

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

(versión actualizada a 27/01/2021 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 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 cuatro 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, y tres el día 26, el mayor de magnitud 4,5 localizado al oeste de Santa Fe con intensidad máxima también de V-VI y los otros dos de magnitud 4,2 al suroeste de Santa Fe sentidos con intensidades máximas de IV-V. 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. Hasta el momento de realización de este informe se han localizado 310 terremotos desde el día 23 de enero de 8 de ellos de magnitud superior a 3.

Desde el día 1 de diciembre de 2020, hasta la fecha de actualización de este informe, se han calculado un total de 416 terremotos en la zona, de los cuales 14 son de magnitud mayor o igual que 3,0 (ver Tabla 1) y 55 han sido sentidos por la población.

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

Magnitud	Fecha (Hora UTC)	Intensidad Máxima
4,5	26/01/2021 21:54:55	V-VI
4,4*	23/01/2021 11:15:25	V-VI
4,2	26/01/2021 21:36:33	IV-V
4,2	26/01/2021 21:44:19	IV-V
3,7	26/01/2021 21:55:21	
3,6	02/12/2020 23:09:09	IV-V
3,5	26/01/2021 22:00:00	IV
3,3	23/01/2021 17:08:45	III-IV

3,3	24/01/2021 07:50:42	III-IV
3,3	25/01/2021 09:09:42	III
3,2	26/01/2021 21:57:50	II-III
3,1	25/01/2021 20:18:26	III-IV
3,1	26/01/2021 11:16:02	III
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 desde el 1 de diciembre de 2020.

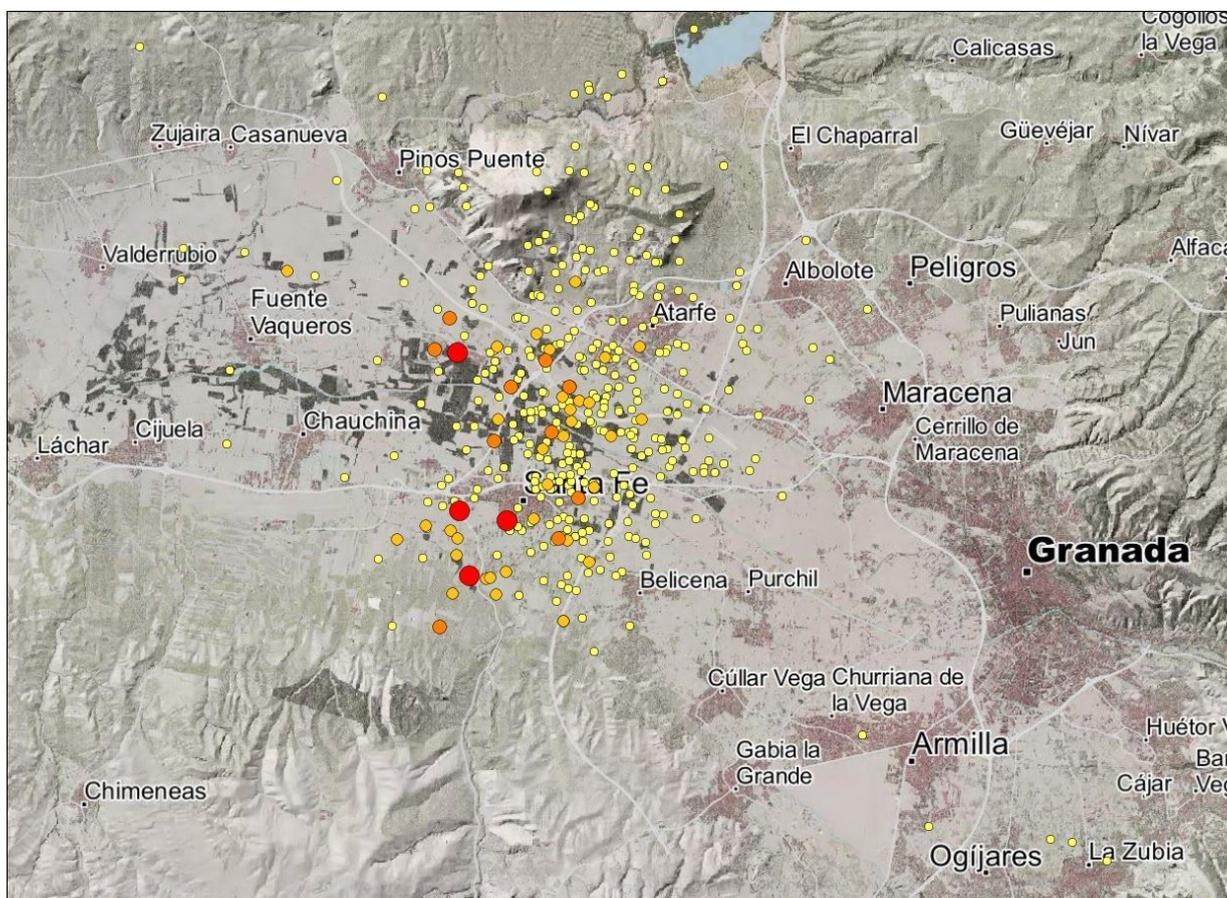


Figura 1. Mapa de sismicidad de la zona epicentral desde el 1 de diciembre de 2020.

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.

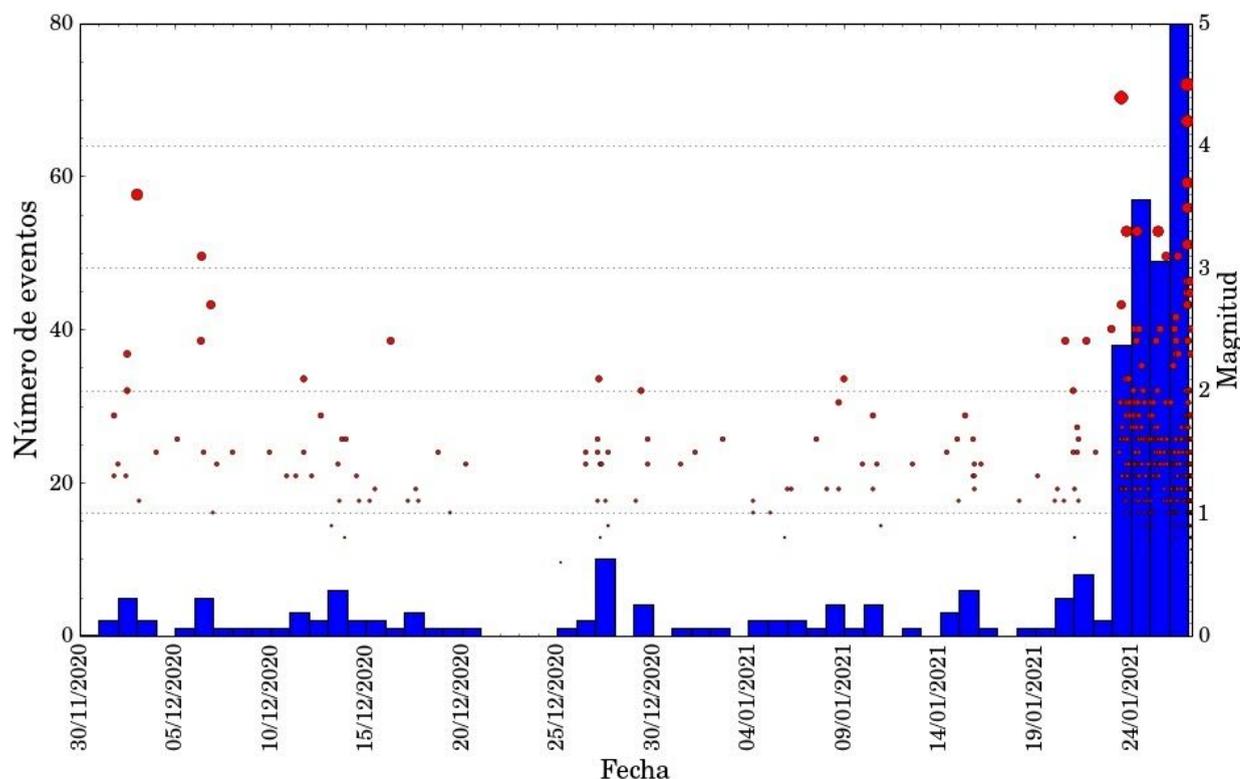


Figura 2. Número de terremotos por día y su magnitud.

En las Tablas 2 y 3 se recogen los datos del número de 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

	$M < 2$	$2 \leq M < 3$	$3 \leq M < 4$	$M \geq 4$
Nº Terremotos	358	44	10	4

Tabla 3. Terremotos sentidos por intervalo de intensidad

	II	II-III	III	III-IV	IV	IV-V	V	V-VI
Nº Sentidos	14	5	23	4	2	3	0	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 produciendo los terremotos. Además, cuenta con los datos de estaciones de otras instituciones (Figura 3).

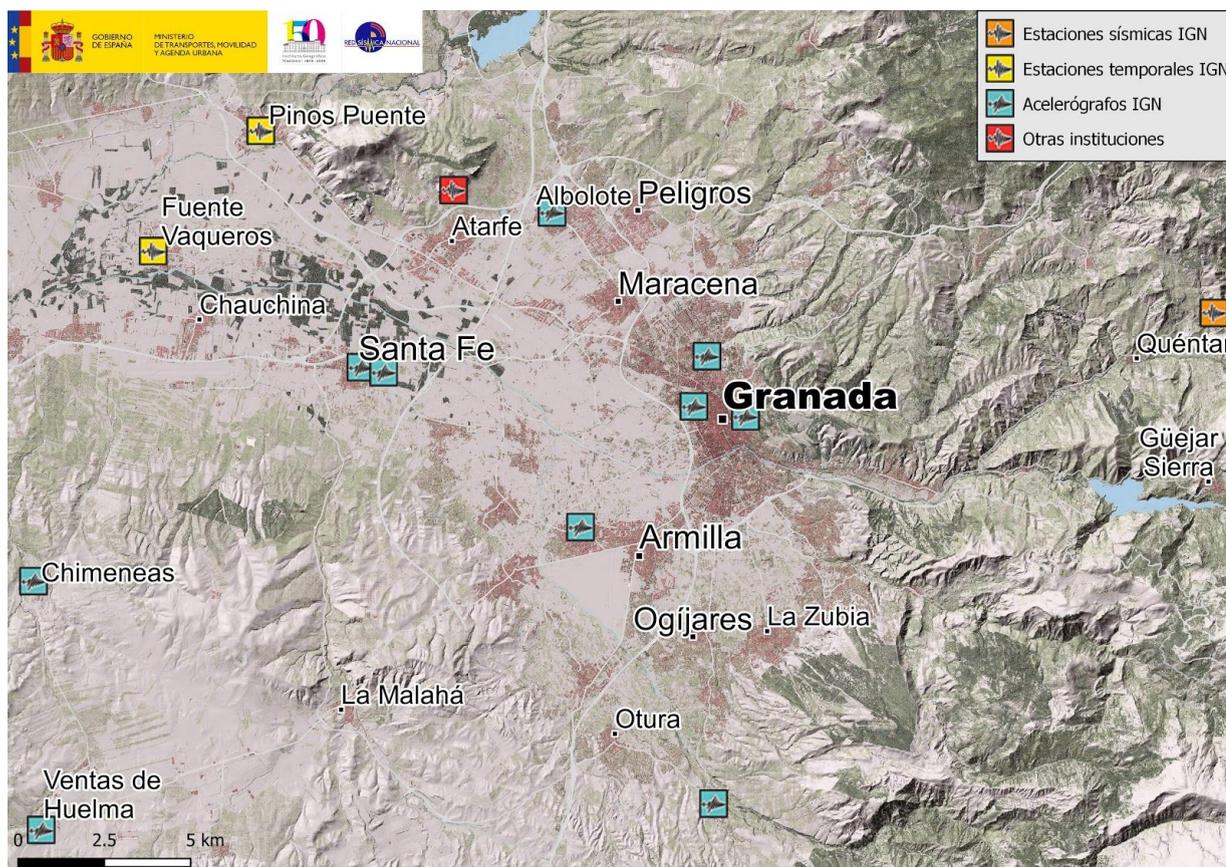


Figura 3. Estaciones sísmicas de velocidad y aceleración en el entorno de la zona epicentral.

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 permitirá 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 de magnitud Mw 4,4 del 23/01/2021 ha sido sentido 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. El IGN ha recibido alrededor de 12000 cuestionarios a través de la página web y aplicación móvil del IGN desde entonces. Como resultado de la recopilación y estudio de toda esta información se han obtenido los valores de intensidad macrosísmica EMS que aparecen en los mapas de la Figura 4.

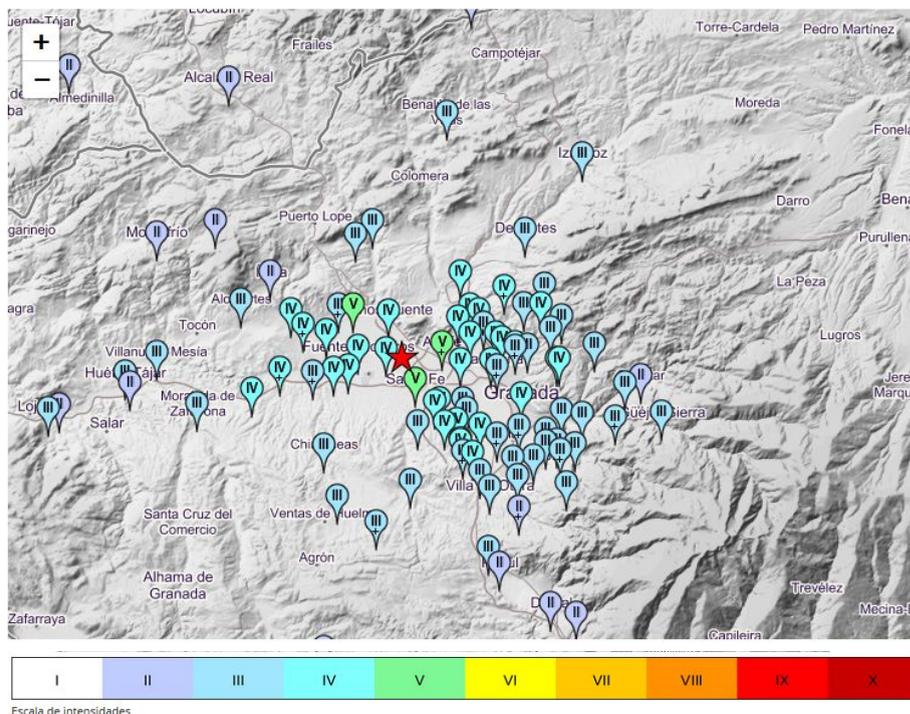


Figura 4a: Distribución de la Intensidad macrosísmica para las localidades que percibieron el terremoto de Mw 4,4 del 23/01/2021. Detalle de la zona epicentral.

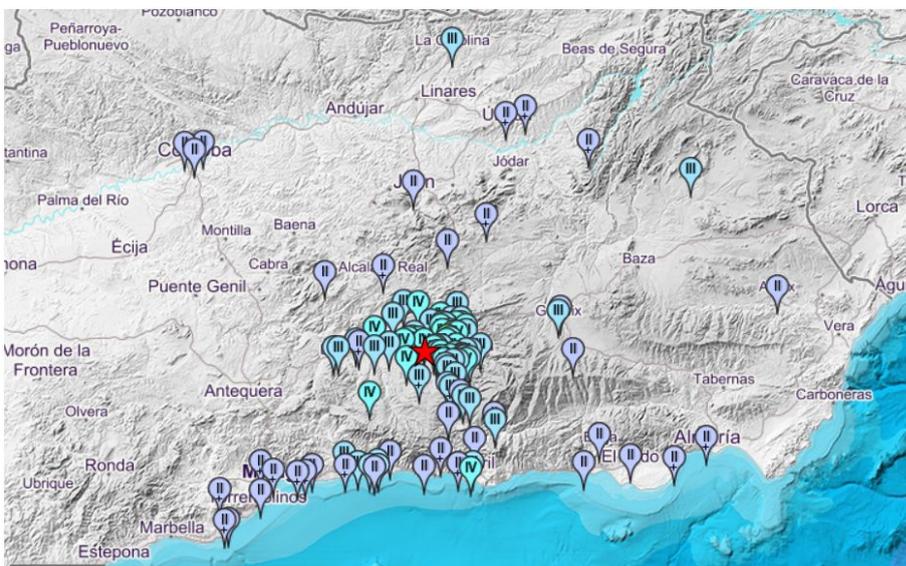


Figura 4b. Distribución de la Intensidad macrosísmica para las localidades que percibieron el terremoto de M 4,5 del 26/01/2021.

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 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 o 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), la aceleración sísmica máxima, para un periodo de 475 años y en suelo tipo roca, en la zona de Atarfe-Santa Fe es de 0,23g (tal y como se muestra en la Figura 6), siendo este uno de los valores más altos de todo el país.

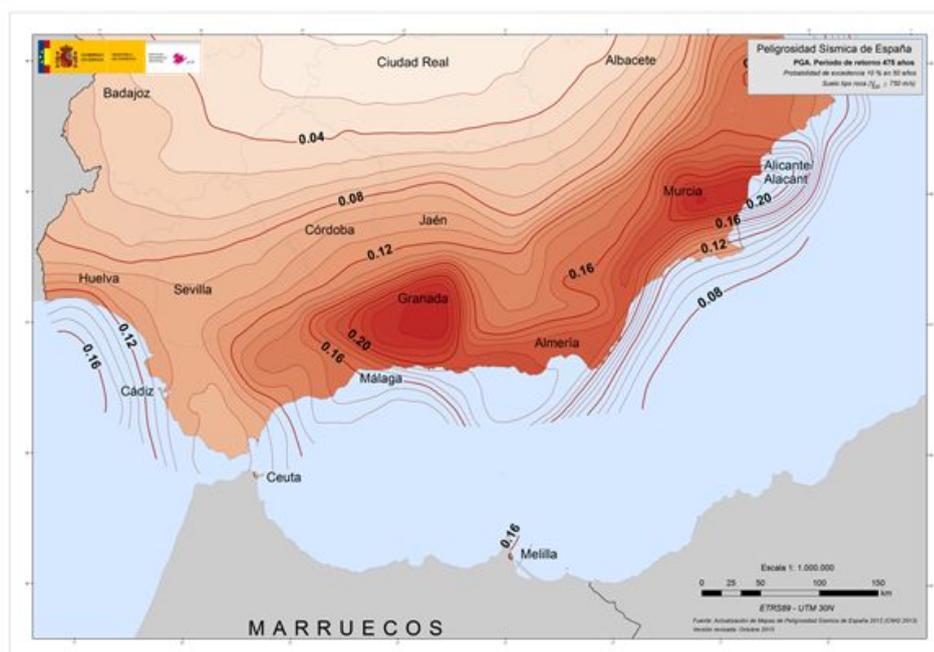


Figura 6. Mapa de peligrosidad sísmica de España, de la región sur peninsular, para periodo de retorno de 475 años (IGN, 2015).

El terremoto de Mw 4,4 del día 23 de enero ha sido registrado en el acelerógrafo de Santa Fe, situado a unos 4 km del epicentro, con una aceleración máxima de 0,153 g, cuyo registro se muestra en la Figura 7. Los valores de aceleraciones máximas del suelo registradas en el acelerógrafo de Santa Fe correspondientes a los principales terremotos de esta serie se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Aceleraciones máximas (PGA) registradas en el acelerógrafo de Santa Fe para los terremotos de magnitud superior a 3.

Fecha	Hora (UTM)	Magnitud	Intensidad	PGA máxima (mg)	Distancia epicentral (km)
23/01/2021	11:15:25	4.4	V	150.78	3.9
26/01/2021	21:36:33	4.2	IV-V	95.6	2.4
26/01/2021	21:44:19	4.2	IV-V	137.6	1.1
26/01/2021	21:55:21	3.7	IV		2.0
26/01/2021	22:00:00	3.5	IV	64.1	3.5
23/01/2021	17:08:45	3.3	III-IV	39.07	2.7
24/01/2021	7:50:42	3.3	III-IV	49.61	2.6
25/01/2021	9:09:42	3.3	III	12.85	4.2
26/01/2021	21:57:50	3.2	II-III	22.88	0.5
25/01/2021	20:18:26	3.1	III-IV	28.26	1.6

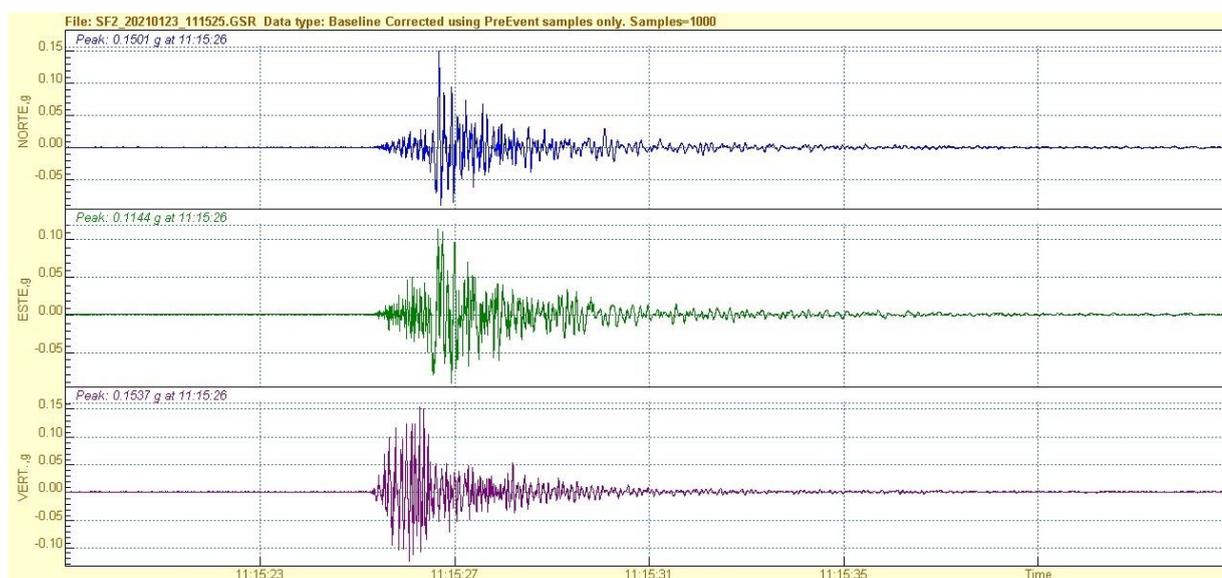


Figura 7. Acelerograma correspondiente al terremoto de Mw4,4 23/01/2021 en el acelerógrafo de Santa Fe.

SHAKEMAPS

Con los datos de intensidades macrosísmicas y los datos instrumentales de los sismógrafos y acelerógrafos 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 de magnitud Mw4,4 del 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 8 se muestra el mapa obtenido para la intensidad. La intensidad máxima dada en este mapa para la zona epicentral es V, observándose 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 la Figura 9 se muestran los mapas obtenidos para la aceleración horizontal máxima (PGA) y para la velocidad horizontal máxima (PGV) del movimiento del suelo. En estas figuras puede verse que la PGA estimada en el área alrededor de la zona epicentral tiene valores del orden del 5 % g (g aceleración de la gravedad) pero alcanza en el interior de esta zona valores mayores, como el registrado por el acelerógrafo de Santa Fe de aproximadamente 15% g. 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 en el registro obtenido en Santa Fe.

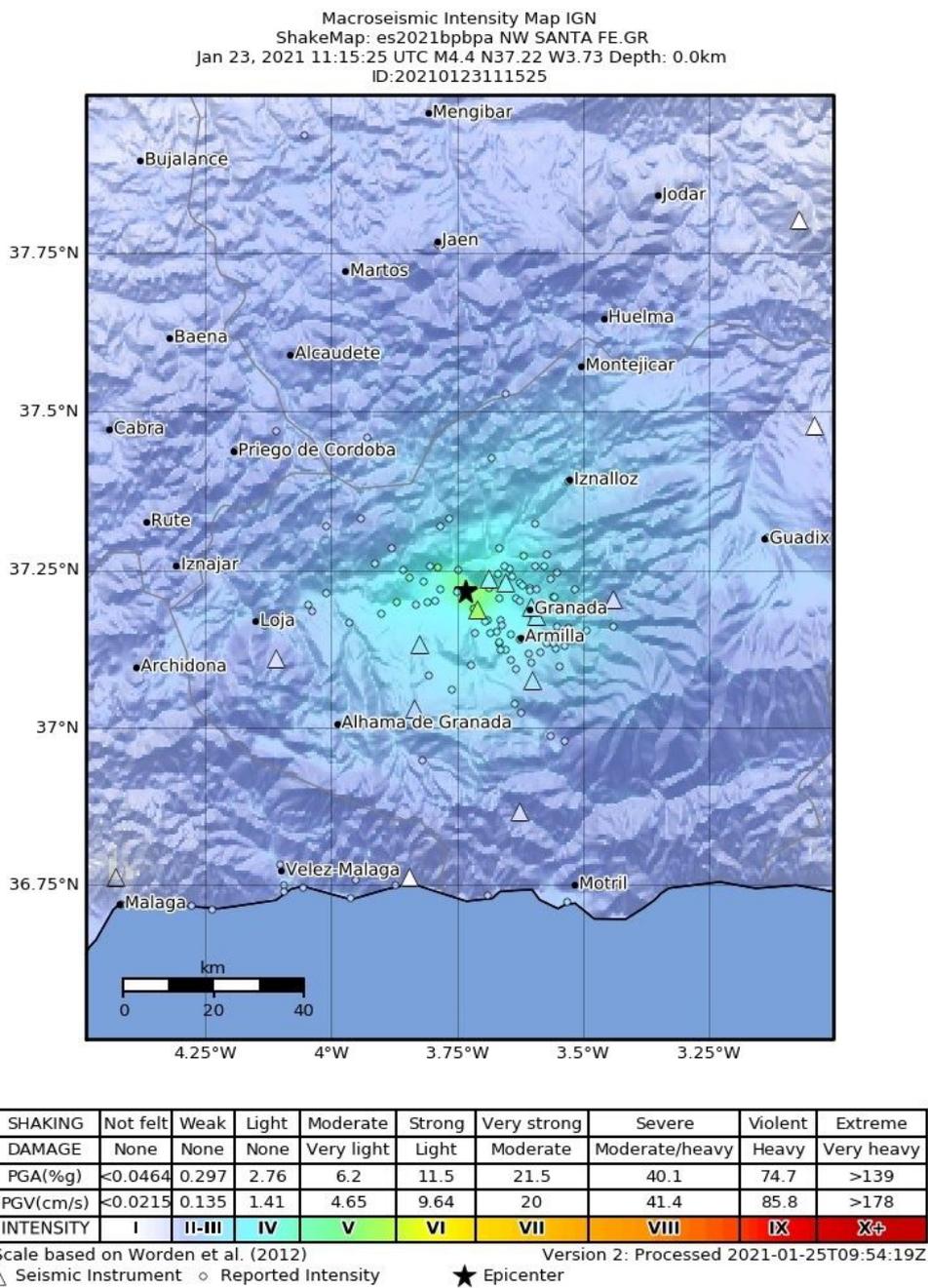


Figura 8. Shakemap intensidad macrosísmica. La leyenda inferior muestra también la equivalencia aproximada entre los parámetros usados para representar el movimiento del suelo.

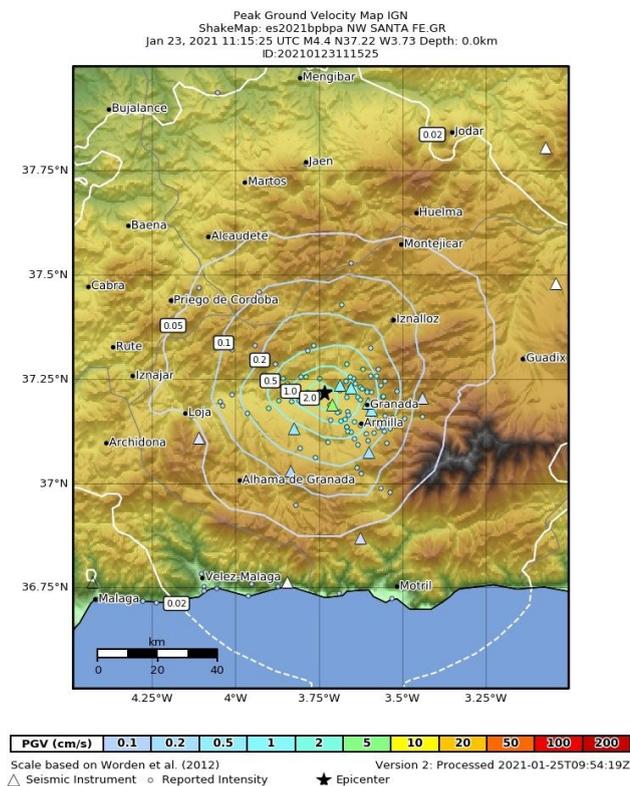
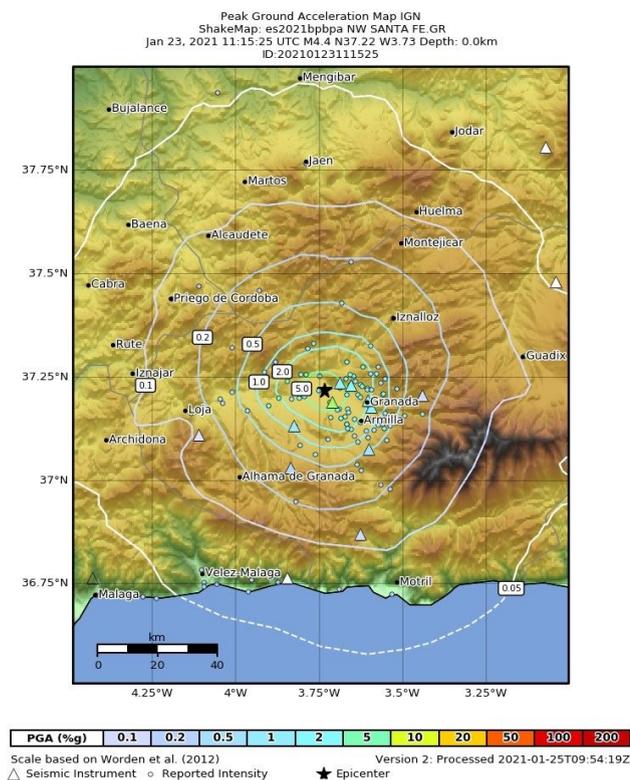


Figura 9. Arriba: Shakemap aceleración máxima (%g). Abajo: Shakemap velocidad máxima (cm/s).

Sismicidad y sismotectónica de la zona

La sismicidad registrada es habitual en esta zona, que se enmarca dentro del 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 10a). 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.

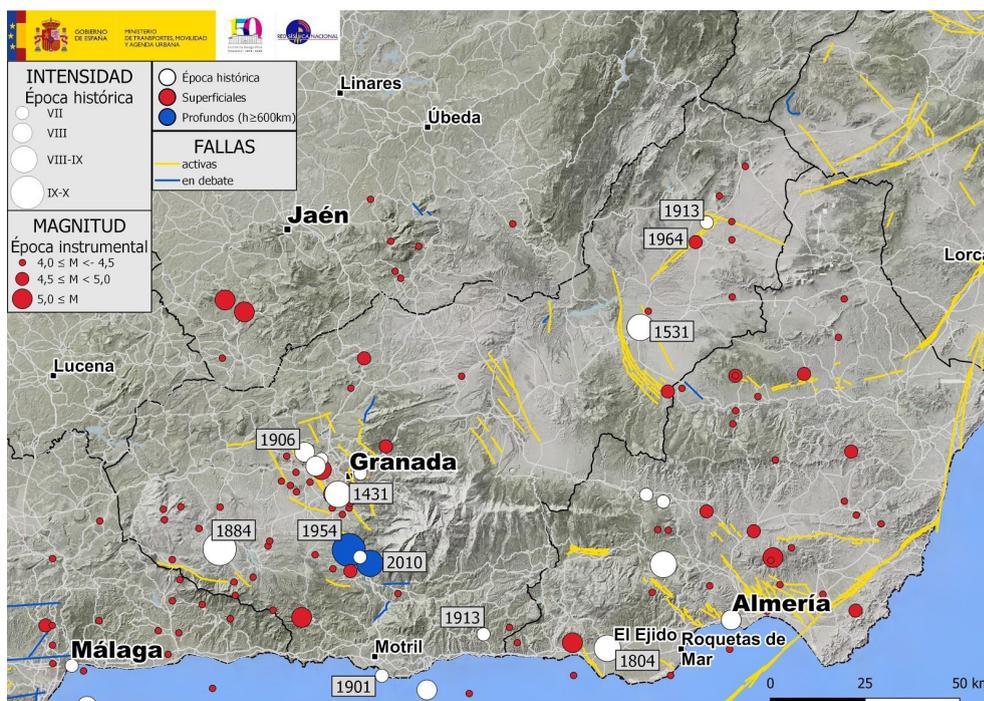


Figura 10a. Sismicidad histórica e instrumental más significativa de la provincia de Granada. (Principales fallas activas durante el Cuaternario extraídas de la base de datos QAFI; [García-Mayordomo et al., 2015](#); [IGME, 2015](#)).

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 10b). 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.

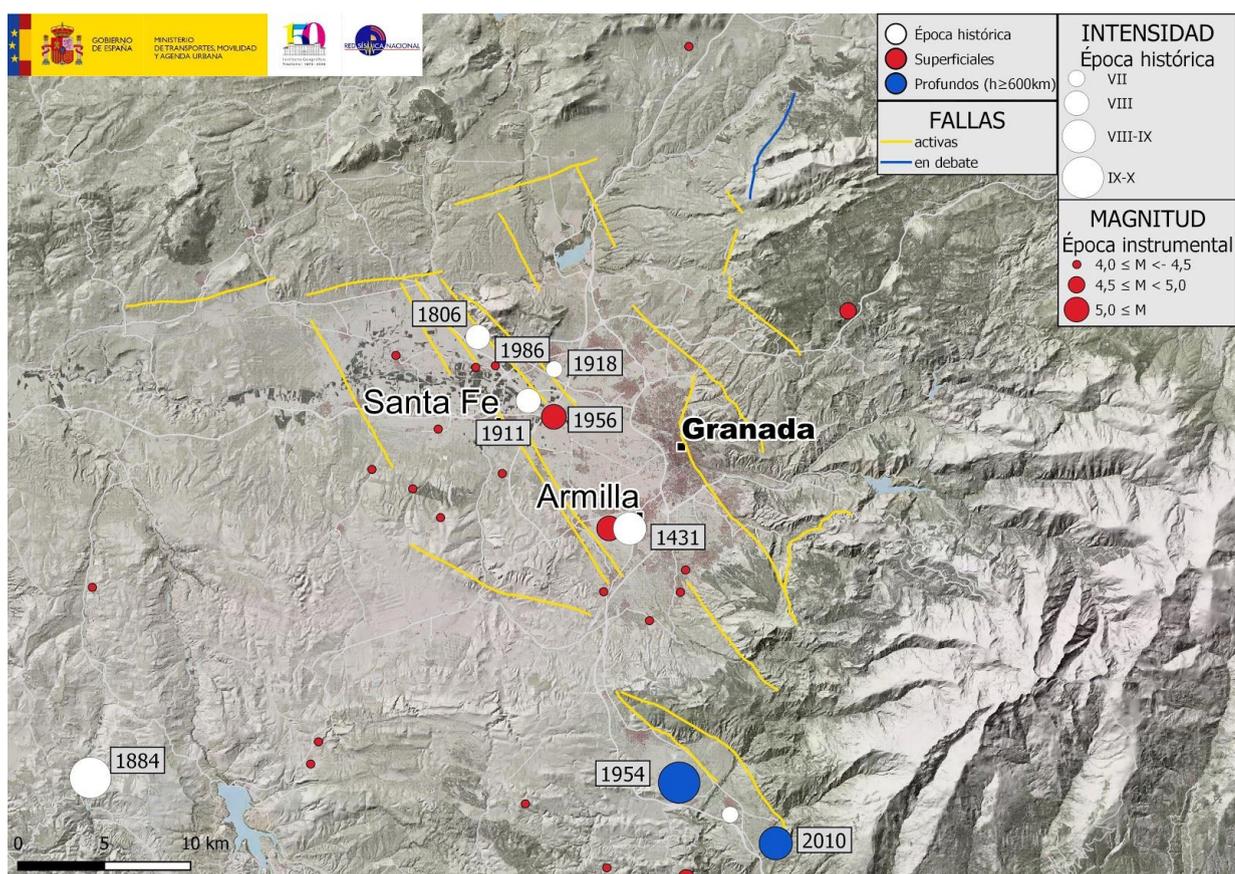


Figura 10b. Sismicidad histórica e instrumental más significativa de la zona epicentral, en la cuenca de Granada. (Principales fallas activas durante el Cuaternario extraídas de la base de datos QAFI (García-Mayordomo et al., 2015; IGME, 2015)).

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 azimut 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.

Hasta el momento el IGN ha calculado el mecanismo focal del terremoto de magnitud $M_w=4,4$ 23/01/2021 (ver Figura 11), cuyos parámetros se recogen en la Tabla 5. 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)	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

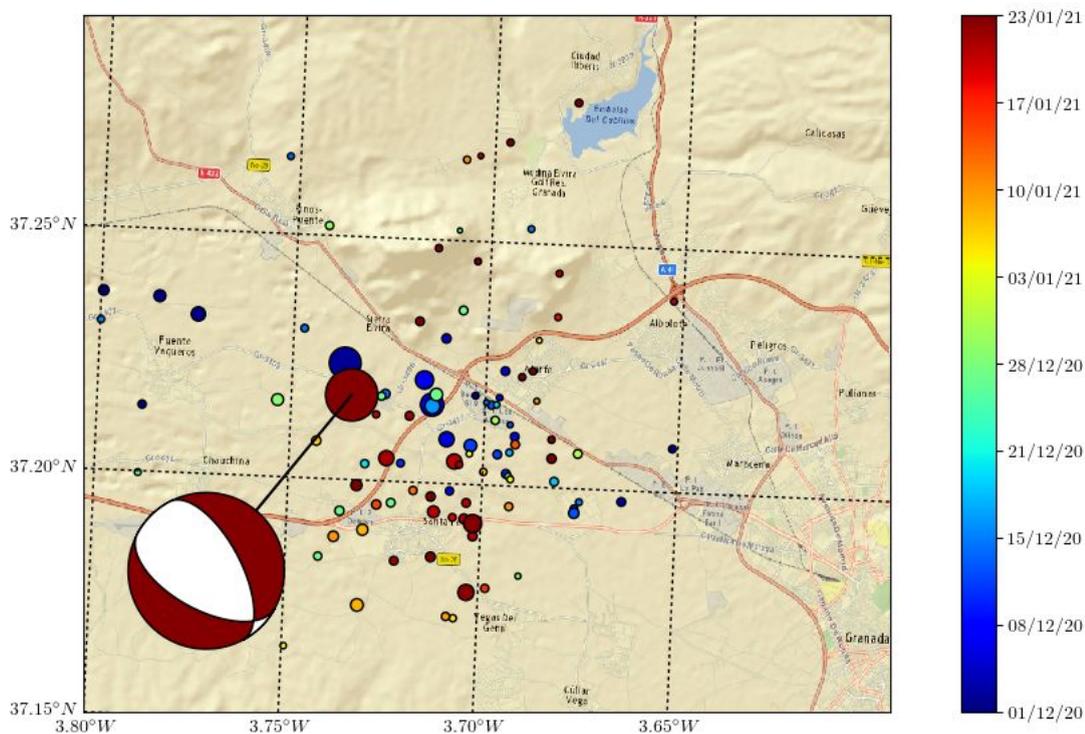


Figura 11. Mecanismo focal calculado del terremoto principal de Mw 4,4 del 23/01/2021. En el mapa se muestra la sismicidad localizada en la zona epicentral desde el 1 de diciembre de 2020.