



## Informe de la actividad sísmica en el sur del Mar de Alborán

(versión actualizada a 10/11/2022 a las 10:00h UTC)

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

Desde principios de abril de 2021, se está registrando un aumento de la actividad sísmica al sur del Mar de Alborán, iniciándose esta serie el 17/04/2021 con un terremoto de magnitud Mw 3,9. Se trata de terremotos mayoritariamente superficiales, con una profundidad menor de 20 km y magnitudes inferiores a 2,5-3,0. No obstante, hasta el momento se han registrado 29 terremotos de magnitud superior a 4,0, la mayor parte de ellos sentidos con intensidad máxima de III en Melilla (ver Tabla 1). Los dos mayores registrados hasta el momento por el IGN han sido los ocurridos el 28/08/2021 de Mw 5,1 y el 20/05/2022 de Mw 5,3. Estos terremotos han sido ampliamente sentidos en Melilla con intensidad máxima de IV y IV-V respectivamente, y también en numerosas localidades de la costa de Málaga, Granada y Almería.

Desde el día 1 de abril de 2021, hasta la fecha de actualización de este informe, el IGN ha calculado un total de 7059 terremotos en la zona, de los cuales 275 han sido sentidos por la población.

*Tabla 1. Terremotos de Mw > 4 de la serie sísmica del sur de Alborán.*

Magnitud	Fecha	Hora (UTC)	Intensidad máxima
5,3	20/05/2022	12:35:50	IV-V
5,1	28/08/2021	11:20:50	IV
4,7	04/10/2022	15:39:31	III
4,7	19/06/2021	3:23:06	III
4,6	02/06/2022	12:55:13	III
4,5	23/12/2021	1:54:26	III
4,5	30/07/2021	8:58:51	III
4,4	29/05/2022	20:15:26	III
4,4	14/11/2021	4:48:27	S
4,4	07/08/2021	4:19:16	III

4,3	20/07/2022	14:11:45	III
4,3	30/07/2021	8:38:53	III
4,3	11/07/2021	11:40:03	III
4,3	01/05/2021	22:10:06	III
4,2	10/08/2022	18:33:15	III
4,2	06/06/2022	17:57:47	III
4,2	14/05/2022	22:34:53	III
4,2	30/07/2021	9:13:03	III
4,2	23/05/2021	6:42:15	III
4,1	21/10/2022	12:45:59	IV
4,1	16/10/2022	7:32:17	III
4,1	14/09/2022	5:17:40	III
4,1	03/08/2022	21:19:58	III
4,1	20/05/2022	20:11:28	III-IV
4,1	09/04/2022	3:55:21	III
4,1	05/01/2022	9:11:52	III
4,1	01/09/2021	12:51:59	III
4,1	23/05/2021	6:18:39	III
4,1	21/05/2021	11:10:55	III
4,1	28/04/2021	12:40:51	III

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 abril de 2021.

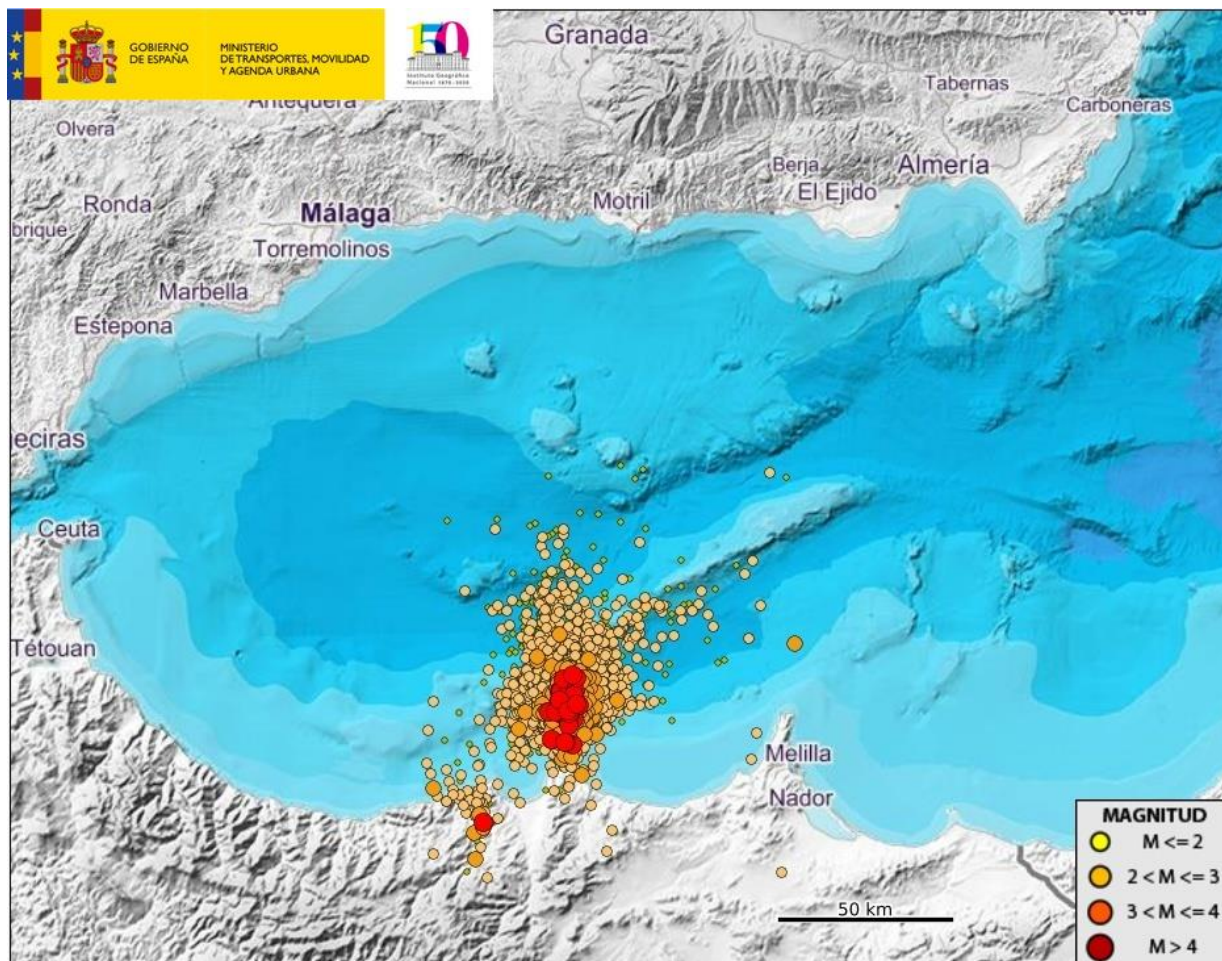


Figura 1. Mapa de sismicidad de la zona epicentral desde el 1 de abril de 2021 hasta la fecha de este informe.

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 abril de 2021.

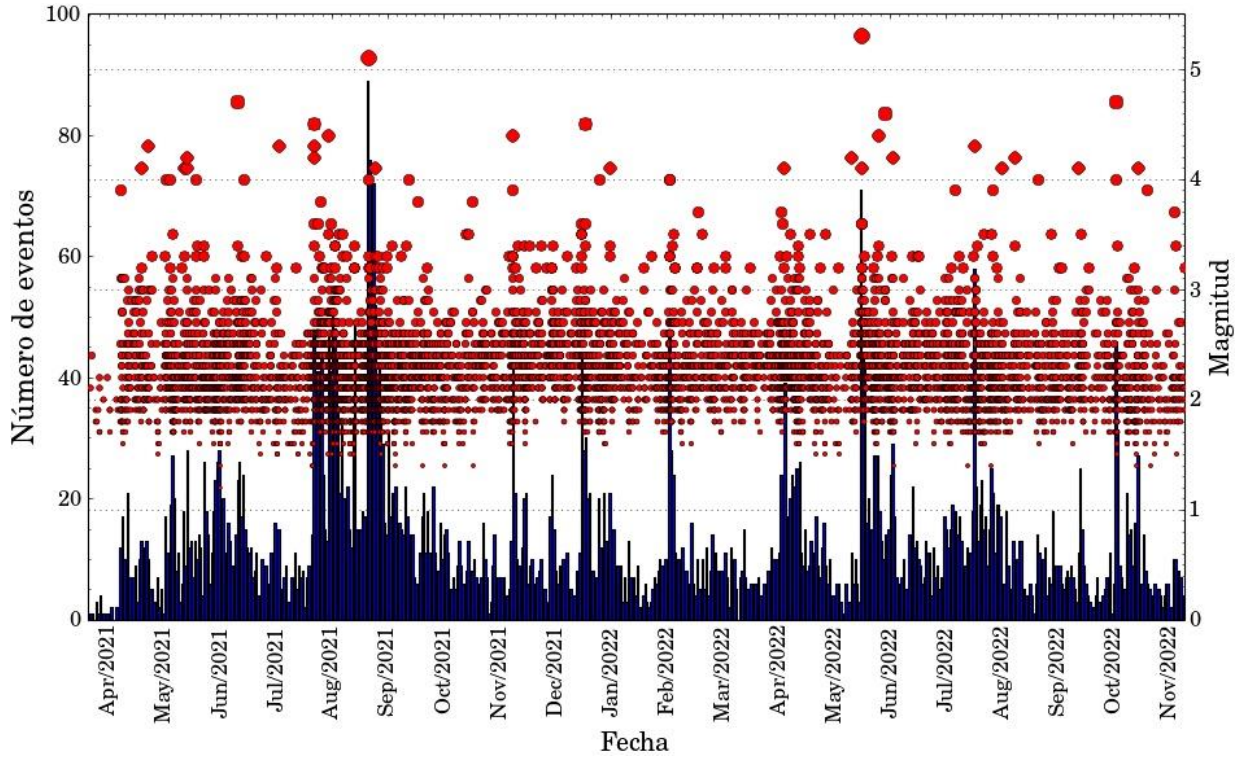


Figura 2. Número de terremotos por día y su magnitud.

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 abril de 2021.

Tabla 2. Terremotos por intervalo de magnitud

	M<2	2≤M<3	3≤M<4	4≤M<5	M≥5
Nº Terremotos	1513	5227	278	39	2

Tabla 3. Terremotos sentidos por intervalo de intensidad

	II	II-III	III	III-IV	IV	IV-V
Nº Sentidos	108	57	65	2	2	1

Para la monitorización y cálculo de la actividad sísmica en tiempo real la Red Sísmica Nacional cuenta con unas 130 estaciones de velocidad y unas 200 estaciones de aceleración repartidas por todo el territorio español. Para el control de la sismicidad en la zona de Alborán, el IGN tiene instaladas de forma permanente en la isla de Alborán y en Melilla una estación sísmica de velocidad y una de aceleración. Además, entre las provincias de Málaga, Granada y Almería y Cádiz el IGN cuenta con un total de 8 estaciones sísmicas de velocidad permanentes y 104 de aceleración. Además, cuenta con los datos de estaciones de otras instituciones.

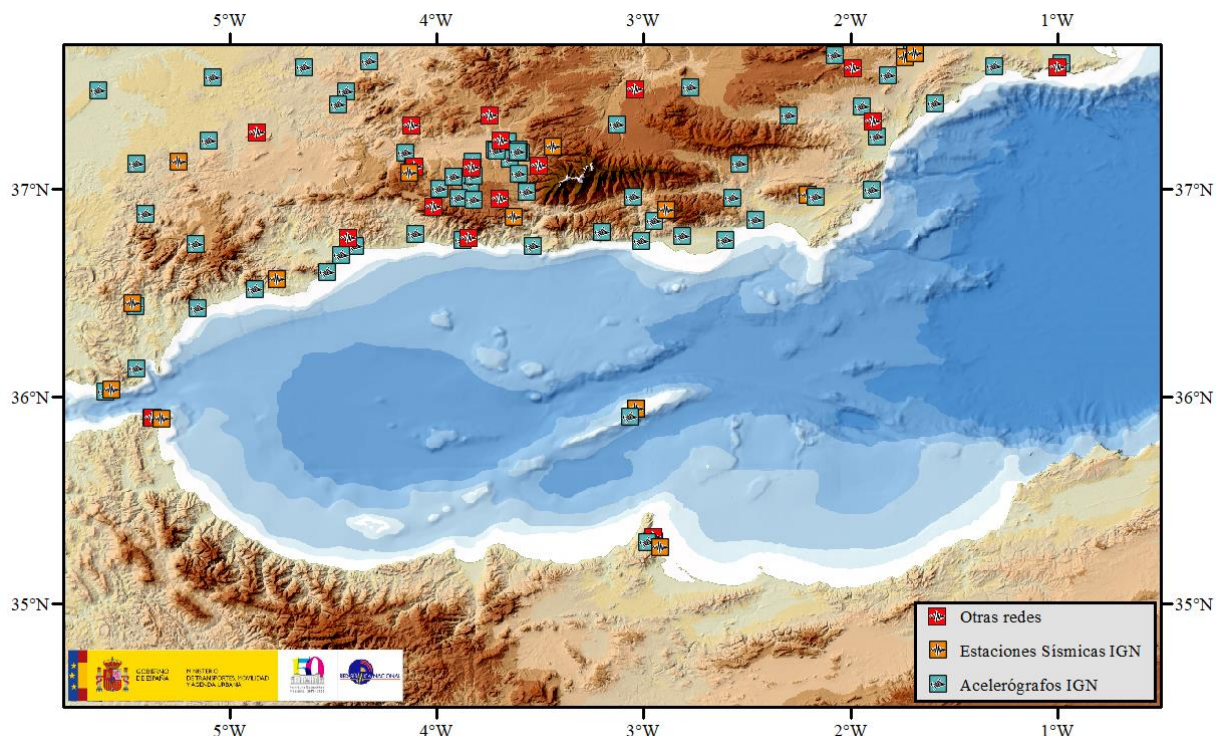


Figura 3. Estaciones sísmicas de velocidad y aceleración en el entorno de la zona epicentral (radio aproximado de 250 km).

## 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 3,9 del 17/04/2021 hasta el momento, el IGN ha recibido más de 11.600 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.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/SIS-Escala-Intensidad-Macrosismica.pdf>

Los dos mayores terremotos, del 28/08/2021 Mw 5,1 y del 20/05/2022 Mw 5,3, fueron sentidos con unas intensidades máximas de IV y IV-V en Melilla, respectivamente. La gran distancia a las poblaciones de la costa hace que estos terremotos hayan tenido una intensidad relativamente débil dada su magnitud y profundidad. En la Figura 4 se muestran los valores de intensidad macrosísmica EMS en las localidades que percibieron dichos terremotos.

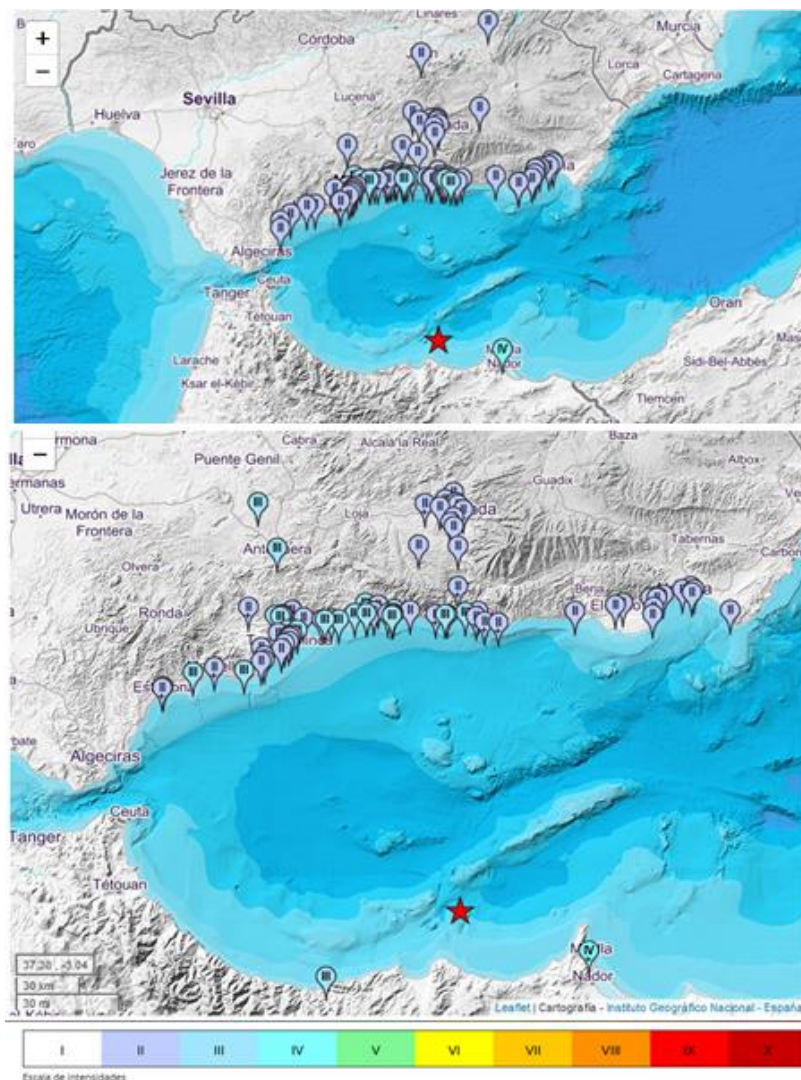


Figura 4. Distribución de la Intensidad macrosísmica para las localidades que percibieron los terremotos de del 28/08/2021 Mw 5,1 (arriba) y del 20/05/2022 Mw 5,3 (abajo).

## 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 sísmológica 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](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 Melilla es de 0,16 g tal y como se muestra en la Figura 5.

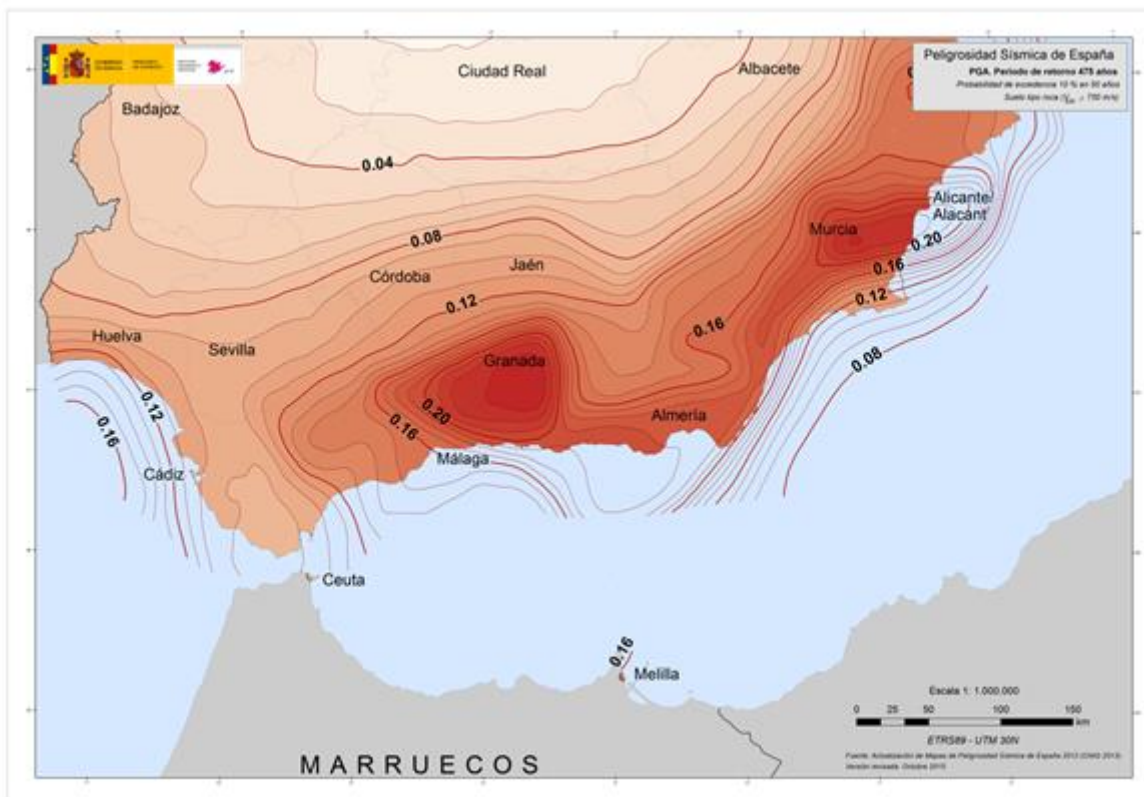


Figura 5. Mapa de peligrosidad sísmica de España; aceleración máxima del suelo para periodo de retorno de 475 años (IGN, 2015).



En esta serie sísmica, las mayores aceleraciones observadas han sido registradas en la estación de aceleración del IGN situada en Melilla (EMLI). En la tabla 4 se muestran las aceleraciones pico (PGA) de las tres componentes direccionales registradas por este instrumento en los terremotos de  $M_w > 3,8$  en los que al menos una de estas componentes ha tenido un valor mayor que 5 mg (1 mg = 0,001 g). Se incluyen en la misma, magnitud, intensidad y distancia epicentral de cada uno de ellos. La máxima aceleración registrada hasta el momento ha sido de 0,036 g en la componente N-S correspondiente al terremoto de  $M_w 5,3$  del 20/05/2022.

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 Melilla para los terremotos de  $M_w > 3,8$  con PGA máxima superior a 5 mg.*

Fecha	Hora	Magnitud	Intensidad	Distancia epic.(km)	PGA (mg)		
					N-S	V	E-W
17/04/2021	9:51:29	3,9	III	66,2	5,46	3,78	6,58
01/05/2021	22:10:06	4,3	III	61,3	9,73	8,47	7,91
11/05/2021	16:52:03	4,0	III	65,4	4,41	4,47	5,09
23/05/2021	6:18:39	4,1	III	66,9	5,84	5,16	6,64
23/05/2021	6:42:15	4,2	III	69	4,85	4,57	5,67
28/05/2021	12:14:27	3,4*	III	36,3	6,33	3,95	4,99
30/07/2021	8:38:53	4,3	III	62,3	5,68	4	5,42
30/07/2021	8:58:51	4,5	III	62,8	5,97	4,31	7,57
02/08/2021	14:06:10	3,8*	III	69,9	6,76	6,06	5,74
07/08/2021	4:19:16	4,4	III	63,2	7,93	5,63	6,4
28/08/2021	11:20:49	5,1	IV	61,8	20,07	17,42	19,56





05/01/2022	09:11:52	4,1	III	65,3	5,95	4,46	5,09
07/04/2022	07:09:04	3,7*	III	67,6	5,03	4,86	7,28
12/04/2022	18:03:13	3,5*	III	67,0	4,13	5,04	3,53
01/05/2022	11:55:21	3,5*	III	65,3	5,69	5,31	5,33
20/05/2022	12:35:50	5,3	IV-V	63,5	36,35	28,08	32,05
20/05/2022	13:28:32	3,6*	III	64,7	5,17	4,89	4,48
20/05/2022	20:11:28	4,1	III	66,9	12,5	8,05	9,66
29/05/2022	20:15:26	4,4	III	60,5	7,93	5,52	5,19
02/06/2022	12:55:13	4,6	III	62,4	7,78	5,32	6,89
06/06/2022	17:57:47	4,2	III	63,1	5,06	6,58	5,87
20/07/2022	14:11:45	4,3	III	61,0	8,05	5,24	6,09
04/10/2022	15:39:31	4,7	III	63,2	14,34	9,42	15,49
16/10/2022	7:32:17	4,1	III	64	5,14	5,22	4,44

Con \* los terremotos con magnitud  $m_{Lg}$

## 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 el terremoto de magnitud  $M_w$  5,3 del día 20 de mayo de 2022. 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 6 se muestran los mapas obtenidos para la intensidad sísmica (Figura 6a), la aceleración horizontal máxima (PGA) (Figura 6b arriba) y para la velocidad horizontal máxima (PGV) del movimiento del suelo (Figura 6b abajo). En estas figuras puede verse que las intensidades máximas alcanzadas en la zona más próxima al epicentro, en torno a Melilla y Alhucemas, tienen valor IV, lo que indica que el terremoto fue ampliamente sentido por mucha gente (y quizás algo mayor, IV-V, en algunos puntos de esta zona donde el terremoto fue sentido de manera algo más fuerte). Se observa también una amplia zona geográfica, que comprende todas las zonas de costa del mar de Alborán (Ceuta, Cádiz, Málaga, Granada y Almería), donde el terremoto ha sido sentido, aunque de manera más débil y por una cantidad de gente menor, esto es, con intensidades III o II-III.

En cuanto a los valores de aceleración horizontal máxima del suelo (PGA), los valores estimados en la zona alrededor de Melilla están en torno a 2% g y en la zona de Al Hoceima mayor o igual que ese valor. Los valores observados en las estaciones del IGN en la ciudad de Melilla, indican valores de PGA máxima alrededor de 3,6% g. Por otra parte, los valores observados en estaciones más alejadas del epicentro como Alborán o Nerja son aproximadamente 0,3% g y 0,15% g, respectivamente. Los valores teóricos estimados en la zona próxima al epicentro se situarían por encima de 20% g.

En el caso de la velocidad horizontal máxima (PGV), los valores alrededor de Melilla se estiman en 1 cm/s o mayor, habiéndose registrado en las estaciones IGN de Melilla valores del orden de 1,2 cm/s. Los valores estimados para Al Hoceima estarían igualmente en torno a 1 cm/s o mayor mientras en la zona epicentral estos valores habrían superado los 10 cm/s.

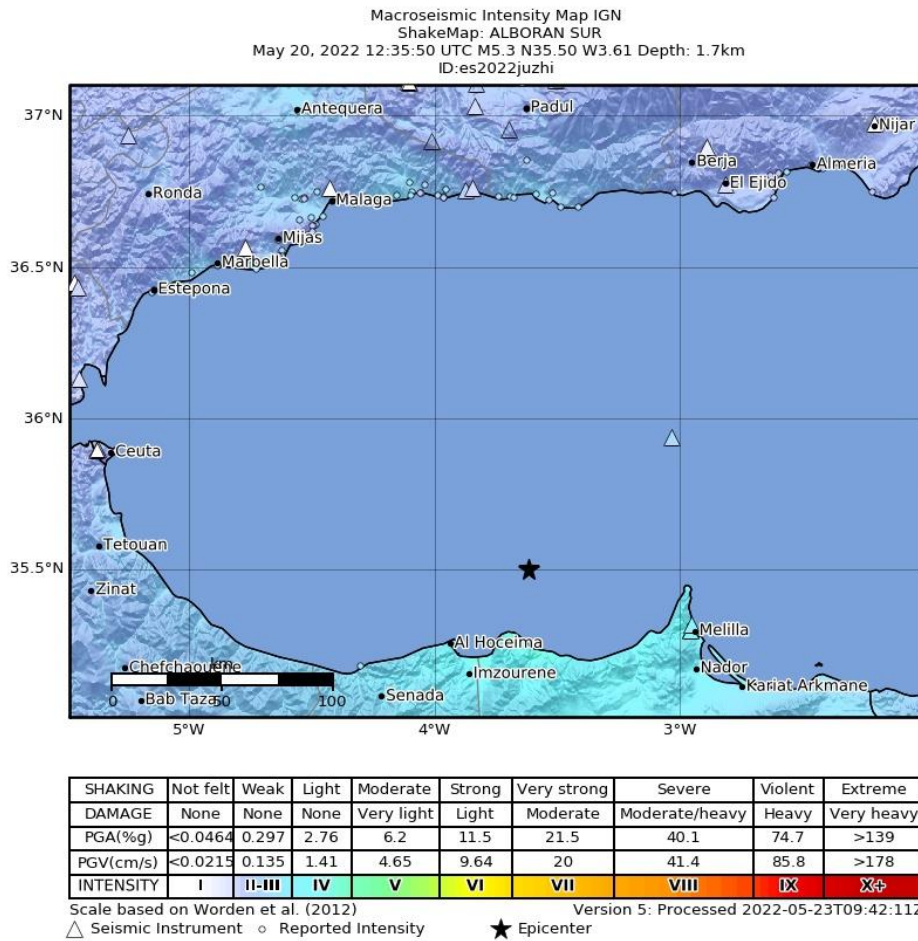


Figura 6a. Shakemaps de intensidad macrosísmica del terremoto Mw 5,3 del 20/05/2022 12:35. La leyenda inferior muestra las equivalencias utilizadas entre los parámetros usados para representar el movimiento del suelo.

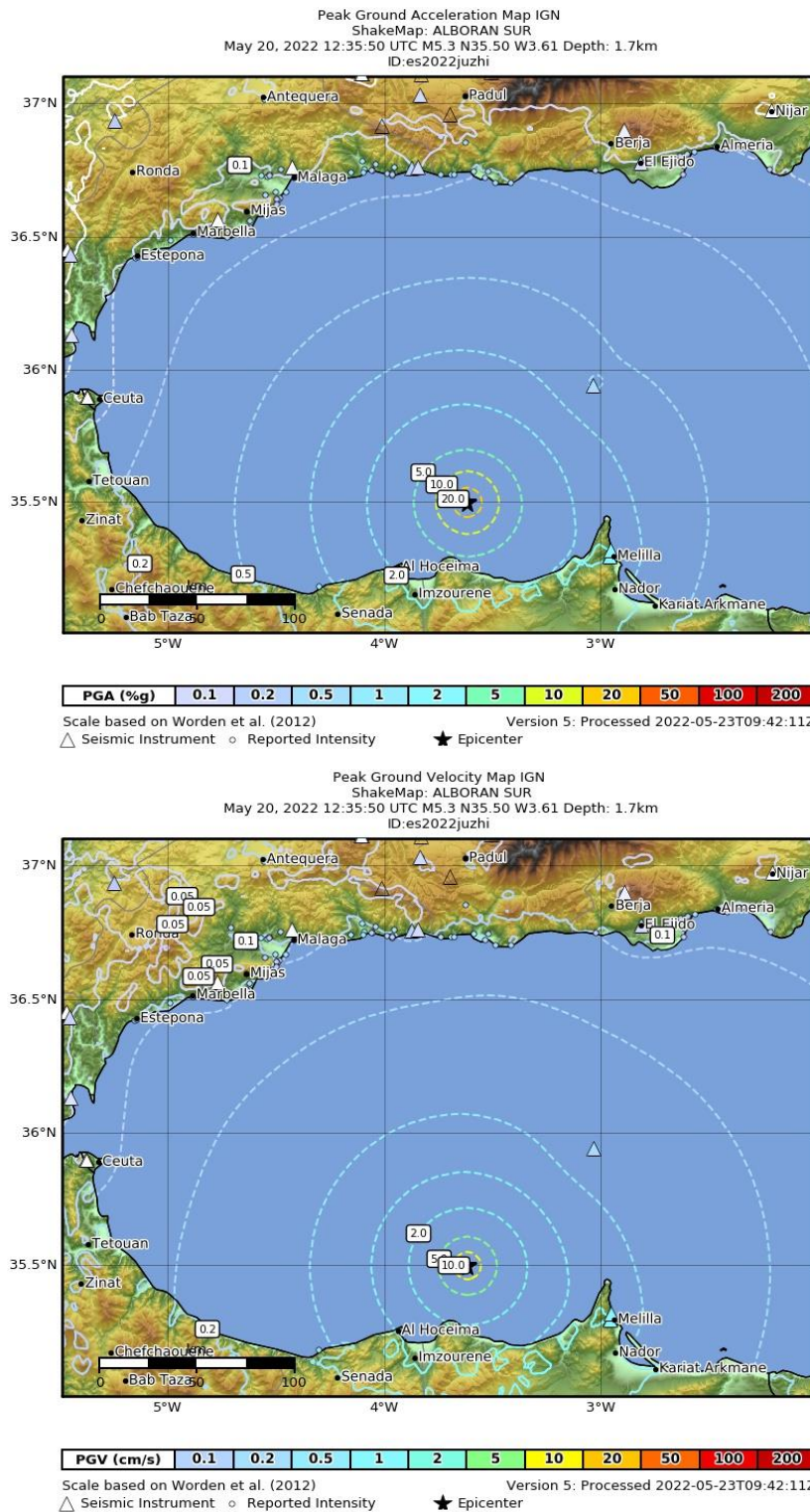


Figura 6b. Shakemaps de PGA (en %g) (arriba) y PGV (en cm/s) (abajo) del terremoto Mw 5,3 del 20/05/2022 12:35. La leyenda inferior muestra las equivalencias utilizadas entre los parámetros usados para representar el movimiento del suelo.

## Sismicidad y sismotectónica de la zona

La sismicidad registrada hasta el momento se enmarca dentro de lo esperable en esta zona ubicada al sur del Mar de Alborán. El mar de Alborán está situado entre la cordillera Bética y el Rif y juntos forman lo que se conoce como el arco de Gibraltar, un orógeno alpino en la parte más occidental del mar Mediterráneo. Se trata de una compleja zona de contacto entre las placas Africana y Euroasiática, cuya génesis y evolución están relacionados por el proceso de convergencia entre dichas placas, que actualmente tiene una velocidad de unos 4-5 mm/año. Este sistema se formó en el Mioceno inferior por la migración hacia el oeste de la microplaca de Alborán que colisionó tangencialmente con la placa Ibérica en el contexto de la convergencia NO-SE entre las placas Africana y Euroasiática. Este escenario dio lugar a una compresión y una extensión cortical simultánea formando las cordilleras circundantes y la cuenca de Alborán respectivamente. La extensión en el mar de Alborán produjo un adelgazamiento de la corteza continental y magmatismo y volcanismo en el Mioceno superior, de modo que sus fondos presentan un accidentado y complejo relieve. La etapa extensiva cesó en el Tortonense superior dando lugar a un régimen predominantemente compresivo acomodado mediante plegamientos alineados perpendicularmente a la compresión y fallas inversas y de desgarre con orientaciones NNE-SSO y ONO-ESE.

La tectónica actual está caracterizada por diversas estructuras, entre las que destacan principalmente dos familias de sistemas de fallas direccionales conjugadas. Unas sinestrales con dirección predominante NNE-SSO como la falla de Al-Idrissi (FAL) o de dirección NE-SO como la falla de Carboneras (FC) que conectan la zona de Almería con la zona de El Jebha, en el norte de Marruecos, denominada Zona de Cizalla TransAlborán. Se trata de fallas de desgarre con componente inverso, es decir, un régimen transpresivo (desgarre con compresión). Las otras dextrales con dirección ONO-ESE, como la falla de Yusuf (FY), formada por dos segmentos de unos 100 km de longitud cada uno, que se dirigen desde Argelia hacia la zona de Málaga, señalan un régimen transtensivo (desgarre con distensión). Estas dos familias de fallas son las que concentran la mayor parte de la actividad sísmica de la zona. Además, también destacan la cresta de Alborán, de la que la isla de Alborán es su único afloramiento en superficie, y el monte submarino de Francesc Pagès, cordilleras submarinas de unos 100 km y 20 km de longitud respectivamente con orientación NE-SO y delimitadas al norte y al sur por fallas inversas con buzamiento opuesto

Esta zona se caracteriza por la ocurrencia de terremotos de magnitud moderada, siendo las magnitudes máximas registradas en los últimos 30 años de Mw 6,4-6,3 (magnitudes Mw tomadas del *ISC-GEM catalogue*, <http://doi.org/10.31905/D808B825>), correspondientes a los terremotos del 25/01/2016 y del 24/02/2004, este último con epicentro en tierra cerca de Alhucemas. La sismicidad de Alborán es en general superficial (< 40 km) pero existe cierta sismicidad a profundidades intermedias (40-120 km) que se extiende en la parte occidental del mar de Alborán, con una distribución de epicentros en dirección N-S. Ocasionalmente, también ocurren terremotos a profundidades de más de 600 km con epicentro en la provincia de Granada cuyo origen está posiblemente relacionado con la existencia de un bloque de

litosfera bajo el oeste de Alborán que pudiera quedar como resto de una posible subducción de la Península Ibérica bajo Alborán, pero sobre la cual no existe un acuerdo unánime.

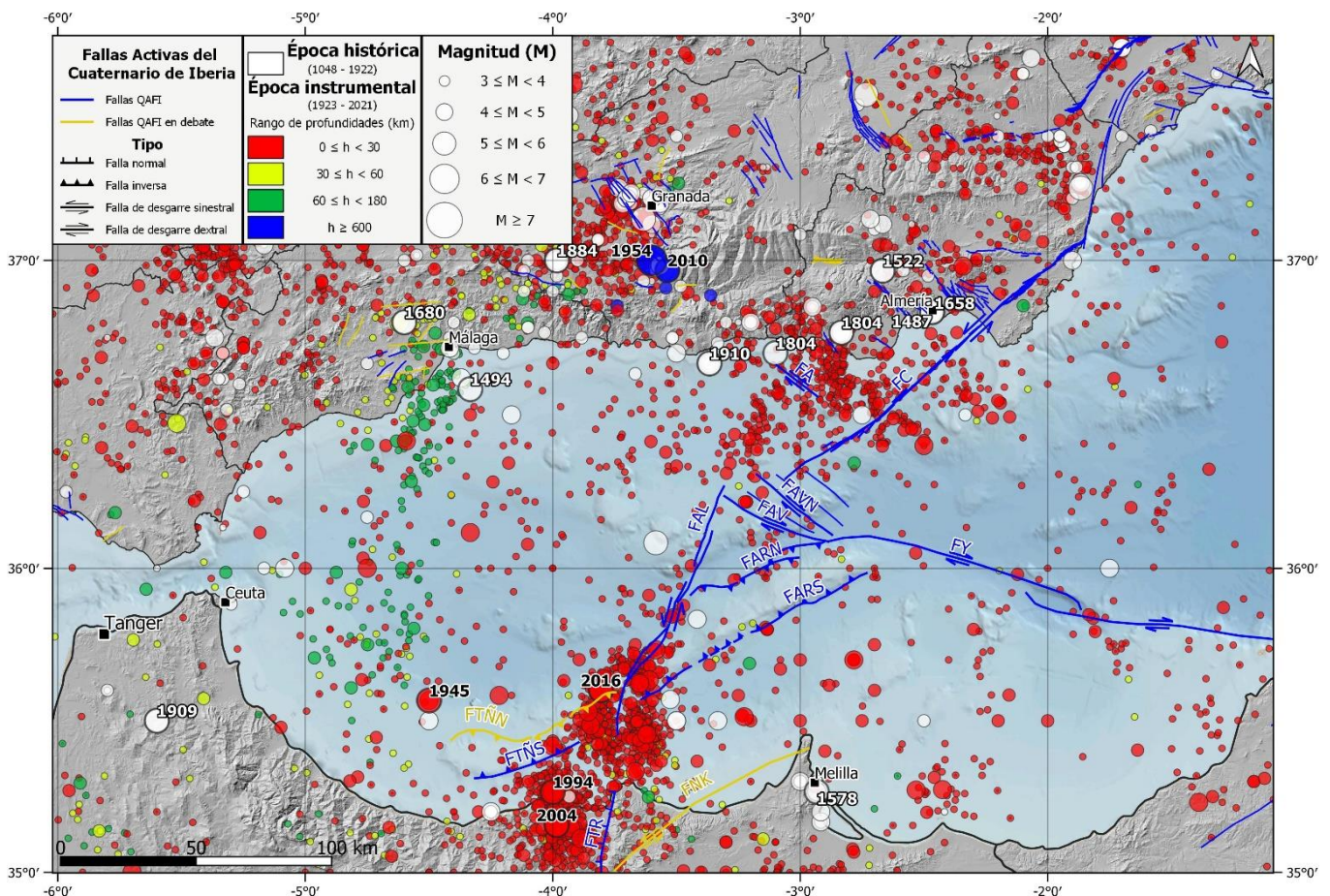


Figura 7. Sismicidad regional Mar de Alborán-Estrecho de Gibraltar. Principales fallas activas durante el Cuaternario extraídas de la base de datos QAFI (IGME, 2022 <http://info.igme.es/qafi/>). FA: Falla de Adra, FC: Falla de Carboneras, FAV: Falla de Averroes, FAVN: Falla de Averroes norte, FARN: Falla de Alboran Ridge norte, FARS: Falla de Alboran Ridge sur, FY: Falla de Yusuf, FAL: Falla Al-Idrisi, FTÑN: Falla de Tofiño norte, FTÑS: Falla de Tofiño sur, FNK: Falla de Nekor, FTR: Falla de Trougout.

La zona del sur del mar de Alborán ha tenido desde el año 1990 tres episodios importantes de actividad sísmica. El primero en 1994 con un terremoto principal el 26/05/1994 de magnitud Mw 5,9 localizado a unos 7 km al oeste de la ciudad de Alhucemas (Marruecos) y que fue sentido con grado V en Melilla. Esta serie tuvo una duración aproximada de tres meses, con una actividad de 230 eventos mayores de magnitud 2,0, seis de ellos con magnitudes comprendidas entre 4,0 y 4,6. Un segundo episodio en 2004, que se inició el 24 de febrero de 2004 con un sismo de magnitud Mw 6,3 localizado a unos 12 km al sur de Alhucemas, donde fue percibido con intensidad VIII causando numerosos daños en las edificaciones y más de 600 víctimas. Fue sentido con grado V en Melilla y también se percibió en las provincias de

Cádiz, Málaga, Granada, Jaén y Almería. La serie tuvo una duración algo superior a los cuatro meses y se registraron alrededor de 720 sismos de magnitud superior a 2,0, de los cuales cinco superaron el valor de 5,0 y otros 88 la magnitud 4,0. Y un tercer episodio más reciente en 2016. Esta serie se inició el 21/01/2016 con un terremoto de Mw 5,1 y el posterior terremoto principal el día 25/01/2016 de Mw 6,4, ambos localizados a unos 100 km de Melilla. Este terremoto constituye el sismo de mayor magnitud registrado en la zona en época instrumental y fue ampliamente sentido en el sur de Andalucía, Ceuta y Melilla donde se observó la intensidad máxima de VI en Melilla y se produjeron ligeros daños. Esta serie tuvo una duración aproximada de 4 meses y se registraron alrededor de 2.300 terremotos, 7 de ellos de magnitud superior a 5,0. Los mecanismos calculados se diferenciaron en dos grupos. Uno de tipo desgarre sinistral con dirección NNE-SSO más concordantes con la falla de Al-Idrissi, y en el que se incluyen el terremoto premonitor, el principal y parte de las réplicas. Y otro, situado al noreste del primero y al que pertenecerían el resto de las réplicas del principal, correspondiente a mecanismos de falla inversa que podría estar asociado a la cresta de Alborán.

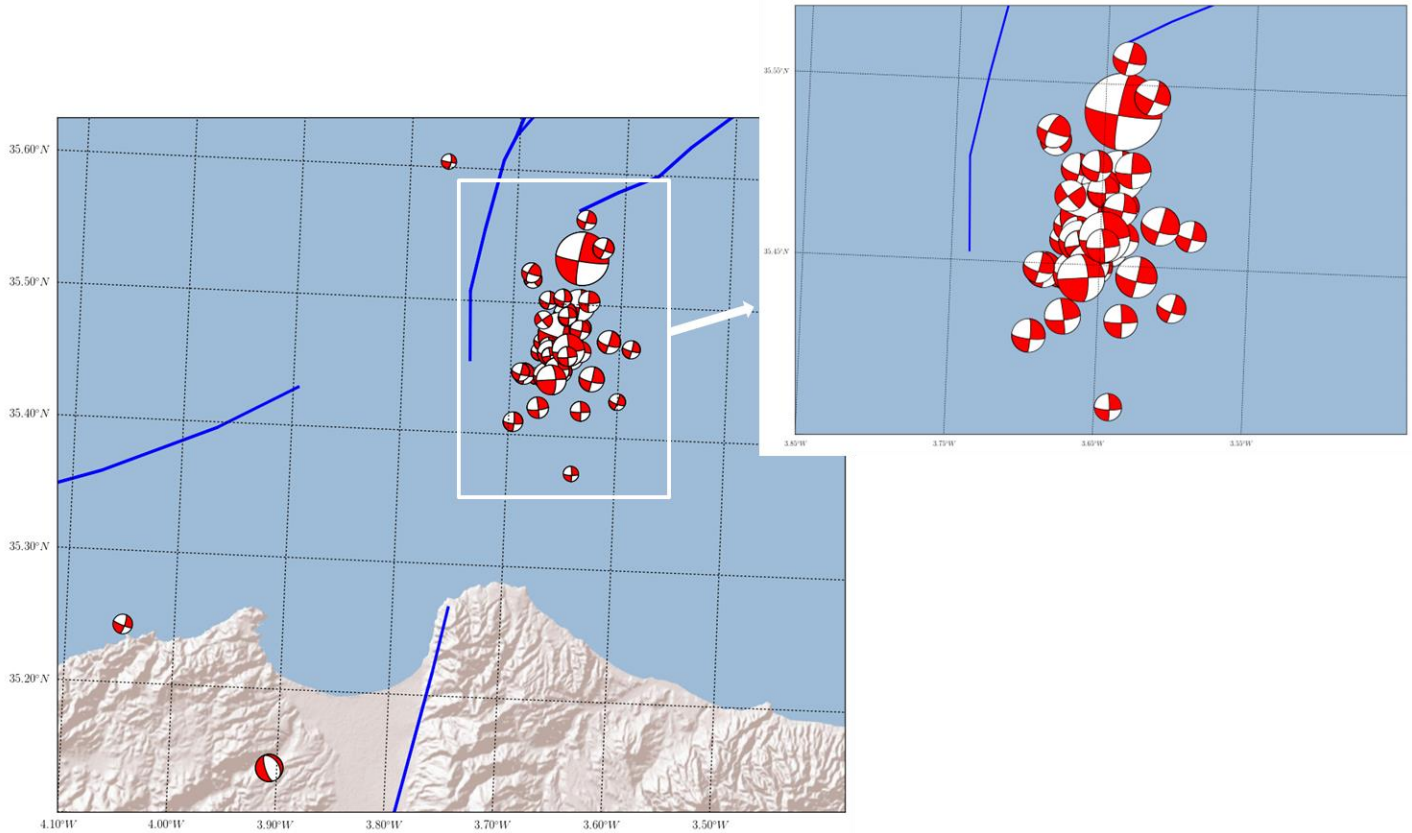
### Mecanismos focales y relocalización

El cálculo del denominado Tensor Momento Sísmico (TMS) 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 (Mw) que nos proporciona una medida más fiable que la magnitud local. 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 TMS de 47 terremotos pertenecientes a esta serie de Alborán Sur, con Mw comprendidas entre 3,8 y 5,3 y unos valores promedio de calidad del ajuste de 0,30 y componente de doble par (DC) del 93 %. En la mayoría de los casos, se trata de mecanismos de falla de desgarre sinistral (*left-lateral strike-slip*) y ligera orientación NNE-SSO, compatibles con la falla de Al-Idrissi y la sismotectónica de la zona. No obstante, el terremoto del 23/12/2021 de Mw 4,5 localizado al norte de Marruecos presenta un mecanismo de falla normal con orientación NNO-SSE.

Además, el IGN ha relocalizado un conjunto de 58 terremotos de magnitud entre 3,6 y 5,3, de los cuales 47 cuentan con cálculo del TMS, aplicando un método de localización probabilista (*Lomax et al., 2000*) y un modelo de tierra regional 3D de la zona Ibero-Magrebí (*El Moudnib et al., 2015*). Para ello se han utilizado las primeras llegadas de ondas P y S en todas las estaciones disponibles localizadas dentro del grid del modelo de velocidades. Hay que tener en cuenta que estas localizaciones están limitadas por la cobertura y distribución de estaciones utilizadas en el cálculo. Los resultados muestran hipocentros más agrupados y alineados en dirección NNE-SSW, casi paralelos a la traza de la falla de Al-Idrissi y localizados mayoritariamente al este de la misma y a profundidades superficiales por debajo de los 20 km. Los epicentros relocalizados y su mecanismo focal se pueden ver en la Figura 8.

Teniendo en cuenta la incertidumbre asociada a las relocalizaciones, el análisis conjunto de los nuevos epicentros y su mecanismo focal sugiere que, aunque la mayoría de los mecanismos sí son compatibles con la falla de Al-Idrissi, las localizaciones no coinciden con la traza principal de ésta, por lo que podrían estar asociados a alguna estructura paralela próxima relacionada con este sistema de fallas. No obstante, conclusiones más precisas y fiables requieren de un estudio geológico y geofísico multidisciplinar más completo y detallado de la zona.



*Figura 8. Mapa de los epicentros relocalizados con su mecanismo focal. Principales fallas activas durante el Cuaternario extraídas de la base de datos QAFI (IGME, 2022 <http://info.igme.es/qafi/>).*