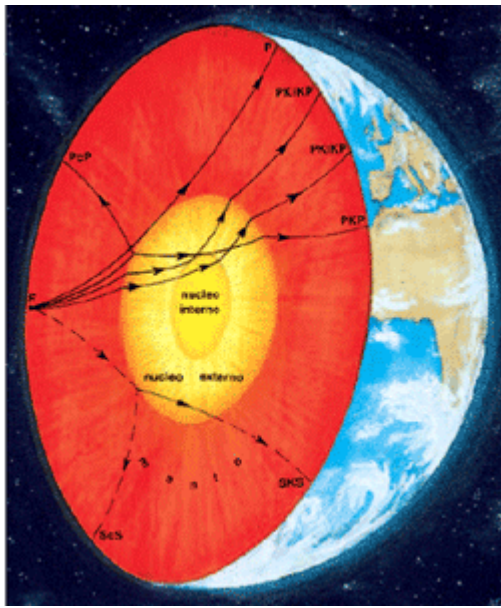


Sismología

1	¿Qué es la Sismología?	2
2	Red Sísmica Nacional	4
2.1	Observatorios sismológicos	5
2.2	Red sísmica de transmisión analógica	5
2.3	Red sísmica de transmisión digital	5
2.4	Array de Sonseca	7
2.5	Centro de respaldo de la RSN en Sonseca	8
2.6	Red de acelerógrafos	8
3	Servicio de datos sísmicos	9
4	Sismicidad y riesgo sísmico	10
5	Colaboraciones Internacionales	11
6	Proyectos	12

1 ¿Qué es la Sismología?

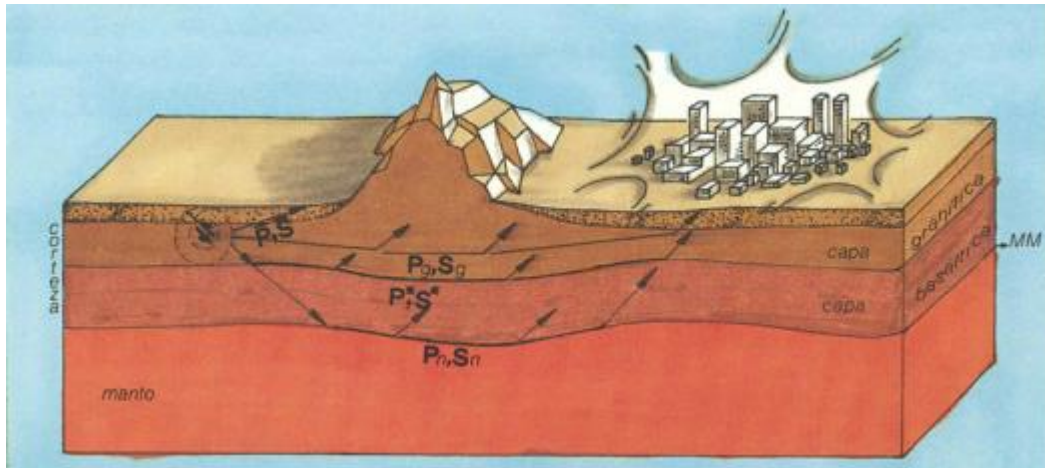
La Sismología, a través de la ocurrencia de los terremotos, su distribución espacio temporal, mecanismos en el foco y liberación de energía, pone de manifiesto los procesos dinámicos que están sucediendo en la Tierra. Asimismo, el estudio de la propagación de las ondas producidas por los terremotos nos da información sobre su estructura interior, las regiones que la forman y la distribución en ellas de la densidad y de las constantes elásticas.



Propagación de los diferentes tipos de ondas sísmicas en el interior de la Tierra

La propagación de las ondas producidas por los terremotos está determinada por la mecánica de los medios elásticos y, por tanto, sus velocidades dependen de las características elásticas del medio, cuya distribución puede estudiarse mediante la observación de los tiempos de recorrido y amplitudes de estas ondas.

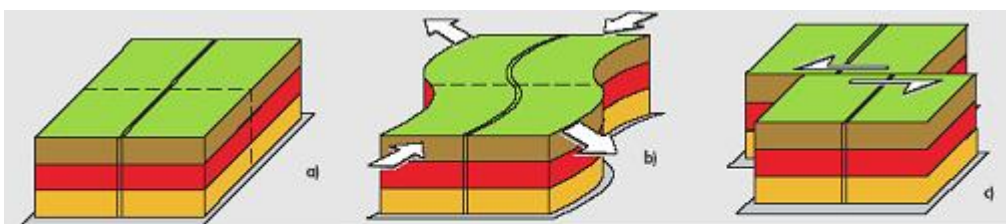
Las soluciones obtenidas para las ondas elásticas representan dos tipos de ondas (llamadas internas o de volumen) que se propagan con distinta velocidad. Las de mayor velocidad, y por tanto las primeras en llegar, son las llamadas ondas P, que corresponden a ondas longitudinales. Las segundas en aparecer, debido a su menor velocidad, son las ondas S, que tienen carácter transversal. El estudio de estas ondas se realiza mediante las leyes de la reflexión y refracción, ya que la Tierra está formada por capas de distinto material. Sus trayectorias y tiempos de llegada se determinan, bien considerando capas planas, cada una de velocidad constante o aumentando con la profundidad, o bien considerando la Tierra esférica.



Propagación de las ondas sísmicas en la corteza y manto superior

En la superficie libre de la Tierra y en otras discontinuidades de la corteza, se producen otro tipo de ondas que por propagarse a lo largo de estas superficies reciben el nombre de ondas superficiales. Estas ondas se propagan con velocidades inferiores a las de la onda S y su amplitud decrece con la profundidad. De estas ondas existen dos tipos: unas son las llamadas ondas Rayleigh, de movimiento vertical, y otras, las ondas Love, de movimiento horizontal, nombres que corresponden a los dos científicos ingleses del siglo XIX.

En su origen, las primeras determinaciones del punto donde se produce el terremoto (foco o hipocentro) y su proyección sobre la superficie (epicentro) se basan en el estudio de la distribución de los daños producidos en los edificios, en el terreno o en las personas, y sitúan el epicentro en la zona de mayor daño (epicentro macrosísmico). Con el desarrollo de la instrumentación sismológica y la instalación de estaciones, la determinación del foco sísmico se realiza a partir de los registros de las ondas que producen los terremotos. Admitido el carácter puntual del foco sísmico, la localización de un terremoto viene definida por cuatro parámetros: hora, origen, coordenadas geográficas del epicentro y profundidad del foco.



Teoría del rebote elástico Reid:
a) Situación sin deformar
b) Situación de deformación anterior al terremoto
c) Situación después del terremoto

Teoría rebote elástico Reid

El primer modelo mecánico que definiese el origen de los terremotos fue propuesto por H.F. Reid en 1911 con la teoría del rebote elástico, según la cual las deformaciones elásticas se van acumulando hasta que se supera la resistencia del material, produciéndose una fractura y una liberación de las deformaciones acumuladas.

Podemos considerar, pues, que un terremoto está originado por la ruptura de una parte de la corteza. A esta zona de fractura la denominamos falla y a través de los registros de las ondas producidas por los terremotos podemos conocer los parámetros de orientación y tamaño que la definen y establecer el comportamiento tectónico de la zona.

La primera forma que se definió para cuantificar el tamaño de un terremoto fue a partir de los daños ocasionados. En estas observaciones está basado el concepto de intensidad, que lo podemos definir como la fuerza con que se siente un terremoto. La medida de la intensidad es bastante subjetiva; no obstante, es un parámetro de gran interés en sismología y en particular en ingeniería, definiéndose numerosas escalas de intensidad, adoptándose en Europa la escala EMS-98 de doce grados, equivalente a la Mercalli modificada.



Daños en La Redondela (Huelva) por el terremoto de 20 de diciembre de 1989, de intensidad máxima VI, con epicentro en Ayamonte (Huelva)

La intensidad es una medida indirecta y no da una idea precisa de la energía liberada por un terremoto, pues un terremoto muy superficial puede producir intensidades muy altas y sin embargo corresponderle una energía muy pequeña. Por esta razón, para medir el tamaño de un terremoto es necesario cuantificar, de una forma instrumental, la energía que se libera en el foco. Esta idea llevó a C. F. Richter a la creación de la escala de magnitudes, que está basada en que la amplitud de las ondas sísmicas está relacionada con la energía liberada en el foco.

2 Red Sísmica Nacional

La Red Sísmica del Instituto Geográfico Nacional es la responsable de la planificación y gestión de sistemas de detección y comunicación de los movimientos sísmicos ocurridos en territorio nacional y sus posibles efectos sobre las costas, así como la realización de trabajos y estudios sobre sismicidad y la coordinación de la normativa sismorresistente.

Asimismo, la Red es uno de los dos Centros Nodales del Centro Sismológico Euro-Mediterráneo (CSEM), realizando localizaciones y notificaciones de aquellos

terremotos en Europa y el Mediterráneo de magnitud igual o superior a 5.5 y de magnitud alta en cualquier lugar del mundo.

La Red Sísmica Nacional (RSN) cuenta actualmente con 73 **estaciones** permanentes y una decena de estaciones portátiles destinadas al estudio temporal de actividad sísmica o volcánica relevante. Las estaciones que conforman la red han evolucionado gracias al desarrollo de la electrónica y de la informática. Desde el inicio de los grandes observatorios, con sismómetros de 1.000 kilos de masa, hasta estaciones de tamaño muy reducido, muy alta amplificación y poco mantenimiento. Las conexiones actuales en tiempo real a un centro de recepción de datos ubicado en la sede central del Instituto Geográfico Nacional, permiten detectar, localizar y cuantificar los terremotos muy pocos minutos después de su ocurrencia. Asimismo, proporciona un mejor conocimiento de la sismicidad regional y la realización de numerosos estudios de carácter científico.

2.1 Observatorios sismológicos

El primer proyecto de la red de estaciones sismológicas del IGN se inició en 1909 con la instalación en los sótanos de la Diputación de Toledo de los primeros instrumentos, trasladándose posteriormente a la actual ubicación del Observatorio en 1933. La red sismológica se va configurando en los años siguientes con las Observatorios de Málaga (1912), Almería (1915) y Alicante (1917). Posteriormente se construyen los Observatorios de Las Mesas (Tenerife, 1959) y Logroño (1963). En esos años, concretamente en 1962, las estaciones sísmicas de Toledo y Málaga se integran en el World-Wide Standardize Seismograph Network (WWSSN) patrocinado por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, lo que permitió participar a nivel mundial en un muy notable desarrollo de la sismología. En 1971 se construye el último Observatorio en Santiago de Compostela.

2.2 Red sísmica de transmisión analógica

El desarrollo tecnológico impulsó la creación en los años 80 de una primera red sísmica de transmisión analógica, conectada en tiempo real con el centro de recepción de datos del IGN a través de líneas telefónicas dedicadas. Esta red llegó a contar con 35 estaciones sísmicas de corto periodo y componente vertical, estando situadas en lugares alejados de las poblaciones con objeto de evitar el ruido cultural. De igual forma, el avance en las transmisiones de las señales y el aumento de capacidad de respuesta de los sensores, ha modificado la concepción inicial de esa red analógica.

2.3 Red sísmica de transmisión digital

En 2001, el IGN puso en marcha una nueva mejora de la red sísmica cuyo principal objetivo debía ser la superación de las deficiencias anteriores causadas fundamentalmente por el tipo de sensores usados (de corto periodo y una componente), de la antigüedad de la mayoría de las instalaciones y del alto nivel de ruido de fondo de los emplazamientos de las estaciones debido a la ubicación de construcciones en las zonas cercanas. Con estas premisas se diseñó la nueva red con las siguientes características principales:

- Transmisión digital.
- Cobertura en todo el territorio nacional.

- Datos Sísmicos digitales de alta resolución.
- Tiempo absoluto GPS/UTC.

La selección de los emplazamientos de las estaciones sísmicas tiene una gran influencia en la calidad de los datos sísmicos. Unos buenos emplazamientos influyen decisivamente en la precisión de la red, optimizan el número de estaciones, exigen un mantenimiento menor y proporcionan a la red una fiabilidad mayor.

Las estaciones se han situado en lugares recónditos para minimizar las condiciones de ruido ambiental (viento, cursos de agua, topografías desfavorables, cambios térmicos, condiciones atmosféricas, etc.) y lejos (distancias > 1.5 km) de núcleos urbanos y de fuentes de ruido cultural (tráfico, maquinaria, actividades agrícolas e industriales, tendidos eléctricos, etc.) y las que genera la propia instalación (por las antenas, placas solares, vallado, etc.)



Emplazamiento de las estaciones

Las estaciones permanentes tienen transmisión digital y son actualmente 62, la mayor parte con sismómetros de banda ancha. Todas ellas están conectadas en tiempo real con el Centro de Recepción de Datos Sísmicos. La conexión con el centro de recepción se realiza principalmente a través de comunicación vía satélite.

El sistema de comunicación vía satélite, se basa en VSAT (Very Small Aperture Terminal) como plataforma de campo y en una estación HUB situada en el Centro de Recepción de Datos Sísmicos, en el Instituto Geográfico Nacional. Las estaciones de campo VSAT están diseñadas para tener bajo consumo.

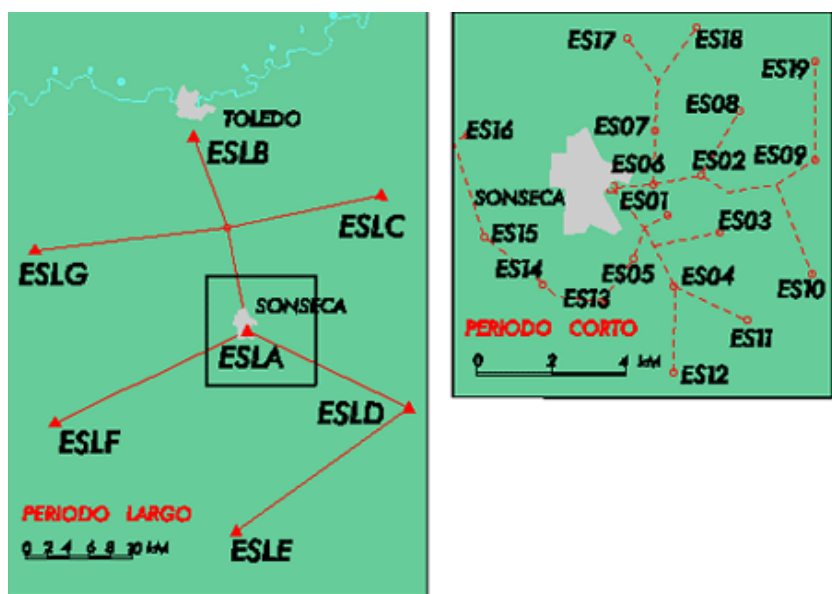
Esta comunicación es actualmente la principal vía de transmisión de las estaciones sísmicas, aunque para asegurar la robustez del sistema, se han utilizado también medios alternativos de transmisión con objeto de suplir posibles fallos en la transmisión vía satélite. Se utiliza además transmisión GPRS, transmisión radio, transmisión wifi o conexión por internet, bien por cable o por satélite.



Mapa de las estaciones de la Red Sísmica Nacional

2.4 Array de Sonseca

El Instituto Geográfico Nacional participa también en el International Data Center de la Organización del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (CTBTO) con una red sísmica de características especiales: la Antena Sísmica de Sonseca, consistente en un array de 19 estaciones de corto período, 6 de largo período y una de banda ancha, todas de tres componentes. Esta antena es una Estación Primaria entre 50 de la red sísmica global del sistema internacional de vigilancia que está enfocado a la verificación y control de explosiones nucleares requerido por CTBTO. Este array fue diseñado e instalado por Air Force Technical Application Center (AFTAC) de EEUU en los años 50', transfiriéndose completamente al gobierno español en 1996.



Dispositivo sísmico de Sonseca

2.5 Centro de respaldo de la RSN en Sonseca

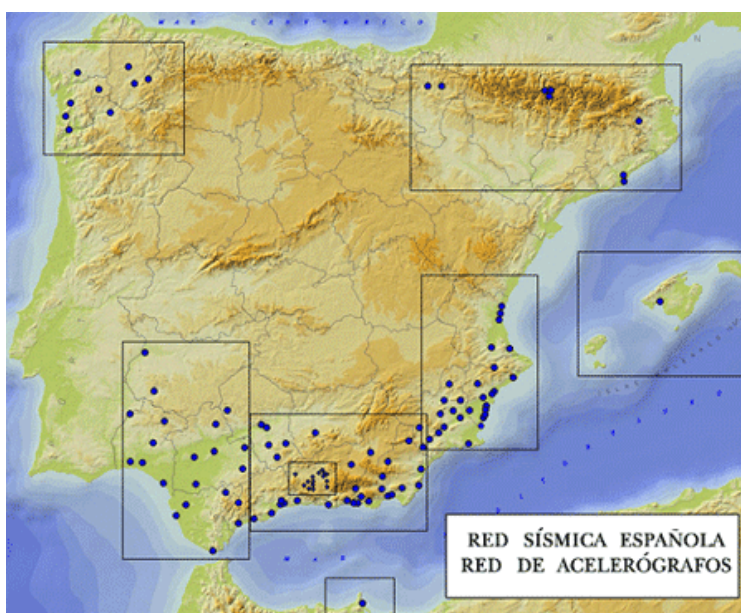
El Instituto Geográfico Nacional (IGN) cuenta con un Centro de Respaldo de la Red Sísmica Nacional (RSN) en la Estación Sismológica de Sonseca (Toledo). Este centro está preparado para generar en tiempo real las alertas sísmicas automáticas de cualquier sismo que ocurra en el territorio nacional y zonas próximas, así como distribuir esa información, según los protocolos establecidos, frente a cualquier fallo que se produjera en el centro de recepción de datos de la sede central del IGN en Madrid. Se trata del primer centro de estas características en Europa y garantiza, en caso de interrupción del servicio en la sede central, la alerta sísmica y su difusión en nuestro país y agencias internacionales.



Centro de respaldo de la RSN en Sonseca

2.6 Red de acelerógrafos

La red de acelerógrafos proporciona desde 1977 valores de la aceleración sísmica en todo el territorio nacional. Consta en la actualidad de 122 acelerógrafos digitales con alta resolución, con GPS incorporado y conexión vía MODEM con el centro de datos en la sede del IGN en Madrid.



Mapa de la Red de Acelerógrafos de la Península Ibérica, Islas Baleares y Melilla



Mapa de la Red de Acelerógrafos de las Islas Canarias

Los valores de la aceleración registrados en las tres componentes a causa del movimiento del suelo durante el tiempo de ocurrencia de un terremoto, proporcionan una información muy útil al ingeniero o arquitecto. Estos datos, junto con los aportados por los mapas de peligrosidad sísmica, van a permitir establecer los criterios a la hora de diseñar una determinada estructura.

3 Servicio de datos sísmicos

GeoArchivo, Archivo Nacional de Datos Geodésicos y Geofísicos

Se dispone de un edificio en el Observatorio Geofísico de Toledo destinado a configurar el Archivo Nacional de Datos Geodésicos y Geofísicos, en particular los sismológicos, ya sean de carácter histórico o los recopilados actualmente en formato digital, como mapas de isosistas, sismogramas, boletines, formas de onda, catálogos, etc.

Sistemas de difusión e información sísmica

Se dispone de un edificio en el Observatorio Geofísico de Toledo destinado a configurar el Archivo Nacional de Datos Geodésicos y Geofísicos, en particular los sismológicos, ya sean de carácter histórico o los recopilados actualmente en formato digital, como mapas de isosistas, sismogramas, boletines, formas de onda, catálogos, etc.

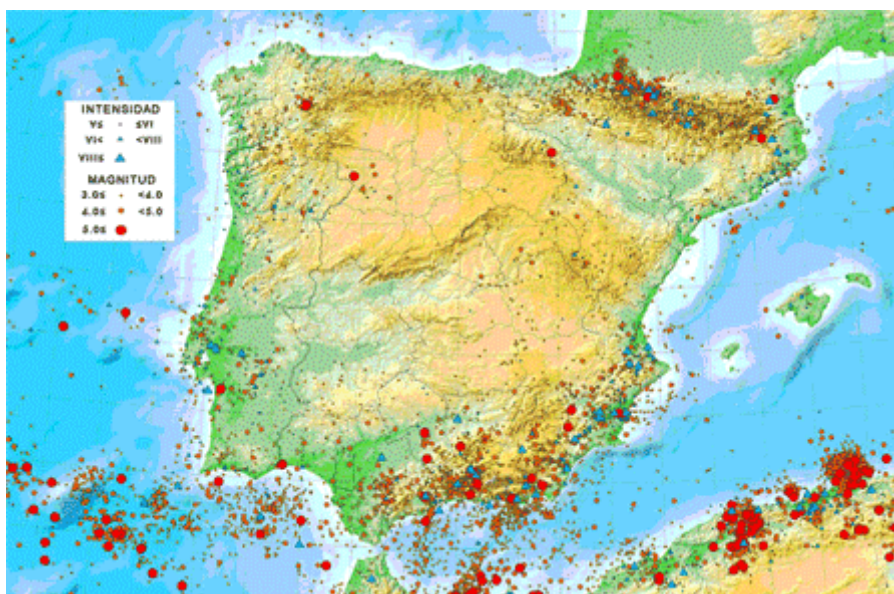
Catálogo sísmico

Por otro lado, existe una gran cantidad de datos que recogen la historia sísmica de España desde documentos sobre terremotos históricos hasta las formas de onda digitales de los últimos terremotos. Parte de esta información está disponible en la página web del IGN mediante el Servicio de Información Sísmica y el resto se puede consultar en los archivos del IGN.

4 Sismicidad y riesgo sísmico

Sismicidad y sismotectónica

El Real Decreto 1476/2004 sobre las atribuciones del IGN señala también el estudio e investigación en sismicidad. La sismicidad es el conjunto de parámetros que definen totalmente el fenómeno sísmico en el foco y se representa generalmente mediante distribuciones temporales, espaciales, de tamaño, de energía, etc. El estudio de la distribución espacial de terremotos ha sido uno de los factores más importantes a la hora de establecer la teoría de la tectónica de placas, según la cual la superficie de la litosfera está dividida en placas cuyos bordes coinciden con las zonas sísmicamente activas.



Mapa de sismicidad de la Península Ibérica y zonas próximas

La información sísmica del mapa proviene de la base de datos del Instituto Geográfico Nacional actualizada al año 2003. Los epicentros del periodo histórico entre los años 1048 y 1919 están representados mediante valores de intensidad sísmica, mientras que los correspondientes al periodo instrumental 1920-2003, se representan por valores de magnitud.

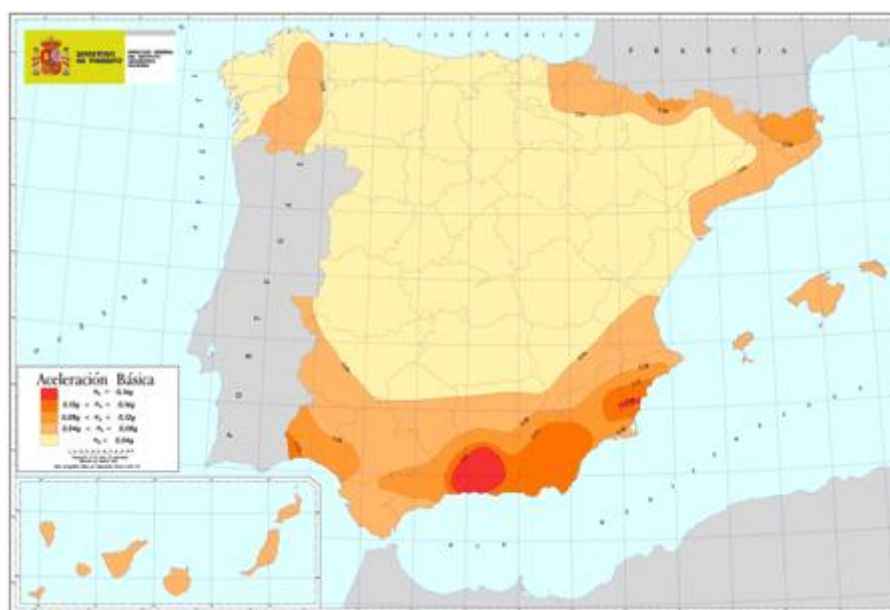
Los estudios conjuntos de sismicidad, cálculo de los mecanismos focales de terremotos importantes y de neotectónica, permiten analizar e interpretar la evolución geodinámica de la Península Ibérica respecto al norte de África dentro del contacto entre las placas tectónicas Euroasiática y Africana.

Servicio de datos sísmicos

La ocurrencia de grandes terremotos en zonas densamente pobladas o de gran desarrollo industrial produce catastróficas consecuencias. Una forma de estudiar medidas contra los terremotos es la peligrosidad sísmica, concepto asado en la probabilidad de ocurrencia, durante un determinado período de tiempo, de un terremoto de ciertas características. Para la obtención de la peligrosidad sísmica va a

ser necesario el conocimiento de la sismicidad y las leyes que rigen su comportamiento. Los estudios de peligrosidad, junto con los análisis de vulnerabilidad de edificios e infraestructuras, van a definir las zonas más peligrosas y establecer su riesgo sísmico, lo que permitirá planificar las medidas para prevenir, o atenuar, los efectos destructores de los terremotos.

Los mapas de peligrosidad realizados por el IGN se utilizan en la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico a la hora de definir las áreas de aplicación de dicha directriz. Por otro lado, dentro de las competencias del Instituto Geográfico Nacional se encuentra la coordinación de la normativa sismorresistente por lo que sus mapas de peligrosidad establecen las zonas y los niveles de aceleración sísmica que hay que considerar al realizar una nueva construcción en territorio español.



Mapa de peligrosidad sísmica de la Norma Sismorresistente actual NCSE-02

5 Colaboraciones Internacionales

Comisión Preparatoria de la Organización del Tratado para la Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares (CTBTO)

La participación se realiza a través de la Estación Sismológica de Sonseca (Toledo). El objetivo de esta Comisión, perteneciente a Naciones Unidas, es la supervisión del Tratado para la Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares, a través de un Sistema Internacional de Vigilancia (ISS por sus siglas en inglés - International Surveillance System) que utiliza, entre otros instrumentos, las estaciones sísmicas. Los datos procedentes de estas estaciones permiten distinguir entre fuentes naturales y fuentes no naturales, mediante una adecuada discriminación de las señales.

El Centro Sismológico de Sonseca ha tenido que ajustarse a estrictas normas de funcionamiento y estrictos controles de calidad antes de poder convertirse en una estación certificada en dicho Sistema Internacional de Vigilancia.

Centro Sismológico Euro-Mediterráneo (EMSC: Euro-Mediterranean Seismological Centre)

Este Centro mantiene un Sistema de Vigilancia Sísmica que envía las alertas sísmicas al Consejo Europeo. Cuenta con 101 miembros, seis de los cuales son Centros Nodales, siendo el IGN uno de ellos. Forman un grupo encargado de la Rápida Determinación de Epicentros y su Diseminación. El IGN también es el único Centro Nodal responsable de realizar alertas en caso de problemas técnicos en el EMSC.

ORFEUS (Observatorios e Instalaciones de Investigación para la Sismología Europea)

En este centro de datos sismológicos se reciben las ondas de banda ancha procedentes de estaciones sísmicas ubicadas en el área Euro-Mediterránea y se recopilan los datos sísmicos con fines de investigación.

La Red Sísmica Nacional participa actualmente en ORFEUS enviando datos sísmicos de banda ancha en tiempo casi real procedentes de diversas estaciones en la Península y las Islas, dentro del marco de un proyecto europeo denominado MEREDIAN (Mediterranean-European Earthquake Data Information and Archiving Network), coordinado por ORFEUS.

6 Proyectos

El IGN, a través de la Red Sísmica Nacional, está desarrollando un proyecto que permita establecer un procedimiento de alerta para posibles tsunamis que puedan afectar a nuestras costas atlánticas y mediterráneas.

La metodología, básicamente, es similar a la que se está utilizando en otros países europeos, y sigue los procedimientos puestos en marcha por el Joint Research Centre (JRC), de la Comisión Europea. Para su aplicación, el IGN cuenta además con la colaboración de Puertos del Estado. Este proyecto está previsto que se encuentre operativo antes de fin de 2014.