

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

(versión actualizada a 20/08/2021 a las 07:00h 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 y oeste de la ciudad de Granada, en el entorno de las localidades de Atarfe, Pinos Puente y Santa Fe. 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 Fe, 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 desde el día 23 el Instituto Geográfico Nacional (IGN) ha registrado seis terremotos con magnitud superior a 4, uno el día 23 de Mw 4,4, al noroeste de Santa Fe con intensidad máxima de V-VI en Atarfe, tres el día 26, de magnitud Mw 4,4 localizado al oeste de Santa Fe con intensidad máxima también de V-VI, dos de magnitud Mw 4,2 y 4,1 localizados al suroeste de Santa Fe, otro terremoto el día 28 también de magnitud Mw 4,4, y el último, el 12 de agosto de 2021 de magnitud mblg 4,5, con epicentro al suroeste de la localidad de Cijuela. Todos han sido fuertemente sentidos 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, Almería, Córdoba y Jaén.

Desde el día 1 de diciembre de 2020, hasta la fecha de actualización de este informe, se han calculado un total de 3079 terremotos en la zona, de los cuales 36 son de magnitud mayor o igual que 3,0 y 353 han sido sentidos por la población.

Tabla 1. Terremotos de $M \geq 3,5$ de la serie sísmica de Atarfe-Santa Fe.

Magnitud	Fecha	Hora (UTC)	Intensidad máxima
4,5	12/08/2021	21:25:12	V
4,4*	23/01/2021	11:15:25	V-VI
4,4*	26/01/2021	21:54:55	V-VI
4,4*	28/01/2021	18:49:49	V
4,2*	26/01/2021	21:44:18	IV-V
4,1*	26/01/2021	21:36:33	IV-V
3,6	02/12/2020	23:09:09	IV-V

3,6	26/01/2021	21:59:59	V
3,6	28/01/2021	18:06:28	III-IV
3,6	28/01/2021	19:28:19	III-IV
3,5	15/02/2021	10:09:18	III-IV

con * los terremotos con magnitud Mw.

Todos los datos de los terremotos registrados y localizados en la zona pueden consultarse en el catálogo de terremotos del IGN (<https://www.ign.es/web/ign/portal/sis-catalogo-terremotos>).

El mapa de la *Figura 1* muestra la situación de todos los terremotos registrados en la zona epicentral desde el 1 de diciembre de 2020.

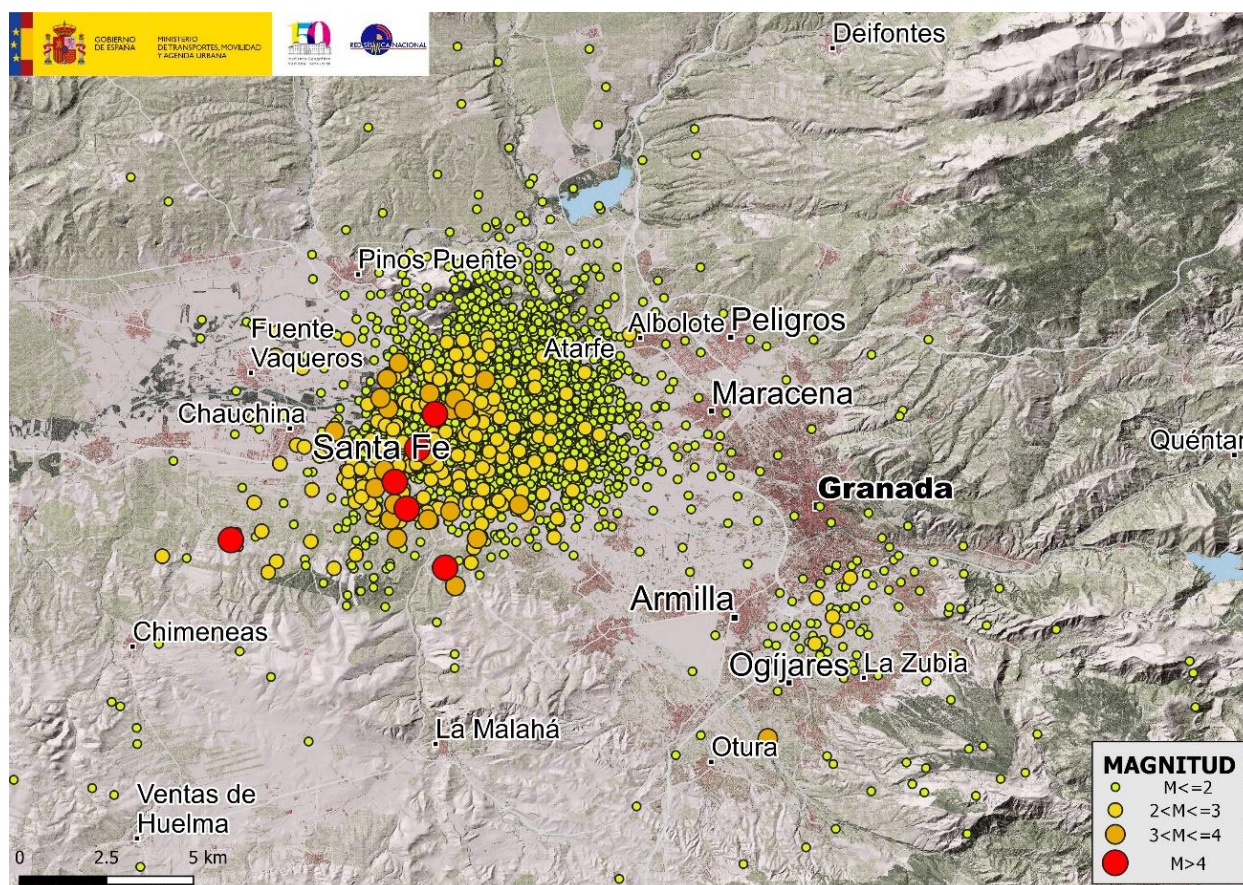


Figura 1. Mapa de sismicidad de la zona epicentral desde el 1 de diciembre de 2020.

Para ver todos los terremotos de la zona (últimos 30 días) pinchar [aquí](#).

En la *Figura 2* se muestra el número de terremotos al día y la magnitud de cada uno de ellos localizados desde el 1 de diciembre de 2020.

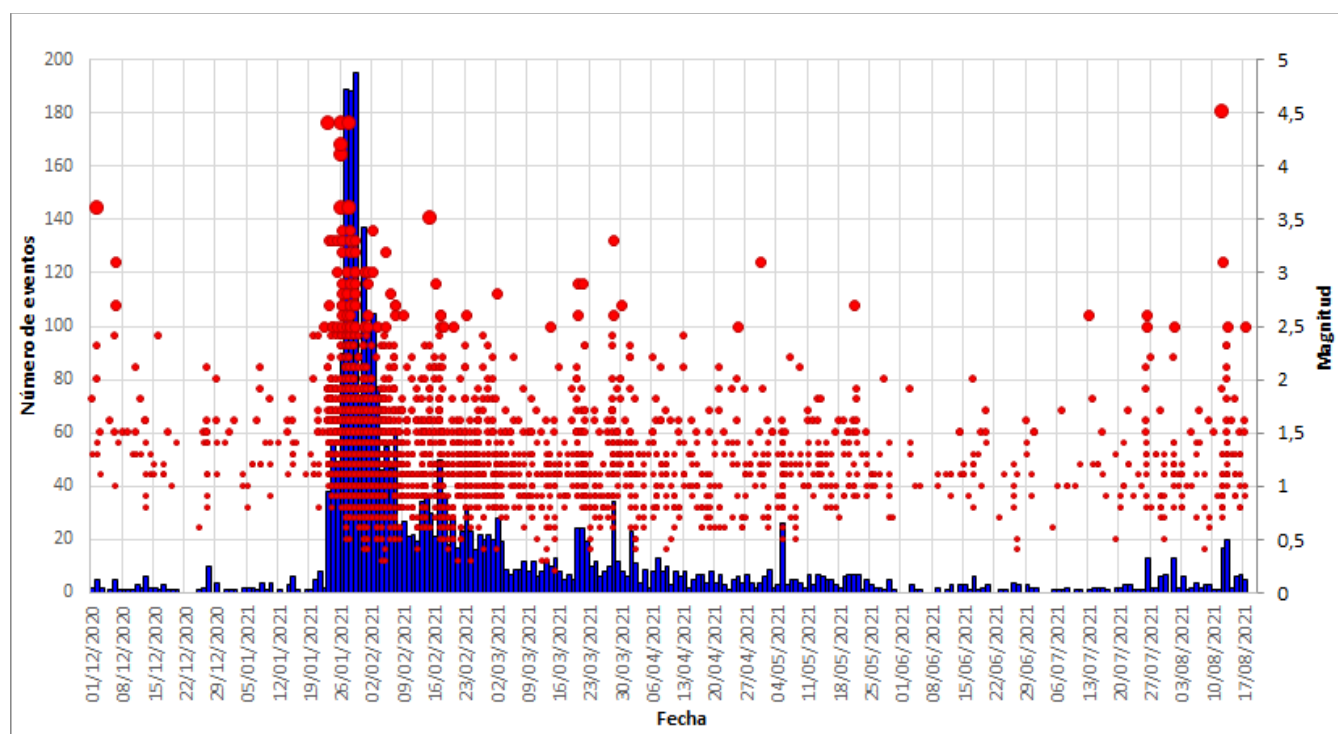


Figura 2. Número de terremotos por día y su magnitud.

En las *Tablas 2 y 3* se recogen los datos del número de terremotos¹ 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	2804	239	30	6

Tabla 3. Terremotos sentidos por intervalo de intensidad máxima

	II	II-III	III	III-IV	IV	IV-V	V	V-VI
Nº Sentidos	104	79	123	22	4	2	5	2

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

¹ Los intervalos de coordenadas utilizados para explotar el catálogo sísmico del IGN han sido 37.0174-37.4176 N en latitud y 3.9345-3.5345 W en longitud

produciendo los terremotos. Además, cuenta con los datos de estaciones de otras instituciones (*Figura 3*).

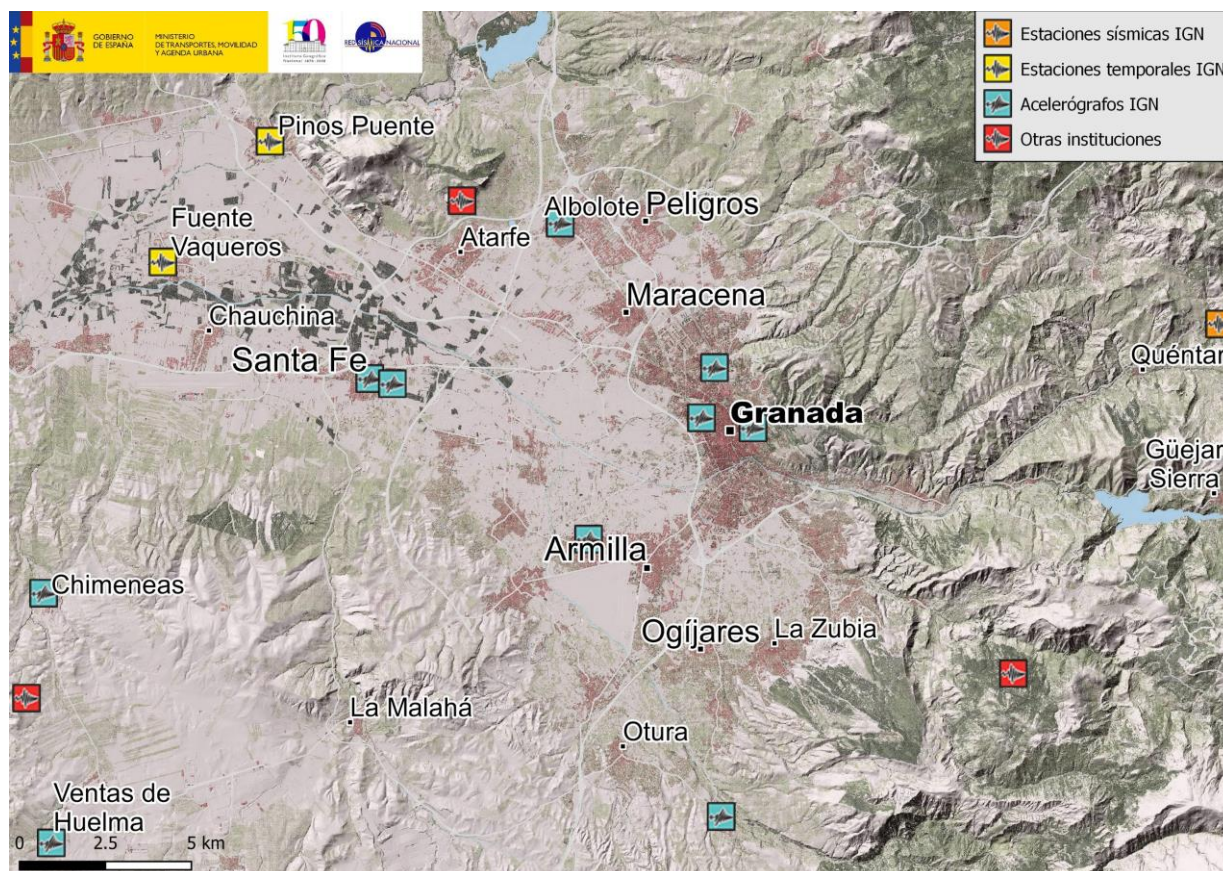


Figura 3. Estaciones sísmicas de velocidad y aceleración en el entorno de la zona epicentral.

La Red Sísmica ha instalado, además, dos estaciones portátiles temporales de velocidad y una de aceleración en las proximidades de la zona epicentral, lo que ha permitido 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.

Desde el terremoto de Mw 4,4 del 23/01/2021 hasta el momento, el IGN ha recibido algo más de 48000 cuestionarios a través de la página web y aplicación móvil del IGN. Como resultado de la recopilación y estudio de toda esta información se obtienen los mapas con la distribución de intensidades macrosísmicas EMS de cada terremoto en las localidades en que fueron percibidos. La descripción de la escala de intensidad macrosísmica europea (EMS-98) puede encontrarse en: <https://www.gfz-potsdam.de/en/section/seismic-hazard-and-risk-dynamics/data-products-services/ems-98-european-macroseismic-scale/>.

Los terremotos de magnitud Mw 4,4 del 23/01/2021 y del día 26/01/2021 fueron sentidos con una intensidad máxima de V-VI en Atarfe, indicando con ello que en la mayor parte de la localidad el movimiento del suelo fue de intensidad V y en una zona muy concreta fue VI. En la Figura 4 se muestran los valores de intensidad macrosísmica EMS en las localidades que percibieron dichos terremotos.

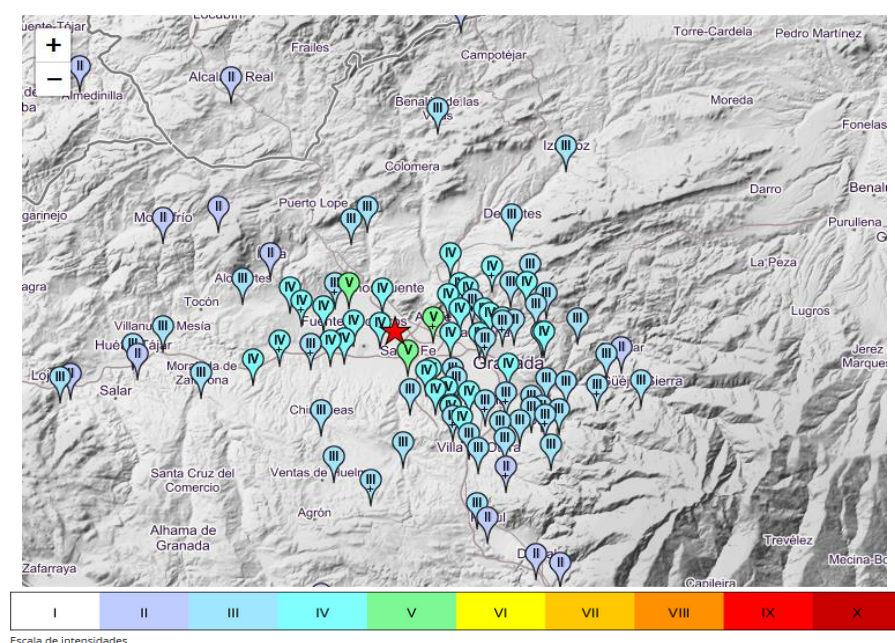


Figura 4a: Distribución de la Intensidad macrosísmica para las localidades que percibieron el terremoto de Mw 4,4 del 23/01/2021. Detalle de la zona epicentral.

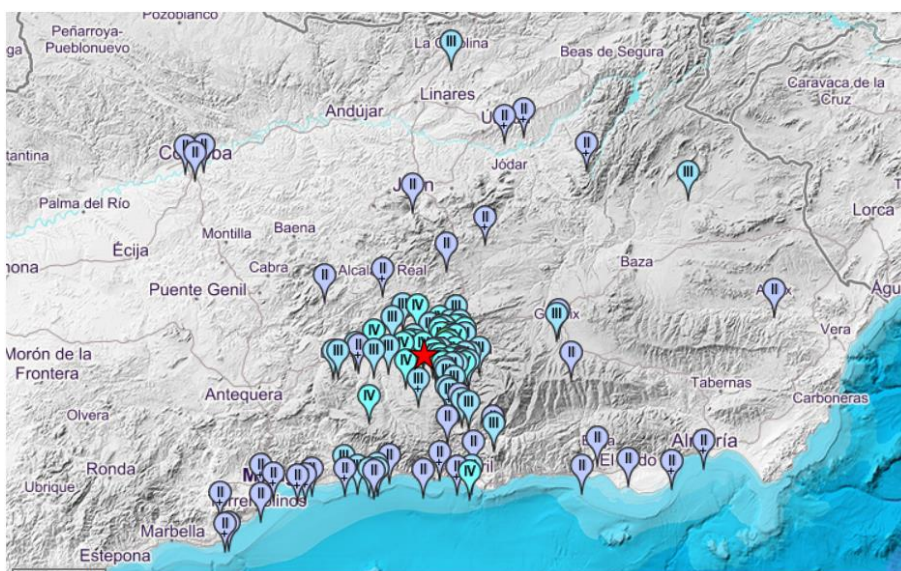


Figura 4b. Distribución de la Intensidad macrosísmica para las localidades que percibieron el terremoto de Mw 4,4 del 26/01/2021.

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 5). Los edificios con daños más generalizados (correspondientes a intensidad VI) se encuentran muy localizados en la zona del Instituto de Educación Secundaria Vega de Atarfe, antigua laguna (“Charca de la Rana”) posteriormente rellenada para su urbanización. Este hecho podría explicar que los daños sean mayores aquí que en el resto de Atarfe. Los mayores daños observados en Atarfe han sido la caída de falsos techos, caída de azulejos y fisuras en los encuentros entre el sistema estructural (pórticos de hormigón) y los cerramientos exteriores o las divisiones interiores. Además de los daños en los edificios, los efectos observados en otros elementos, como son la caída de objetos o la dificultad de algunas personas por mantener el equilibrio, son también coherentes con la intensidad V-VI.

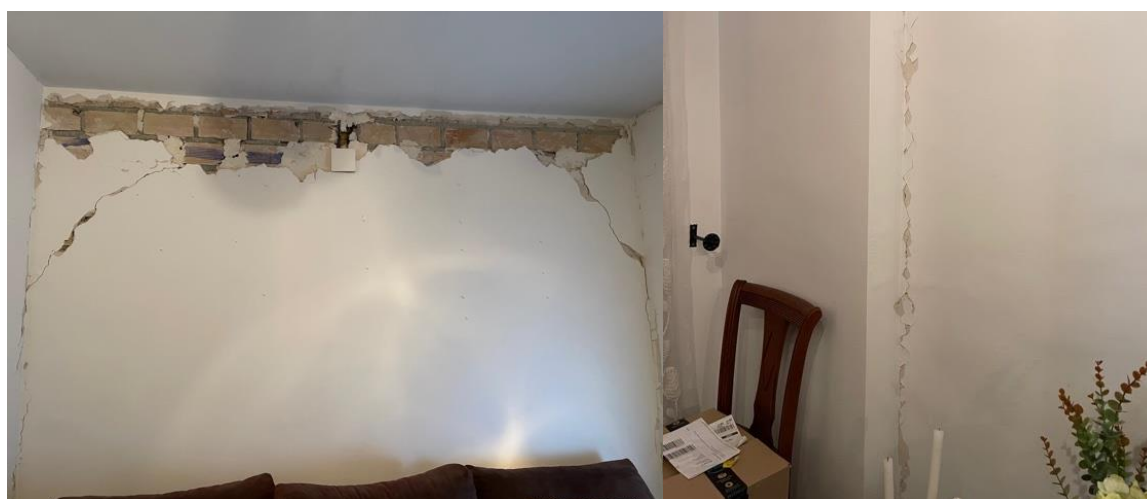


Figura 5. Daños observados en la población de Atarfe tras el terremoto de Mw 4,4 del 23/01/2021.

ACELERACIÓN

Los acelerómetros son instrumentos que registran la aceleración del movimiento del suelo producido por el terremoto. Estos instrumentos son especialmente adecuados para el registro del movimiento fuerte, esto es, en los casos en los que la estación sísmica está situada próxima a la fuente del terremoto y tiene una magnitud moderada o grande. Los valores de aceleración tienen un notable interés, tanto en la caracterización sismológica del terremoto, como en aspectos relacionados con la ingeniería como son la evaluación de los daños y del comportamiento de las estructuras, y también a posteriori en la elaboración de mapas de peligrosidad sísmica y determinación de parámetros de cálculo que habrán de considerarse en la normativa de construcción sismorresistente.

En el mapa de peligrosidad sísmica de España del IGN, realizado en 2012 y revisado en 2015 (http://www.ign.es/web/resources/sismologia/www/dir_images_terremotos/mapas_sismicidad/peligrosidadaceleracion.jpg), la aceleración sísmica máxima esperada, para un periodo de retorno de 475 años y en un suelo tipo roca, en la zona de Atarfe-Santa Fe está por encima de 0,23 g siendo este uno de los valores más altos de todo el país (ver Figura 6).

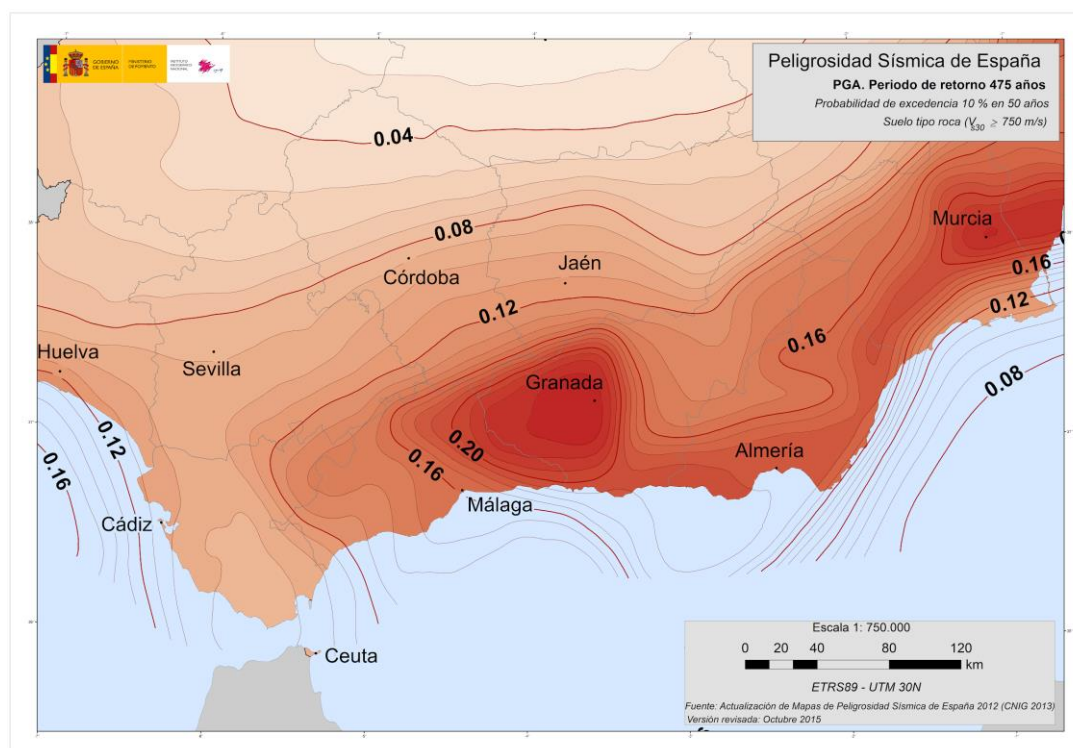


Figura 6. Mapa de peligrosidad sísmica de España; aceleración máxima del suelo para periodo de retorno de 475 años (IGN, 2015).

En esta serie sísmica, las mayores aceleraciones observadas han sido registradas en la estación de aceleración del IGN (EXSF2) situada en Santa Fe. En la tabla 4 se muestran las aceleraciones pico (PGA)

de las tres componentes direccionales registradas por este instrumento, en los terremotos de $M > 3$ en los que al menos una de estas componentes ha tenido un valor mayor que 35 mg (1 mg= 0,001 g). Se incluyen en la misma, magnitud, intensidad y distancia epicentral de cada uno de estos terremotos.

Cabe destacar las aceleraciones pico alcanzadas durante los terremotos de Mw 4,4, de los días 23, 26 y 28 de enero. En este caso, este acelerómetro, registró valores máximos de aceleración pico (PGA) de 0,151g, 0,165 g y 0,195 g, respectivamente, correspondientes en el primer caso a la componente vertical y en los otros 2 a las componentes E-W. Los acelerogramas (3 componentes) correspondientes a esta estación y a estos tres terremotos se muestran en la Figura 7.

Todos los datos de aceleración de los terremotos registrados por el IGN pueden encontrarse en el catálogo de acelerogramas: <https://www.ign.es/web/ign/portal/sis-catalogo-acelerogramas>.

Tabla 4. Aceleraciones máximas (PGA) registradas el acelerógrafo de Santa Fe para los terremotos de $M > 3$ con PGA máxima superior a 35 mg.

Fecha	Hora	Magnitud	Intensidad	Distancia epic.(km)	PGA(mg)		
					N-S	Vert.	E-W
23/01/2021	11:15:25	4.4	V-VI	3.9	147.3	150.8	112.2
23/01/2021	17:08:45	3.3	III-IV	2.7	39.1	26.9	36.3
24/01/2021	7:50:42	3.3	III-IV	2.6	49.6	38.1	43.2
26/01/2021	11:16:02	3.1	III-IV	0.7	54.1	27.0	48.6
26/01/2021	21:36:33	4.1	IV-V	2.9	64.3	93.7	77.2
26/01/2021	21:44:18	4.2	IV-V	2.3	77.1	83.2	135.0
26/01/2021	21:54:55	4.4	V-VI	2.6	88.6	126.8	164.9
26/01/2021	22:00:00	3.5	III	3.5	61.4	41.2	62.9
28/01/2021	12:29:18	3.4	III-IV	4.2	22.9	35.3	29.7
28/01/2021	18:06:28	3.6	III-IV	2.7	37.9	28.4	44.8
28/01/2021	18:49:49	4.4	V	3.4	145.9	145.4	194.7
28/01/2021	19:28:19	3.6	III-IV	3.7	28.8	22.9	35.1
28/01/2021	21:29:04	3.4	III-IV	1.5	25.9	31.0	44.7
29/01/2021	7:11:24	3.3	III-IV	2.8	34.1	43.7	36.7
29/01/2021	21:18:48	3.3	III-IV	2.1	43.6	43.4	53.5
12/08/2021	21:25:12	4.5	V	7.5	58.9	88.8	59.2

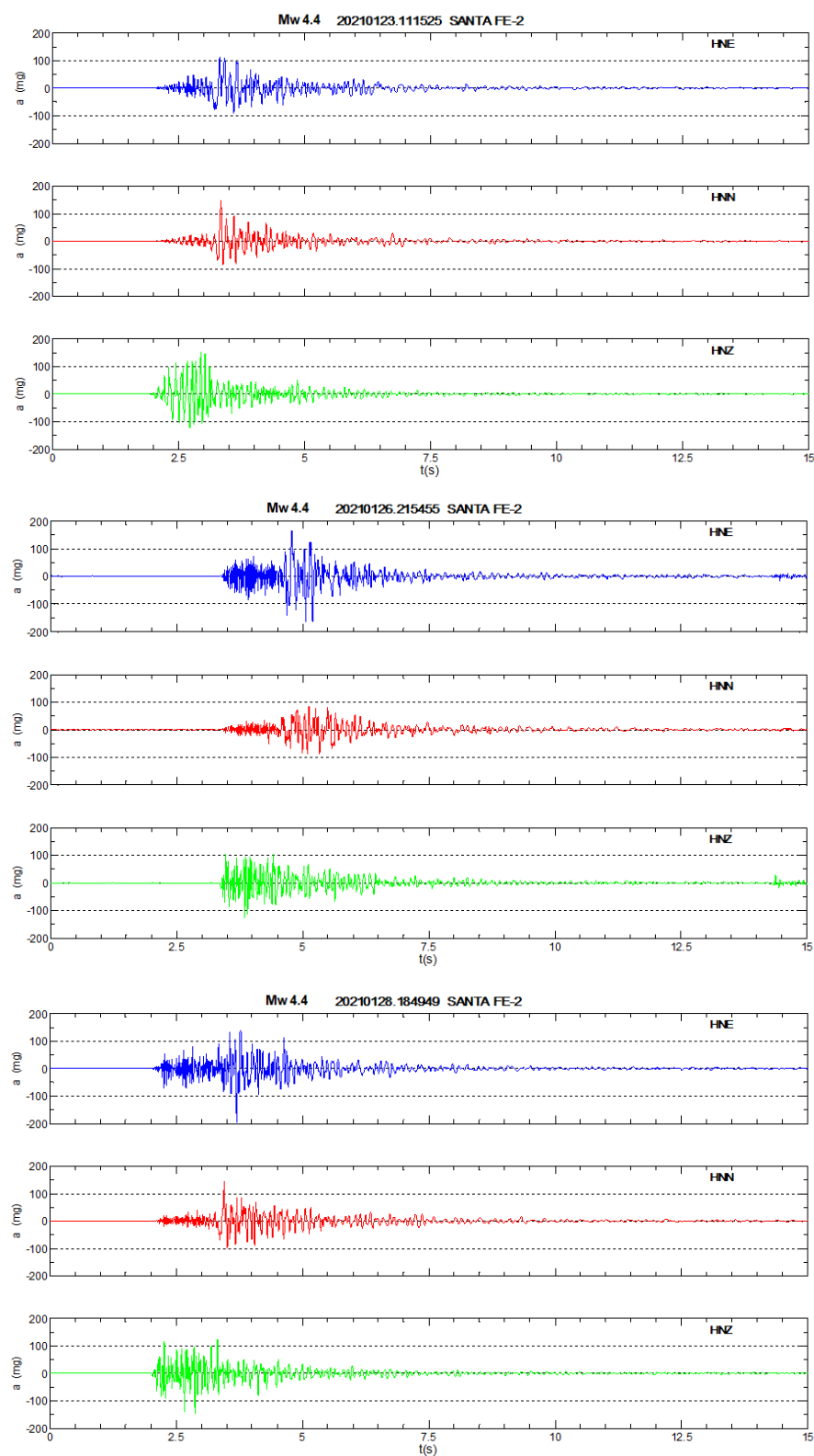


Figura 7. Acelerogramas registrados en Santa Fe los días 23, 26 y 28 de enero, M 4,4.

Tanto los datos mostrados en la tabla, como los acelerogramas de las figuras anteriores muestran la gran amplitud registrada en las componentes verticales, lo que parece ser debido a la cercanía y al tipo

de mecanismo predominante de falla normal de estos terremotos.

Para cada una de las componentes de los acelerogramas de la figura anterior se han obtenido también los espectros de respuesta elástica (amortiguamiento 5%) en aceleración (ver *Figura 8*). Los espectros de respuesta son otra forma de caracterizar el movimiento ocurrido durante el terremoto, permitiendo observar que periodos o frecuencias de oscilación han tenido una respuesta máxima más destacada.

Los espectros de la *Figura 8*, muestran en general unos periodos predominantes (donde se alcanzan los valores espectrales máximos) muy bajos, del orden de 0.05 a 0.12 segundos, (esto es, frecuencias altas, del orden 8 a 20 Hz).

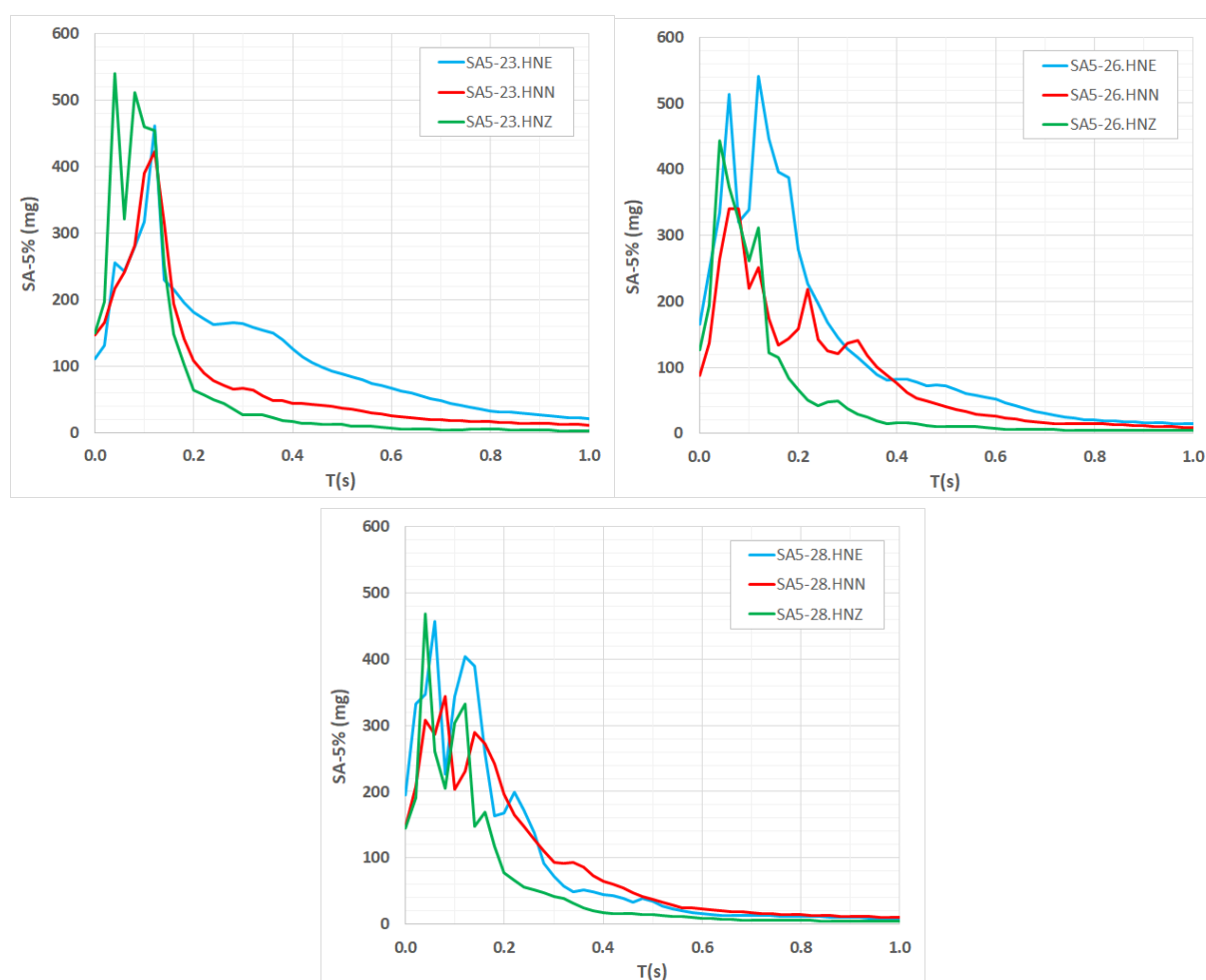


Figura 8. Espectros de respuesta elástica en aceleración (amort. 5%) correspondientes a los acelerogramas mostrados en la Figura 7.

SHAKEMAPS

Con los datos de intensidades macrosísmicas y los datos instrumentales registrados 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, resultado de la interpolación de todos esos datos, son denominados *shakemaps* o mapas de sacudida.

En las figuras siguientes se muestran, como representativos de esta serie sísmica, los *shakemaps* de intensidad, aceleración pico (PGA) y velocidad pico (PGV) para los terremotos de magnitud Mw 4,4 de los días 23 y 26 de enero. Éstos han sido realizados a partir de los datos sísmicos observados hasta el momento, los cuales incluyen valores de intensidad de los cuestionarios macrosísmicos recopilados y, valores registrados por las diversas estaciones sísmicas de aceleración y velocidad en la zona. Estos datos son además completados, en las zonas de *gap*, con datos teóricos estimados por modelos de movimiento utilizados para la región.

En la *Figura 9* se muestran los mapas obtenidos que representan la intensidad sísmica. Ambos mapas presentan un aspecto similar. Las intensidades máximas alcanzadas en la zona epicentral tienen valor V (y quizás algo mayor, V-VI, en algunos puntos de esta) donde los terremotos fueron sentidos de manera fuerte. Se observa también una amplia zona de intensidad IV, donde el terremoto ha sido sentido mayoritariamente y una extensa zona geográfica que indica hasta donde el terremoto ha podido ser sentido, aunque más débilmente (II-III) y por menor número de gente. En el mapa del terremoto del día 26 estas zonas parecen tener una extensión ligeramente mayor.

En la *Figura 10* (Arriba) se muestran los mapas obtenidos para la aceleración horizontal máxima (PGA), de los dos terremotos. En estas figuras puede verse que la PGA estimada en el área alrededor de la zona epicentral tiene valores promedio del orden del 5 % g (g aceleración de la gravedad) pero alcanza en el interior de esta zona valores mayores, como los registrados por el acelerógrafo de Santa Fe de aproximadamente 15 a 16 % g.

En la *Figura 10* (Abajo) se representan los *shakemaps* obtenidos para la velocidad horizontal máxima (PGV) del movimiento del suelo. En el caso de PGV los valores alrededor de la zona epicentral son del orden de 2 cm/s, alcanzando puntualmente en el interior de esta zona valores de 5 cm/s como ocurre en los registros obtenidos en Santa Fe.

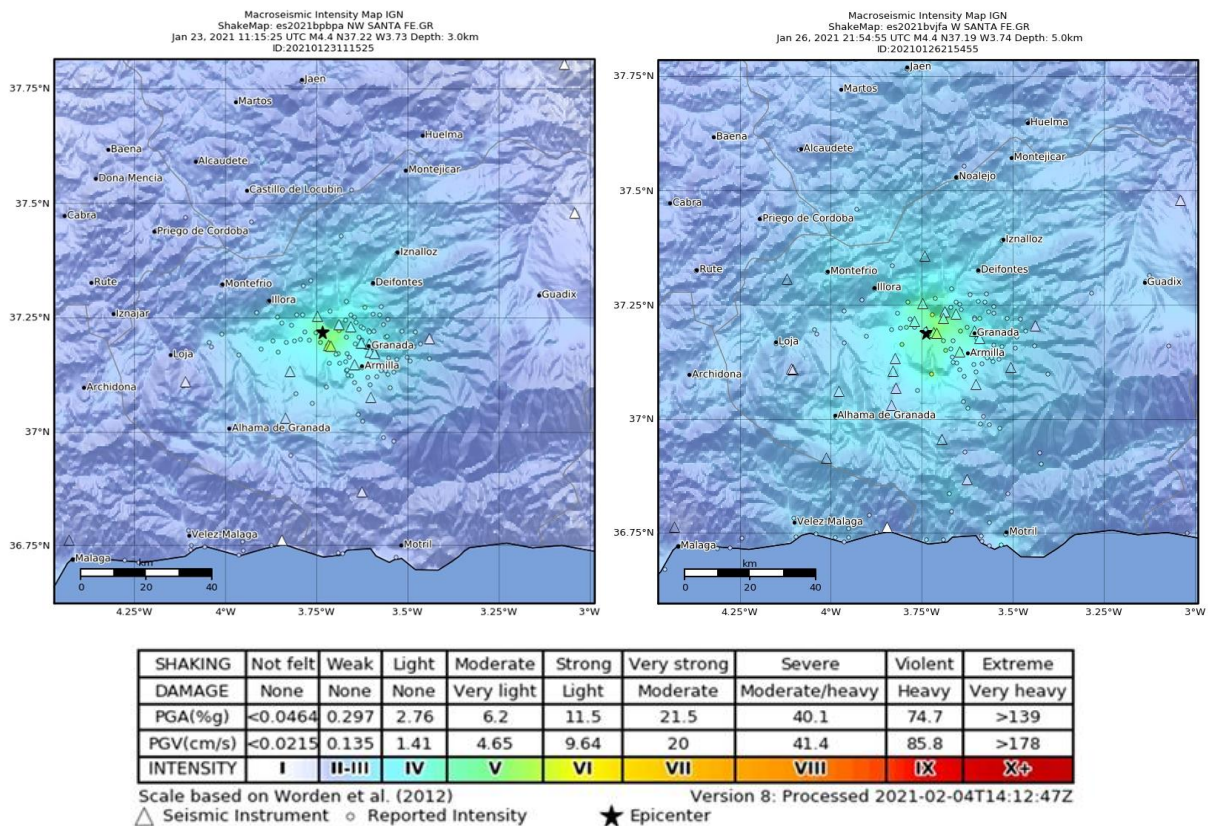
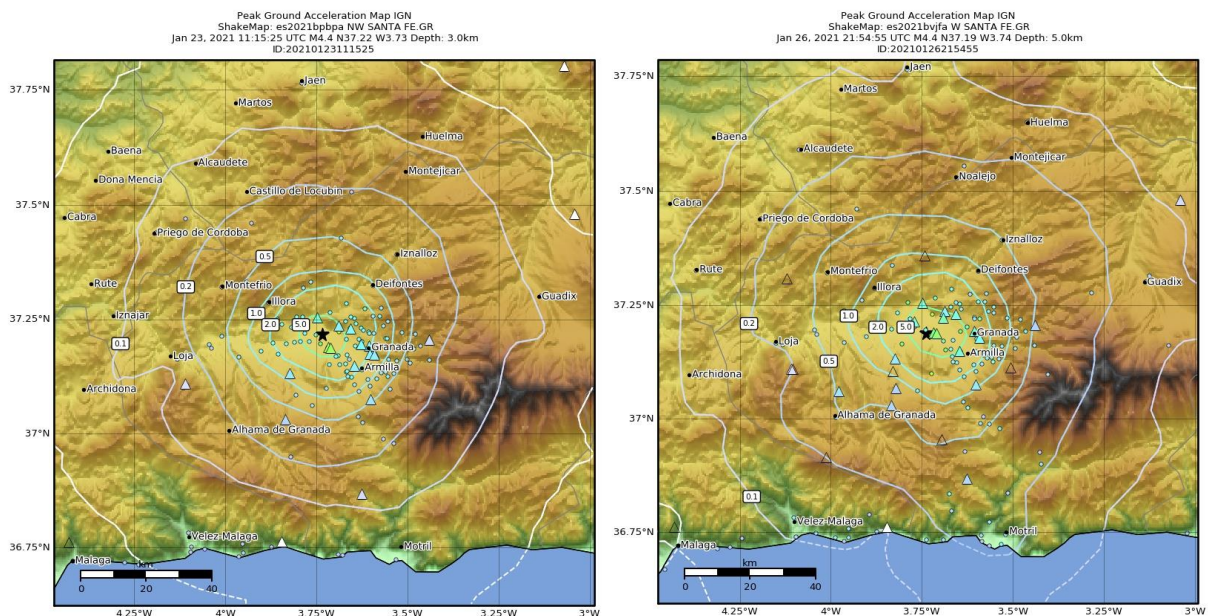


Figura 9. Shakemaps intensidad macrosísmica. Izquierda:Terremoto Mw 4,4 del 23/01/2021 11:25. Derecha: Terremoto Mw 4,4 del 26/01/2021 21:54. La leyenda inferior muestra las equivalencias utilizadas entre los parámetros usados para representar el movimiento del suelo.



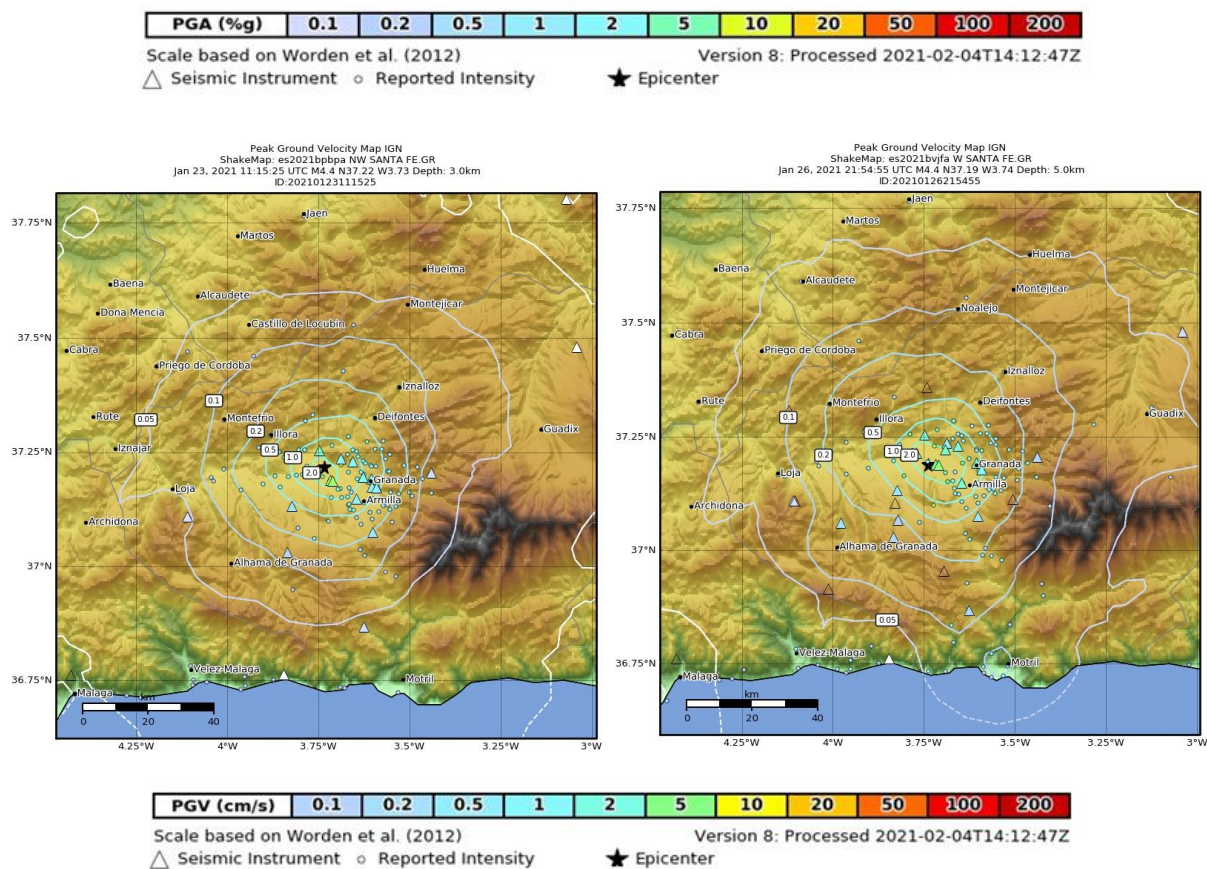


Figura 10. Shakemaps de PGA y PGV de los terremotos Mw 4,4 del 23 y 26 de enero. Arriba: mapas PGA (en %g). Abajo: mapas PGV (en cm/s). La leyenda inferior muestra equivalencias con la intensidad.

Sismicidad y sismotectónica de la zona

La sismicidad registrada se enmarca dentro de lo esperable en esta zona, ubicada en el sector central de 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 una velocidad de unos 4-5 mm/año. 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, ocasionalmente, terremotos a profundidades de más de 600 km con epicentro en la provincia de Granada cuyo origen está posiblemente relacionado con la historia tectónica del arco de Gibraltar, sobre la cual no existe un acuerdo unánime.

En la provincia de Granada han ocurrido importantes terremotos a lo largo de la historia, siendo la cuenca de Granada la más activa sísmicamente (Figura 11a). El más antiguo del que se tiene constancia ocurrió en 1431 al sur de Granada que 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. También destacan los terremotos de 1531 en la cuenca de Baza

con intensidad VIII-IX y el de 1804 en la cuenca de Dalías con intensidad VIII-IX, que produjo gran destrucción en Dalías, Berja y Roquetas y 407 víctimas.

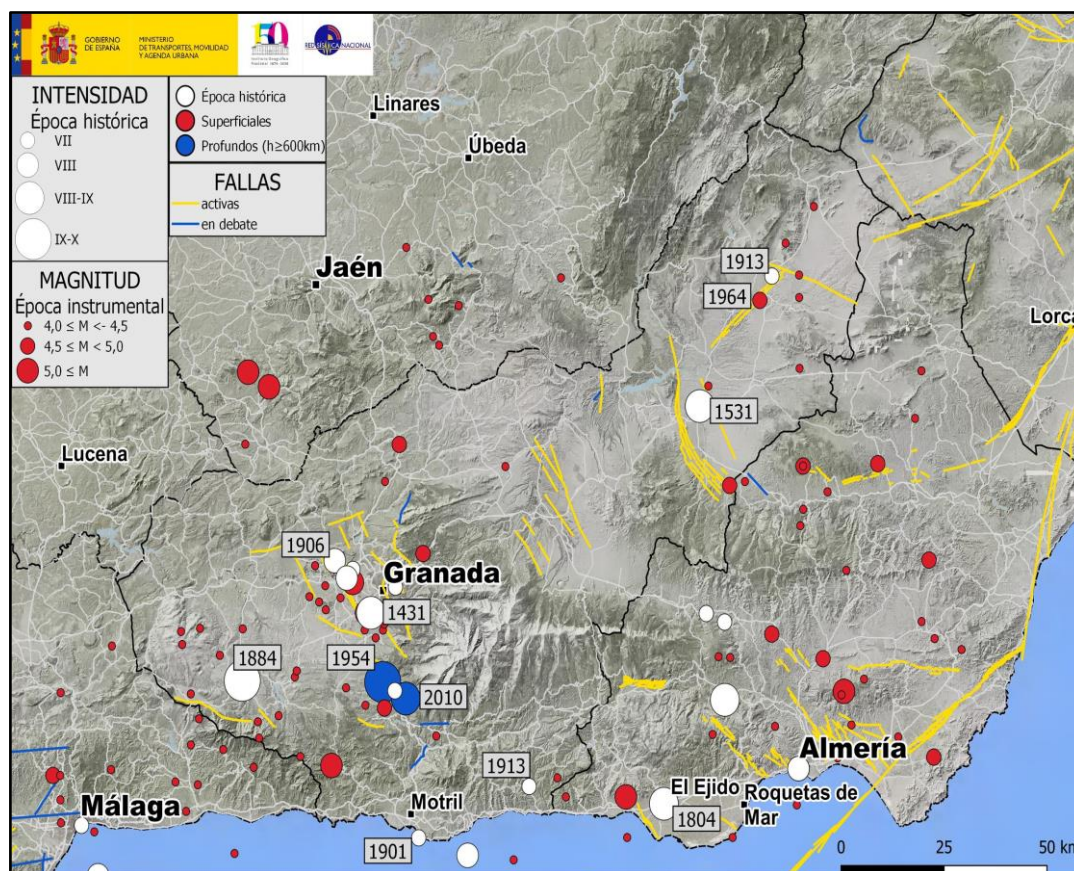


Figura 11a. Sismicidad histórica e instrumental más significativa de la provincia de Granada. (Principales fallas activas durante el Cuaternario extraídas de la base de datos QAFI; [García-Mayordomo et al., 2015](#); [IGME, 2015](#)).

En el entorno de los actuales epicentros, enmarcados dentro de la cuenca de Granada, 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 Fe, y con intensidad máxima de VII el terremoto de 1918 en Atarfe (Figura 11b). Más recientemente, ya en época instrumental, los mayores terremotos superficiales han sido de magnitud 5,1 en 1955 en Armilla con intensidad VI-VII y de magnitud 5,0 en 1956 en Purchil con intensidad máxima VII-VIII. En las últimas décadas, se han producido varios terremotos de magnitud en torno a 4,0 en la zona epicentral de la actual serie, como los terremotos de Atarfe y Santa Fe de 1986 y 1996 ambos sentidos con intensidad máxima de V o el terremoto de Chauchina de 2018 de intensidad IV. 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, los cuales debido a su profundidad (superior a 600 km) no produjeron daños.

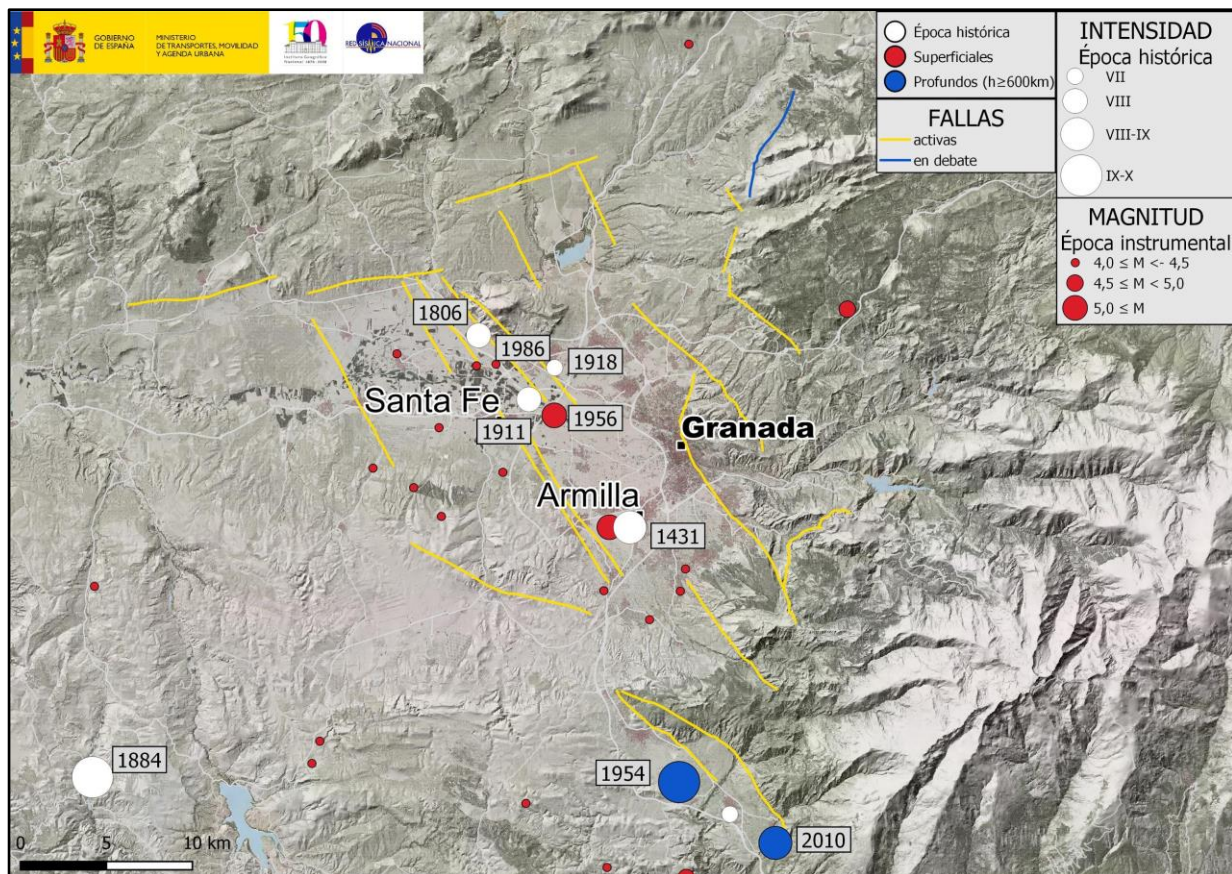


Figura 11b. Sismicidad histórica e instrumental más significativa de la zona epicentral, en la cuenca de Granada. (Principales fallas activas durante el Cuaternario extraídas de la base de datos QAFI ([García-Mayordomo et al., 2015](#); [IGME, 2015](#))).

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 azimuth 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 Fe, todas ellas de longitud en torno a unos 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. Los datos de los mecanismos focales de terremotos calculados en el IGN pueden consultarse en: <https://www.ign.es/web/ign/portal/tensor-momento-sismico>.

Hasta el momento el IGN ha calculado el mecanismo focal de la mayoría de los terremotos de magnitud superior a 4 (ver Figura 12), cuyos parámetros se recogen en la Tabla 5. En todos los casos, 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 5. Mecanismos focales de la serie de Atarfe-Santa Fe

Fecha	Pano nodal 1 (strike, dip, slip)	Plano nodal 2 (strike, dip, slip)	Mo (dyn·cm)	Mw	Prof. centroide (km)	Porcentaje Doble Par	Ajuste
23/01/2021 11:15:25	(342, 59, -75)	(135, 34, -113)	3,72E+22	4,4	3	91 %	0,28
26/01/2021 21:54:54	(329, 53, -63)	(109, 45, -121)	5,14E+22	4,4	5	98 %	0.19
28/01/2021 18:49:48	(325, 50, -75)	(123, 42, -107)	4,68E+22	4,4	5	98 %	0.21
26/01/2021 21:44:19	(324, 51, -67)	(110, 45, -116)	2,04E+22	4,2	5	84 %	0.20
26/01/2021 21:36:32	(318, 49, -77)	(119, 43, -105)	1,64E+22	4,1	5	93 %	0.29

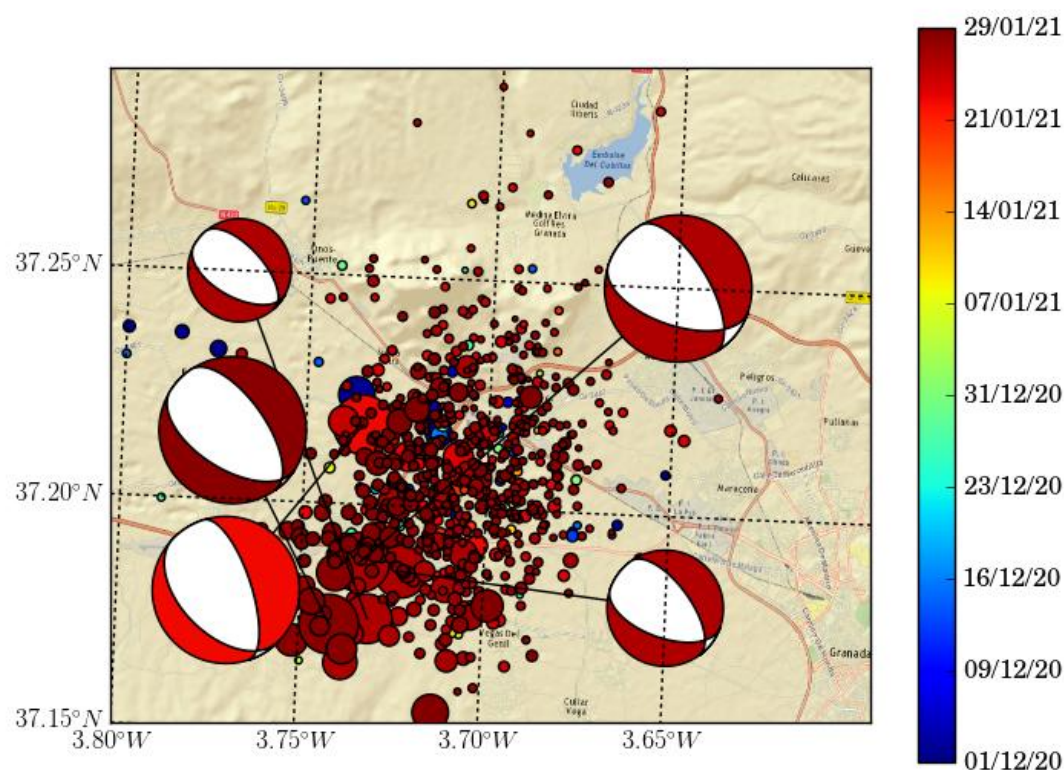


Figura 12. Mecanismos focales calculados de los terremotos de magnitud superior a 4. En el mapa se muestra la sismicidad localizada en la zona epicentral de los últimos 30 días. (Principales fallas activas durante el Cuaternario extraídas de la base de datos QAFI ([García-Mayordomo et al., 2015](#); [IGME, 2015](#)).