odón de Buen, el más moderno y grande de la flota española con un futuro AUV de aguas profundas. La capacidad de estudio y observación del océano del IEO-CSIC se ve enriquecida por la presencia del ROV Liropus 2000, un Vehículo de Observación Remota capaz de tomar muestras de agua, roca, sedimentos e imágenes hasta los 2000 metros de profundidad. Además, se dispone de tres vehículos autónomos submarinos (AUVs) de la UTM-CSIC, uno de ellos operado desde el buque Odón de Buen, así como los últimos vehículos aerotransportados que se han incorporado a los servicios de vigilancia e investigación en los últimos años con un alto impacto: los drones, clave para poder conseguir imágenes en zonas donde el ser humano no puede acudir en persona. Tanto el IGME-CSIC como el IGN entre otros, poseen drones disponibles en caso de emergencia. El INVOLCAN dispone además de un dron para observaciones submarinas.

Si se realiza la división de los recursos e infraestructuras en función de los geopeligros que monitorizan, se pueden encontrar grandes diferencias entre ellos. De esta forma se puede observar cómo en el ámbito sísmico las redes están muy desarrolladas y con un alto grado de compartición de recursos.

A diferencia del ámbito sísmico, la vigilancia e investigación en volcanología, al comprender varias técnicas de vigilancia, presenta diferencias en el mayor desarrollo de algunas de ellas, como la sismología o la geodesia especializada, respecto de otras como la geoquímica o la gravimetría. Además, en este ámbito se precisa aun de una mayor colaboración y compartición de datos, que tiene un nivel considerablemente inferior motivado, sin duda, por la citada concurrencia de diversas técnicas, pudiendo producirse duplicaciones de servicios.

Para la monitorización y detección de tsunamis se usan sobre todo redes de mareógrafos o nivel del mar, como la red REDMAR de Puertos del Estado, junto con las de otras instituciones como el IEO-CSIC, SOCIB, IHM y el propio IGN, y las redes de monitorización sísmica. Además, hay otras instituciones que investigan en la generación y propagación de tsunamis e implementan soluciones para la gestión de este peligro como son [IHCantabria](#), dedicada tanto a la evaluación y modelización de la peligrosidad, como a la gestión del riesgo por tsunami, incluyendo evaluación de la exposición, vulnerabilidad y riesgo de personas, infraestructuras, planes de emergencia, planes de evacuación, educación y concienciación, etc., o UMA, con el desarrollo de sus modelos numéricos para la simulación de tsunamis de diferentes fuentes tsunamigénicas.

Al considerar las infraestructuras y recursos aplicables al ámbito de los movimientos

del terreno destaca los relativos al programa de seguimiento espacial COPERNICUS EGMS. Además, existen numerosas redes de control y vigilancia de infraestructuras esenciales o edificios singulares. Igualmente existe un buen grado de desarrollo en el campo de los aludes. A señalar, que no hay infraestructuras *ad hoc* ni en el campo de los movimientos de ladera ni en el ámbito de los deslizamientos submarinos, aunque sería esenciales las redes monitorización del terreno, de mareógrafos y las de monitorización sísmica.

Para la meteorología espacial, como se puede observar, es muy importante dotar de mayores recursos a los observatorios que ya existen, así como poder trabajar de forma más conjunta con las universidades e instituciones especializadas en este ámbito, como la Universidad de Alcalá, la UCM y el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA).

5

Objetivos y retos específicos del Plan. Medidas e instrumentos para el refuerzo y coordinación de los sistemas de vigilancia en España

5.1 Introducción. Aproximación al esfuerzo económico en vigilancia de geopeligros

Para alcanzar los objetivos generales descritos en el punto 1: la optimización de recursos, la mejora de los sistemas de vigilancia, la gestión colaborativa de los sistemas y su densificación y la explotación de los registros de esos sistemas para el avance del conocimiento y el desarrollo tecnológico, es conveniente aproximarse primero, al **esfuerzo económico actual aplicado a las actividades que se desarrollan específicamente para la vigilancia de geopeligros**. Para ello, tomando como referencia el ejercicio económico 2024, y considerando estrictamente la inversión netamente nueva y el mantenimiento de los recursos disponibles (pues son los conceptos de cuantificación asumibles fuera de crisis de emergencia), se aportan a continuación los costes previstos por algunos de los actores que intervienen en dichas actividades:

La institución que más esfuerzo económico aplica a la vigilancia de geopeligros es el **Instituto Geográfico Nacional (IGN)**, en consonancia con las responsabilidades que recaen sobre esta institución en materia de vigilancia de la actividad sísmica, tsunami y volcánica, vehiculado a través de su Subdirección General de Vigilancia, Alerta y Estudios Geofísicos. Su **presupuesto anual** se estima en unos **3,2M €**, siendo prácticamente la mitad aplicado a la vigilancia volcá-

nica por la diversidad de sensores que precisan debido a la actividad eruptiva reciente. Bien es cierto que, en esa cifra, no se han contemplado las aportaciones de los servicios de telecomunicaciones ni de las redes geodésicas nacionales, por la dificultad de discriminarlos, ni tampoco la **fuerte inversión coyuntural como es el caso de la red de monitorización de gases tóxicos en La Palma** que se está implantando actualmente.

El Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y las Universidades de La Laguna y de Las Palmas, entre otras instituciones, cuya misión es la investigación científica y técnica y la docencia, disponen de multitud de recursos técnicos, estaciones y laboratorios dedicados a la investigación en el ámbito de la volcanología, si bien la mayor parte de ellos solo se aplican a labores de vigilancia durante una crisis volcánica. Por tanto, sería muy impreciso, si no imposible, contabilizar el coste de dichas labores, y, en todo caso, no se está considerando el esfuerzo económico en el transcurso de crisis.

No obstante, **en el caso del CSIC** deben considerarse algunos costes que, como excepción, sí se aplican por parte de algunos de sus centros en actividades de vigilancia continuada, como son el Instituto de Geociencias IGEO-CSIC/UCM (estaciones de deformación y

gravedad, y laboratorio de Lanzarote), 396 000 €, el Instituto de Productos Naturales y Agrobiología - Estación Volcanológica de Canarias (IPNA-CSIC), 60 000 €, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC), 35 000 € y el Instituto Español de Oceanografía (IEO-CSIC, monitoreo de las propiedades físicas, químicas, biológicas y geológicas de los volcanes submarinos y fuentes hidrotermales, más una cantidad no cuantificada para la obtención de batimetrías de alta resolución por medio de diversos proyectos, a lo largo de todo el territorio submarino español de aplicación al estudio de escenarios de riesgo tanto volcánico en Canarias como de tsunamis en otras demarcaciones marítimas), 600 000 €, el instituto Geociencias Barcelona GEO3BCN, 9 000 €, que suman un total de **1 100 000 € anuales**.

Por su parte, la **Agencia Estatal de Meteorología, AEMET**, cuya principal responsabilidad son los servicios de predicción y vigilancia de fenómenos meteorológicos, apoya con sus redes de observación las tareas de vigilancia de diferentes procesos, como son las inestabilidades del terreno y las erupciones volcánicas, aplicando **un coste de unos 400 000 € al año** en el mantenimiento de sus 69 estaciones meteorológicas desplegadas en Canarias, considerado como la proporción que, en dicho concepto, correspondería a su contribución en la vigilancia de geopeligros.

En el caso de **Puertos del Estado**, que con su red de mareógrafos REDMAR, vigila, entre otros parámetros, el nivel del mar en las costas españolas, proporciona estos datos en tiempo real al Sistema Nacional de Alerta de Maremotos, lo que permite confirmar la llegada a tierra de un tsunami, y su caracterización a través del tiempo de llegada, amplitud máxima y propagación a lo lar-

go de la costa, datos fundamentales en la alerta de tsunamis. El **coste de mantenimiento** de esta red, constituida en la actualidad por 41 estaciones distribuidas por toda la geografía española, es de unos **390 000 € anuales**. El **Instituto Hidrográfico de la Marina** también mantiene una red de mareógrafos con un coste anual de **40 000 €**. Estos costes pueden incluir diferentes conceptos y trabajos, número y tipo de estaciones, y no son por tanto estrictamente comparables.

Varias instituciones autonómicas soportan costes en tareas de vigilancia, como por ejemplo, el **Ente Vasco de la Energía** gestiona una red sísmica con una inversión anual de unos **120 000 €**; el **Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos**, además de su actividad prioritariamente científica, también contribuye a tareas de vigilancia, siendo el coste del mantenimiento de su red de unos **50 000 € anuales**; el **Institut Cartogràfic Valencià** cuenta con otra red sísmica con un coste de aproximadamente **110 000 € al año**, por su parte, el **Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya**, ICGC, destina unos **400 000 € anuales**, sin tener en cuenta costes de mano de obra ni de estructura, a la vigilancia sísmica y de inestabilidades del terreno, incluyendo la predicción de aludes de nieve.

El **INVOLCAN** realiza una apuesta continuada en el tiempo para contribuir al fortalecimiento de la vigilancia volcánica en Canarias financiada por el Gobierno Autónomo de Canarias (75 000 €/año) los Cabildos Insulares de Tenerife (447 000 €/año) y La Palma (50 000 €/año). Estas aportaciones económicas se destinan a cubrir los gastos de personal, inversión y operación de actividades ligadas a la monitorización volcánica.

5.2 Tipos de propuestas contempladas en el plan

A la vista del escenario que sobre la actividad de vigilancia de geopeligros en España se ha detallado hasta ahora, procede, a continuación, especificar y justificar las medidas e instrumentos específicos que se proponen en este plan. Para ello, se ha considerado conveniente tipificarlas según su alcance, prioridad o nivel de compromiso, al objeto de facilitar el desarrollo y posterior seguimiento del conjunto del plan.

En este plan, se consideran en primer lugar, los **planteamientos**, entendidos como la expresión de una circunstancia o hecho, positivo o negativo, en el contexto actual de la vigilancia de un peligro geofísico considerado como estratégico o especialmente relevante. **Estos planteamientos sirven como justificación, general para emprender iniciativas concretas.**

Estas iniciativas concretas se formulan bajo dos visiones distintas. Por un lado, **las acciones, compromisos a desarrollar a lo largo de la vigencia del plan**, especificando la institución encargada de su coordinación, los participantes en el desarrollo de aquellos, la necesidad de inversión adicional, en su caso, y la prioridad aplicable: urgente (1), en torno a la mitad de vigencia del plan (2) o antes de la finalización del plan (3).

Por otro lado, se contemplan las **recomendaciones**, medidas adicionales que, aun siendo **consideradas opcionales**, es conveniente desarrollar en el transcurso del plan para mejorar el escenario general de la vigilancia de geopeligros, o **que podrían convertirse en medidas prioritarias a medio plazo**. Igualmente, se especifican los mismos detalles que en el caso de las acciones, si bien la inversión solo requiere una aproximación somera a su coste y la prioridad se califica de importante o conveniente.

Debe tenerse en cuenta que las cifras que se consignan como inversión adicional en acciones y recomendaciones se refieren a título indicativo, siendo la entidad responsable o coordinadora de cada medida la que, o bien aportaría las cantidades indicadas, o bien coordinaría las aportaciones de las entidades participantes según se decida abordar cada caso, y siempre a partir de los créditos presupuestarios disponibles que deberán haber sido previstos en cada ejercicio anual, de acuerdo a las previsiones contempladas en este Plan.

Aunque este modelo de tipificación de las medidas se ha aplicado a los cinco geopeligros considerados en el plan, cabe advertir que, en algún caso, ha sido necesario interpretarlo de una manera ligeramente diferente, concretamente en la vigilancia en inestabilidades del terreno y en meteorología espacial. En estos casos, debido a su relativamente reciente desarrollo, las acciones y recomendaciones no están necesariamente ligados a la justificación de un planteamiento previo concreto, como en los demás peligros, sino que los planteamientos son más bien la exposición del nivel actual de desarrollo.

Sistemas de comunicación de alertas

Antes de continuar con la relación y el detalle de las medidas por cada peligro geofísico, es preciso poner en valor los planteamientos de índole general, es decir, aquellos que afectan al conjunto del Plan de forma trascendente, que actualmente se encuentran en desarrollo: **la mejora de los sistemas de comunicación de alertas y su evaluación en términos económicos**.

A este respecto se pone en valor el esfuerzo realizado por la DGPCyE para continuar desarrollando e implementando la **Red de Alerta Nacional** (Ley 17/2015 de 9 de julio), que es gestionada a través del Centro Nacional de Seguimiento y Coordinación de Emergencias, y que tiene como objetivo la implantación de un sistema de comunicación de avisos de emergencia a las autoridades competentes en materia de protección civil, tanto a nivel estatal como autonómico, sin perjuicio de las competencias de las comunidades autónomas, a fin de que los servicios públicos esenciales y los ciudadanos estén informados ante cualquier amenaza de emergencia. Asimismo, es también necesario continuar con el desarrollo del visor del **Mapa Nacional de Riesgos** para disponer de la información más actualizada sobre cualquier riesgo.

Por otra parte, la cuantificación del impacto de cualquier desastre precisa del desarrollo de una plataforma multiusuario que permita cargar, almacenar y explotar información sobre los eventos de desastre ocurridos en el territorio nacional y su impacto en los bienes expuestos. Tal herramienta permitiría documentar con cifras económicas los desastres para planificar estrategias de prevención y seguridad, monitorizar el logro de los objetivos y alcanzar las metas para el desarrollo sostenible (Resolución A/RES/71/313, junio 2017).

Estos planteamientos generales, sin duda, implicarán el desarrollo de medidas adicionales antes de la finalización del Plan.

5.3 Planteamientos y medidas específicas para el refuerzo y coordinación de la vigilancia de geopeligros en España

5.3.1 Vigilancia sísmica

Planteamiento 1:

Coordinación en el diseño, gestión y uso de las distintas redes sísmicas para la monitorización de terremotos

En España coexisten al menos 7 redes sísmicas permanentes de ámbito estatal o regional con distintas competencias, pero con altas capacidades para contribuir a la monitorización de los terremotos que ocurren en España y zonas próximas. Actualmente, estas redes tienen acuerdos no formalizados entre algunas de ellas mediante los cuales se realiza un intercambio de datos en tiempo real para mejorar la vigilancia sísmica en el territorio nacional y zonas próximas

por parte del IGN y en el ámbito regional por parte del resto de las redes. Existe una necesidad de formalizar estos acuerdos para un mayor reconocimiento de las redes que contribuyen a la vigilancia sísmica. Por otro lado, es conveniente que esta cooperación no solo se limite al intercambio de datos, sino que también abarque otros aspectos de suma importancia para aumentar la eficiencia de los recursos disponibles en el país, como la coordinación en el diseño de las redes, la gestión y el mantenimiento de estas, así como los protocolos de transmisión a la Red de Alerta Nacional.

Acción A.1:

Elaboración de un acuerdo formal entre las instituciones que gestionan las redes sísmicas permanentes

La elaboración de este acuerdo formal puede llevarse a cabo por distintos procedimientos. El más ambicioso de ellos, aunque también el más complejo, es crear un consorcio con todas las instituciones interesadas. La siguiente opción

preferida sería realizar un Convenio o Protocolo general de actuación común entre todas las instituciones interesadas. La alternativa a estos dos anteriores es realizar varios convenios o protocolos generales de actuación entre dos o más instituciones.

[Prioridad 2. Responsable/Coord.: IGN. Participantes: ICGC, IAG, ICV, EVE, ROA/UCM, MITERD e INVOLCAN].

Planteamiento 2:

Intercambio de información sísmica después de un terremoto

En España existen diversas instituciones que proporcionan información sísmica sobre los terremotos que ocurren en el territorio nacional en función de sus competencias.

Idealmente la información que proporcionan los distintos centros debería ser coherente para no crear confusiones tanto a las instituciones que

gestionan las emergencias como al ciudadano. Por ello se considera conveniente que exista un intercambio de información entre los distintos centros con el fin de alcanzar el mayor consenso posible.

Acción A.2:**Creación de un protocolo y herramientas para el intercambio de información sísmica después de un terremoto**

Se considera conveniente proporcionar la información más precisa y consensuada posible sobre los terremotos que ocurren en el territorio nacional a las instituciones que gestionan las emergencias y a los ciudadanos. Por ello, se propone la creación de un protocolo y de herramientas para el intercambio de información sísmica

después de un terremoto que incluya los parámetros sísmicos, la evaluación macrosísmica, la interpretación sismotectónica o cualquier otra información de utilidad para valorar este terremoto, así como facilitar los foros de discusión adecuados para tratar de llegar a un consenso entre las instituciones implicadas.

[Prioridad 2. Responsable/Coord.: IGN. Participantes: IGME-CSIC, ICGC, IAG, ICV y EVE, UCM, INVOLCAN entre otros].

Planteamiento 3:**Necesidad de disponer de estaciones sísmicas y geodésicas portátiles para ser usadas en caso de crisis sísmica**

La monitorización sísmica se lleva a cabo a través de las redes permanentes, pero cuando ocurre una crisis sísmica es habitual y muy recomendable densificar la instrumentación en esa zona para así poder estudiar con mayor detalle esta actividad. Dependiendo de dónde ocurra esa actividad serán unas u otras instituciones, en función de sus competencias territoriales, las que realizarán esa densificación. Sin embargo, no siempre estas instituciones disponen de la instrumentación necesaria. Por ello, sería recomendable que en cualquier momento haya disponible un conjunto de instrumentos para ser

instalados en caso de crisis sísmica. Así mismo, con el fin de optimizar los recursos sería conveniente que dicho subconjunto de instrumentos pueda ser utilizado por cualquier institución con competencias en vigilancia sísmica de manera coordinada. Estos recursos incluyen entre otros: sismómetros, sismómetros de fondo oceánico, acelerómetros y equipos GNSS.

Se hace notar que Geociencias Barcelona, GEO3BCN-CSIC, cuenta con un conjunto de estaciones sísmicas portátiles. Aunque estas estaciones están destinadas a su uso en proyectos de investigación, algunas de ellas podrían ser usadas en caso de crisis sísmica según su disponibilidad.

Acción A.3:**Creación de un banco de estaciones sísmicas y geodésicas**

En el caso de una crisis sísmica es habitual y recomendable densificar la instrumentación de monitorización sísmica en la zona afectada. Esto supone tener un conjunto de instrumentos en perfectas condiciones reservados para tenerlos disponibles en caso necesario. Además, según la zona de actuación, más de una institución puede estar interesada en esta densificación y lo ideal es que se haga de manera coordinada.

La creación de un banco de estaciones sísmicas y geodésicas, supondría adquirir y mantener

dicha instrumentación de manera que pueda ser utilizada por cualquiera de las instituciones participantes en el caso de una crisis sísmica. Además, sería necesario elaborar un protocolo de uso de esta instrumentación, que recogiera entre otras cosas: la gestión y autorización de solicitudes de uso de estos aparatos, la coordinación entre distintas instituciones que intervengan simultáneamente y las condiciones en el uso de los datos obtenidos.

[Prioridad 3. Responsable/Coord.: IGN. Participantes: ICGC, IAG, ICV, EVE, ROA/UCM, UO y GEO3BCN-CSIC e INVOLCAN. Inversión: 30 000 €].

Planteamiento 4:**Necesidad de disponer de un catálogo sísmico nacional actualizado al estado del arte**

El catálogo sísmico nacional es una herramienta fundamental de la que parten muchos estudios y análisis sísmicos y geológicos. El IGN mantiene un catálogo sísmico de terremotos ocurridos en España y zonas próximas considerando terremotos ocurridos hace más de 2000

años y que crece según se van registrando nuevos sismos. Es necesario actualizar este catálogo de acuerdo con las nuevas investigaciones sobre los terremotos ocurridos en nuestro territorio, de modo que exista un catálogo de referencia con la información consensuada por la comunidad científica en cada momento.

Acción A.4:**Actualización continua del catálogo sísmico nacional**

Es conveniente que el catálogo sísmico nacional esté actualizado al estado del arte y sea el documento de referencia consensuado por la comunidad científica que sirva como punto de partida para la realización de análisis y estudios sísmicos y geológicos.

Por ello, se estima necesario desarrollar un protocolo que facilite incorporar a este catálogo todas las nuevas contribuciones sobre los terremotos ocurridos en el territorio nacional aceptadas por la comunidad científica.

[Prioridad 1. Responsable/Coord.: IGN. Participantes: ICGC, IAG, ICV, UCM, entre otros].

Planteamiento 5:**Dar carácter oficial a una base de datos de fallas activas en España y zonas próximas relevantes para la vigilancia sísmica**

Actualmente, el IGME-CSIC ofrece en su página web una base de datos de fallas activas denominada QAFI. Esta base de datos recoge aquellas fallas que han mostrado evidencias de actividad en los últimos 2,6 Ma de acuerdo con la literatura científica disponible. Se considera conveniente adaptar esta base de datos a los criterios que puedan ser significativos en la vigilancia sísmica, normativa sismorresistente y estudios de peligrosidad sísmica y darle un carácter oficial y reconocido por este Plan Nacional de Vigilancia Sísmica, Volcánica y de otros fenómenos geofísicos.

Según el Eurocódigo-8 (UNE-EN 1998), una falla potencialmente activa es aquella que cumple algún de los siguientes requisitos:

- Que su tasa de deslizamiento media sea igual o superior a 1 mm/año.
- Que tenga evidencia de ruptura o deformación cosísmica¹⁰ en la superficie del terreno en los últimos 129 000 años (desde el inicio del Pleistoceno Superior hasta la actualidad).
- Que tenga una actividad sísmica asociada atestiguada por el registro sismológico instrumental, o deducida a partir de información histórica, arqueológica o geológica, siempre dentro de los últimos 129 000 años.

Acción A.5:**Adaptación de la base de datos QAFI a la vigilancia sísmica y normativa sismorresistente y oficialización de esta**

Con el fin de establecer una base de datos de fallas activas adecuada para la vigilancia sísmica,

normativa de construcción sismorresistente y estudios de peligrosidad sísmica, se estima conveniente la adaptación de la base de datos QAFI por un grupo de trabajo formado por los participantes indicados, de modo que esta sea la base

¹⁰ Deformación que se produce en el momento del terremoto. En este caso hace referencia a la deformación estática que se genera en el terreno de forma permanente en el momento del terremoto y que normalmente puede medirse mediante instrumentos geodésicos.

de datos oficial en España dentro de este marco. En lo posible se tratará de que un comité evalúe la rigurosidad, homogeneidad y cumplimiento de los criterios establecidos para la creación de esta base de datos.

Este trabajo de adaptación ya se ha comenzado a desarrollar por los participantes con la

coordinación del IGME-CSIC, por lo que este Plan Nacional apoya explícitamente sus tareas y contribuye a su oficialización.

[Prioridad 2. Responsable/Coord.: IGME-CSIC. Participantes: IEO-CSIC, ICGC, IGN, UB, UCM, UGR, UO, USAL y UZ entre otros]

Recomendación R.5:

Complejidad de la base de datos de fallas activas

Identificación de las áreas y estructuras geológicas menos conocidas y coordinación y dotación de grupos de trabajo para el estudio de estas. La base de datos de fallas activas QAFI es una recopilación bibliográfica de parte de los trabajos realizados por la comunidad científica,

pero no es un plan reglado y estructurado para el estudio de fallas activas en España. Para tener una visión completa de las fallas activas en España es necesario estudiar todo su territorio de forma reglada y estructurada.

[Relevancia: conveniente. Responsable/Coord.: IGME-CSIC]

Planteamiento 6:

Desarrollo y actualización de la normativa de protección civil ante el riesgo sísmico

La normativa específica de protección civil ante el riesgo sísmico se compone de la Directriz básica y de los planes de ámbito estatal, autonómico y local integrándose en el Sistema Nacional de Protección Civil.

Es conveniente un desarrollo completo de esta normativa, llegando al nivel local cuando así lo indican los planes autonómicos, al mismo tiempo que la actualización de esta, de modo que sea coherente con el estado del arte en los campos de la vigilancia sísmica y los estudios de peligrosidad sísmica.

Recomendación R.6A:

Desarrollo y actualización de la normativa de protección civil ante el riesgo sísmico

Impulsar el desarrollo de esta normativa, alcanzando el nivel local en los casos en que así lo indiquen los planes autonómicos.

Facilitar el desarrollo y estandarización del contenido y la frecuencia de actualización de esta normativa. Así mismo, considerar la importancia de la evaluación post-emergencia y la necesidad de recopilar las conclusiones de esta información.

Actualizar la normativa de protección civil ante el riesgo sísmico de manera que esta sea

coherente con el estado del arte en los campos de la vigilancia sísmica y estudio de la peligrosidad sísmica. Por ejemplo, introduciendo información sobre fallas activas y escenarios sísmicos basados en ellas, incluyendo los efectos geológicos y sobre las infraestructuras que pueden considerarse críticas como hospitales, parques de bomberos, centros neurálgicos de comunicaciones, aeropuertos y líneas de Alta Velocidad.

[Relevancia: importante. Responsable/Coord.: DGPC-ye. Participantes: Protección Civil de las Delegaciones del Gobierno y de las CCAA, IGME-CSIC, IGN, ICGC, INVOLCAN entre otros].

Recomendación R.6B:**Estudiar la sismicidad inducida¹¹ y sus efectos para evaluar su posible incorporación en la normativa de protección civil.**

La sismicidad inducida por acciones antrópicas es un fenómeno que cada vez está cobrando mayor protagonismo, sin embargo, no existe actualmente ninguna referencia al mismo en la normativa de protección civil ante el riesgo sísmico.

Se considera conveniente estudiar este fenómeno para su posterior valoración y en el caso de generar daños significativos, incorporarlo en los planes de protección civil.

[Relevancia: conveniente. Responsable/Coord.: IGN. Participantes: IGME-CSIC, DGPCyE, Protección Civil de las CCAA].

Planteamiento 7:**Participación en la comunidad sismológica internacional**

A nivel internacional, existen diversas instituciones, servicios e infraestructuras relevantes para el contenido de este Plan, cuya consideración es esencial. Participar en estas entidades, tanto colaborando con ellas como incorporando sus beneficios, resulta conveniente para mejorar la vigilancia sísmica a nivel nacional. Algunos ejemplos de estos organismos e infraestructuras internacionales incluyen la Asociación Internacional de Sismología y Física del Interior de la Tierra (*International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior, IASPEI*), la Fe-

deración de Redes Sísmicas Digitales (*International Federation of Digital Seismograph Networks, FDSN*), el Centro Internacional de Sismología (*International Seismological Centre, ISC*) y *EarthScope Consortium*. En el ámbito europeo, destaca el Consorcio Europeo de Infraestructuras de Investigación EPOS ERIC, representado en sismología por EMSC-CSEM, ORFEUS y EFEHR, entre otros. En este sentido, España ha establecido el nodo nacional EPOS-ES para coordinar su contribución a EPOS-ERIC, con grupos específicos dedicados a distintas áreas temáticas, incluyendo la sismología.

Acción A.7:**Representación de España en los comités de dirección de las organizaciones que estructuran el área temática de sismología de EPOS ERIC**

El grupo temático de sismología en EPOS ERIC está estructurado a través del Centro Sismológico Euromediterráneo (EMSC-CSEM), la infraestructura de Observatorios y Centros de Investigación de Sismología en Europa (ORFEUS), la Infraestructura Europea para Peligro y Riesgo

Sísmico (EFEHR) y otras organizaciones o consorcios como el Archivo de Datos Sísmicos Históricos Europeos (*European Archive of Historical Earthquake Data, AHEAD*). Se considera conveniente que España no solo contribuya en estos organismos, sino que esté representada en el comité de dirección de estos.

[Prioridad 2. Responsable/Coord.: IGN. Participantes: GEO3BCN-CSIC, ICGC, IGME-CSIC, ROA, UB, UCM e INVOLCAN entre otros. Inversión: 15 000 €].

Recomendación R.7:**Participación en EPOS ERIC (TCS Seismology)**

Dada la interrelación existente entre la vigilancia sísmica en España y el consorcio europeo EPOS ERIC, que en el campo de la sismología está estructurado a través del Centro Sismológico Euromediterráneo (EMSC-CSEM), la infraestructura

de Observatorios y Centros de Investigación de Sismología en Europa (ORFEUS) y la Infraestructura Europea para Peligro y Riesgo Sísmico (EFEHR), se recomienda la participación en el grupo temático de sismología de EPOS para la contribución con Datos, Productos de Datos, Software y Servicios relacionados con la vigilancia sísmica.

¹¹ Entendida como aquella generada total o parcialmente por la acción humana mediante actividades tales como el llenado o vaciado de embalses, la extracción (o inyección) de fluidos del (en el) subsuelo, etc.

Esta participación puede ser gestionada a través del nodo nacional EPOS-ES.

[Relevancia: conveniente. Responsable/Coord.: IGN. Participantes: GEO3BCN-CSIC, ICGC, IGME-CSIC, ROA, UB, UCM e INVOLCAN entre otros].

5.3.2 Vigilancia de la actividad volcánica

Planteamiento 1:

Necesidad de coordinación institucional para optimizar la disponibilidad de datos de Redes Instrumentales de Vigilancia Volcánica de registro continuo, incluyendo periodos de emergencia.

Diversas instituciones y organismos operan redes de vigilancia sísmica, geodésica, geofísica

y geoquímica adquiriendo datos de manera rutinaria en tiempo real. El intercambio de estos datos es esencial durante periodos de emergencias para el mejor asesoramiento científico a las autoridades y para la toma de decisiones de los gestores y responsables.

Acción A.1A:

Establecimiento de nueva normativa para el intercambio de datos de redes instrumentales en tiempo real entre instituciones

Esta normativa será imprescindible para asegurar una respuesta óptima del Comité Científico de los Planes de Emergencia, permitiendo la disposición de los datos de redes instrumentales y su uso, antes, durante y después de una erupción. El IGN, como única institución responsable de la vigilancia volcánica, ofrecerá recursos pro-

prios para albergar los datos de intercambio, con acceso a todas las instituciones participantes. Es imprescindible la revisión de esta normativa de forma habitual, por lo que se recomienda la realización de reuniones periódicas (anuales) de las instituciones implicadas para su actualización.

[Prioridad 1. Responsable/Coord.: IGN, IGME-CSIC e INVOLCAN. Participantes: CSIC, ULL y ULPGC. Inversión: 100 000 €].

Acción A.1B:

Determinación de las redes instrumentales críticas para vigilancia volcánica

Es fundamental determinar las redes instrumentales, incluyendo la instrumentación y los medios críticos imprescindibles para realizar de manera completa la vigilancia volcánica, antes, durante y después de una erupción. Todas estas

redes tienen que estar disponibles en la región a monitorizar y correctamente mantenidas y calibradas para la obtención de datos o su despliegue temporal.

[Prioridad 1. Responsable/Coord.: IGN e INVOLCAN. Participantes: CSIC y ULL. Inversión: 10 000 €].

Acción A.1C:

Dotación de recursos económicos para asegurar la completitud y el mantenimiento de redes instrumentales de medida críticas

Las instituciones estatales involucradas, incluyendo al IGN como la única institución competente en materia de vigilancia volcánica, deben ser dotadas de medios humanos y/o económicos necesarios para llevar a cabo las labores de mejora, completitud y mantenimiento de las

redes instrumentales de medida de las distintas instituciones y organismos participantes, siempre que sean declaradas de gran importancia para la vigilancia volcánica (Acción A.1B). Para ello se deberá realizar el esfuerzo de inversión adecuado para adquirir la instrumentación necesaria que asegure la existencia y disponibilidad de todas las redes de medida críticas incluidas

en Acción A.1B, así como de la contratación del personal necesario.

[Prioridad: 2. Responsable/Coord.: IGN, CSIC e INVOLCAN. Participantes: ULL. Presupuesto: 10 000 000 - 20 000 000 €].

Acción A.1D:

Dotación de recursos para asegurar la disponibilidad y acceso a los datos de redes instrumentales de vigilancia durante la emergencia

Las instituciones estatales involucradas, incluyendo al IGN como la única institución competente en materia de vigilancia volcánica, deben ser dotadas de medios para poner a disposición de todas las instituciones involucradas en el seguimiento y gestión de la emergencia los datos de las redes instrumentales de vigilancia volcánica. Para ello se deberá llevar a cabo las labores de mejora, completitud y mantenimiento de las infraestructuras de las distintas instituciones y organismos participantes, siempre que sean declaradas de gran importancia para la vigilancia volcánica (Acción 1.2).

Este compromiso necesita realizar pruebas y ejercicios de conexión rutinarios para comprobar la velocidad y capacidad de reacción de las entidades. Además, se requiere la disponibilidad de redes instrumentales necesarias, por lo que se recomienda implementar la herramienta en los Planes de Emergencia Estatales y de las Comunidades Autónomas. Asimismo, se necesita una financiación continuada para asegurar la ejecución y sostenibilidad de esta Acción y su puesta en funcionamiento de manera inmediata.

[Prioridad: 2. Responsable/Coord.: IGN, CSIC e INVOLCAN. Participantes: ULL y USAL. Presupuesto: 120 000 €].

Acción A.1E:

Coordinación para la catalogación de redes para vigilancia volcánica y mantenimiento de la Base de Datos

Es necesaria la participación de todas las instituciones y organismos para disponer de un catálogo actualizado de infraestructuras (financiadas con dinero público o no) susceptibles de ser utilizadas en la vigilancia de un proceso eruptivo. Las instituciones y organismos se comprometen a actualizar un inventario común aportando la información necesaria para su uso en caso de reactivación volcánica. Estas infraestructuras incluyen redes instrumentales permanentes o temporales (sismológicas, geodésicas, geoquímicas, meteorológicas, geofísicas o de otra índole), laboratorios geológicos o geoquímicos y herra-

mientas o servicios virtuales de análisis de datos. El inventario, que será continuación del Anexo II del presente Plan, deberá incluir información de las condiciones de uso de dicha infraestructura (costes, propiedad intelectual de los datos, etc.) y los posibles usos que tendría en caso de una emergencia. El inventario común se gestionará a través del presente Plan. Las instituciones participantes se reunirán de forma periódica para analizar los cambios y posibles carencias en la infraestructura disponible, para proponer la mejora de infraestructuras existentes o crear nuevas.

[Prioridad: 2. Responsable/Coord.: IGN e INVOLCAN. Participantes: CSIC, ULL, UCM, USAL y ULPGC. Inversión: 5 000 €/año].

Recomendación R.1A:

Necesidad de dotación de personal técnico especializado y financiación permanente para el mantenimiento y uso de redes de vigilancia

Dadas las características del fenómeno volcánico y su complejidad, la participación de personal de diferentes especialidades (geofísica, geodesia, geoquímica, petrología, informática, telecomunicaciones, etc.) es fundamental tanto en las labores de vigilancia volcánica como durante la emergencia. Además, es importante que las personas involucradas conozcan y tengan ex-

periencia previa en las zonas volcánicas que se están monitorizando y donde se puede producir una reactivación.

Esto implica que sea necesario mantener en plantilla un número mínimo de personal especializado y con la formación adecuada. La contratación de este personal no puede realizarse durante una emergencia, sino que debe realizarse con anterioridad. También se requiere financiación permanente para mantener y usar las diferentes redes de vigilancia.

[Relevancia 2. Responsable: IGN e INVOLCAN. Participantes: CSIC. Inversión: 1 000 000 €].

Recomendación R.1B:

Mejora de la diseminación y divulgación de documentos, resultados, datos de redes de vigilancia y de proyectos de investigación en abierto

El conocimiento integral de una zona volcánica requiere integrar los resultados de proyectos de investigación de diversas disciplinas científicas junto con los datos recogidos por las redes de vigilancia. Para ello, es necesario que se facilite el intercambio de datos y se ponga a disposición toda la información disponible del área volcánica objeto de estudio. Se recomienda así que el Plan fomente:

- El uso de los portales en abierto existentes a nivel europeo como, por ejemplo, EPOS (European Plate Observing System) que permiten tener acceso a datos, productos de datos, software y servicios de interés para la vigilancia volcánica. Asimismo, se deberá también incentivar que las instituciones y organismos capaces de producir datos, productos, software y servicios de utilidad para la vigilancia volcánica trabajen para garantizar su visibilidad y accesibilidad a través de dichos portales. Para ello solo se financiará por parte de este Plan a las ins-

tituciones que aporten datos en abierto en los portales indicados.

- Si fuera necesario, y de forma complementaria al punto anterior, se planteará la creación de bases de datos para el acceso a datos, resultados o algoritmos, por parte de las distintas entidades participantes en el Sistema de Vigilancia Volcánica, formen o no parte del Catálogo de Infraestructuras esenciales para la vigilancia volcánica en España. Se plantea de forma complementaria la creación de un ente o plataforma gestionada por alguna de las instituciones u organismos implicados en la vigilancia volcánica que permita visibilizar dichas bases de datos, mejorando con ello su accesibilidad. De forma adicional, el objetivo de dicha plataforma será poner en abierto aquellos documentos, resultados y/o algoritmos relevantes para la mejora del conocimiento de los peligros naturales y para su vigilancia. Esta plataforma será accesible tanto para las entidades participantes en el Sistema de Vigilancia Volcánica como para el público general. Se coordinará el acceso y difusión de información.

[Relevancia 3. Responsable/Coord.: IGN, CSIC e INVOLCAN. Participantes: ULL, UCM, USAL y ULPGC].

Planteamiento 2:

Necesidad de coordinación institucional para el uso priorizado de recursos e intercambio de datos procedentes de infraestructuras, equipamientos y laboratorios durante las emergencias.

Antes de que ocurra una emergencia volcánica, es crucial recabar el conocimiento científico para comprender las características, estado actual y potencial evolución del sistema de ali-

mentación de magma de la zona volcánica bajo vigilancia. De la misma forma, el análisis petrológico y geoquímico de los materiales volcánicos emitidos durante la erupción, permite conocer la fuente de alimentación del magma y los procesos magmáticos que están ocurriendo en profundidad, información crucial para que los Comités Científicos comprendan mejor comportamiento de un área de particular peligrosidad.

Acción A.2A:

Establecimiento de nueva normativa para la optimización de uso de infraestructuras y laboratorios de petrología y geoquímica críticos

Las infraestructuras para estudios petrológico-geoquímicos de las distintas instituciones públicas de investigación pueden proveer de esta información periódicamente (i) antes de una situación de emergencia, y (ii) durante la

emergencia, aunque con ciertas limitaciones, ya que son servicios destinados fundamentalmente a investigación o servicios bajo petición y pago de los correspondientes precios públicos. Identificar las instituciones con infraestructuras (buques oceanográficos...) y laboratorios disponibles en caso de emergencia, y el tipo de análisis que cada una de ellas puede llevar a cabo, es un paso fundamental para determinar aquellas críticas para el adecuado seguimiento de la evolución del magma a partir de las muestras recogidas, para conocer la evolución del proceso volcánico y para una adecuada transferencia de información a nivel interno. Es también fundamental establecer normativa específica entre

todas las instituciones con infraestructuras y laboratorios, que garanticen que las instituciones y organismos involucrados directamente en la pre-emergencia (y emergencia con limitaciones) dispongan de los datos necesarios para analizar la evolución del proceso volcánico. También se debe asegurar que las instituciones implicadas compartan sus datos de manera efectiva y coordinada, respetando la integridad y autoría de los mismos, así como de las instituciones a las que pertenecen.

[Prioridad: 1. Responsable/Coord.: IGME-CSIC. Participantes: USAL, ULL, IEO-CSIC, UCM, IGN, CSIC, ULPGC e INVOLCAN. Inversión: 5 000 €].

Acción A.2B:

Establecimiento de protocolos para la toma de datos y muestras, su distribución y su análisis para su uso en emergencias, incluyendo regulación de protección de datos

Durante una emergencia, es fundamental la obtención de diversos tipos de datos que aportan información clave sobre el estado y posible evolución de la erupción, y que no son proporcionados por las redes permanentes de vigilancia (p.ej., muestras de lavas/piroclastos). La obtención de estos datos depende, en la mayoría de las ocasiones, del acceso por parte del personal científico y técnico al área de exclusión definida. Además, en muchos casos, este personal pertenece a instituciones que no son parte del Comité Científico. Es fundamental, por ello, establecer protocolos para organizar el acceso de manera coordinada con la administración gestora de la emergencia y el personal necesario para la obtención de esos datos, de manera que cubra todo el espectro de metodologías posibles. Este tipo de protocolos deberán contemplar no sólo qué personal accede a la zona de emergencia, sino también qué tipo de datos o muestras van a obtener, en qué lugares/horarios lo van a realizar, qué metodologías se van a emplear, incluyendo el volumen de muestra necesaria y el potencial impacto que pueden generar dicha explotación. Además, debe incluir el mecanismo de información del resultado de análisis a la administración gestora de la emergencia y al Comité Científico correspondiente.

Para poder hacer un seguimiento de la evolución de la composición del magma durante una erupción y poder extraer conclusiones sobre su posible evolución, se hace necesario tomar muestras de forma sistemática de los materiales volcánicos emitidos (coladas de lava, piroclastos, etc.) durante toda la erupción, así como de las potenciales emisiones de gases o cambios en la composición del agua en zonas de surgencias, pozos, etc. Eso genera una enorme cantidad de material (rocas, gases, aguas) que hay que analizar de forma rápida y eficiente. Para ello es necesario, establecer un protocolo de recogida de muestras, de envío de las mismas a los laboratorios correspondientes, del tipo de análisis a realizar y de un espacio de almacenamiento y compartición de datos y resultados de análisis de forma segura. Ninguno de los laboratorios de las diferentes instituciones del país, por sí solos, pueden hacer frente a esta enorme tarea, con la celeridad que se precisa en una emergencia volcánica. Por ello, es necesario establecer un protocolo de forma que los laboratorios disponibles trabajen en red repartiendo las tareas entre todos. Esto implica además la necesidad de tener suficiente personal formado y cualificado para ejecutar las tareas cuando sea necesario y que puedan operar los laboratorios 24/7 durante toda la situación de emergencia volcánica.

[Prioridad 1. Responsable/Coord.: CSIC e INVOLCAN. Participantes: IGN, ULL, ULPGC, UCM y USAL]. Inversión 15 000 €.

Acción A.2C:

Dotación de medios humanos y económicos para el análisis de muestras petrológicas durante emergencias

Para desarrollar las tareas que implican la ejecución de la Acción A.2B, es necesaria la adecuada dotación económica en recursos huma-

nos y materiales para la realización de las tareas requeridas para la distribución, análisis y almacenamiento de muestras petrológicas durante emergencia.

Tras su análisis, las muestras deberían estar almacenadas y catalogadas en un repositorio de una o varias de las instituciones u organismos que forman parte del Comité Científico, de manera que se puedan volver a consultar en el futuro si fuera necesario. Se garantizaría así que todas las muestras tomadas para la vigilancia volcánica están perfectamente identificadas y localizadas.

Inversión: Coste de operación y mantenimiento de los laboratorios durante la erupción. Se estima que una caracterización petrológica y geoquímica básica de una muestra de roca, orientada al monitorizar la composición del magma durante una erupción para extraer conclusiones sobre la posible evolución de la actividad magmática, tiene un precio estimado de entre 400 y 900 euros por muestra. Este coste incluye tanto la preparación de la muestra para su análisis, su descripción petrográfica a diversas

escalas de observación (de muestra de mano a microscopio electrónico) como el análisis geoquímico completo (elementos mayores y trazas, geoquímica de vidrio volcánico y fases minerales). El rango de precio depende de la complejidad de la muestra y los laboratorios requeridos.

Se debe añadir también el coste de envío de muestras entre laboratorios, entre unos 10 y 30 euros por muestra, dependiendo del tipo de envío y volumen. Para el correcto seguimiento de una erupción volcánica se ha de considerar la necesidad de analizar, al menos, una muestra por día de erupción. El número final de muestras analizadas dependerá de la complejidad del fenómeno volcánico en cuestión y su evolución y duración. A ello hay que añadirle unos 25 000 € de un armario compacto para almacenar las muestras. Ejecución durante el primer año de vigencia del Plan. Los precios proporcionados varían en función del laboratorio y la complejidad de la muestra.

[Prioridad 2. Responsable/Coord.: CSIC e INVOLCAN. Participantes: ULL, IGME-CSIC, UCM y ULPGC.]

Acción A.2D:

Establecimiento de un protocolo de coordinación del uso de ROVs aéreos y submarinos, zonas de vuelo/inmersión, formato de intercambio de información, y su uso en emergencias, incluyendo regulación de protección de datos

El uso intensivo de drones durante las emergencias permite obtener datos en tiempo real que ayudan en la monitorización de los procesos volcánicos y el control y vigilancia de los intervinientes presentes en el área de influencia minimizando riesgos. De la experiencia reciente de su uso en la emergencia de La Palma, se han extraído una serie de debilidades que hacen necesaria la elaboración de un protocolo de coordinación que incluya la identificación de recursos y operadoras de entes públicos y privados (principalmente medios de comunicación y empresas de audiovisuales) que deberían estar habilitados para el trabajo aéreo sobre todo, pero también submarino, en emergencias, así como las normas

y medios de coordinación de vuelos y tareas durante la emergencia, las normas de almacenaje y distribución de datos generados, la creación de equipos especializados para el tratamiento e interpretación de datos, las normas de cesión de todos los datos generados para su utilización en la emergencia y el régimen sancionador en caso de incumplimiento, entre otros, por ejemplo: creación de un orden de intervinientes prioritarios en la utilización de estos medios, en el que hay que dar prioridad a la emergencia y científicos (doble prioridad a científicos trabajando para la emergencia o participantes de los comités científicos); el resto de intervinientes (Televisión, otros grupos de investigación fuera de los comités científicos) serán secundarios y siempre al servicio de estos intervinientes prioritarios.

[Prioridad 2. Responsable/Coord.: IGME-CSIC, INVOLCAN. Participantes: IGN, IEO-CSIC, UCM, ULPGC y ULL. Inversión: 10 000 € para una duración estimada de una emergencia de tres meses.]

Recomendación R.2:

Necesidad de dotación de personal técnico y financiación permanente para la formación, mantenimiento y uso de infraestructuras de laboratorio para su disponibilidad en emergencias

Dadas las características del fenómeno volcánico, que puede ser de larga duración en el tiempo, y donde hay que dedicar una parte importante del tiempo al análisis de las muestras

recogidas, se hace necesario mantener un número mínimo de personal formado y entrenado en las técnicas habituales de laboratorio, que se

actualice periódicamente, y que puedan operar los laboratorios necesarios para el seguimiento del fenómeno volcánico durante una emergencia.

Planteamiento 3:

Necesidad de coordinación institucional para la optimización de la investigación en la vigilancia y alerta volcánica, incluyendo emergencias

Diversas instituciones y organismos de investigación tienen capacidad de respuesta institucional para colaborar en la vigilancia y alerta del fenómeno volcánico, por lo que es imprescindible la coordinación para dar una respuesta unificada y eficiente ante una alerta o emergencia, asegurar la correcta interpretación de los datos, definir escenarios eruptivos probables, su impac-

to potencial y su evolución temporal. Para ello es imprescindible garantizar una adecuada labor de investigación por parte de estas instituciones en caso de alerta, así como garantizar la distribución de la información que puedan aportar sobre el fenómeno volcánico. La coordinación institucional de grupos de investigación pretende organizar eficazmente y maximizar la capacidad de respuesta para monitorear y mitigar los peligros asociados a un fenómeno volcánico por el que se ha declarado la alerta.

Acción A.3:

Establecimiento de nueva normativa para la transmisión de datos y resultados de investigación a Comités Científicos en emergencias que regule la actuación de los grupos científicos (externos a los que participan en los Comités Científicos) que trabajen en la zona afectada (nacionales y extranjeros)

Una vez establecidos los grupos de investigación implicados en la vigilancia y alerta del fenómeno volcánico en cada caso, en el Plan se establecerá:

- La elaboración de un protocolo que regule la actuación de los grupos de diferentes organismos e instituciones para gestionar su participación en la vigilancia y alerta del fenómeno volcánico.
- En este protocolo deberá hacerse constar que, para acceder a las zonas afectadas por la emergencia, el personal científico tendrá que contar con la acreditación que determine la Dirección del Plan, en la que se indicarán las condiciones que serán de obligado cumplimiento.

El personal científico que se autorice a acceder a las zonas afectadas deberá facilitar a la Dirección del Plan a través de los mecanismos que se establezcan, cualquier información que pueda ser de utilidad para la gestión de la emergencia, y la que le sea solicitada, incluyendo el acceso a los datos recogidos.

- La elaboración de un protocolo de actuación, interacción y cooperación entre los grupos de investigación implicados. Es preciso establecer un sistema protegido (con acceso seguro) que permita el intercambio de información durante los periodos en que se declare una alerta volcánica para disponer de gráficos, observaciones, etc. relativos al fenómeno volcánico en cuestión. Se debe garantizar que el personal científico implicado disponga del mismo conjunto de información, de forma que las ideas se puedan compartir, discutir y examinar de manera organizada. (El uso no autorizado de datos o ideas discutidos en este ámbito no debe permitirse).
- La creación de una figura (entidad) en esta coordinación institucional, encargada de establecer un sistema de comunicación fluido entre instituciones y, por ende, entre los grupos de investigación, para informar de la evolución del fenómeno volcánico en tiempo real.
- La designación de un responsable institucional (en cada institución u organismo), para activar y coordinar la respuesta de cada grupo de investigación ante la alerta del fenómeno volcánico. En cada grupo de investigación se nombrará un investigador responsable que participará como experto una vez declarada la alerta del fenómeno volcánico. En cada organismo, el personal

investigador responsable de los grupos de investigación podrá organizarse por temáticas disciplinares (geodesia, sismología, teledetección, geología, meteorología, oceanografía) para facilitar la vigilancia científica del fenómeno y elegir un representante que actúe como responsable ante el Plan. El personal responsable de los grupos en cada organismo podrá realizar reuniones regularmente para caracterizar la actividad volcánica en curso y proporcionar una visión, junto con medidas y actuaciones a realizar para mejorar la vigilancia del fenómeno volcánico, al representante en el Plan.

- El personal científico de otras instituciones y organismos «externos», nacionales o internacionales, que no participan en el Plan y que estén interesados en ayudar con la respuesta al fenómeno volcánico, o en realizar investigaciones independientes o en colaboración

con el personal científico que intervienen directamente en su gestión, deberá contactar con los responsables del Plan para evaluar y autorizar, en su caso, las propuestas de investigación y coordinar la distribución de toma de datos y muestras que lleven a cabo. Se debe coordinar (con todos los grupos del Plan) la investigación que lleven a cabo grupos «externos», al objeto de asegurar que complementen los programas de seguimiento del fenómeno volcánico en curso y que no afecte negativamente a la logística. Cualquier dato o resultado que obtengan en estas condiciones debe estar sujeto al mismo protocolo, y ser compartido para su uso en la monitorización del fenómeno volcánico, durante la emergencia.

[Prioridad: 1. Responsable/Coord.: CSIC e INVOLCAN. Participantes: ULL y ULPGC. Inversión: 700 000 €].

Planteamiento 4:

Comunicación de los datos relevantes a las instituciones participantes de la emergencia

Durante una emergencia volcánica, es fundamental que los Comités Científicos reciban datos

y resultados científicos de manera oportuna y precisa. La naturaleza dinámica y potencialmente devastadora de las erupciones volcánicas requiere una respuesta rápida y bien informada.

Acción A.4:

Establecimiento de procedimientos y protocolos para la comunicación de resultados y datos de redes de vigilancia, infraestructuras y laboratorios al personal gestor de emergencia y a Comités Científicos

Estos convenios y protocolos no solo facilitan el intercambio de información en tiempo real, sino que también aseguran que todos los datos relevantes, incluyendo los de naturaleza sísmica, geodésica, geofísica, geoquímica, geológica, meteorológica y oceanográfica, sean accesibles para los Comités Científicos. Esta colaboración interdisciplinaria es esencial para la toma de decisiones informadas, permitiendo al personal experto evaluar la situación con precisión y recomendar acciones adecuadas para que el personal responsable de la emergencia pueda mitigar los riesgos y proteger a las comunidades afectadas. Además, es fundamental que los datos y resultados científicos proporcionados durante la emergencia sean utilizados exclusivamente por el Comité Científico, respetando la integridad y autoría de los

mismos, así como de las instituciones a las que pertenecen. Esto asegura el reconocimiento y respeto del trabajo del personal investigador y de las entidades involucradas, promoviendo una colaboración basada en la confianza y el respeto mutuo. La coordinación y cooperación interinstitucional fomentadas por estos acuerdos también contribuyen a una gestión más transparente y eficiente de los recursos, asegurando que las medidas adoptadas durante la emergencia sean las más adecuadas y efectivas. En ese sentido, es fundamental establecer asimismo las medidas sancionadoras correspondientes si no se respeta el protocolo establecido. Dichas normas, incluyendo las posibles sanciones, deben ser conocidas, aceptadas y aprobadas por todas las partes implicadas.

[Prioridad 1. Responsable/Coord.: CSIC e INVOLCAN. Participantes: IGN y ULL. Presupuesto: 5 000 €].

Planteamiento 5:**Necesidad de fomentar programas específicos de formación y especialización**

El Sistema estatal de Vigilancia Volcánica requiere de una serie de recursos para la mejora

del conocimiento científico del fenómeno con el fin de mitigar el riesgo volcánico y de mantener una formación continua y un conocimiento actualizado sobre el mismo.

Acción A.5:**Programas específicos de formación y especialización**

Es necesario fomentar programas específicos de formación y especialización para mantener de manera correcta y eficaz el Sistema Estatal de Vigilancia Volcánica. Para ello se recomiendan diversas acciones:

- Dotación de personal técnico y financiación permanente para el mantenimiento y uso de infraestructuras denominadas esenciales para la vigilancia volcánica en España (tanto de laboratorio como de redes de observación).
- El Estado, a través del Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación, fomentará y/o financiará programas específicos de mejora del conocimiento científico-técnico del fenómeno con atención específica a aquellos aspectos relacionados con la vigilancia volcánica.

- El Plan promoverá programas específicos de formación y especialización técnica con el fin de disponer de personal preparado para el uso de infraestructuras esenciales para la vigilancia volcánica ya sean laboratorios, redes de vigilancia y/o algoritmos de análisis.
- El Plan promoverá el conocimiento, por parte del personal científico, de los planes de Protección Civil y Atención en Emergencias, en caso de emergencia por riesgo volcánico, y tanto a nivel nacional como autonómico. El destinatario de esta formación sería el personal científico, y deberá ser impartida por la administración encargada de la redacción de los correspondientes planes de gestión por riesgo volcánico.

[Prioridad 1. Responsable/Coord.: ULL, ULPGC e INVOLCAN. Participantes: UCM, CSIC, USAL, IEO-CSIC, UB, UG. Inversión: 500 000 €].

Recomendación R.5:**Creación de un máster interuniversitario en volcanología**

Se diseñará un plan de estudios de un máster interuniversitario oficial en volcanología, semi-presencial y con una carga lectiva de 60 créditos. En la impartición de las asignaturas de este máster intervendrán profesores de diversas universidades nacionales especialistas en diversas materias relacionadas con la volcanología y la vigilancia volcánica (geofísica, geodesia, petrología y geoquímica, volcanología, tectónica, tele-detección, etc.), así como personal investigador de los Organismos Públicos de Investigación del país. Se incluirán contenidos relacionados con la gestión de emergencias por riesgo volcánico. Por otro lado, otras Instituciones relacionadas

con la vigilancia e investigación del fenómeno volcánico colaborarán en el plan de estudios albergando alumnos en prácticas externas que completen la formación adquirida en las otras asignaturas del plan de estudios, así como dirigiendo o codirigiendo Trabajos de Fin de Máster. Estos estudios permitirán la formación de especialistas que podrán intervenir tanto en futuras crisis volcánicas, como realizar investigaciones sobre el fenómeno volcánico que puedan contribuir, en el futuro, a la mejora de las acciones frente a peligros volcánicos.

[Relevancia 2. Responsable/Coord.: ULL. Participantes: ULPGC, UCM, CSIC, USAL, IEO-CSIC, UB, UG e INVOLCAN].

5.3.3 Vigilancia de tsunamis

Planteamiento 1:

Intercambio de información sobre datos e infraestructuras susceptibles de utilizar en áreas de vigilancia de Tsunamis

La evaluación de datos del nivel de mar o mareogramas es básica para confirmar la llegada de un tsunami y sirve para estimar el potencial daño

del tsunami. Es necesario que los organismos con mareógrafos compartan sus datos en tiempo real o con la menor latencia posible con el sistema de alerta de tsunamis de España, para analizarlo y transmitir a su vez la información necesaria a la Red de Alerta Nacional.

Acción A.1A:

Mejorar el protocolo de intercambio de datos entre Puertos del Estado e IGN

La red de mareógrafos de Puertos del Estado, la más numerosa de España, ya está integrada en el Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis desde 2015, compartiendo los datos de nivel del mar en tiempo real cada minuto. No obstante, es necesario mejorar el sistema de transmisión de datos (actualmente enviados vía correo electrónico) para minimizar la latencia (de un minuto a tiempo real) y conocer la altura y tiempo de llegada del tsunami lo más rápido posible. Puertos

del Estado ya ha realizado la mejora y actualización necesaria en todas sus estaciones en 2023, modificando el *hardware* y *software* de envío (en estación) y recepción (en Puertos del Estado) de los datos, que llegan ahora vía *websocket* (tiempo real). Queda pendiente para completar esta acción la instalación y adaptación de un *software* específico, ya disponible y cedido por Puertos del Estado, en los servidores del IGN.

[Prioridad: 1. Responsable/Coord.: PdE. Participantes: IGN. Inversión: 120 000 €].

Acción A.1B:

Ampliar el número de mareógrafos del sistema de alerta de tsunamis

Además de la red de mareógrafos de Puertos del Estado hay otras redes importantes, como la del IEO-CSIC y el IHM, por lo que ambas instituciones evaluarán cómo integrarán sus datos en el Sistema Nacional de Alerta de Tsunami. También

es necesario integrar las estaciones REDMAR que todavía no transmiten con el nuevo protocolo de datos en tiempo real al sistema nacional de alerta de tsunamis.

[Prioridad: 1. Responsable/Coord.: IGN. Participantes: IEO-CSIC, IHM y PdE. Inversión: 12 000 €].

Acción A.1C:

Promover la mejora continua del mapa topobbatimétrico de las diferentes demarcaciones marítimas españolas.

La mejora de los modelos de propagación de las olas de tsunami y de su impacto al llegar a costa necesita de una mejora de forma continua tanto de los modelos batimétricos como topo-

gráficos de las zonas litorales disponibles, ello permitirá afinar la calidad y precisión de dichos modelos.

[Prioridad: 1. Responsable/Coord.: IGN. Participantes: IHM, IEO-CSIC, IGME-CSIC, otros organismos generadores de datos (Secretaría General de Pesca, Comunidades Autónomas). Inversión: 50 000 €/año].

Planteamiento 2:**Mejorar los sistemas de vigilancia de tsunamis. Evaluación de otras fuentes y nuevas técnicas para prever el impacto de los tsunamis**

El actual sistema de alerta de tsunamis solamente se basa en la capacidad de los terremotos en generar un tsunami. A nivel estadístico, los terremotos son la fuente del 80% de los tsunamis del mundo, pero los volcanes, deslizamientos de terreno, meteoritos o efectos atmosféricos pueden también generar tsunamis. Por ello es necesario mejorar el sistema de vigilancia actual para tener en cuenta alguna de estas fuentes.

Además, con el desarrollo de nuevas técnicas informáticas se pueden utilizar técnicas de aprendizaje automático (*Machine Learning*) en la determinación de los niveles de riesgo

para tener cuenta la incertidumbre de la fuente sísmica.

La mejora del sistema de vigilancia puede abordarse también considerando nuevas técnicas basadas en fenómenos geofísicos relacionados con la generación de un tsunami. Una de ellas, ya bien establecida internacionalmente, es el estudio de las perturbaciones causadas por los tsunamis en la ionosfera sobre el área epicentral y su propagación hasta la zona de interés. Este enfoque puede ser particularmente útil para la zona del Cabo de San Vicente y el Golfo de Cádiz, dada la existencia de una ionosonda en la Estación de Sondeos Atmosféricos del INTA en «El Arenosillo», Huelva.

Acción A.2:**Minimizar la incertidumbre de la fuente sísmica en el sistema de alerta de tsunamis**

La incertidumbre inicial de la fuente sísmica que genera una alerta por tsunami es muy grande. Además, hay zonas donde varias fallas con distintas características podrían ser las causantes del terremoto por lo que disponer de un sistema de aprendizaje automático (*Machine Learning*)

que permita evaluar estadísticamente multitud de fuentes sísmicas con diferentes parámetros y estimar una altura de ola y tiempo de llegada en puntos o zonas de interés en muy poco tiempo sería una herramienta muy útil en el momento de toma de decisiones.

[Prioridad: 2. Responsable/Coord.: IGN. Participantes: UMA e IHCantabria. Inversión: 15 000 €].

Recomendación R.2A:**Evaluar fuentes tsunamigénicas diferentes a los terremotos en el sistema de alerta de tsunamis**

Muchos de los tsunamis con mayor altura de ola se han producido por deslizamientos terrestres, colapsos en islas volcánicas, deslizamientos costeros, deslizamientos submarinos, etc. El actual sistema de alerta de tsunamis sólo contempla alertas por terremoto, por lo que es

importante estudiar la posible ocurrencia de un tsunami por otras fuentes capaz de afectar las costas españolas. Siendo necesario partir de la susceptibilidad de generación de deslizamiento y de su tipología en una región concreta de las demarcaciones marítimas españolas.

[Relevancia: conveniente. Coordinador: IGME-CSIC. Participantes: IGN, UMA, IHCantabria, IEO-CSIC, ICM-CSIC, PdE y ULL].

Recomendación R.2B:**Evaluar nuevas técnicas para prever el impacto de los tsunamis**

Los tsunamis son fenómenos geofísicos muy complejos en los que la gran energía liberada afecta la corteza terrestre, el océano y la ionosfera a la que llegan ondas gravitatorias generadas en el proceso de la ruptura sísmica. El uso de información GNSS permite conocer las per-

turbaciones ionosféricas producidas y obtener información sobre las características del terremoto generador del tsunami y la velocidad de la onda oceánica, incluso en escenarios similares al tsunami de 1755.

[Relevancia: conveniente. Coordinador: IGN. Participantes: IGN, UCM]

Recomendación R.2C:**Mejorar la parametrización de las estructuras tsunamigénicas**

El conocimiento detallado sobre los fondos marinos de las diferentes fuentes generadoras de tsunamis (longitud, salto morfológico asociado, anchura de la zona de deformación, entre otros) son datos fundamentales para poder introducirlos de partida en los modelos de gene-

ración y propagación de las olas de tsunami. Una vez estos parámetros geológicos y geomorfológicos vayan siendo reconocidos por la comunidad científica será necesario integrarlos para la generación de nuevos modelos.

[Relevancia: conveniente. Coordinador: IGN. Participantes: IGME-CSIC, IEO-CSIC, ICM-CSIC y Universidades].

Planteamiento 3:**Promover el desarrollo de planes regionales y locales ante el riesgo de tsunamis y concienciar a la población**

Actualmente sólo Andalucía dispone de un plan autonómico ante el riesgo de tsunamis. Aprovechando esta situación, España ha sido uno de los 7 países que ha participado en el proyecto CoastWAVE, financiado por UE DG-ECHO y coordinado por UNESCO/IOC, siendo uno de los componentes principales la implementación del programa *Tsunami Ready* en el municipio de Chipiona. El proyecto, coordinado por IHCantabria, y que ha contado con la participación de las instituciones competentes a nivel nacional, autonómico y municipal, ha finalizado en junio de 2024. La implementación

del programa UNESCO/IOC *Tsunami Ready* ha permitido asimismo al municipio de Chipiona dar respuesta a los requisitos establecidos en la legislación española sobre gestión del riesgo de maremotos y ha conseguido convertirse en la primera ciudad de España en obtener este reconocimiento internacional. Se propone que las instituciones competentes propongan municipios para participar de dicho programa a través de iniciativas como CoastWAVE o similares, de forma que puedan acceder a recursos económicos que faciliten el desarrollo de locales en el ámbito de este riesgo. De esta forma se obtendría una mejora en el conocimiento por parte de la población y la prevención sería más efectiva.

Recomendación R.3A:**Impulsar el programa IOC UNESCO *Tsunami Ready***

Impulsar este programa, considerando su incorporación al Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo de Maremotos como herramienta

para facilitar el cumplimiento de la legislación nacional.

[Relevancia: conveniente. Coordinadores: Protección Civil y IHCantabria. Participantes: e IGN].

Recomendación R.3B:**Evaluar la necesidad de incluir el riesgo de tsunami en los planes de autoprotección de los puertos**

En los planes de autoprotección de algunos puertos han tenido en cuenta el riesgo de tsuna-

mis pero no hay un criterio claro que decida en qué zonas es necesario. Es conveniente analizar el riesgo para disponer de un criterio objetivo.

[Relevancia: conveniente. Coordinadores: Puertos del Estado. Participantes: e IGN].

Planteamiento 4:**Implantar un sistema de evaluación del tsunami y sus daños**

En el actual Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis no se contempla un criterio para eva-

luar las características del tsunami y los daños ocasionados. Es necesario implantar un protocolo de evaluación.

Recomendación R.4:**Implantar un protocolo de evaluación de los tsunamis y de los daños ocasionados**

Hay una guía de referencia (*International Tsunami Survey Team (ITST) Post-Tsunami Survey Field Guide, 2nd Edition, 2014*). Es necesario adaptar esta guía a las necesidades del Estado español teniendo en cuenta el marco legal e institucional estatal, autonómico e incluso municipal para implantar un protocolo de análisis de los parámetros del tsunami y de los daños después de la ocurrencia de un

tsunami. Otros centros regionales de tsunamis quieren incluir también en la evaluación el comportamiento de la población y la gestión de la emergencia. Con la implantación de este protocolo se evaluarían los daños y se mejoraría la colaboración internacional con los centros regionales de alertas de tsunami.

[Relevancia: importante. Coord.: IGN. Participantes propuestos: UNED, Protección Civil, IGME-CSIC e IHCantabria].

Planteamiento 5:**Densificar las redes de monitorización y confirmación de tsunamis**

Las fuentes tsunamigénicas en España están muy cerca de la costa por lo que es muy importante densificar la red de monitorización sísmica,

si es posible, con equipos en el mar. También es importante densificar la red de mareógrafos o instalar boyas en alta mar capaces de detectar y discriminar la propagación de tsunamis antes de su llegada a tierra.

Acción A.5:**Instalación de una boya para mejorar la detección de tsunamis en la zona del Mediterráneo**

Para mejorar el tiempo de respuesta en la confirmación de la ocurrencia de un tsunami, el IGN, en colaboración con el JRC, IOC-UNESCO y SOCIB, instalarán una boya equipada con

GNSS. Con esta tecnología se intenta confirmar la llegada de un tsunami. El lugar escogido para instalar esta boya es al suroeste de la isla de Cabrera.

[Prioridad: 2. Responsable/Coord.: IGN. Participantes: JRC y SOCIB. Inversión: 50 000 €].

Recomendación R.5A:**Densificar las redes de monitorización y confirmación de tsunamis**

Para mejorar el tiempo de respuesta en la confirmación de ocurrencia de tsunamis en la zona del Archipiélago Canario y realizar otros estudios oceanográficos el IEO-CSIC ha solicitado a EUMETSAT un proyecto para instalar una boya en la isla de El Hierro.

Promover el incremento de estaciones sísmicas de la Red Sísmica Nacional en colaboración con otros países vecinos para mejorar la precisión de la localización de terremotos.

Estudiar la viabilidad de utilizar SMART CABLES en zonas tsunamigénicas de forma similar a como Portugal está realizando en colaboración con Alcatel Submarine Networks. Con este tipo de tecnología se podría tener sensores en el fondo oceánico, proporcionando una información que mejoraría no sólo el sistema de alerta de tsunamis sino que podría tener un gran impacto en estudios oceanográficos y de cambio climático al poder disponer de datos sobre la presión, nivel del mar, temperatura del agua en el fondo marino.

[Relevancia: conveniente. Coord.: IGN. Participantes: IEO-CSIC y PdE].

Recomendación R.5B:

Reforzar algunos mareógrafos para que el sistema de alerta de tsunamis sea más robusto

El mareógrafo de Puertos del Estado en Huelva dispone de dos sensores, un radar y un sensor de presión, además la transmisión de los datos se realiza desde un edificio cercano y mediante dos sistemas independientes de transmisión de forma que si llegase un tsunami podría enviar la confirmación de la llegada.

Sería muy importante rehabilitar algún mareógrafo de la zona del Golfo de Cádiz, Alborán y Baleares para que funcionen de forma similar al de Huelva.

[Relevancia: importante. Coord.: IGN. Participantes: PdE, IEO-CSIC].

Planteamiento 6:

Mejora del conocimiento científico de los tsunamis

El Sistema estatal de Vigilancia de Tsunamis requiere de una serie de recursos para el mante-

nimiento de su infraestructura, así como para la mejora del conocimiento científico del fenómeno con el fin de mitigar el riesgo por el impacto de olas de tsunamis.

Recomendación R.6A:

Mejorar el conocimiento de los tsunamis que han afectado al país

Fomentar estudios e investigaciones sobre el registro de paleotsunamis, es importante conocer el impacto y la cantidad de tsunamis que ha sufrido el territorio español para poder hacer mapas de peligrosidad completos y que no se quede solamente con aproximadamente

los últimos 2000 años. Estos trabajos servirían para realizar previsiones futuras y sería necesario crear una base de datos del registro de paleotsunamis y sus efectos. Para ello es necesario dar prioridad en Planes Nacionales de Investigación (junto con otros georriesgos).

[Relevancia: conveniente. Coord.: IGN. Participantes: UNED y UL entre otros].

Recomendación R.6B:

Mejorar el conocimiento científico-técnico de los tsunamis

El Estado, a través del Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación, fomentará y/o financiará programas específicos de mejora del conocimiento científico-técnico tanto de las estructuras tsunamigénicas potenciales como de la generación y propagación de las olas de tsunami, así como de su posible impacto en la zona costera, factores que permitirán una mejora de la vigilancia de estos procesos.

El Plan promoverá programas específicos de formación y especialización técnica con el fin de disponer de personal preparado para el uso de infraestructuras esenciales para la vigilancia de olas de tsunami ya sean laboratorios, redes de vigilancia y/o algoritmos de análisis.

[Relevancia: conveniente. Coord.: IEO-CSIC. Participantes: IGME-CSIC, ICM-CSIC, IHCantabria, IGN y PdE].

5.3.4 Vigilancia de inestabilidad del terreno

Planteamiento 1:

Revisión de Planes de Emergencia por inestabilidades del terreno

Los episodios generalizados de inestabilidades del terreno son consecuencia de situaciones de temporales de lluvia, de crisis sísmicas, episodios de volcanismo y/o actuaciones humanas. No obstante, las inestabilidades del terreno no están recogidas en el catálogo de riesgos de la Norma Básica de Protección Civil, y pocas veces quedan recogidas en los planes de emergencia de los riesgos anteriormente citados.

Algunas Comunidades Autónomas, como la Comunidad Valenciana o Catalunya incluyen especialistas en el grupo de evaluación de daños por inestabilidades del terreno en los planes que participan en el análisis y evolución la emergencia, pero no es así en otras comunidades autó-

nomas. Se ve la necesidad de revisar los planes de emergencia nacionales y autonómicos para incluir personas expertas en inestabilidades del terreno en los comités técnico-asesores o grupos de personas expertas en los planes de inundación, sísmicos y volcanológicos.

El planteamiento también expresa la necesidad de coordinarse con los cuerpos de Protección Civil de cada comunidad autónoma y la creación de un grupo de trabajo estable para fomentar el intercambio de experiencias y homogeneización de metodologías y bases de datos. También revisar los planes de emergencia para incluir a personas expertas por regiones en los comités técnico-asesores o grupo de personal experto para las inestabilidades del terreno.

Planteamiento 2:

Armonizar el catálogo de incidentes del 112 causados por inestabilidades del terreno

El catálogo de incidentes del 112 constituye una importante fuente de datos relativos a la dinámica de movimientos del terreno. De cara a optimizar este servicio para que pueda constituir una importante red de observación y fuente de información explotable, sería necesario unificar dicho catálogo y tipificar los movimientos del terreno. El 112 puede ser una fuente de información importante cuando no hay daños graves en las incidencias que son resueltas por personas gestoras de carreteras o servicios públicos. Actualmente, muchos de los incidentes que ocurren en carreteras se reflejan con un nombre demasiado genérico (Ej. Caída vertical: no se sabe si ha caído un árbol, una roca, etc.), lo que impide procesar esa información. En este aspecto,

sería importante que las propias bases de datos de Protección Civil reflejaran los fenómenos de inestabilidad del terreno de forma que dicha información se pudiera recuperar a posteriori.

También en el campo de acción de las protecciones civiles, y para el conjunto de peligros, se considera útil utilizar los parámetros que indica el marco de Sendai para evaluar el grado de incidencia y reducción del riesgo de desastres para el análisis de evolución de los objetivos globales.

Este planteamiento se extiende a la catalogación de los deslizamientos submarinos por parte del Instituto Hidrográfico de la Marina-IHM (responsables de la actualización de las cartas náuticas y aviso al navegante).

Planteamiento 3:

Incorporar servicios públicos y autoridades a la red de vigilancia de inestabilidades del terreno

El establecimiento de una red vigilancia de inestabilidades del terreno debería contar con la participación de los colectivos públicos que desarrollan su trabajo en la vigilancia del medio

natural: Su aportación es clave si se pretende disponer de un registro exhaustivo de la actividad de inestabilidades del terreno en el territorio.

Se proponen los siguientes planteamientos:

1. Identificar los colectivos que pueden llevar a cabo esta tarea.
2. Llevar a cabo trabajo de formación de dichos colectivos y dotarlos de herramientas tecnológicas (aplicaciones) o de procedimientos que se adapten a sus tareas y sean útiles para la monitorización de inestabilidades del terreno.

3. Incorporar el uso de la red Copernicus proporcionado por la Unión Europea a través del desarrollo del Copernicus Land Monitoring Service, enfocado al estudio de los distintos parámetros del suelo mediante el uso de imágenes satelitales. En el ámbito de este plan resulta especialmente interesante el uso del European Ground Motion Service, producto de Copernicus que proporciona información regular y consistente de movimientos del suelo con una precisión milimétrica, lo que permite realizar un seguimiento constante y preciso en tiempo real de los eventos de interés.

Planteamiento 4:

Definición de organismos competentes de la red de vigilancia de deslizamientos submarinos

Un primer paso para la red de vigilancia de deslizamientos submarinos potencialmente peligrosos es definir los organismos competentes y establecer los requisitos mínimos en términos de principios, estructura, organización y criterios operativos y de respuesta. Esto facilitaría la coordinación y actuación conjunta de los diversos servicios y administraciones involucrados frente a una emergencia por deslizamientos submarinos.

Como los deslizamientos submarinos pueden ser generados por terremotos y, además, pueden desencadenar tsunamis, el sistema de alerta de deslizamientos submarinos se ha de nutrir de la información recopilada por la Red Sísmica Nacional, la red de mareógrafos REDMAR de Puertos del Estado y otros sistemas de detección marina de las distintas administraciones públicas.

Una vez definidos los organismos competentes para la vigilancia de los deslizamientos submarinos, éstos deben tener acceso a los datos, así como a la instrumentación existente y necesaria para su vigilancia.

Planteamiento 5:

Mejora del conocimiento científico de los deslizamientos submarinos

Promover estudios sobre el registro de deslizamientos submarinos que afectan a nuestros fondos marinos es fundamental para entender los factores que han provocado su desarrollo, así como conocer el impacto y la recurrencia de los mismos. Este tipo de estudios permiten realizar previsiones futuras más precisas y sus efectos. Para ello, es importante priorizar este tema en los Planes Nacionales de Investigación, junto con otros georriesgos. Identificar y cartografiar deslizamientos submarinos, crear bases de datos de sus características morfológicas y de facies acústicas, elaborar mapas de susceptibilidad, identificar los potencialmente activos y críticos desde una perspectiva múltiple, incluyendo también la modelización de escenarios, para priorización y

redundancia de las infraestructuras incorporadas en los sistemas de vigilancia.

Promover estudios detallados sobre el registro y análisis de deslizamientos submarinos que afectan a nuestros fondos marinos es esencial para comprender a fondo los factores geológicos y ambientales que han contribuido a su desarrollo. Entender estas causas no solo nos permite identificar los mecanismos desencadenantes de estos peligros, sino también evaluar su potencial impacto y consecuencias, así como la recurrencia en diferentes regiones. Este tipo de investigaciones son fundamentales para mejorar nuestras capacidades predictivas, para la elaboración de estrategias de mitigación que puedan reducir los daños potenciales a infraestructuras submarinas, y la protección de comunidades costeras que podrían verse afectadas por los

tsunamis generados por estos deslizamientos. Estos conocimientos son vitales para la planifica-

ción y gestión de riesgos en áreas susceptibles a deslizamientos.

Planteamiento 6:

Definición de las infraestructuras y protocolos de los sistemas de vigilancia de los organismos competentes de la red de vigilancia de deslizamientos submarinos

Un primer trabajo para establecer una red de vigilancia de deslizamientos submarinos es definir un sistema de monitoreo, seguimiento y evaluación de los indicadores de su actividad combinando observación/información indirecta (ej. Campañas geofísicas) y directa (mediciones de propiedades físicas y geoquímicas *in situ*, instrumentación geotécnica, sismómetros de fondo marino (OBS), uso del cableado submarinos para la vigilancia, etc.).

El plan de vigilancia ha de incluir los mecanismos convencionales de observación indirecta del fondo y subfondo marino a lo largo del tiempo (sucesivas campañas en el marco del desarrollo de estrategia multitemporal), utilizando sistemas sonda multihaz de alta resolución y perfiladores de fondo marino; esta modalidad

de monitoreo permite vigilar las variaciones en la magnitud y frecuencia de los deslizamientos submarinos. El sistema de vigilancia también debe incluir instrumentos para la monitorización del ruido acústico submarino, los OBSs que ofrecen información sobre la magnitud del sismo y el mecanismo focal de la falla que puede provocar el deslizamiento submarino y/o su dinámica evolutiva; y la instalación de sensores científicos en los cables submarinos de telecomunicación y eléctricos. Asimismo, los sistemas de vigilancia de deslizamientos submarinos deben incluir el desarrollo y mantenimiento de infraestructuras de monitoreo, tales como plataformas estables con sensores «*ad hoc*» que ofrezcan diversos parámetros físicos y geoquímicos del fondo marino y oceanográficos con observación a largo plazo. Es urgente desarrollar un sistema de seguimiento *in situ* de deslizamientos submarinos; es decir, realizar la observación a largo plazo de diversos indicadores de sedimentos del fondo marino.

Planteamiento 7:

Estudiar cómo integrar los deslizamientos submarinos en el riesgo ante tsunamis

Se estima que cerca de un 13% de los tsunamis a nivel mundial tuvieron su origen por deslizamientos submarinos, se debería tener en

cuenta este fenómeno en los estudios de peligrosidad de tsunamis, evaluar las distintas técnicas de vigilancia y ver la viabilidad de integrar este fenómeno en la normativa de Protección Civil ante el Riesgo ante Maremotos.

Planteamiento 8:

Consenso entre servicios de predicción y vigilancia de aludes para la unificación del resultado del Boletín Peligro Aludes (BPA)

Actualmente, existen zonas en Pirineos en las que se emite más de un Boletín regional de Peligro de Aludes (BPA). La medida comprende los pasos necesarios para llegar al final a un único

boletín consensuado entre los diferentes organismos. Con ello se podrá disponer de boletines con unas predicciones y niveles de avisos homogéneos y con consistencia. Requiere una mejor coordinación entre AEMET, ICGC y *Conselh General d'Aran*, para su posterior traslado a la Red de Alerta Nacional.

Planteamiento 9:**Habilitación para toma de datos nivológicos y para la predicción de aludes: Formación reglada con acreditación para la toma de datos nivológicos**

No existe, hoy en día en España, una información reglada para las tareas de toma de datos nivológicos y de aludes, ni tampoco para la pre-

dicción de aludes. Es necesaria una formación reglada (haciendo referencia a que se imparta por centros acreditados), tanto para la toma de datos (no existente actualmente), como en la predicción de aludes que incluya los criterios de análisis y de síntesis a nivel europeo (EAWS).

Acción A.1:**Mejora de la comunicación entre universidades y la Administración Pública**

Una limitación importante para una red de vigilancia de inestabilidades del terreno es que no existen organismos estatales, territoriales o autonómicos con departamentos técnicos con capacidad de personal y logística que puedan ocuparse de la vigilancia de las inestabilidades del terreno. Es habitual que cuando surge una emergencia de inestabilidades del terreno las autoridades autonómicas recurran a la universidad para buscar asesoramiento técnico, aunque esta colaboración no está reglada.

Es por ello necesario identificar agentes públicos y grupos de investigación universitarios y

fomentar una colaboración entre ellos, tanto en la revisión de planes de emergencia de fenómenos meteorológicos adversos, sísmológica y volcánica, como en la fase de emergencia.

Se proponen las siguientes acciones: 1) Crear repositorios documentales con información de cada región, 2) disponer de directorios de especialistas por Comunidades Autónomas y 3) acreditar a especialistas como colaboradores en fase de emergencia.

[Prioridad: 3. Participantes: grupo de trabajo constituido para la elaboración del Plan de Vigilancia y autoridades en protección civil de ámbito estatal y autonómico. Inversión: coste de reuniones periódicas].

Recomendación R.1:**Creación de una red de investigación y vigilancia en inestabilidades del terreno**

Existe una disparidad entre comunidades autónomas en cuanto a recursos asignados para el estudio y la vigilancia a inestabilidades del terreno. Esta disparidad no está relacionada con el nivel de exposición de la población a estos fenómenos en cada comunidad, sino más bien con la sensibilidad de la administración frente a los problemas que las inestabilidades del terreno generan.

Por este motivo se cree necesaria la creación de una red de investigación y vigilancia en inestabilidades del terreno. La misión de la red sería trabajar de forma coordinada para desarrollar una estrategia y estructura común para el estudio y la prevención del riesgo ligado a las inestabilidades del terreno. Entre sus objetivos estarían: actualizar, armonizar y mantener las bases de datos de inestabilidades del terreno (subaéreas y submarinas); promover la realización de un mapa de susceptibilidad de inestabilidades; recopilar e investigar los umbrales meteorológicos y los de aceleraciones

sísmicas que dan lugar a episodios generalizados de inestabilidades.

Otra misión de la red sería la coordinación con Protección Civil, en la revisión de los planes y vigilar que éstos incluyan de forma efectiva las emergencias por inestabilidades del terreno.

Se estima que las acciones podrían requerir de la dedicación de un equipo técnico fijo de que pueda llevar a cabo la redacción de documentos estratégicos, el procesamiento de datos, etc., por lo que se considera que esta red debería tener una fuente de financiación.

En el mismo contexto de la red, sería necesario buscar vías de colaboración regladas entre Universidades y el CSIC con administraciones autonómicas con un mecanismo de financiación para las Universidades y el CSIC que permitieran llevar a cabo las tareas de vigilancia hasta que, en un futuro, los organismos públicos asuman este trabajo.

La red debería definirse como un nuevo equipo de trabajo con la figura de una persona

coordinadora que conozca bien el ámbito de la investigación aplicada al desarrollo de soluciones en el campo de los deslizamientos, además de 3 o 4 personas tituladas superiores con conocimiento movimientos del terreno, geomorfología y bases de datos. También partidas presupuestarias destinadas a grupos de investigación ya constituidos para poder dedicar al menos un personal técnico durante 3 o 4 años al proyecto. Así mismo, debería disponer de

recursos y apoyo en Tecnología y Ciencias de la Información tanto en desarrollo de *backend* (servidores) como de *frontend* (aplicaciones y visores).

[Relevancia: importante. Responsable/Coord.: IGME-CSIC. Participantes: entidades del subgrupo de trabajo de inestabilidad del terreno que han intervenido en la preparación de este Plan].

Recomendación R.2:

Programa nacional de inventario de movimientos de ladera y hundimientos

Herrera et al. (2018) ya estimó una completitud menor del 5% de las bases de datos sobre deslizamientos disponibles en el Estado español, lo que refleja amplias zonas del territorio sin información sobre estos fenómenos. Un programa nacional suministraría información sobre inestabilidades (subaéreos y submarinos) en regiones donde no existen inventarios al no haber programas de cartografía de inestabilidades u otras iniciativas para su realización (p.ej. Investigaciones científicas o privadas). Las medidas propuestas en los puntos anteriores sobre armonización de bases de datos y la elaboración de un modelo de susceptibilidad revelarán qué regiones potencialmente pueden ser objeto de esta medida.

El inventario actualizado de movimientos del terreno (subaéreos y submarinos) es una de las piezas esenciales para la construcción de los mapas de susceptibilidad y peligrosidad de los movimientos del terreno.

La semilla del inventario sería la armonización de las bases de datos y terminología de inestabilidades del terreno que incluyan las Bases de Datos de IGME-CSIC (*Moves*), ICGC (*Lliscat*) y bases de datos que son propiedad de departamentos de Universidades y otros centros técnicos y de investigación además del CSIC. La armonización debería cumplir el estándar europeo INSPIRE2 que permite el intercambio de datos y su interoperabilidad, además de su integración en: 1) EPOS-EGDI, que es la Infraestructura Europea de Datos Geológicos que proporciona acceso a conjuntos de datos y servicios geológicos paneuropeos y nacionales y 2) EMODnet *Geology*, que es la infraestructura europea de datos marinos, y tiene una cartografía y un mapa de susceptibilidad para los deslizamientos submarinos.

El coste de esta medida se incluye dentro de la recomendación de la creación de la red de investigación y vigilancia.

[Relevancia: importante. Responsable/Coord.: IGME-CSIC. Participantes: entidades del subgrupo de trabajo de inestabilidad del terreno que han intervenido en la preparación de este Plan].

Recomendación R.3:

Mapa de susceptibilidad e inestabilidades a escala mínima 1:100 000

El plan de Vigilancia debería promover la realización de un mapa de susceptibilidad de inestabilidades del terreno a nivel del conjunto del territorio nacional. Este mapa es esencial para construir un sistema de avisos de inestabilidades del terreno a escala regional (escala mínima 1:100 000).

El primer paso sería el establecimiento de una metodología y criterios comunes de asignación de la susceptibilidad del terreno. Para la realización del mapa de susceptibilidad es importante que los equipos que trabajan en cada

región sean buenos conocedores del comportamiento del terreno. La unificación de la metodología y los criterios de clasificación de los factores que controlan la inestabilidad del terreno permitiría que distintos equipos especializados por unidades geográficas homogéneas trabajaran en paralelo acortando los plazos de entrega y mejorando la calidad del mapa.

El mapa resultante debería cumplir el estándar europeo INSPIRE2 que permite el intercambio de datos y su interoperabilidad, además de su integración en EPOS-EGDI que es la Infraestructura Europea de Datos Geológicos que proporciona acceso a conjuntos de datos y servicios geológicos paneuropeos y nacionales.

El coste de esta medida se incluye dentro de la recomendación de la creación de la red de investigación y vigilancia.

[Relevancia: importante. Responsable/Coord.: Sin definir].

Recomendación R.4:

Umbrales de precipitación, aceleraciones sísmicas y procesos volcánicos activadores de episodio regionales, creación de un servicio de alerta temprana

Investigar y recopilar umbrales de precipitación y de aceleraciones sísmicas, así como procesos volcánicos que dan lugar a episodios generalizados de inestabilidades del terreno, es esencial para construir un sistema de avisos de episodios de ocurrencia múltiple de movimientos de ladera (subaéreos y los dos últimos también submarinos).

Estos umbrales deben conectarse con los mapas de los servicios meteorológicos y los mapas de susceptibilidad del terreno hacien-

do posible la creación de un servicio de alerta temprana de inestabilidades. Los parámetros meteorológicos más importantes son las acumulaciones de lluvia y los de pronóstico a 24 y 48h. Los pronósticos pueden explotar el modelo meteorológico de alta resolución *HARMONIE-AROME*, utilizado por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y la red de estaciones meteorológicas de distintas entidades.

El coste de esta medida se incluye dentro de la recomendación de la creación de la red de investigación y vigilancia.

[Relevancia: importante. Responsable/Coord.: Sin definir].

Recomendación R.5:

Estudios históricos sobre inestabilidades desencadenadas por otros georriesgos geofísicos (terremotos y erupciones) en España

Las erupciones y los terremotos pueden desencadenar inestabilidades del terreno (subaéreos y submarinos) justo en el momento de su ocurrencia, o bien meses, años o décadas después, dependiendo de su magnitud. Conocer los efectos de eventos de este tipo en el

territorio nacional y su medio submarino podría ofrecer información clave para pronosticar los efectos de futuros eventos con respecto a terrenos inestables.

El coste de esta medida se incluye dentro de la recomendación de la creación de la red de investigación y vigilancia.

[Relevancia: importante. Responsable/Coord Sin definir].

Recomendación R.6:

Inventario de los deslizamientos submarinos. Identificar los potencialmente activos/peligrosos

Identificar y cartografiar deslizamientos submarinos, crear bases de datos de sus características morfológicas y de facies acústicas, elaborar mapas de susceptibilidad, identificar los potencialmente activos y críticos desde una perspectiva múltiple, incluyendo también la modelización de escenarios, para priorización y redundancia de las infraestructuras incorporadas en los sistemas de vigilancia.

Desarrollar un inventario de los deslizamientos submarinos cartografiados en los fondos marinos actuales de España. El inventario debería identificar los deslizamientos que necesitan ser mejor estudiados y establecer la caracterización de los elementos a ser consi-

derados como «indicadores» de ser vigilados. El inventario debe contener datos batimétricos de alta resolución, geofísicos, sísmicos, testigos de sedimento y mediciones de propiedades físicas, geoquímicas y geotécnicas *in situ*, fotografías, videos, parámetros oceanográficos, especialmente de corrientes de fondo, recogidos en las áreas afectadas por deslizamientos submarinos y en las adyacentes sin deslizar.

Se debe crear una serie de datos y parámetros en el marco del desarrollo de una estrategia de estudio multitemporal.

Una vez definidos los organismos competentes en la red de vigilancia de deslizamientos submarinos deberá definirse un grupo de trabajo financiado que lleve a cabo esta tarea.

[Relevancia: importante. Responsable/coordinador y participantes propuestos: dependerá del planteamiento]

to de definición de organismos competentes de la red de vigilancia de deslizamientos submarinos].

Recomendación R.7:

Desarrollo de alerta temprana para deslizamientos submarinos

La alerta temprana de deslizamientos submarinos podría proporcionar predicciones instantáneas de su desencadenamiento, lo que evitará de manera efectiva el daño destructivo de las instalaciones submarinas, como tuberías y ca-

bles ópticos, etc. Asimismo, ayudará a los sistemas de alerta temprana de tsunamis.

[Relevancia: conveniente. Responsable/coordinador y participantes propuestos: dependerá del planteamiento de definición de organismos competentes de la red de vigilancia de deslizamientos submarinos].

Recomendación R.8:

Programa nacional de cartografía de aludes y bases de datos asociada

Realización de una cartografía de susceptibilidad de aludes (mapas de zonas de aludes-MZA) y de la cartografía de terreno expuesto a aludes (ATES) para todo el territorio nacional potencialmente afectado. En el caso de sectores ya cartografiados se propone la revisión de las existentes para su actualización y homogenización. Es necesario un consenso en la metodología de la cartografía. Los mapas de Protección Civil mues-

tran las capas del MZA. La cartografía de aludes incluye los accidentes por alud. La escala de la cartografía recomendada es 1:25 000. Esta cartografía incluye una base de datos asociada que documenta cada uno de los eventos.

[Relevancia: importante. Responsable/Coord. y participantes propuestos: AEMET e ICGC. Inversión: El coste de esta acción incluye la dedicación de 2 o 3 personas técnicas superiores durante el periodo del plan de vigilancia y de una persona coordinadora, como ya se indica en la recomendación anterior].

Recomendación R.9:

Base de datos de sistemas de defensa y de protección contra aludes.

Disponer de una base de datos con los sistemas de defensa contra aludes activos, pasivos, temporales y permanentes. Esta base de datos permitirá conocer qué sectores poseen sistemas de defensa y qué sectores, potencialmente sensibles al riesgo de aludes, no disponen de ellos. En el caso de estaciones de esquí es conveniente saber su perímetro de control y si disponen de predicción local de aludes y planes de intervención de desencadenamiento de aludes (PIDA). La base de datos debe incluir qué revisión y mantenimiento tienen los sistemas de de-

fensa, así como su actualización constante. Este conocimiento permitirá saber de antemano los sectores que pueden ser más críticos de cara a la vigilancia. Así, por ejemplo, los sectores con desencadenamientos preventivos serán menos propensos a aludes de grandes dimensiones. Por otra parte, los sectores sin ningún sistema de defensa prevista serían aquellos con una necesidad de vigilancia mayor.

[Relevancia: importante. Responsable/coordinador y participantes propuestos: AEMET y/o ICGC. Inversión: coste de dos o tres personas técnicas superiores durante el período del Plan de Vigilancia, además de una persona coordinadora].

Recomendación R.10:

Ampliación de la red de observación nivológica y de aludes

Mantener y ampliar las redes de observación de aludes y toma de datos nivológicos necesarias para la predicción de aludes. Se trata de una red de nivólogos que toman datos de la caída de aludes y realizan sondeos a percusión, perfiles estratigráficos y tests de estabilidad en el manto nivoso. A partir de estos datos se puede

caracterizar el comportamiento físico-mecánico de la nieve. Además, se trata de datos necesarios para poder realizar la modelización nivológica, juntamente con los datos provenientes de la red de observación meteorológica (automática). La recomendación incluye compartir los datos de observación, así como los resultados de las modelizaciones nivológicas.

[Relevancia: importante. Responsable/Coord. y participantes propuestos: AEMET e ICGC. Inversión: coste de dos o tres personas técnicas superiores durante el

período del Plan de Vigilancia, además de una persona coordinadora].

Recomendación R.11:

Ampliación de la red de observación meteorológica automática en zonas de montaña

Mantener y ampliar las redes de observación meteorológica existentes necesarias para la predicción de aludes. Esta red permite la monitorización/toma de datos de los parámetros meteorológicos (precipitación, temperatura del aire, viento, humedad, etc.) y nivológicos (espesor de nieve, temperatura de la nieve a diferentes niveles, transporte de la nieve por el viento etc.). Incluye estaciones meteorológicas auto-

máticas (EMA), garitas meteorológicas manuales, y dispositivos especiales para el cálculo de transporte de nieve por el viento (*Flowcaps*). La recomendación incluye compartir los datos de observación, así como los resultados de las modelizaciones nivológicas.

[Relevancia: importante. Responsable/coordinador y participantes propuestos: AEMET y/o ICGC. Inversión: coste de dos o tres personas técnicas superiores durante el período del Plan de Vigilancia, además de una persona coordinadora].

5.3.5 Vigilancia en meteorología espacial

Planteamiento 1:

Identificar y designar a la institución o instituciones competentes en materia de meteorología espacial

Actualmente no existe ninguna normativa nacional que defina las competencias en materia de meteorología espacial y, por lo tanto, no hay una institución pública con responsabilidades en ella.

Recomendación R.1:

Designar competencias en meteorología espacial

Dado que en la actualidad no existe en el país ningún organismo que tenga atribuidas competencias en meteorología espacial a través de una normativa nacional, es necesario elevar a los órganos de decisión oportunos la conveniencia de identificar y designar dichas competencias a la institución o instituciones convenientes. Una vez

designado el organismo con competencias en esta materia, implicaría la creación de un servicio de vigilancia que supondrá una inversión para la administración en cuanto a personal e infraestructuras, que aún no es posible cuantificar.

[Relevancia: importante. Responsable/Coord. y participantes propuestos: Esta acción va encaminada a definir el organismo o institución responsable en esta materia].

Recomendación R.2:

Aprovechar el know-how existente para desarrollar el servicio operativo

Si bien no existe una institución pública con responsabilidades en materia de meteorología espacial, actualmente ya existen infraestructuras de observación a cargo de instituciones públicas. Además, las instituciones responsables de dichas infraestructuras poseen también la expe-

riencia y el conocimiento necesarios para establecer las bases de un servicio operativo.

[Relevancia: conveniente. Responsable/coordinador y participantes propuestos: AEMET, IGN, Observatori de l'Ebre (OE-CSIC), ROA, INTA, UAH y UCM].

Recomendación R.3:

Establecer los convenios pertinentes para garantizar la prestación del servicio

La prestación de un servicio operativo requerirá la firma de los convenios administrativos oportunos para garantizar la calidad del servicio. En este sentido, es especialmente relevante la necesidad de garantizar el suministro del dato

de observación en tiempo y forma, pues algunos fenómenos solo pueden ser previstos con minutos de anticipación.

[Relevancia: conveniente. Responsable/Coord. y participantes propuestos: AEMET, IGN, OE-CSIC, ROA, INTA, UAH y UCM].

Recomendación R.4:

Establecimiento de un Comité Científico Asesor

La meteorología espacial abarca distintos fenómenos físicos que pueden tener tienen impacto sobre distintos bienes y personas. Por ello, se considera conveniente valorar el establecimiento de un Comité Científico Asesor que puede integrar las distintas áreas de conocimiento.

[Relevancia: conveniente. Responsable/Coord. y participantes propuestos: AEMET, IGN, OE-CSIC, ROA, INTA, UAH y UCM].

6 Seguimiento, desarrollo y revisión del Plan. Hitos e indicadores

6.1 Objetivos del seguimiento y evaluación del plan

Este es un Plan en el que, dadas sus características y alcance, los objetivos no tienen, en general, una definición tan precisa en cuanto a su cuantificación y temporalización como para ser calificado a priori de alto nivel de evaluabilidad, sino a lo sumo de **evaluabilidad media** y, aun en este caso, solo aplicable a un conjunto concreto de las medidas que se proponen para alcanzar sus objetivos. Además, difícilmente podría incluir un procedimiento o fórmula para obtener de forma analítica un grado de cumplimiento cuantificable.

En todo caso, sí que es necesario **protocolizar un medio para desarrollar un seguimiento y evaluación** del desarrollo de las medidas propuestas, que implique una revisión y la elaboración de un informe de cumplimiento, incluyendo informes intermedios anuales durante el periodo de vigencia.

Por ello, el seguimiento que se propone básicamente pretende analizar los posibles incumplimientos o desviaciones de sus medidas y el motivo que los haya causado, así como las posibles mejoras relativas a un subsiguiente plan para mantener y ampliar o mejorar los objetivos propuestos inicialmente (véase capítulo 2), optimizando, además, la designación de responsabilidades.

Precisamente, uno de los aspectos que deben considerarse aquí, son los mismos objetivos del seguimiento, evaluación y revisión del plan que se pretenden conseguir, pues podrían tener diferentes intencionalidades.

Tal como se indicó en el capítulo 2, el grupo de trabajo encargado de elaborar este Plan se creó en virtud de la orden ministerial del 8 de febrero, del actual Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, en la que también se establece su disolución una vez el plan haya sido aprobado en Consejo de Ministros. Por tanto, no es posible atribuir al grupo de trabajo las tareas de seguimiento del plan, porque se erigiría en juez y parte a la hora de valorar su cumplimiento.

Por otra parte, según lo dispuesto en el Real Decreto 253/2024, de 12 de marzo, por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, departamento al que se encuentra adscrito la elaboración de este plan, y, en concreto, en los apartados 1.e) y 2.c) del artículo 16, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) ejerce, a través de su Subdirección General de Vigilancia, Alerta y Estudios Geofísicos, *«La coordinación de la elaboración, desarrollo y seguimiento del Plan Nacional de vigilancia sísmica, volcánica y de otros fenómenos geofísicos»*.

En consecuencia, el IGN puede extender al ejercicio de la coordinación que le es atribuida para, en concreto, desarrollar el seguimiento del plan, la tarea de preparar los informes intermedios de seguimiento, compilando la información necesaria, y concluir la evaluación del plan al final de su periodo de vigencia.

La evaluación y, por tanto, las acciones de seguimiento previas se desarrollarían de forma cualitativa y solo cuantitativa en los casos en

los que sea posible. Cabe destacar que en ella deberían incluirse como evaluables, de modo específico, los **procesos** inherentes a las medidas propuestas por el plan. La evaluación y seguimiento también debe contemplar **las necesidades y el diseño**, teniendo en cuenta su posterior utilidad en la más que probable propuesta de continuidad de este plan con otros futuros. Deben considerarse también evaluaciones **intermedias** planteando, como se pretende, varios periodos de seguimiento y, finalmente, los **resultados e impacto**, si bien en estos dos últimos casos es casi obligado recurrir al uso de indicadores.

La información a recopilar para el seguimiento y evaluación del plan provendría de los Departamentos Ministeriales y las Administraciones Autonómicas, así como de la Federación Española de Municipios y Provincias, indicando, en su caso, la institución, organismo o centro directivo que en concreto participó directamente en el grupo de trabajo. Por lo que, teniendo en cuenta que el grupo de trabajo está formado por representantes de algunas de dichas fuentes, también cabría calificar la evaluación de **interna, o autoevaluación**, sin menoscabo, por ello, de la adecuación a sus fines.

6.2 Coordinación y proceso de seguimiento y evaluación

El proceso de seguimiento y evaluación se desarrollará a partir de las aportaciones que, bajo la coordinación del IGN, aportarán las administraciones públicas, con la pretensión fundamental de recoger de la forma más precisa posible, la eficacia y eficiencia, entendida esta última como la relación entre los costes incurridos (técnicos y económicos) y las medidas propuestas por el plan.

1. Seguimiento semestral

Se recabarán de las administraciones públicas **información descriptiva acerca del estado** y progreso de las medidas propuestas en el plan, las dificultades, en su caso, y otras vicisitudes para implementarlas.

2. Seguimiento y evaluación anual

Se recabarán **hitos conseguidos** destacando aquellos que aporten resultados con valor propio independientemente de constituir un paso intermedio de la medida que se pretende concluir.

En este caso, es importante que la información proceda directamente de los responsables directos de implantar las medidas, que podrían, cuando sea posible, aportar **indicadores de proceso o de calidad**, como el grado de satisfacción, o de efecto, por ejemplo, en las actuaciones de Protección Civil.

3. Emisión de informe anual

Se distribuirá un informe anual en el primer trimestre siguiente a cada uno de los tres primeros

años de vigencia del plan, con la información aportada en 1 y 2, destacando los aspectos más importantes del progreso del plan en comparación con la situación inicial de cada periodo anual, identificando, en la medida de lo posible, aquellas medidas que, a la luz de los progresos logrados, destaque su **aumento en relevancia, impacto o criticidad**.

4. Emisión de informe de evaluación final

En el primer semestre del año siguiente al último de vigencia del plan, se elaborará un informe de evaluación final, focalizando el **grado de eficacia** lograda hasta el momento, es decir, el grado de cumplimiento de los objetivos previstos en el plan detallando la relación causa-efecto entre medidas y objetivos. También se considerará la **valoración de la eficiencia** teniendo en cuenta la dimensión y costes de los recursos que finalmente se hayan empleado.

Este informe precisará, así mismo, un **conjunto de conclusiones, recomendaciones para el siguiente plan y sus consecuencias**, indicando propuestas para completar aquellas medidas no ejecutadas en su totalidad y nuevas iniciativas en un nuevo plan cuatrienal.

Los informes anual y final serán publicados en la página web del IGN - www.ign.es - en la sección actividades, dentro del apartado *Plan Nacional de Vigilancia Sísmica, Volcánica y de otros fenómenos geofísicos*.

7 Anexos

- I. Tabla de disposiciones normativas
- II. Tabla de infraestructuras y recursos técnicos
- III. Relación de medidas propuestas en el Plan
- IV. Relación de acrónimos presentes en el texto
- V. Relación de instituciones, entidades y organizaciones del grupo de trabajo y sus subgrupos que han participado en la preparación del Plan

Normativa aplicable a Sísmica

Normativa	Última versión	Dirección Web
RESOLUCIÓN de 5 de mayo de 1995, de la Secretaría de Estado de Interior, por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico.	17/09/2004	https://www.boe.es/eli/es/res/2004/09/17/(2)
Resolución de 29 de marzo de 2010, de la Subsecretaría, por la que se publica el Acuerdo de Consejo de Ministros de 26 de marzo de 2010, por el que se aprueba el Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico.	09/04/2010	https://www.boe.es/eli/es/res/2010/03/29/(2)
ACUERDO de 13 de enero de 2009, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Plan de Emergencias ante el Riesgo Sísmico en Andalucía.	30/01/2009	https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2021-01/PLAN_EMERGENCIA_RIESGO_SISMI_CO_ANDALUCIA-1.pdf
DECRETO 81/2010, de 27 de abril, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico en la Comunidad Autónoma de Aragón.	10/05/2010	https://www.aragon.es/documents/20127/2657996/PROCISIS.pdf/5b3ea11c-93d2-973f-d6cd-c576a59b2b49?t=1694592270665
DECRETO 113/2018, de 30 de julio, por el que se aprueba el Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por riesgo sísmico en la Comunidad Autónoma de Canarias (PESICAN).	10/08/2018	https://www.gobiernodecanarias.org/boc/2018/155/007.html
Acuerdo del Gobierno de la Generalitat de Catalunya, de 13 de mayo de 2003 por el que se aprueba el Plan especial de emergencias sísmicas en Catalunya. DOGC núm. 3912, junio 2003 (SISMICAT).	28/09/2021	https://interior.gencat.cat/web/.content/home/030_arees_dactuacio/proteccio_civil/plans_de_pro-teccio_civil/plans_de_proteccio_civil_a_catalunya/02-plans-especials/sismicat/document-pla-sismi-cat.pdf
DECRETO 127/2009, de 5 de junio, por el que se aprueba el Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico de la Comunidad Autónoma de Extremadura (PLASISMEX).	11/06/2009	https://www.juntaex.es/documents/77055/406857/01_PLASISMEX(1).pdf/6d007360-0359-be39-1e04-e6ee0e8e198d?t=1675087232014
RESOLUCIÓN de 2 de agosto de 2010 por la que se publica el Plan especial de protección civil frente al riesgo sísmico en Galicia (SISMIGAL).	11/08/2010	https://ficheiros-web.xunta.gal/emexencias/plans/memoria-sismigal-cas.pdf
Decreto 39/2005, de 22 de abril, por el que se aprueba el Plan especial frente al riesgo sísmico en Illes Balears (GEOBAL).	07/10/2005	http://boib.caib.es/pdf/2005149/mp36.pdf
Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico en la Región de Murcia (SISMIMUR).	02/12/2015	https://dspace.carm.es/jspui/handle/20.500.11914/2125
ACUERDO del Gobierno de Navarra, de 28 de marzo de 2011, por el que se aprueba el Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico en la Comunidad Foral de Navarra (SISNA).	01/12/2020	https://gobiernoabierto.navarra.es/sites/default/files/06_sisna_plan_emergencia_de_riesgo_sismico_-act_feb_2011_revisado_diciembre_2020_rd734-2019.pdf
RESOLUCIÓN 27/2007, de 8 de noviembre, del Director de la Secretaría del Gobierno y de Relaciones con el Parlamento, por la que se dispone la publicación del Acuerdo adoptado por el Consejo de Gobierno «por el que se aprueba el Plan de Emergencia ante el Riesgo Sísmico en el País Vasco».	03/03/2021	https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes_riesgo_quimico/es_doc/adjuntos/PE%20RIESGO%20SISMICO.pdf
DECRETO 44/2011, de 29 de abril, del Consell, por el que aprueba el Plan Especial frente al Riesgo Sísmico en la Comunitat Valenciana.	05/05/2015	https://www.112cv.gva.es/documents/163565706/163566509/PE_Incendios.pdf/a158aa37-7228-42cf-889f-c3ab8ee3071c
Orden 196/2018, de 14 de diciembre, de la Consejería de Hacienda y Administraciones Públicas, por la que se aprueban, revisan y actualizan varios planes de protección civil. Plan Especial frente al Riesgo Sísmico en Castilla La Mancha (SISMICAM).	27/12/2018	https://www.castillalamancha.es/sites/default/files/documentos/pdf/20190108/plan_sismicam.pdf

Normativa aplicable a Volcánica

Normativa	Última versión	Dirección Web
RESOLUCIÓN de 21 de febrero de 1996, de la Secretaría de Estado de Interior, disponiendo la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Volcánico.	03/01/2020	https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1996-4996
Resolución de 30 de enero de 2013, de la Subsecretaría, por la que se publica el Acuerdo de Consejo de Ministros de 25 de enero de 2013, por el que se aprueba el Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo Volcánico.	03/01/2020	https://www.boe.es/eli/es/res/2013/01/30/(5)/con
3785 Decreto 112/2018, de 30 de julio, por el que se aprueba el Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por riesgo volcánico en la Comunidad Autónoma de Canarias (PEVOLCA).	09/08/2018	https://www.gobiernodecanarias.org/boc/2018/154/002.html

Normativa aplicable a Tsunami

Normativa	Última versión	Dirección Web
Real Decreto 1053/2015, de 20 de noviembre, por el que se aprueba la Directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo de maremotos.	20/11/2015	https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2015-12570
Resolución de 19 de mayo de 2021, de la Subsecretaría, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros, de 18 de mayo de 2021, por el que se aprueba el Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo de Maremotos.	20/05/2021	https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-8361
Decreto 127/2023, de 12 de junio, por el que se aprueba el Plan de Emergencia ante el riesgo de maremotos en Andalucía.	16/06/2023	https://www.juntadeandalucia.es/boja/2023/114/BOJA23-114-00016-10444-01_00285468.pdf

Normativa aplicable a Inestabilidades del Terreno

Normativa	Última versión	Dirección Web	Observaciones
Acuerdo del Gobierno de la Generalitat de Catalunya, de 13 de abril de 2010, por el que se aprueba el Plan especial de emergencias por aludes en Catalunya (ALLAUCAT).	14/10/2014	https://interior.gencat.cat/web/.content/home/030_arees_dactuacio/pro-teccio_civil/plans_de_proteccio_civil/plans_de_proteccio_civil_a_catalun-ya/02-plans-especials/allaucat/document-pla-allaucat.pdf	Nueva revisión finalizada en diciembre de 2023, pendiente de aprobación.
Resolución de 2 de agosto de 2011, de la Subsecretaría, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 29 de julio de 2011, por el que se aprueba el Plan Estatal de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones.	02/08/2011	https://www.proteccioncivil.es/documents/20121/93661/Plan-de-Riesgo-de-Inundaciones-2016.pdf	Aparecen movimientos del terreno como fenómenos asociados a inundaciones.
ACUERDO GOV/14/2015, de 10 de febrero, por el que se aprueba la revisión del Plan especial de emergencias por inundaciones de Catalunya (INUNCAT).	10/02/2015	https://www.proteccioncivil.es/catalogo/naturales/jornada-normativa-inundaciones-0612/planesccaa/cataluna/INUNCAT.pdf	Pendiente de próxima revisión. Aparecen movimientos del terreno como fenómenos asociados a inundaciones.
Decreto 1/2022, de 3 de enero, por el cual se aprueba el Plan especial ante el riesgo de inundación de Illes Balears (INUNBAL).	05/01/2022	https://caib.es/sites/M170613081930629/es/n/proyecto_de_decreto_por_el_cual_se_aprueba_el_plan_especial_para_hacer_frente_al_riesgo_de_inundaciones/archivopub.do?ctrl=MCRST-8725Z1342084&id=342084	Aparecen movimientos del terreno como fenómenos asociados a inundaciones.
Orden de 24 de junio de 2005, por la que se ordena la publicación del Plan de Emergencia ante el riesgo de inundaciones en Andalucía.	10/08/2018	https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/maqueta_inundaciones_0.pdf	Aparecen movimientos del terreno como fenómenos asociados a inundaciones.
Resolución de 29 de marzo de 2010, de la Subsecretaría, por la que se publica el Acuerdo de Consejo de Ministros de 26 de marzo de 2010, por el que se aprueba el Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico.	09/04/2010	https://www.boe.es/eli/es/res/2010/03/29/(2)1	Indica la Identificación de efectos sobre el terreno (movimientos de ladera, licuefacción, subsidencia, colapsos del terreno, inundaciones, ruptura de falla y agrietamientos asociados en superficie, etc.), con vistas a una correcta planificación de posible situación de campos de refugio, hospitales campaña, etc.
Acuerdo del Gobierno de la Generalitat de Catalunya, de 13 de mayo de 2003 por el que se aprueba el Plan especial de emergencias sísmicas en Catalunya. DOGC núm. 3912, junio 2003 (SISMICAT).	28/09/2021	https://interior.gencat.cat/web/.content/home/030_arees_dactuacio/pro-teccio_civil/plans_de_proteccio_civil/plans_de_proteccio_civil_a_catalun-ya/02-plans-especials/sismicat/document-pla-sismicat.pdf	Identifica los movimientos del terreno como efectos inducidos por los terremotos.
Decreto 161/1995 de 16 de mayo de 1995 por el que se aprueba el Pla Territorial de Protecció Civil de Catalunya (PROCICAT).	31/05/2022	https://interior.gencat.cat/web/.content/home/030_arees_dactuacio/pro-teccio_civil/plans_de_proteccio_civil/plans_de_proteccio_civil_a_catalun-ya/01-plans-territorials/procicat/territorial-procicat/procicat.pdf	Incluye el riesgo de subsidencias, colapsos y deslizamientos.
Gobierno de Canarias. Decreto 115/2018, de 30 de julio, por el que se aprueba el Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por Riesgo de Inundaciones en la Comunidad Autónoma de Canarias (PEINCA).	30/07/2018	https://www.gobiernodecanarias.org/boc/2018/157/007.html	Aparecen desprendimiento de rocas inestables o deslizamientos de terrenos y laderas, como riesgos asociados a fenómenos meteorológicos adversos que pueden generar inundaciones.
Gobierno de Canarias. Decreto de 12/2018, de 30 de julio de 2018, por el que se aprueba el Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por riesgo volcánico en la Comunidad Autónoma de Canarias (PEVOLCA).	30/07/2018	https://sede.gobiernodecanarias.org/boc/boc-a-2018-154-3785.pdf	Cada ciclo eruptivo puede presentarse con un comportamiento propio y que generará peligros específicos a condicionantes geológicos, geomorfológicos, ambientales e incluso sociales. Identifica los Lahares y Grandes deslizamientos como fenómenos a estudiar.
Decreto 39/2005, de 22 de abril, por el que se aprueba el Plan especial frente al riesgo sísmico en las Illes Balears (GEOBAL).	08/10/2005	http://boib.caib.es/pdf/2005149/mp36.pdf	Identifica los movimientos del terreno como efectos inducidos por los terremotos.
Decreto 44/2011, de 29 de abril, del Consell, por el que aprueba el Plan Especial frente al Riesgo Sísmico en la Comunitat Valenciana.	05/05/2015	https://www.112cv.gva.es/documents/163565706/163566509/PE_Incendios.pdf/a158aa37-7228-42cf-889f-c3ab8ee3071c	Identifica movimientos del terreno como causa de incremento de la severidad de la sacudida.

Normativa aplicable a Meteorología Espacial

Normativa	Última versión	Dirección Web	Observaciones
Orden PCI/489/2019, de 26 de abril, por la que se publica la Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional, aprobada por el Consejo de Seguridad Nacional.	30/04/2019	https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2019-6349	Reconocimiento de los fenómenos de meteorología espacial dentro de los desafíos en el ámbito aeroespacial.
Orden PCM/1067/2022, de 4 de noviembre, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Seguridad Nacional de 11 de octubre de 2022, por el que se aprueba el Protocolo de Alertas Espaciales.	08/11/2022	https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2022-18336	

Tabla de infraestructuras y recursos técnicos / Sísmico

Tipo de Peligro	Equipo	Número	Nombre	Propietario	Públicas	Restringidas
Sísmico	Sismómetro	145	Red Sísmica Nacional	IGN	116	29
Sísmico	Sismómetro	17	Red Sísmica del ROA	ROA-UCM	6	11
Sísmico	Sismómetro	15	Euskalsis	EVE	0	15
Sísmico	Sismómetro	28	Red Sísmica del IAG-UGR	IAG- UGR	0	28
Sísmico	Sismómetro	10	Ciuden	Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico	0	10
Sísmico	Sismómetro	26	SISCOVA	ICV	0	26
Sísmico	Sismómetro	27	SISMOCAT	ICGC	24	3
Sísmico	Sismómetro	37	Red Sísmica de la Univ. de Oviedo	UO	0	37
Sísmico	Sismómetro	49	Red Sísmica Canaria (C7)	INVOLCAN	0	49
Sísmico	Acelerómetro	60	Red Sísmica del IAG-UGR	IAG- UGR	0	60
Sísmico	Acelerómetro	249	Red Sísmica Nacional	IGN	67	182
Sísmico	Acelerómetro	18	SISCOVA	ICV	0	18
Sísmico	Acelerómetro	29	SISMOCAT	ICGC	29	0
Sísmico	Arrays	2	Red Sísmica Nacional	IGN	2	0
Sísmico	OBS		Sismómetros de fondo marino	UTM-CSIC - ROA		

Tabla de infraestructuras y recursos técnicos / Volcánico

Tipo de Peligro	Disciplina	Equipos	Número	Entidad
Volcánico	Sismología	Sismómetros	56	IGN
Volcánico	Sismología	Acelerómetros	2	IGN
Volcánico	Sismología	Sismómetros	3	IGEO-CSIC/UCM
Volcánico	Sismología	Sismómetros	10 a 20	GEO3BCN-CSIC
Volcánico	Sismología	Sismómetros	5	IPNA-CSIC
Volcánico	Sismología	Sismómetros	13	IGN
Volcánico	Sismología	Sismómetros (permanentes)	49	INVOLCAN
Volcánico	Sismología	Sismómetros (portátiles)	18	INVOLCAN
Volcánico	Sismología	Array Sísmico	1	IGN
Volcánico	Sismología	Interrogador-DAS (permanente)	2	INVOLCAN
Volcánico	Sismología	Sensores de infrasonidos (portátiles)	4	INVOLCAN
Volcánico	Sismología	Sensores sísmicos rotacionales (portátiles)	2	INVOLCAN
Volcánico	Sismología	Acelerómetros (portátiles)	4	INVOLCAN
Volcánico	Sismología	Array Sísmico	3	GEO3BCN-CSIC
Volcánico	Geodesia	Estaciones GNSS	42	IGN
Volcánico	Geodesia	Estaciones GNSS	8	IGEO-CSIC/UCM
Volcánico	Geodesia	Estaciones GNSS	6	Univ. de Cádiz
Volcánico	Geodesia	Estaciones GNSS	1	IPNA-CSIC
Volcánico	Geodesia	Estaciones GNSS (permanente)	20	INVOLCAN
Volcánico	Geodesia	Inclinómetros	6	IGN
Volcánico	Geodesia	Inclinómetros	11	IGEO-CSIC/UCM
Volcánico	Geodesia	Inclinómetros	3	IPNA-CSIC

Tipo de Peligro	Disciplina	Equipos	Número	Entidad
Volcánico	Geodesia	Inclinómetros (permanente)	3	INVOLCAN
Volcánico	Geodesia	Estación Total	1	IGN
Volcánico	Geodesia	Gravímetro Permanente	1	IGN
Volcánico	Geodesia	Gravímetro Portátil	1	INVOLCAN
Volcánico	Geodesia	Extensómetro	4	IGEO-CSIC/UCM
Volcánico	Geodesia	Mareógrafo	5	IGN
Volcánico	Geodesia	Mareógrafo	2	IGEO-CSIC/UCM
Volcánico	Geodesia	Gravímetro Permanente	1	IGEO-CSIC/UCM
Volcánico	Geofísica	Potencial espontáneo (portátiles)	7	INVOLCAN
Volcánico	Geofísica	Magnetotelúrica (portátiles)	4	INVOLCAN
Volcánico	Geofísica	Georadar de baja frecuencia (permanente)	1	INVOLCAN / BAS
Volcánico	Geofísica	Magnetómetro (portátil)	1	INVOLCAN
Volcánico	Geofísica	Gradiente de Presión (portátiles)	2	INVOLCAN
Volcánico	Geofísica	Sondas termométricas (permanentes)	8	INVOLCAN
Volcánico	Geofísica	Cámaras térmicas (portátiles)	3	INVOLCAN
Volcánico	Geofísica	Cámaras térmicas (permanente)	1	INVOLCAN
Volcánico	Laboratorio de Geodesia y Geofísica	Laboratorio de geociencias de Lanzarote	1	IGEO-CSIC/UCM
Volcánico	Geoquímica	Multigas Continuo	1	IGN
Volcánico	Geoquímica	Concentración CO2	1800	IGN/INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Flujo difuso CO2	3	IGN
Volcánico	Geoquímica	Radón Torón	5	IGN
Volcánico	Geoquímica	Multiparamétrica continua	3	IGN
Volcánico	Geoquímica	Radón Torón	1	IPNA-CSIC
Volcánico	Geoquímica	Estaciones flujo CO2 & H2S (permanentes)	8	INVOLCAN

Tipo de Peligro	Disciplina	Equipos	Número	Entidad
Volcánico	Geoquímica	Estaciones 222Rn & CO2 (permanentes)	9	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	microGC TCD (permanente)	1	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Sondas multiparamétricas (permanente)	2	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Multigas (permanente)	1	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	QMS para gases disueltos	2	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	QMS para gases libres	4	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Microcromatógrafo gases (microGC) TCD	5	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Cromatógrafos de Gases (GC) FID/TCD	1	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Cromatógrafos de Gases (GC) Masas	1	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Cromatógrafos Iónicos	3	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	ICP-MS	1	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Valoradores Automáticos	3	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Espectrómetros IRMS	2	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Espectrómetros NGMS	2	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Espectrómetro TIMS	1	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Conductímetros (lab)	2	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	pHmetros (lab)	2	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Espectrofotómetro UV-Vis	1	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Electrodos Selectivos	4	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Espectrómetro IRIS (portátiles)	2	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Equipos flujo CO2 & H2S (portátiles)	9	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Equipos flujo CO2 & CH4 (portátiles)	1	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Equipos flujo CO2 (portátiles)	2	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Equipos de 222Rn & 220Rn (portátiles)	11	INVOLCAN

Tipo de Peligro	Disciplina	Equipos	Número	Entidad
Volcánico	Geoquímica	Multigas (CO ₂ , H ₂ O, SO ₂ & H ₂ S)	2	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Multigas (CO ₂ , H ₂ O, SO ₂ , H ₂ S & H ₂)	2	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Sondas multiparamétricas (portátiles)	17	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	COSPEC para NO _x (portátiles)	1	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	COSPEC para SO ₂ (portátiles)	2	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	miniDOAS para NO _x (portátiles)	1	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	miniDOAS para SO ₂ (portátiles)	2	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	OP-FTIR (portátiles)	2	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	TDL CO ₂ (portátiles)	1	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Unidad Móvil Atmósfera (portátiles)	1	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Analizadores de vapor de Hg (portátiles)	1	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Analizadores de H ₂ S (portátiles)	2	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Analizadores de CO ₂ (portátiles)	23	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Analizadores Multigas (portátiles)	3	INVOLCAN
Volcánico	Geoquímica	Radón Torón	3	ULL
Volcánico	Geoquímica	Multiparamétrica continua	4	ULL
Volcánico	Geoquímica	Aguas continuas	5	IGN
Volcánico	Geoquímica	Gases Libres discreto	2	IGN
Volcánico	Geoquímica	Muestreo gases fumarólico discreto	2	IGN
Volcánico	Geoquímica	Aguas y gases disueltos discreto	13	IGN
Volcánico	Geoquímica	Aguas discreto	13	IGN
Volcánico	Geoquímica	Aguas discreto	2	IEO-CSIC
Volcánico	Geoquímica	Perfil Vertical Temperatura Continuo	2	IGN
Volcánico	Geoquímica	Flujo de Calor	2	IGN

Tipo de Peligro	Disciplina	Equipos	Número	Entidad
Volcánico	Geoquímica	Línea de potencial espontáneo discreto	2	IGN
Volcánico	Laboratorio de Geoquímica	Laboratorio de análisis de aguas	1	IGN
Volcánico	Laboratorio de Geoquímica	Laboratorio de análisis de aguas	2	IGME-CSIC
Volcánico	Laboratorio de Geoquímica	Laboratorio de análisis de aguas	1	ICMAN-CSIC
Volcánico	Laboratorio de Geoquímica	Laboratorio de geoquímica	1	IGME-CSIC
Volcánico	Laboratorio de Geoquímica	Laboratorio de isótopos estables	1	USAL
Volcánico	Meteorología	Estaciones Meteorológicas Automáticas	884	AEMET
Volcánico	Meteorología	Radares	15	AEMET
Volcánico	Meteorología	Radiosondeos	7	AEMET
Volcánico	Meteorología	Estaciones Meteorológicas Automáticas	11	INVOLCAN
Volcánico	Meteorología	Estaciones Meteorológicas Automáticas	2	IEO-CSIC
Volcánico	Geología	Cámaras térmicas de mano	1	IGN
Volcánico	Geología	Cámaras visuales (permanentes)	3	INVOLCAN
Volcánico	Geología	Preparación de láminas delgadas	1	IGN
Volcánico	Geología	Preparación de láminas delgadas	1	ULL
Volcánico	Geología	Preparación de láminas delgadas	1	IEO-CSIC
Volcánico	Geología	Preparación de láminas delgadas	1	UCM
Volcánico	Geología	Preparación de láminas delgadas	1	USAL
Volcánico	Geología	Tamizadora de piroclastos	1	IGN
Volcánico	Geología	Tamizadora de piroclastos	1	ULL
Volcánico	Geología	Tamizadora de piroclastos	1	IEO-CSIC
Volcánico	Geología	Tamizadora de piroclastos	1	ULPG
Volcánico	Geología	Tamizadora de piroclastos	1	IGME-CSIC
Volcánico	Geología	Tamizadora de piroclastos	1	GEO3BCN-CSIC

Tipo de Peligro	Disciplina	Equipos	Número	Entidad
Volcánico	Geología	Machacador de roca	1	ULL
Volcánico	Geología	Machacador de roca	1	ULPG
Volcánico	Geología	Machacador de roca	1	IGME-CSIC
Volcánico	Geología	Machacador de roca	1	USAL
Volcánico	Geología	Machacador de roca	1	GEO3BCN-CSIC
Volcánico	Geología	Machacador de roca	1	INVOLCAN
Volcánico	Geología	Sierra de precisión	1	INVOLCAN
Volcánico	Geología	Dispositivo de micromuestreo mineral	1	INVOLCAN
Volcánico	Geología	Microscopía óptica petrográfica	1	IGN
Volcánico	Geología	Microscopía óptica petrográfica	1	ULL
Volcánico	Geología	Microscopía óptica petrográfica	1	IEO-CSIC
Volcánico	Geología	Microscopía óptica petrográfica	1	ULPGC
Volcánico	Geología	Microscopía óptica petrográfica	1	IGME-CSIC
Volcánico	Geología	Microscopía óptica petrográfica	1	GEO3BCN-CSIC
Volcánico	Geología	Microscopía óptica petrográfica	1	IPNA-CSIC
Volcánico	Geología	Microscopía óptica petrográfica	1	UCM
Volcánico	Geología	Microscopía óptica petrográfica	1	USAL
Volcánico	Geología	Microscopía óptica petrográfica	1	INVOLCAN
Volcánico	Geología	Microscopía electrónica SEM	1	IGN
Volcánico	Geología	Microscopía electrónica SEM	1	ULL
Volcánico	Geología	Microscopía electrónica SEM	1	ULPGC
Volcánico	Geología	Microscopía electrónica SEM	1	IGME-CSIC
Volcánico	Geología	Microscopía electrónica SEM	1	GEO3BCN-CSIC
Volcánico	Geología	Microscopía electrónica SEM	1	UCM

Tipo de Peligro	Disciplina	Equipos	Número	Entidad
Volcánico	Geología	Laser de ablación	2	INVOLCAN
Volcánico	Geología	Difracción de Rayos X	1	ULL
Volcánico	Geología	Difracción de Rayos X	1	IGME-CSIC
Volcánico	Vehículos/sensores	Dron con sensor multiespectral		
Volcánico	Vehículos/sensores	Dron con sensor medición de gases		
Volcánico	Vehículos/sensores	Dron con sensor Lidar		
Volcánico	Vehículos	Drones		
Volcánico	Vehículos	Dron submarino		
Volcánico	Vehículos	Buque oceanográfico		
Volcánico	Vehículos	Buque oceanográfico		
Volcánico	Vehículos	Vehículo de observación remota (ROV) en barco		

Tabla de infraestructuras y recursos técnicos / Tsunamis

Tipo de Peligro	Equipo	Número	Propietario
Tsunamis	Sonda batimétrica y paramétrica	4	IEO-CSIC
Tsunamis	Sonda batimétrica y paramétrica	1	Armada-CSIC
Tsunamis	Sonda batimétrica y paramétrica	1	CSIC
Tsunamis	Sonda batimétrica y paramétrica	5	IHM
Tsunamis	Sonda batimétrica y paramétrica	3	Secretaría General de Pesca
Tsunamis	Clúster de Supercomputación	1	UMA
Tsunamis	Sónar de barrido lateral	1	IHM
Tsunamis	Receptores geodésicos multifrecuencia	10	IHM
Tsunamis	Niveles digitales	3	IHM
Tsunamis	Estación Total	2	IHM
Tsunamis	Drones Fotogramétricos	3	IHM
Tsunamis	Mareógrafos	11	IEO-CSIC
Tsunamis	Mareógrafos	6	SOCIB
Tsunamis	Mareógrafos	43	PdE
Tsunamis	Mareógrafos	30	IHM
Tsunamis	Mareógrafos	18	IGN
Tsunamis	Tanque de ensayos	1	IHCantabria
Tsunamis	Canal de oleajes	1	IHCantabria
Tsunamis	Clúster de Supercomputación	1	IHCantabria
Tsunamis	Sismómetros de fondo marino (OBS)		UTM-CSIC, ROA

Tabla de infraestructuras y recursos técnicos / Inestabilidades del terreno

Tipo de Peligro	Especificación	Equipo	Número	Nombre	Institución	Ámbito Geográfico
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos	Estaciones Meteorológicas Automáticas	189	Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas de Catalunya (XEMA)	Servei Meteorològic de Catalunya	Catalunya
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos	Radares	4	Red de Radares (XRAD)	Servei Meteorològic de Catalunya	Catalunya
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos	Estaciones de auscultación del terreno		Red de Auscultación Geotécnica (XAGC)	ICGC	Catalunya
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos	Mareógrafos	41	Red de Mareógrafos REDMAR	PdE	España
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos	Estaciones de vigilancia sísmica	379	Red Sísmica Nacional	IGN	España
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos	Estaciones de vigilancia sísmica	17	Western Mediterranean	ROA-UCM	Internacional
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos	Estaciones de vigilancia sísmica	44	SISCOVA	ICV	Comunitat Valenciana
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos	Estaciones de vigilancia sísmica	56	Red Sísmica de Catalunya (SISMOCAT)	ICGC	Catalunya
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos	Estaciones Meteorológicas Automáticas	144	Euskalmet	Agencia Vasca de Meteorología	Euskadi
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos		116	Red del IAG-UGR	IAG-UGR	Andalucía
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos	Estaciones de vigilancia sísmica	15	Euskalsis	Ente Vasco de Energía	Euskadi
Inestabilidades del terreno	Aludes	Red de Estaciones Automáticas			AEMET	España
Inestabilidades del terreno	Aludes	Red de Estaciones Manuales			AEMET	España
Inestabilidades del terreno	Aludes	Red de Estaciones Automáticas	12	EMA Alta muntanya	SMC	Catalunya
Inestabilidades del terreno	Aludes	Red de estaciones Manuales	7	NIMET	ICGC	Catalunya
Inestabilidades del terreno	Aludes	Cámaras web				

Anexo II. Tabla de infraestructuras y recursos técnicos

Tipo de Peligro	Especificación	Equipo	Número	Nombre	Institución	Ámbito Geográfico
Inestabilidades del terreno	Aludes	Equipo detector de cargas eléctricas	20	Red de Teledetección de Rayos (REDRA)	AEMET	España
Inestabilidades del terreno	Aludes	Cámaras web		Red de Webcams de Refugios de Aragón	PRAMES-FAM	Aragón
Inestabilidades del terreno	Aludes	Estaciones automáticas nivo-meteorológicas		Red de Estaciones Automáticas	Conselh Generau de Arán	Vall D'Arán
Inestabilidades del terreno	Aludes	WebCams		Red de WebCams de Vigilancia de Carreteras	Conselh Generau de Arán	Vall D'Arán
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos submarinos	Sonda batimétrica		Buques oceanográficos CSIC	CSIC	
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos submarinos	Perfiladores de fondo marino		Buques oceanográficos CSIC	CSIC	
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos submarinos	Equipos de sismica		Buques oceanográficos CSIC	CSIC	
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos submarinos	Muestreadores de sedimento (dragas, sacatestigo de gravedad, multicore,...)		Buques oceanográficos CSIC	CSIC	
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos submarinos	Sonda flujo de calor	1	Buques oceanográficos CSIC	CSIC	
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos submarinos	Sismómetros de fondo marino (OBS)			UTM-CSIC, ROA	
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos submarinos	Laboratorio de sedimentología	2	1 ICM-CSIC 1 IEO-CSIC	CSIC	
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos submarinos	Laboratorio de Geoquímica	1	ICM-CSIC	CSIC	
Inestabilidades del terreno	Deslizamientos submarinos	Laboratorio de Geotecnia	1	ICM-CSIC	CSIC	

Tabla de infraestructuras y recursos técnicos / Meteorología Espacial

Tipo de Peligro	Detalle de uso	Equipo	Número	Institución
Meteorología Espacial	Observatorios geomagnéticos	Magnetómetro	6	IGN
Meteorología Espacial	Observatorios geomagnéticos	Magnetómetro	4	OE-CSIC
Meteorología Espacial	Observatorios geomagnéticos	Magnetómetro	3	ROA
Meteorología Espacial	Observatorios geomagnéticos	Variómetro	6	IGN
Meteorología Espacial	Observatorios geomagnéticos	Variómetro	5	OE-CSIC
Meteorología Espacial	Observatorios geomagnéticos	Variómetro	3	ROA
Meteorología Espacial	Observatorios geomagnéticos	Declinómetro/Inclinómetro con sonda fluxgate	4	IGN
Meteorología Espacial	Observatorios geomagnéticos	Declinómetro/Inclinómetro con sonda fluxgate	3	OE-CSIC
Meteorología Espacial	Observatorios geomagnéticos	Declinómetro/Inclinómetro con sonda fluxgate	3	ROA
Meteorología Espacial	Ionosondas	Sondeador ionosférico	1	OE-CSIC
Meteorología Espacial	Ionosondas	Sondeador ionosférico avanzado	1	OE-CSIC
Meteorología Espacial	Ionosondas	Herramienta de monitorización de irregularidades ionosféricas	1	OE-CSIC
Meteorología Espacial	Ionosondas	Sondeador ionosférico	1	INTA
Meteorología Espacial	Rayos Cósmicos	Monitor de neutrones	1	UAH
Meteorología Espacial	Rayos Cósmicos	telescopio de muones	1	UAH
Meteorología Espacial	Rayos Cósmicos	telescopio de muones	1	AEMET- UAH
Meteorología Espacial	Corrientes inducidas	Sonda efecto Hall	1	OE-CSIC
Meteorología Espacial	Corrientes inducidas	Magnetómetros	14	OE-CSIC
Meteorología Espacial	Líneas Geoelectricas	2 pares de electrodos + Digitalizador + sistema de adquisición	1	IGN
Meteorología Espacial	Radioespectrómetros solares	Antena CLP	1	UAH
Meteorología Espacial	Radioespectrómetros solares	Antena LPDA	1	UAH
Meteorología Espacial	Radioespectrómetros solares	Antena LWA	1	UAH

Relación de medidas propuestas en el Plan

Terremotos			
Planteamiento 1	Coordinación en el diseño, gestión y uso de las distintas redes sísmicas para la monitorización de terremotos		
Acción A.1	Elaboración de un acuerdo formal entre las instituciones que gestionan las redes sísmicas permanentes	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: IGN
Planteamiento 2	Intercambio de información sísmica después de un terremoto		
Acción A.2	Creación de un protocolo y herramientas para el intercambio de información sísmica después de un terremoto	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: IGN
Planteamiento 3	Necesidad de disponer de estaciones sísmicas y geodésicas portátiles para ser usadas en caso de crisis sísmica		
Acción A.3	Creación de un banco de estaciones sísmicas y geodésicas	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: IGN
Planteamiento 4	Necesidad de disponer de un catálogo sísmico nacional actualizado al estado del arte		
Acción A.4	Actualización continua del catálogo sísmico nacional	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: IGN
Planteamiento 5	Dar carácter oficial a una base de datos de fallas activas en España y zonas próximas relevantes para la vigilancia sísmica		
Acción A.5	Adaptación de la base de datos QAFI a la vigilancia sísmica y normativa sismorresistente y oficialización de esta	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: IGME-CSIC
Recomend. R.5	Complejidad de la base de datos de fallas activas	Relevancia: Importante/conveniente	Resp./Coord.: IGME-CSIC
Planteamiento 6	Desarrollo y actualización de la normativa de protección civil ante el riesgo sísmico		
Recomend. R.6A	Desarrollo y actualización de la normativa de protección civil ante el riesgo sísmico	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: DGPCyE
Recomend. R.6B	Estudiar la sismicidad inducida y sus efectos para evaluar su posible incorporación en la normativa de protección civil	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: IGN
Planteamiento 7	Participación en la comunidad sismológica internacional		
Acción A.7	Representación de España en los comités de dirección de las organizaciones que estructuran el área temática de sismología de EPOS ERIC	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: IGN
Recomend. R.7	Participación en EPOS ERIC (TCS Seismology)	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: IGN

Volcanes			
Planteamiento 1	Necesidad de coordinación institucional para optimizar la disponibilidad de datos de Redes Instrumentales de Vigilancia Volcánica de registro continuo, incluyendo periodos de emergencia		
Acción A.1A	Establecimiento de nueva normativa para el intercambio de datos de redes instrumentales en tiempo real entre instituciones	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: IGN, IGME-CSIC e INVOLCAN
Acción A.1B	Determinación de las redes instrumentales críticas para vigilancia volcánica	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: IGN e INVOLCAN
Acción A.1C	Dotación de recursos económicos para asegurar la completitud y el mantenimiento de redes instrumentales de medida críticas	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: IGN, CSIC e INVOLCAN
Acción A.1D	Dotación de recursos para asegurar la disponibilidad y acceso a los datos de redes instrumentales de vigilancia durante la emergencia	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: IGN, CSIC e INVOLCAN
Acción A.1E	Coordinación para la catalogación de redes para vigilancia volcánica y mantenimiento de la Base de Datos	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: IGN e INVOLCAN
Recomend. R.1A	Necesidad de dotación de personal técnico especializado y financiación permanente para el mantenimiento y uso de redes de vigilancia	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: IGN e INVOLCAN
Recomend. R.1B	Mejora de la diseminación y divulgación de documentos, resultados, datos de redes de vigilancia y de proyectos de investigación en abierto	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: IGN, CSIC e INVOLCAN
Planteamiento 2	Necesidad de coordinación institucional para el uso priorizado de recursos e intercambio de datos procedentes de infraestructuras, equipamientos y laboratorios durante las emergencias.		
Acción A.2A	Establecimiento de nueva normativa para la optimización de uso de infraestructuras y laboratorios de petrología y geoquímica críticos	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: IGME-CSIC
Acción A.2B	Establecimiento de protocolos para la toma de datos y muestras, su distribución y su análisis para su uso en emergencias, incluyendo regulación de protección de datos	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: CSIC e INVOLCAN
Acción A.2C	Dotación de medios humanos y económicos para el análisis de muestras petrológicas durante emergencias	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: CSIC e INVOLCAN
Acción A.2D	Establecimiento de un protocolo de coordinación del uso de ROVs aéreos y submarinos, zonas de vuelo/inmersión, formato de intercambio de información, y su uso en emergencias, incluyendo regulación de protección de datos	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: IGME-CSIC e INVOLCAN
Recomend. R.2	Necesidad de dotación de personal técnico y financiación permanente para la formación, mantenimiento y uso de infraestructuras de laboratorio para su disponibilidad en emergencias	Relevancia: importante/conveniente	

Volcanes			
Planteamiento 3	Necesidad de coordinación institucional para la optimización de la investigación en la Vigilancia y Alerta Volcánica, incluyendo emergencias.		
Acción A.3	Establecimiento de nueva normativa para la transmisión de datos y resultados de investigación a Comités Científicos en emergencias que regule la actuación de los grupos científicos externos al Comité Científico que trabajen en la zona afectada (nacionales y extranjeros)	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: CSIC e INVOLCAN
Planteamiento 4	Comunicación de los datos relevantes a las instituciones participantes de la emergencia.		
Acción A.4	Establecimiento de procedimientos y protocolos para la comunicación de resultados y datos de redes de vigilancia, infraestructuras y laboratorios a los gestores de emergencia y a Comités Científicos	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: CSIC e INVOLCAN
Planteamiento 5	Necesidad de fomentar programas específicos de formación y especialización		
Acción A.5	Programas específicos de formación y especialización	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: ULL, ULPGC e INVOLCAN
Recomend. R.5	Creación de un máster interuniversitario en volcanología	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: ULL

Tsunamis			
Planteamiento 1	Intercambio de información sobre datos e infraestructuras susceptibles de utilizar en tareas de vigilancia de Tsunamis		
Acción A.1A	Mejorar el protocolo de intercambio de datos entre Puertos del Estado e IGN	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: PdE
Acción A.1B	Ampliar el número de mareógrafos del sistema de alerta de tsunamis	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: IGN
Acción A.1C	Promover la mejora continua del mapa topobatómico de las diferentes demarcaciones marítimas españolas.	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: IGN
Planteamiento 2	Mejorar los sistemas de Vigilancia de Tsunamis. Evaluación de otras fuentes y nuevas técnicas para prever el impacto de los tsunamis		
Acción A.2	Minimizar la incertidumbre de la fuente sísmica en sistema de alerta de tsunamis	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: IGN
Recomend. R.2A	Evaluar fuentes tsunamigénicas diferentes a los terremotos en el sistema de alerta de tsunamis	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: IGN
Recomend. R.2B	Evaluar nuevas técnicas para prever el impacto de los tsunamis	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: IGN
Recomend. R.2C	Mejorar la parametrización de las estructuras tsunamigénicas	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: IGME-CSIC
Planteamiento 3	Promover el desarrollo de planes regionales y locales ante el riesgo de tsunamis y concienciar a la población		
Recomend. R.3A	Impulsar el programa IOC UNESCO Tsunami Ready	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: D.G. Protección Civil y Emergencias e IHCantabria
Recomend. R.3B	Evaluar la necesidad de incluir el riesgo de tsunami en los planes de autoprotección de los puertos	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: PdE
Planteamiento 4	Implantar un sistema de evaluación del tsunami y sus daños		
Recomend. R.4	Implantar un protocolo de evaluación de los tsunamis y de los daños ocasionados	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: IGN
Planteamiento 5	Densificar las redes de monitorización y confirmación de tsunamis		
Acción A.5	Instalación de una boya para mejorar la detección de tsunamis en la zona del Mediterráneo	Prioridad: 1 2 3	Resp./Coord.: IGN
Recomend. R.5A	Densificar las redes de monitorización y confirmación de tsunamis	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: IGN
Recomend. R.5B	Reforzar algunos mareógrafos para que el sistema de alerta de tsunamis sea más robusto	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: IGN
Planteamiento 6	Mejora del conocimiento científico de los tsunamis		
Recomend. R.6A	Mejorar el conocimiento de los tsunamis que han afectado al país	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: IGN
Recomend. R.6B	Mejorar el conocimiento científico-técnico de los tsunamis	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: IEO-CSIC

Inestabilidad del terreno			
Planteamiento 1	Revisión de Planes de Emergencia por inestabilidades del terreno		
Planteamiento 2	Armonizar el catálogo de incidentes del 112 causados por inestabilidades del terreno		
Planteamiento 3	Incorporar servicios públicos y autoridades a la red de vigilancia de inestabilidades del terreno		
Planteamiento 4	Definición de organismos competentes de la red de vigilancia de deslizamientos submarinos		
Planteamiento 5	Mejora del conocimiento científico de los deslizamientos submarinos		
Planteamiento 6	Definición de las infraestructuras y protocolos de los sistemas de vigilancia de los organismos competentes de la red de vigilancia de deslizamientos submarinos		
Planteamiento 7	Estudiar cómo integrar los deslizamientos submarinos en el riesgo ante tsunamis		
Planteamiento 8	Consenso entre servicios de predicción y vigilancia de aludes para la unificación del resultado del Boletín Peligro Aludes (BPA)		
Planteamiento 9	Habilitación para toma de datos nivológicos y para la predicción de aludes: Formación reglada con acreditación para la toma de datos nivológicos		
Acción A.1	Mejora de la comunicación entre Universidades y la Administración Pública	Prioridad: 1 2 3	Participantes: grupo de trabajo constituido para la elaboración del Plan de Vigilancia y autoridades en protección civil de ámbito estatal y autonómico
Recomend. R.1	Creación de una red de investigación y vigilancia en inestabilidades del terreno	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: IGME-CSIC
Recomend. R.2	Programa nacional de inventario de inestabilidades movimientos de ladera y hundimientos	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: IGME-CSIC
Recomend. R.3	Mapa de susceptibilidad e inestabilidades a escala mínima 1:100 000	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: Sin definir
Recomend. R.4	Umbral de precipitación, aceleraciones sísmicas y procesos volcánicos activadores de episodios regionales, creación de un servicio de alerta temprana	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: Sin definir
Recomend. R.5	Estudios históricos sobre inestabilidades desencadenadas por otros georriesgos (terremotos y erupciones) en España	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord.: Sin definir
Recomend. R.6	Inventario de los deslizamientos submarinos. Identificar los potencialmente activos/peligrosos	Relevancia: importante/conveniente	Participantes: dependerá del planteamiento de definición de organismos competentes de la red de vigilancia de deslizamientos submarinos
Recomend. R.7	Desarrollo de alerta temprana para deslizamientos submarinos	Relevancia: importante/conveniente	Participantes: dependerá del planteamiento de definición de organismos competentes de la red de vigilancia de deslizamientos submarinos
Recomend. R.8	Programa nacional de cartografía de aludes y bases de datos asociada	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord. y participantes: AEMET e IGCG
Recomend. R.9	Base de datos de sistema de accidentes por aludes de nieve y de sistemas de protección contra aludes	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord. y participantes: AEMET e IGCG
Recomend. R.10	Ampliación de la red de observación nivológica y de aludes	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord. y participantes: AEMET e IGCG
Recomend. R.11	Ampliación de la red de observación meteorológica automática en zonas de montaña	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord. y participantes: AEMET e IGCG

Meteorología espacial			
Planteamiento 1	Identificar y designar a la institución o instituciones competentes en materia de Meteorología Espacial		
Recomend. R.1	Designar competencias en Meteorología Espacial	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord. y participantes: Esta acción va encaminada definir el responsable en esta materia
Recomend. R.2	Aprovechar el know-how existente para desarrollar el servicio operativo	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord. y participantes: AEMET, IGN, OE, ROA, INTA, UAH y UCM
Recomend. R.3	Establecer los convenios pertinentes para garantizar la prestación del servicio	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord. y participantes: AEMET, IGN, OE, ROA, INTA, UAH y UCM
Recomend. R.4	Establecimiento de un Comité Científico Asesor	Relevancia: importante/conveniente	Resp./Coord. y participantes: AEMET, IGN, OE, ROA, INTA, UAH y UCM

Relación de acrónimos presentes en el texto

A

AEMET

Agencia Estatal de Meteorología

AHEAD

European Archive of Historical Earthquake Data

ALLAUCAT

Plan Especial de Emergencias por Aludes de Catalunya

ATES

Avalanche Terrain Exposure Scale

AUV

Vehículo autónomo submarino

B

BPA

Boletín de Peligro de Aludes

C

CCAA

Comunidades Autónomas

CGA

Conselh Genarau d'Aran

CLP

Compact Log Periodic

CME

Coronal Mass Ejection

CNRS

Centre National de la Recherche Scientifique.

CNRST

Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique

CRAAG

Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique.

CSEM

Centre Sismologique Euro-Méditerranéen

CSIC

Consejo Superior de Investigaciones Científicas

D

DBPPC

Directriz Básica de Planificación de Protección Civil

DGPCyE

Dirección General de Protección Civil y Emergencias

DG

Directorate General

DG

Dirección General

DIRDN

Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales

DOAS:

Espectrómetro de Absorción Óptica Diferencial (Differential Optical Absorption Spectrometer)

E

EAWS

European Avalanche Warning Services

ECHO

European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations

ECMWF

European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

EFEHR

European Facilities for Earthquake Hazard and Risk

EGDI

European Geological Data Infrastructure

EMSC

European Mediterranean Seismological Centre

EMODNet

European Marine Observation and Data Network

EPOS

European Plate Observing System

ERIC

European Research Infrastructure Consortium

ESA

European Space Agency

ESAN

Estrategia de Seguridad Aeronáutica Nacional

EUMETSAT

European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites

EVE

Ente Vasco de la Energía

EVC

Estación Volcanológica de Canarias

F

FDSN

International Federation of Digital Seismograph Networks

G

GC

Cromatógrafo de Gases (Gas Chromatograph)

GEOBAL

Plan Especial Frente al Riesgo Sísmico en las Illes Balears

GEOFON

GEOForschungsNetz (Red alemana de geoinvestigación)

GNSS

Global Navigation Satellite System

I

IAG

Instituto Andaluz Universitario de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos

IASPEI

International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior

ICGC

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

ICP-MS

Espectómetro de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer)

ICV

Institut Cartogràfic Valencià

IEA

Institut d'Estudis Andorrans

IEO

Instituto Español de Oceanografía

IGC

Instituto Geográfico y Catastral

IGEO

Instituto de Geociencias

IGME

Instituto Geológico y Minero de España

IGN

Instituto Geográfico Nacional

IGY

International Geophysical Year / Año Geofísico Internacional

IHA

Instituto de Hidráulica Ambiental

IHCantabria

Instituto de Hidráulica de Cantabria

IHM

Instituto Hidrográfico de la Marina

INTA

Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial

INSPIRE

Infraestructure for Spatial Information in Europe / Infraestructura Europea de Datos Espaciales

INUNCAT

Plan Especial de Emergencias por Inundaciones de Catalunya

INUNBAL

Plan Especial frente al Riesgo de Inundaciones de las Illes Balears

INVOLCAN

Instituto Volcanológico de Canarias

IPMA

Instituto Português do Mar e da Atmosfera

IRMS

Espectrómetro de Masas de Relaciones Isotópicas (Isotope Ratio Mass Spectrometer)

ISC

International Seismological Centre

ITER

Instituto Tecnológico y de Energías Renovables del Cabildo de Tenerife

ITST

International Tsunami Survey Team

IOC

Intergovernmental Oceanographic Commission

J

JRC

Journal of Earthquake and Tsunami

L

LWA

Long Wavelength Array

LoRa

Long Range

LPDA

Log Periodic Dipole Array

M

MAH

Marco de Acción de Hyogo

MicroGC

Microcromatógrafo de Gases (Micro Gas Chromatograph)

MITECO

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

MZA

Mapa de Zonas de Aludes

N

NEAMTWS

North-eastern Atlantic, the Mediterranean and Connected Seas Tsunami Early Warning and Mitigation System

NGMS

Espectrómetro de Masas para Gases Nobles (Noble Gas Mass Spectrometer)

O

OBS

Ocean Bottom Seismometers

ODS

Objetivos de Desarrollo Sostenible

OE

Observatori de l'Ebre

OGC

Observatorio Geofísico Central

OMP

Observatoire Midi Pyrénées

ONU

Organización de Naciones Unidas

OP FTIR

Espectrómetro Infrarrojo de Transformada de Fourier (de Camino Abierto) Fourier Transform InfraRed (Open Path)

ORFEUS

Observatories and Research Facilities for European Seismology

P

[Orden] PCI

Orden del Ministerio de Presidencia, Relaciones con las Cortes e Igualdad

PdE

Puertos del Estado

PEICTI

Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación

PEINCA

Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por Riesgo de Inundaciones en la Comunidad Autónoma de Canarias.

PESICAN

Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por Riesgo Sísmico en la Comunidad Autónoma de Canarias

PEVOLCA

Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por Riesgo Volcánico en la Comunidad Autónoma de Canarias

PIDA

Planes de intervención de desencadenamiento de aludes

PLASISMEX

Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico de Extremadura.

PRAMES

Proyectos y Realizaciones Aragonesas de Montaña, Escalada y Senderismo

PROCICAT

Pla Territorial de Protecció Civil de Catalunya

Q

QAFI

Quaternary Active Faults Database of Iberia

QMS

Espectrómetro de Masas Cuádruple (Quadruple Mass Spectrometer)

R

RAN

Red de Alerta Nacional

REDMAR

Red de Mareógrafos de Puertos del Estado

REDRA

Red de detección de Rayos

ROA

Real Instituto y Observatorio de la Armada

ROM

Real Observatorio de Madrid

ROV

Remotely Operated Vehicle

RSN

Red Sísmica Nacional

S

SEPRONA

Servicio De Protección de la Naturaleza de la Guardia Civil

SISCOVA

Xarxa Sísmica de la Comunitat Valenciana

SISMICAT

Plan Especial de Emergencias Sísmicas de Catalunya

SISMIGAL

Plan Especial de Protección Civil frente al riesgo Sísmico en Galicia.

SISMIMUR

Plan Especial de Protección Civil frente al riesgo Sísmico en la Región de Murcia

SNAT

Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis

SNPC

Sistema Nacional de Protección Civil

SOCIB

Sistema de Observación Costero de las Illes Balears

T

TDL

Espectrómetro de Diodo Láser ajustable (Tunable Diode Laser)

TIMS

Espectrómetro de Masas con Ionización (Thermal Ionization Mass Spectrometer).

U

UAH

Universidad de Alcalá de Henares

UB

Universidad de Barcelona

UGR

Universidad de Granada

UE

Unión Europea

UCM

Universidad Complutense de Madrid

ULL

Universidad de La Laguna

ULPGC

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

UMA

Universidad de Málaga

UNED

Universidad Nacional de Educación a Distancia

UNESCO

United Nations for Education, Science and Culture Organisation

UO

Universidad de Oviedo

USAL

Universidad de Salamanca

UTM-CSIC

Unidad de Tecnología Marina

UZ

Universidad de Zaragoza

X

XEGCat

Xarxa d'Estacions Geotèrmiques de Catalunya

XEMA

Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques

XRAD

Xarxa de Radars del Servei Meteorològic de Catalunya

XRD

X Ray Diffraction

Relación de instituciones, entidades y organizaciones del grupo de trabajo y sus subgrupos que han participado en la preparación del Plan

Institución		
Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)	Dirección General del Agua	Universidad Complutense de Madrid
Cabildo Insular de El Hierro	Ente Vasco de la Energía. Área de Geología. (EVE)	Universidad de Alcalá
Cabildo Insular de La Palma	Instituto Andalúz Universitario de Geofísica y Prevención de Desastres Naturales	Universidad de Cádiz
Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC)	Universidad de Cantabria
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)	Institut Cartogràfic Valencià (ICV)	Universidad de Granada
Conselh Generau d'Aran	Instituto Geográfico Nacional (IGN)	Universidad de Jaén
Consejo Superior de Investigaciones Científicas:	Instituto de Hidráulica Ambiental (IH Cantabria)	Universidad de La Laguna
Geociencias Barcelona (GEO3BCN)	Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM)	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Institut de Ciències de Mar (ICM)	Instituto Volcanológico de Canarias (INVOLCAN)	Universidad de León
Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA)	Govern de les Illes Balears	Universidad de Málaga
Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía (ICMAN)	Observatori de l'Ebre	Universidad de Oviedo
Instituto de Evaluación Medioambiental e Investigación del Agua (IDAEA)	Plataforma Oceánica de Canarias (PLOCAN)	Universidad de Salamanca
Instituto de Geociencias (IGEO)	Protecció Civil - Illes Balears	Universidad de Zaragoza
Instituto de Productos Naturales y Agrobiología (IPNA)	Protección Civil - Andalucía	Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea
Instituto Español de Oceanografía (IEO)	Protección Civil - Canarias	Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Instituto Geológico y Minero de España (IGME)	Protección Civil - Las Palmas	Universitat de Barcelona
Unidad de Tecnología Marina (UTM)	Puertos Canarios - Gobierno de Canarias.	Universitat d'Alacant/Universidad de Alicante
Dirección General de Protección Civil y Emergencias	Puertos del Estado	Universitat Politècnica de Catalunya
	Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA)	

