

## Informe de la actividad sísmica en Atarfe-Santa Fé (Granada)

(versión actualizada a 24/01/2021 a las 12:00h UTC)

*Este informe se actualiza diaria o semanalmente según la evolución de la serie y la información disponible*

Desde principios de diciembre de 2020 se están registrando una serie de terremotos superficiales al noroeste de la ciudad de Granada, en el entorno de las localidades de Atarfe, Pinos Puente y Santa Fé. Se trata de terremotos superficiales, con una profundidad menor de 10 km, de magnitudes mayoritariamente menores de 2,5 (ver Tablas 1 y 2). El día 2 de diciembre la Red Sísmica Nacional registró un terremoto de magnitud 3,6 e intensidad máxima de IV-V en Atarfe y Santa Fé, que fue ampliamente sentido en numerosas localidades cercanas al epicentro pero sin causar ningún daño. La serie se ha reactivado posteriormente a finales de enero de 2021 y el día 23 el Instituto Geográfico Nacional (IGN) ha registrado un terremoto con magnitud Mw de 4,4 al noroeste de Santa Fé con intensidad máxima registrada de V-VI en Atarfe, que ha sido fuertemente sentido en numerosas localidades cercanas al epicentro, así como en la ciudad de Granada, llegando incluso a sentirse en algunas localidades de las provincias de Málaga y Jaén. Hasta el momento de realización de este informe se han localizado 66 réplicas, las mayores de ellas dos terremotos de magnitud 3,3.

Desde el día 1 de diciembre de 2020, hasta la fecha de actualización de este informe, se han calculado un total de 156 terremotos en la zona, de los cuales 5 son de magnitud mayor o igual que 3,0 (ver Tabla 1) y 31 han sido sentidos por la población.

*Tabla 1. Terremotos de  $M \geq 3$  de la serie sísmica de Atarfe-Santa Fé.*

Magnitud	Fecha (Hora GMT)	Intensidad Máxima
4,4*	23/01/2021 11:15:25	V-VI
3,6	02/12/2020 23:09:09	IV-V
3,3	23/01/2021 17:08:45	III-IV
3,3	24/01/2021 07:50:42	III-IV
3,1	06/12/2020 08:32:36	III

*Con \* los terremotos con magnitud Mw.*

El mapa de la Figura 1 muestra la situación de todos los terremotos registrados en la zona epicentral de los últimos 30 días.

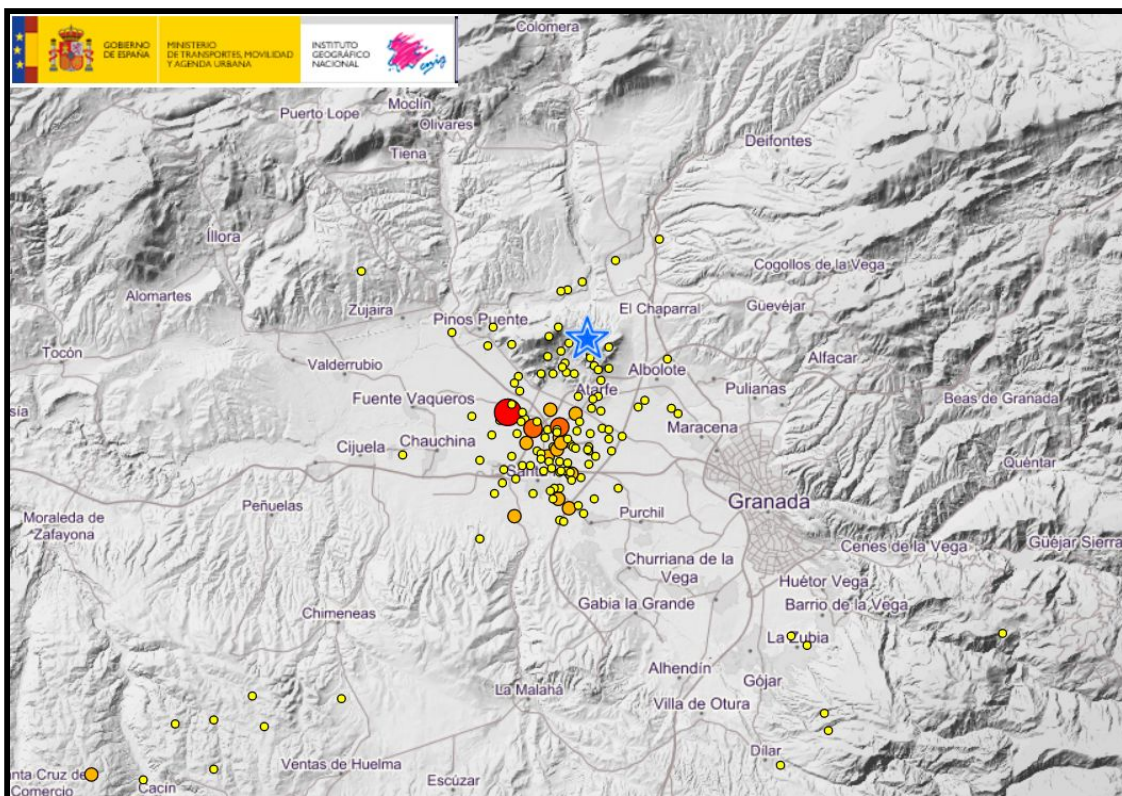


Figura 1. Mapa de sismicidad de la zona epicentral de los últimos 30 días.

En la Figura 2 se muestra el número de terremotos al día y la magnitud de cada uno de ellos localizados desde enero de 2020.

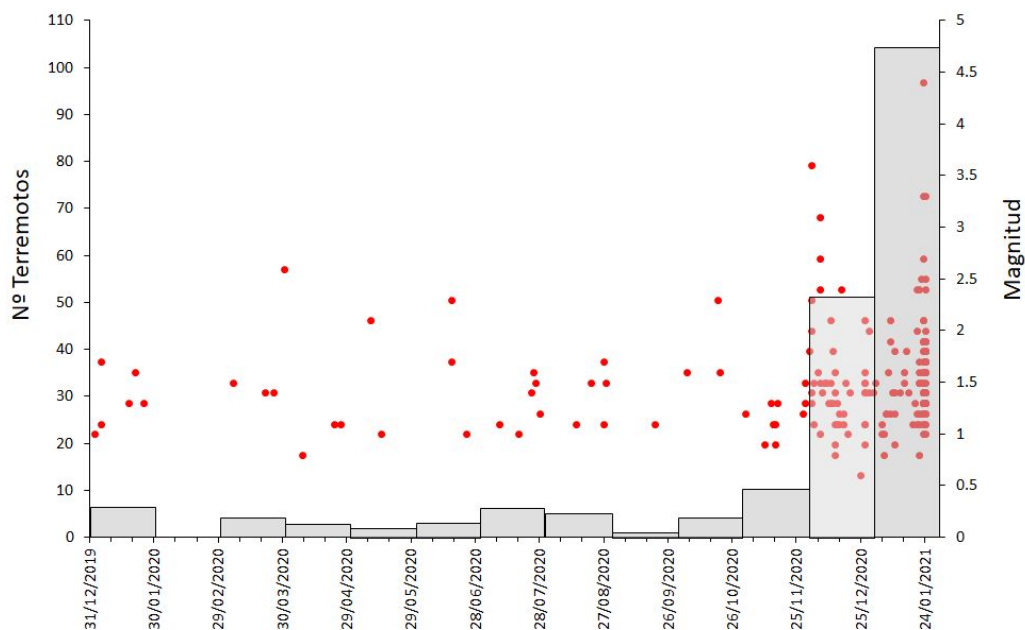


Figura 2. Número de terremotos por día y su magnitud.

En las Tablas 2 y 3 se recogen los datos del número de terremotos y número de terremotos sentidos para distintos intervalos de magnitud e intensidad localizados desde el 1 de diciembre de 2020.

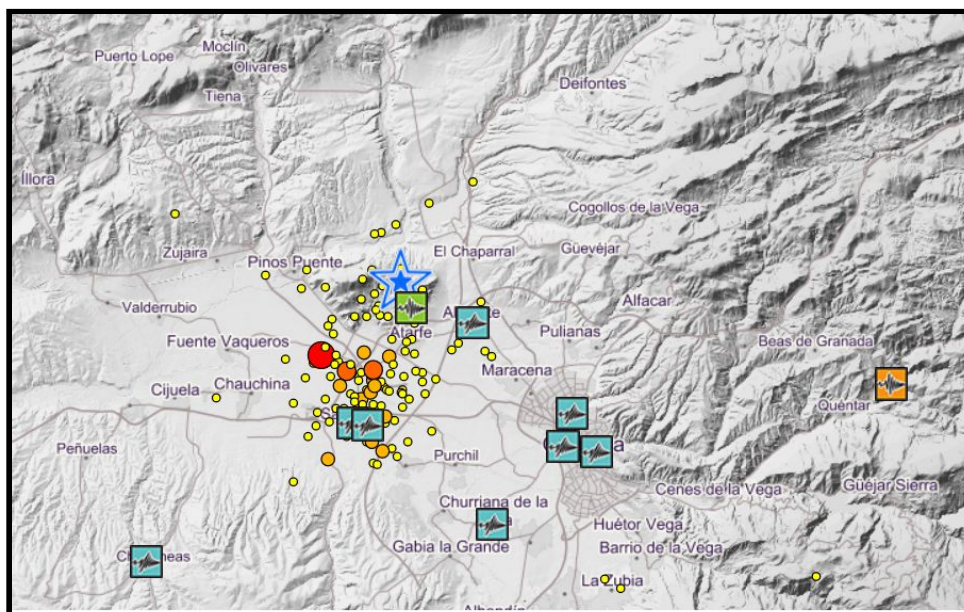
*Tabla 2. Terremotos por intervalo de magnitud*

	M<2	2≤M<3	3≤M<4	M≥4
Nº Terremotos	132	19	4	1

*Tabla 3. Terremotos sentidos por intervalo de intensidad*

	I-II	II	II-III	III	III-IV	IV	IV-V	V	V-VI
Nº Sentidos	2	13	2	10	2	0	1	0	1

Para la monitorización y cálculo de la actividad sísmica en tiempo real la Red Sísmica Nacional cuenta con más de 100 estaciones de velocidad y 130 estaciones de aceleración repartidas por todo el territorio español. En la provincia de Granada el IGN tiene instaladas de forma permanente tres estaciones sísmicas de velocidad y 22 de aceleración, estando 8 de ellas en torno a la zona donde se están produciendo los terremotos. Además con los datos de estaciones de otras instituciones (Figura 3).



*Figura 3. Estaciones sísmicas de velocidad y aceleración en el entorno de la zona epicentral.*

La Red Sísmica va a instalar, además, dos estaciones portátiles temporales de velocidad y una de aceleración en las proximidades de la zona epicentral, lo que permite registrar los terremotos con una buena cobertura azimutal y realizar la localización de los epicentros con mayor precisión y fiabilidad.

## Información macrosísmica y daños

### INTENSIDADES

La Intensidad Macrosísmica es un parámetro que representa de forma global el movimiento del suelo debido a un terremoto en una localidad, a partir de los daños producidos y de los efectos en las personas y en los objetos. Para evaluar la Intensidad Macrosísmica se emplean fundamentalmente las siguientes fuentes de información: cuestionarios macrosísmicos a través de la página web y de la aplicación informática para móviles inteligentes del IGN, trabajo de campo, información telefónica de Ayuntamientos y particulares, información de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias y del 112.

El terremoto principal de magnitud Mw 4,4 del 23/10/2021 ha sido sentido con una intensidad máxima de V-VI en las poblaciones de la zona epicentral, habiéndose recibido unos 4500 cuestionarios a través de la página web y aplicación móvil del IGN. Como resultado de la recopilación y estudio de toda esta información se han obtenido los valores de intensidad macrosísmica EMS que aparecen en el mapa de la Figura 4.

Hasta el momento se han registrado algunos daños no estructurales, como grietas en el enlucido, además de numerosas caídas de objetos en varias construcciones dentro de la zona epicentral.

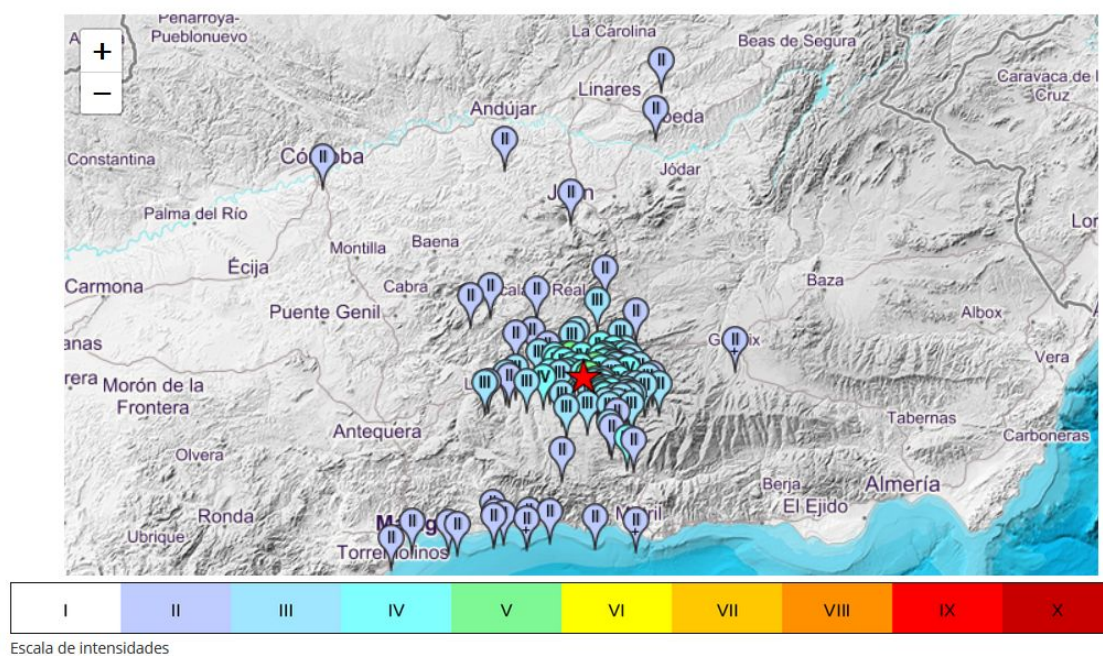


Figura 4. Distribución de la Intensidad macrosísmica para las localidades que percibieron el terremoto de Mw 4,4.

## ACELERACIÓN

Los acelerómetros son instrumentos que registran la aceleración del suelo en el caso de movimiento fuerte, esto es, en los casos en los que la estación se sitúa próxima a la fuente sísmica y el terremoto tiene una magnitud moderada a grande. Los valores de aceleración máxima tienen interés, además de para la evaluación de los daños y del comportamiento de las estructuras, para la elaboración de mapas de peligrosidad sísmica que permitan tener una estimación de los parámetros de cálculo que han de considerarse en la normativa de construcción sismorresistente.

Según el nuevo Mapa de Peligrosidad Sísmica de España del IGN (2012) y revisado en 2015 ([http://www.ign.es/web/resources/sismologia/www/dir\\_images\\_terremotos/mapas\\_sismicidad/peligrosidadaceleracion.jpg](http://www.ign.es/web/resources/sismologia/www/dir_images_terremotos/mapas_sismicidad/peligrosidadaceleracion.jpg)), la aceleración sísmica máxima, para un periodo de 475 años y en suelo tipo roca, en la zona de Atarfe-Santa Fé es de 0,23g (tal y como se muestra en la Figura 5), siendo este uno de los valores más altos de todo el país. El terremoto de Mw 4,4 del día 23 de enero ha sido registrado en el acelerógrafo de Santa Fé, situado a unos 4 km del epicentro, con una aceleración máxima de 0,153 g.

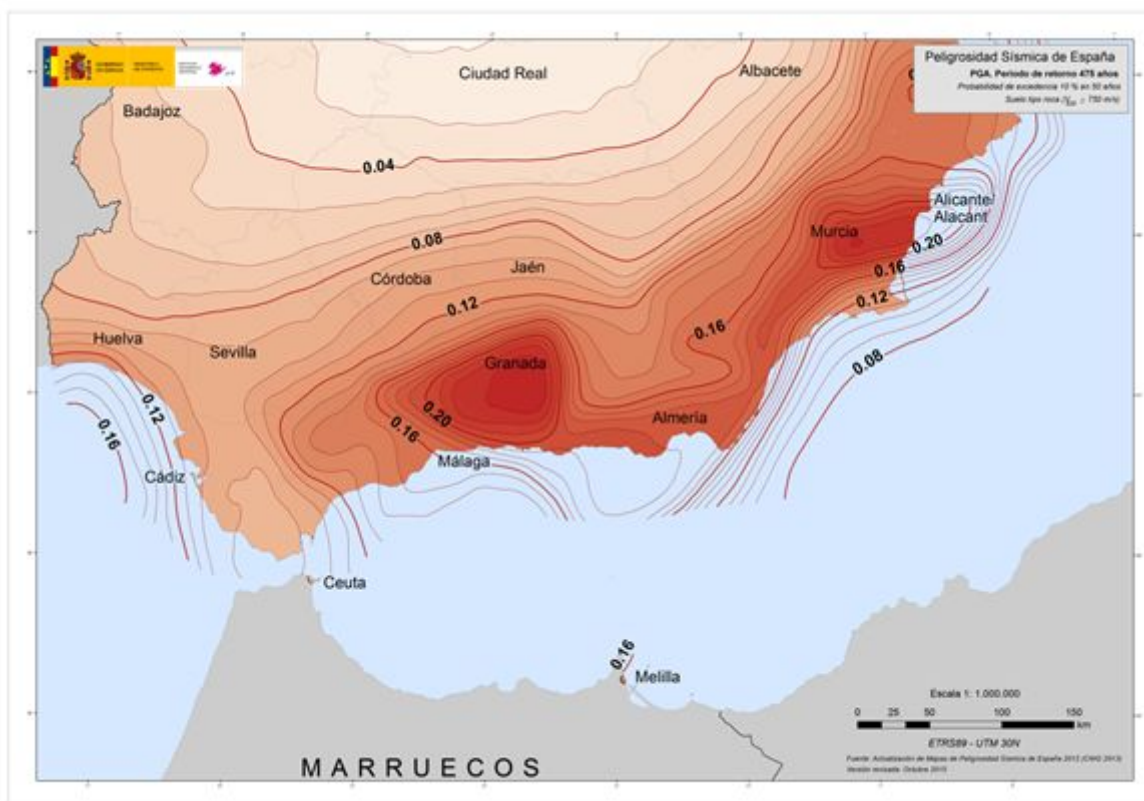


Figura 5. Mapa de peligrosidad sísmica de España, de la región sur peninsular, para periodo de retorno de 475 años, (IGN) correspondiente a la actualización de 2012.

## SHAKEMAPS

Con los datos de intensidades macrosísmicas y los datos de aceleraciones y velocidades máximas del suelo pueden elaborarse mapas que representen el movimiento del suelo en la zona epicentral y alrededores, esto es, mapas que permitan visualizar la severidad y extensión de la sacudida originada por el terremoto. Estos mapas son denominados *shakemaps* o mapas de sacudida.

En las figuras siguientes se muestran los *shakemaps* elaborados para el terremoto principal de la serie, de magnitud Mw4,4, ocurrido el día 23/01/2021. Estos han sido realizados a partir de los datos observados, completados con los datos teóricos estimados por los modelos de movimiento utilizados para la región. En la Figura 6 se muestra el mapa obtenido para la intensidad. En esta puede observarse la gran extensión geográfica en la que el terremoto ha sido sentido ( $I \geq II$ ). En la Figura 7 se muestran los mapas obtenidos para la aceleración máxima (PGA) y la velocidad máxima (PGV) del suelo. A partir de éstas puede verse que la PGA estimada en la zona del epicentro es del orden de 5 % g (g aceleración de la gravedad) y la PGV es del orden de 2 cm/s.

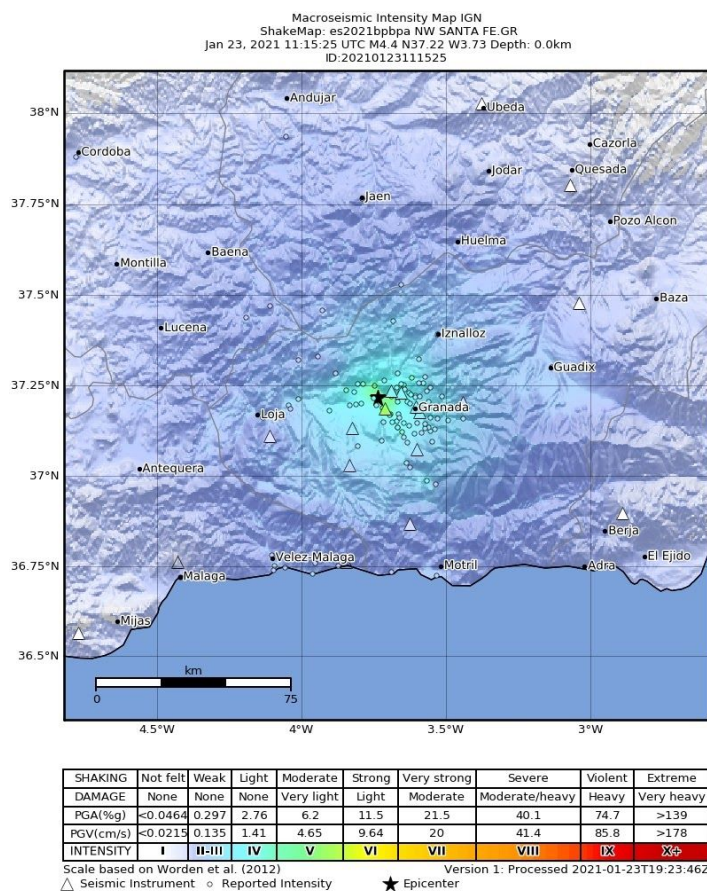


Figura 6. *Shakemap* intensidad macrosísmica. La leyenda inferior muestra también la equivalencia aproximada entre los parámetros usados para representar el movimiento del suelo.

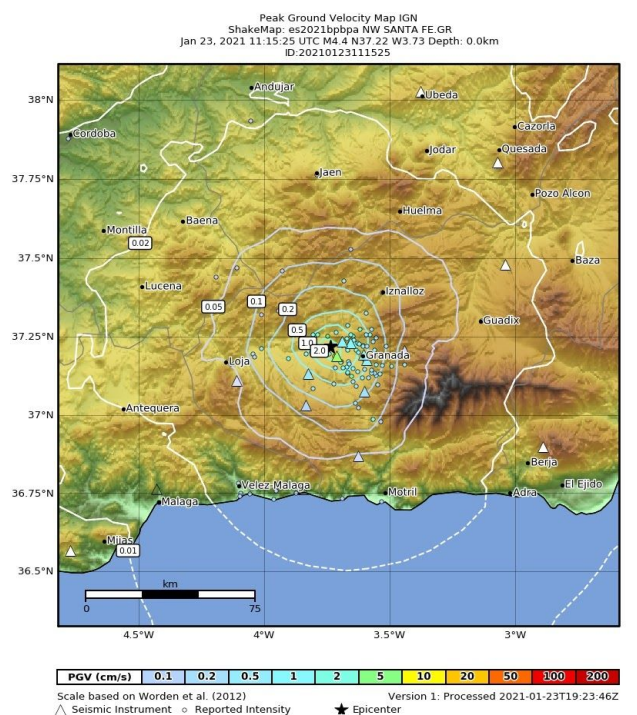
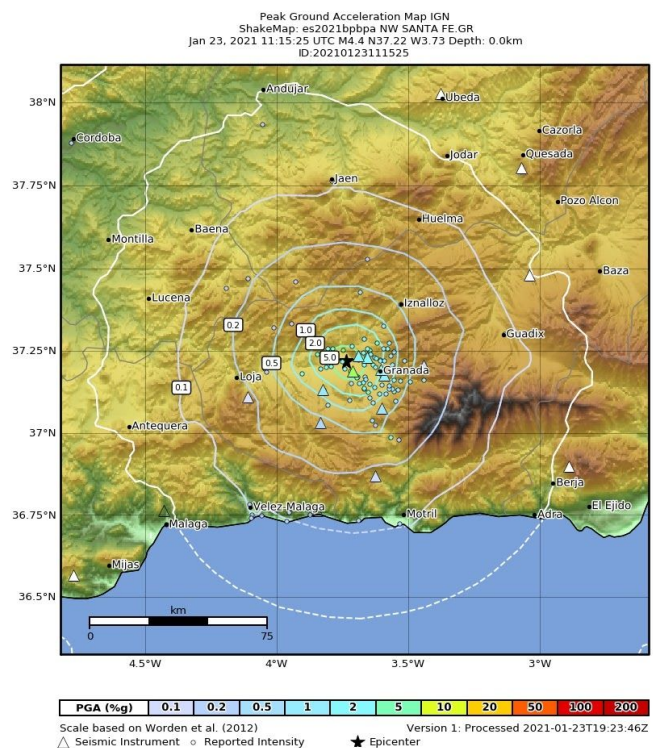


Figura 7. Arriba: Shakemap aceleración máxima (medida en %g). Abajo: Shakemap velocidad máxima (medida en cm/s).

## Sismicidad y sismotectónica de la zona

La sismicidad registrada es habitual en esta zona, que se enmarca dentro de la cuenca de Granada, en las cordilleras Béticas, una de las regiones con mayor actividad sísmica de la Península Ibérica, fruto de la convergencia entre la placa Africana y Euroasiática. Esta zona se caracteriza por la ocurrencia de numerosos terremotos superficiales de baja a moderada magnitud, y de forma ocasional con intensidad significativa. También existe cierta sismicidad a profundidades intermedias que se extiende en la parte occidental del mar de Alborán y, de forma ocasional, terremotos a profundidades de más de 600 km con epicentro en la provincia de Granada.

La cuenca de Granada es una de las zonas con mayor sismicidad de toda la península Ibérica, en la que han ocurrido importantes terremotos a lo largo de la historia (Figura 8). El más antiguo del que se tiene constancia ocurrió en 1431 al sur de Granada donde tuvo una intensidad macrosísmica de VIII-IX produciendo grandes daños en la Alhambra y el más virulento el de 1884 en Arenas del Rey, que alcanzó una intensidad de IX-X produciendo 839 víctimas mortales. En el entorno de los actuales epicentros, en época pre-instrumental destacan con intensidad máxima de VIII la serie sísmica de 1806-1807 en Pinos Puente y el terremoto de 1911 en Santa Fé y con intensidad máxima de VII el terremoto de 1918 en Atarfe. Más recientemente, ya en época instrumental, el mayor terremoto superficial ha sido de magnitud 5,0 en 1956 en Purchil con intensidad máxima VII-VIII. Cabe destacar también los terremotos de Atarfe y Santa Fé de 1986 y 1996 respectivamente, ambos de magnitud entorno a 4,0 e intensidad máxima de V. No obstante, los mayores terremotos de la época instrumental han sido los de tipo profundo de Granada de magnitud 7,8 en 1954 y de Mw 6,3 en 2010.

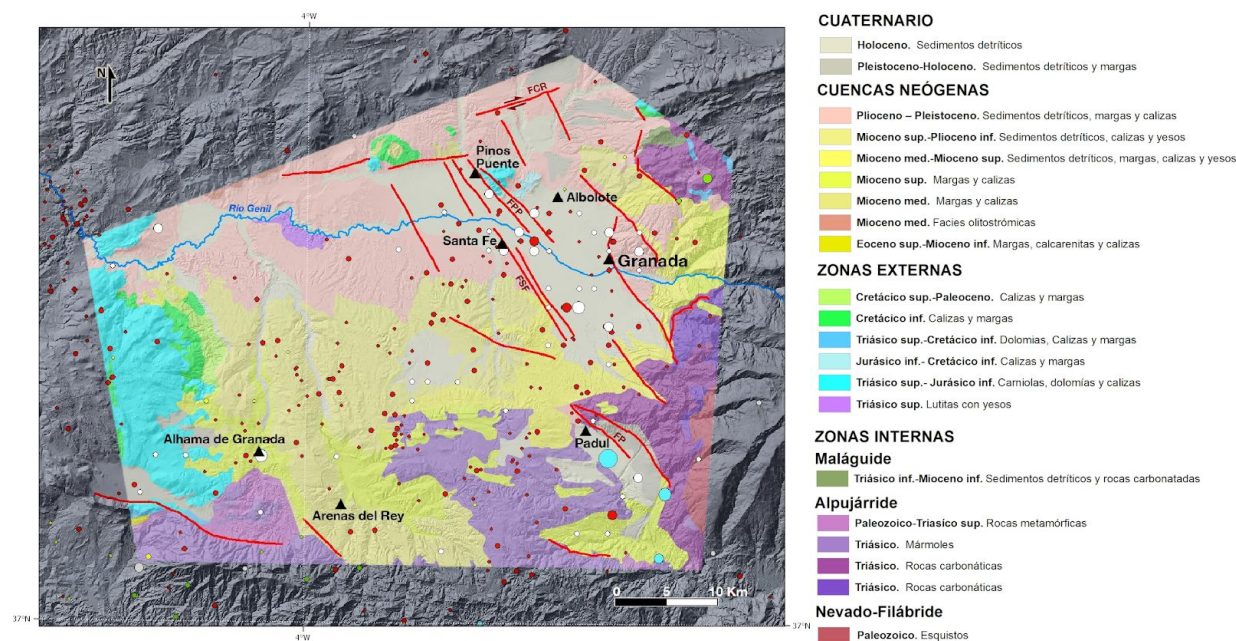


Figura 8. Sismicidad histórica e instrumental más significativa ( $M_w > 3$ ) de la región de la cuenca de



Granada (Principales fallas activas durante el Cuaternario extraídas de la base de datos QAFI ([García-Mayordomo et al., 2015](#); [IGME, 2015](#)). Origen de los datos geológicos: Mapa Geológico 1M (2015) del ©Instituto Geológico y Minero de España (IGME). FCR:i falla de Crevillente, FBS: falla del Bajo Segura, FP:falla de Palomares, FC: falla de Carboneras, FAL: falla de Alhama-Lorca).

Desde el punto de vista tectónico, las Béticas están actualmente sometidas a esfuerzos compresivos en dirección NO-SE a NNO-SSE junto con extensión en dirección NE-SO a ENE-OSO, ambos acomodados por pliegues y fallas activas. En la cuenca de Granada, la sismicidad que ocurre en la corteza presenta principalmente mecanismos focales de tipo normal, indicando un régimen tectónico predominantemente extensivo en dirección ENE-OSO compatible con las principales fallas activas de la zona con acimut en dirección NNO-SSE. De hecho, la zona epicentral está atravesada por un sistema de diversas fallas paralelas de tipo normal con orientación NO-SE, de entre las que destacan las fallas de Atarfe, Pinos Puente, Alitaje y Santa Fé, todas ellas de longitud entorno a los 10 km.

### Mecanismos focales

El cálculo del denominado Tensor Momento Sísmico nos proporciona un conocimiento del tipo de mecanismo que ha producido el terremoto en la falla responsable, además de dar un valor a la magnitud, denominada magnitud momento ( $M_w$ ) que nos proporciona una medida más coincidente con otros calculados por otras agencias.

Hasta el momento el IGN ha calculado el mecanismo focal del terremoto principal de magnitud  $M_w=4,4$  (ver Figura 9), cuyos parámetros se recogen en la Tabla 4. Se trata de un mecanismo de falla normal con ligera componente de desgarre sinistral y orientación NO-SE, compatible con la sismotectónica de la zona.

Tabla 4. Mecanismos focales de la serie de Atarfe-Santa Fé

Fecha	Pano nodal 1 (strike, dip, slip)	Pano nodal 2 (strike, dip, slip)	Mo (dyn-cm)	$M_w$	Prof. centroide (km)	Porcentaje Doble Par	Ajuste
23/01/2021 11:15:25	(332, 50, -67)	(119, 45, -114)	1,60E+22	4,4	5	90 %	0,28

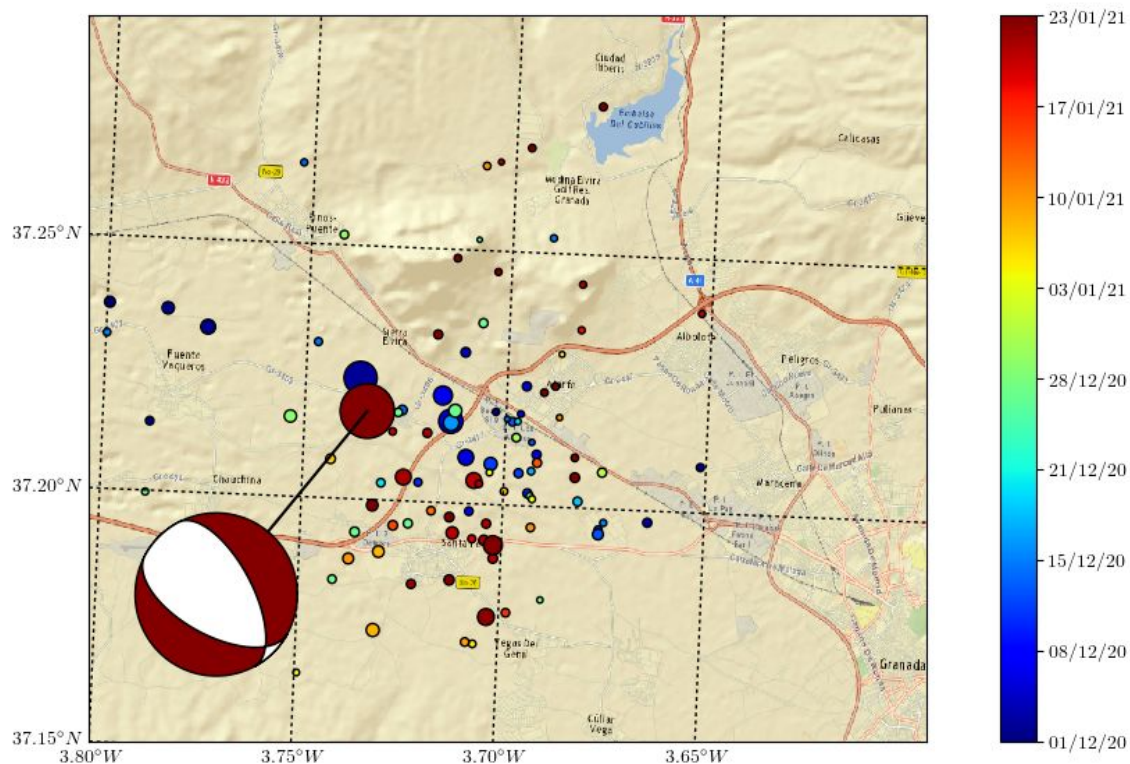


Figura 9. Mecanismo focal calculado del terremoto principal de Mw 4,4 del 23/01/2021. En el mapa se muestra la sismicidad localizada en la zona epicentral desde el 1 de diciembre de 2020.