

---

# Historia de la sismología en España

---



Agustín Udías Vallina



---

# Historia de la sismología en España

---



Agustín Udías Vallina

**Título:**

HISTORIA DE LA SISMOLOGÍA EN ESPAÑA

Editado en marzo de 2024.

**Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:**

<https://cpage.mpr.gob.es/>

**Publica:**

© De esta edición, O. A. Centro Nacional de Información Geográfica, 2024.

**Autores:**

© Agustín Udías Vallina.

O. A. Centro Nacional de Información Geográfica, 2024.

**Diseño y maquetación:**

Servicio de Edición y Trazado de la Subdirección General de Cartografía y Observación del Territorio del Instituto Geográfico Nacional.

**Imagen de portada:**

Los terremotos de 1829, Real Asociación Española de Cronistas Oficiales, Patricio Marín Aniorte, (cronistasoficiales.com).

**NIPO digital:** 198-24-019-2

**DOI:** <https://doi.org/10.7419/162.03.2024>

Los derechos de la edición son del O. A. Centro Nacional de Información Geográfica como editorial. Este Organismo agradece que la difusión electrónica masiva de la edición digital se realice a través de un enlace al apartado correspondiente de la página web oficial.



**CNIG:** Calle General Ibañez de Ibero, 3

28003 - Madrid (España)

[www.ign.es](http://www.ign.es) / [www.cnig.es](http://www.cnig.es)

[consulta@cnig.es](mailto:consulta@cnig.es)

# Índice

<b>1 Edad Antigua y Medieval</b> .....	<b>7</b>
Introducción .....	7
Las primeras contribuciones .....	8
Autores hispanorromanos: Séneca .....	10
La época visigoda, Isidoro de Sevilla .....	12
Autores medievales .....	14
<b>2 Edad moderna: Naturaleza y origen de los terremotos</b> .....	<b>15</b>
Comentarios a los libros de Meteorológica de Aristóteles .....	15
Tratados de cosmografía .....	18
Primeras obras de física .....	21
Primeros tratados sobre los terremotos .....	23
<b>3 Relatos sobre terremotos en España y América</b> .....	<b>27</b>
Terremotos en España en los historiadores .....	27
El terremoto de Málaga de 1680 .....	29
Los terremotos en América .....	30
<b>4 El terremoto de Lisboa de 1755 en España</b> .....	<b>33</b>
Publicaciones en España sobre el terremoto .....	33
El terremoto, suceso natural o sobrenatural .....	37
Tratados sobre los terremotos a raíz del terremoto de Lisboa .....	41
Jerónimo Feijoo. La causa eléctrica de los terremotos .....	49
Los portugueses, Moreira de Mendonça y Ribeiro .....	52
<b>5 Desarrollo en España de las nuevas ideas sobre los terremotos</b> .....	<b>55</b>
Los terremotos y los procesos geológicos .....	55
Los terremotos de Granada de 1801 y 1806 .....	58
El terremoto de Torrevieja de 1829 .....	61
El terremoto de Huércal-Overa de 1863 .....	66

<b>6 El terremoto de Andalucía de 1884</b> .....	<b>69</b>
Introducción de las nuevas ideas geológicas .....	69
El terremoto de Andalucía de 1884 .....	71
Las tres comisiones para su estudio .....	73
Nuevos estudios sobre los terremotos .....	75
<b>7 La sismología instrumental</b> .....	<b>81</b>
Desarrollo instrumental de la sismología .....	81
Comienzos de la sismología moderna .....	84
Primeras estaciones sismológicas en España .....	86
Los primeros sismólogos españoles modernos .....	90
<b>8 El desarrollo moderno de la sismología</b> .....	<b>97</b>
Sismicidad, riesgo sísmico y tectónica de placas .....	97
Estructura de la Tierra. El Proyecto Geodinámico .....	106
Los perfiles sísmicos profundos .....	107
<b>Epílogo</b> .....	<b>111</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>113</b>
<b>Índice onomástico</b> .....	<b>127</b>

## Prólogo

En el contexto de la tectónica de placas, la península ibérica está situada en el borde entre las placas de Eurasia y África. Por esta razón, aunque su sismicidad no es muy alta, terremotos de gran magnitud que han producido daños importantes han sucedido en la zona sur y sudeste, separados por largos periodos de tiempo, y terremotos pequeños son una ocurrencia bastante común. De esta forma, en España, desde la antigüedad ha habido un interés por su estudio, es decir, por lo que hoy llamamos la sismología. Más recientemente, la sismología se ha convertido en una materia de estudio e investigación en el campo académico en las universidades y en las instituciones encargadas de la detección y control de los terremotos y sus daños. La historia de la sismología como una parte de la historia de la ciencia es una materia de interés general. En España, la sismología está hoy presente en los estudios de geofísica y geología en las universidades y en centros como, en especial, el Instituto Geográfico Nacional y el Instituto Geológico y Minero, y en otros como los dependientes del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

En España la historia de la sismología está íntimamente unida a la ocurrencia de terremotos importantes. Ellos son la ocasión para preguntarse sobre su naturaleza y origen y, en consecuencia, sobre el desarrollo de la sismología. En esta obra se pretende dar una imagen lo más completa posible de cómo se ha ido desarrollando la sismología en España, su relación con la ocurrencia de terremotos notables, las instituciones que se han ido creando para su estudio y los autores que han ido contribuyendo con sus estudios al conocimiento general sobre los terremotos, así como al de algunos terremotos grandes en particular. Ya en la antigüedad encontramos en Séneca el primer autor español en tratar el tema. En la Edad Media y comienzos de la Moderna el estudio de los terremotos se encuentra en los tratados de física aristotélica de los Meteoros. El terremoto de Lisboa de 1755 constituye un hito importante que suscita numerosos estudios. Lo mismo sucede más tarde con el terremoto de Andalucía de 1884, que es ocasión de su estudio en el contexto de la geología moderna que empezaba entonces a desarrollarse. Más tarde, con la instalación de estaciones sismológicas, comienza lo que podemos llamar la sismología instrumental, a través del estudio de las ondas sísmicas registradas en los sismógrafos. Entre los últimos desarrollos conviene destacar la participación de sismólogos españoles en los estudios sísmicos de la estructura de la Tierra. De esta forma tratamos en esta historia de hacer un recorrido, empezando con los primeros tratados de autores españoles sobre el origen y naturaleza de los terremotos, hasta las investigaciones sismológicas en nuestros días, tanto sobre los terremotos como de la estructura de la Tierra, en especial, la corteza y manto superior en la península ibérica.

Para esta historia me he servido de muchos escritos anteriores de cuyos autores me reconozco deudor, así como de las aportaciones de compañeros sismólogos, algunos ya no presentes, como José M.<sup>a</sup> Munuera, Alfonso López Arroyo y Gonzalo Payo, del Instituto Geográfico Nacional, y en especial, entre otros muchos, agradecer la ayuda prestada por José Manuel Martínez Solares del Instituto Geográfico Nacional y Elisa Buforn de la Universidad Complutense.



# 1

## Edad Antigua y Medieval

### Introducción

Los terremotos son fenómenos que producen tremendos desastres naturales que afectan a muchas regiones de la Tierra con terribles consecuencias de pérdidas de vidas humanas y la destrucción de edificios y otras estructuras, y de este modo afectan profundamente las vidas humanas. Al mismo tiempo, los terremotos son un objeto de estudio, se trata de la ciencia de la sismología, que a lo largo de los siglos ha tratado de descubrir su naturaleza, su origen y características, y los medios para mitigar sus efectos. La historia de la sismología nos recoge el desarrollo a lo largo del tiempo de los esfuerzos por conocer estos fenómenos. En general, en los textos de sismología se pueden encontrar breves indicaciones de su historia, por ejemplo, entre las primeras, en la obra de William H. Hobbs (1908)<sup>1</sup>. Entre las primeras obras específicas de historia de la sismología se encuentran las de Ferdinand Montesus de Ballore (1921) y Charles Davison (1927), y en España la de Alfonso Rey Pastor (1924)<sup>2</sup>. Información más moderna se puede encontrar, por ejemplo, en la obra de varios autores, *Geschichte der Seismologie, Seismik und Erdgezeitenforschung* (Historia de la sismología y estudio de las mareas terrestres, 1981) y las más recientes de Ari Ben Menahem (1995) y Roberta Baxter (2015)<sup>3</sup>. La historia del desarrollo de la sismología en España no es muy abundante, con obras cubriendo solo algunas épocas concretas,

- 
- 1 Hobbs, W. H. (1907). The Evolution of Earthquake Theory en *Earthquakes: an introduction to seismic geology* (pp. 1-26) D. Appleton.
  - 2 Ballore, F. M. (1921). Histoire de la Sismologie. *Revue des Questions Scientifiques*, 29 (pp. 29-57, 320-350); Davison, C. (1927). *The Founders of Seismology*. Cambridge University Press. Rey Pastor, A. (1924). Las teorías sismogénicas a través de la historia. *Ibérica*, 21, (pp. 234-238, 248-252).
  - 3 Zentralinstitut für Physik der Erde. Akademie der Wissenschaft der DDR. (1981). *Geschichte der Seismologie, Seismik und Erdgezeitenforschung* (Vol. 64). Ben-Menahem, A. (1995). A concise History of Mainstream Seismology: Origins, Legacy and Perspectives. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85, (pp. 1202-1225). Baxter, R. (2015). *Seismology: Our Violent Earth*. Edina, MN: Abdo Publishing.

como las de Antonio Due-Rojo (1945), Horacio Capel (1980), José Delgado Marchal (1999) y Agustín Udías (2013)<sup>4</sup>.

Los primeros tratados en la Antigüedad, que consideran los terremotos como un fenómeno natural, están basados en las ideas provenientes de los autores clásicos griegos, en especial Aristóteles, que se mantuvieron predominantes en toda Europa hasta el siglo XVIII. Un momento importante para el desarrollo de la sismología lo constituye el famoso terremoto de Lisboa de 1755. En España provocó una abundante producción de obras sobre la naturaleza y origen de los terremotos. A partir de él se incorporan en España las nuevas ideas de los terremotos producidos por explosiones subterráneas que se propagan en la tierra como ondas elásticas. Más tarde, y con ocasión del destructivo terremoto de Andalucía de 1884, se introduce, siguiendo el desarrollo de la geología, la relación entre terremotos y los procesos geodinámicos de la corteza terrestre con la fractura en las fallas del terreno. No es hasta comienzos del siglo XX que se instalan en España las primeras estaciones sismológicas, iniciándose de este modo lo que podemos llamar la sismología instrumental. En ella, además del estudio de los terremotos comienza también el estudio de la estructura de la corteza y manto terrestres a partir del estudio y el análisis de las ondas sísmicas. A partir de estos estudios se desarrolla lo que podemos llamar la sismología moderna.

## Las primeras contribuciones

En la antigüedad, las primeras explicaciones sobre el origen y la ocurrencia de los terremotos, superados los relatos mitológicos, se encuentran en las obras de los filósofos griegos. Debido a la ocurrencia de terremotos en Grecia, este es un tema que se repite en varios de ellos, que ponen su origen en uno de los considerados como los cuatro elementos, tierra, agua, aire y fuego, que pensaban que constituían el mundo terrestre. Tales de Mileto (c. 624-546 a. C.) puso su origen en el agua, Anaxágoras (500-428 a. C.) en el fuego, Anaximenes (590-528 a. C.) en la propia tierra y otros en el fuego o en la conjunción de los cuatro elementos como Demócrito (460-370 a. C.). Finalmente, la opinión más extendida, defendida, por ejemplo, por Arquélao (s. V a. C.) y después, sobre todo, por Aristóteles (382-322 a. C.), asigna su origen al aire atrapado en las cavidades subterráneas, que al salir las sacude<sup>5</sup>.

En estos autores, la información sobre los terremotos viene contenida en los tratados sobre los «meteoros». Con este nombre, que significa «más allá de las montañas», se designaban los fenómenos que tienen lugar entre la Tierra y la esfera de la Luna, es decir, los que se considera-

4 Due Rojo, A. (1945). Las teorías sismogénicas en España durante los últimos siglos. *Anales de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, 10 (pp. 283-294). Capel, H. (1980). Organicismo, fuego interior y terremotos en la ciencia española del siglo XVIII. *Geocrítica*, 27/28. Delgado Marchal, J. (1999). El conocimiento científico español sobre el origen de los terremotos en el siglo XIX. En G. Canales Martínez (Ed.), *La catástrofe sísmica de 1829 y sus repercusiones* (pp. 93-101). Murcia: Pictografía. Udías, A. (2013). Development of seismology in Spain in the context of the three large earthquakes of 1755, 1884 and 1954. *Earth Science History*, 32, (pp. 186-203).

5 Wilsdorf, H. & Schmidt, P. (1981). Erdbeben-theorien und Prodigia in der griechisch-römischen Antike und einige Aspekte ihre rezeption in späterer Zeit. En *Geschichte der Seismologie, Seismik und Erdgezeitenforschung* (Vol. 64). Zentralinstitut für Physik der Erde. Akademie der Wissenschaft der DDR. Marmo, C. (1989). Le teorie del terremoto da Aristotele a Seneca. En E. Guidoboni (Ed.), *I terremoto prima del Mille in Italia e nell'area Mediterranea* (pp. 170-330). Bologna: Istituto Nazionale de Geofisica, SGA.

ban, según la cosmología geocéntrica, el mundo terrestre o sublunar, compuesto por una combinación de los cuatro elementos mencionados, mientras el mundo celeste, a partir de la órbita de la Luna hasta las estrellas fijas, se pensaba que estaba compuesto por un elemento distinto, más sutil y cristalino, llamado «éter». Entre los meteoros se incluían fenómenos como la lluvia, el viento, los truenos, por lo tanto, los temas que hoy pertenecen a la meteorología (palabra derivada precisamente del antiguo término meteoros), pero también los terremotos, los volcanes, el estudio de los océanos, lagos y ríos, la presencia de minerales y, curiosamente, también los cometas, que se consideraban entonces como fenómenos del mundo sublunar.

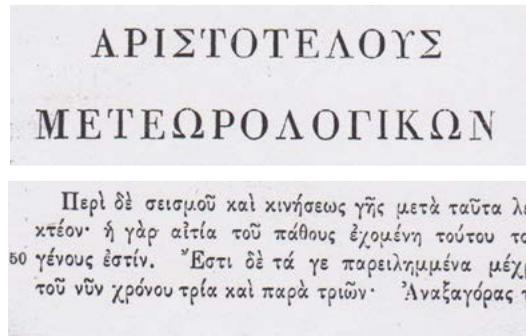


Fig. 1.1. Aristóteles, *Meteorológica*, libro II, Cap. VI

Dada la importancia que tiene la doctrina propuesta por Aristóteles en los autores españoles hasta finales del siglo XVIII, conviene una breve presentación. Aristóteles propone la doctrina sobre los terremotos, movimientos o sacudidas de la Tierra (*seismos ges*) en su tratado *Meteorológica* (*Meteorologikon*), dedicado a los meteoros en general<sup>6</sup>. En esta obra, se trata de los terremotos en el Libro II, capítulos VII y VIII (*Peri de seismou kai kineseos ges*, Sobre la sacudida y el movimiento de la Tierra). Después de comentar las propuestas de otros autores griegos, propone que el origen de los terremotos está en las «exhalaciones» (*anaxumiasis*), es decir, vientos, aire o espíritus (*pneuma*), atrapados en las cavidades de la Tierra, que al tratar de salir la sacuden, mueven y rompen. Así, afirma que este viento es el agente más indicado para mover la Tierra, «ya que de su naturaleza es el mover y llegar más lejos, además de ser el más sutil». Señala que el movimiento de la Tierra en los terremotos es, generalmente, horizontal, aunque también vertical. Los terremotos están relacionados con las erupciones de los volcanes producidas por el fuego (*pyròs*) del interior de la Tierra, en el que toma parte también el viento (*pneuma*). Los vientos o exhalaciones que producen los terremotos son así mismo producidos también por la acción del calor o el elemento fuego, que está relacionado con los volcanes. De esta forma, según Aristóteles, en el origen de los terremotos intervienen tanto el aire como el fuego. Entre otras cosas, afirma también que los terremotos son más frecuentes durante la noche y en las regiones costeras con montes y cavernas, y describe algunas señales que anuncian su ocurrencia.

6 Aristotelis. (1887). *Opera Omnia Graece et Latine* (pp. 590-596). Paris: Firmin Didot.

## Autores hispanorromanos: Séneca

El primer autor español y único hispanorromano que trata el tema de los terremotos es Lucio Anneo Séneca (4 a. C. – 65 d. C.). Nacido en la Córdoba romana, era hijo del orador Marco Anneo Séneca, de la aristocracia hispanorromana, y ocupó cargos políticos en Roma en tiempos de los emperadores Tiberio, Calígula y Claudio y fue tutor y consejero de Nerón, que finalmente lo condenó a muerte acusado de haber participado en la conjura de Pisón, por lo que se vio obligado a suicidarse. El escrito sobre los terremotos está contenido en la obra, *Quaestiones naturales* (Cuestiones naturales), que trata, principalmente, sobre los fenómenos que, desde los filósofos naturales de la antigüedad griega, como hemos visto, se llamaban meteoros, y tienen lugar entre la superficie o interior de la Tierra y la órbita de la Luna<sup>7</sup>. Sobre los terremotos se trata en el libro VI, *De terrae motu* (Sobre los terremotos). El libro empieza recordando el terremoto del 5 de febrero del año 62 d. C. (las nonas de febrero bajo el consulado de Régulo y Verginio) que afectó en Italia a toda la Campania y produjo graves daños en la ciudad de Herculano («*Nam et Herculaniensis oppidi pars ruit*», una parte de la ciudad de Herculano se arruinó). Este terremoto pudo ser un precedente de la gran erupción del Vesubio del año 79 d. C., que destruyó las ciudades de Pompeya y Herculano. Séneca señala la coincidencia de la ocurrencia de este terremoto con el plan de su obra, que ha de tratar, entre otros temas, de la causa de estos fenómenos.

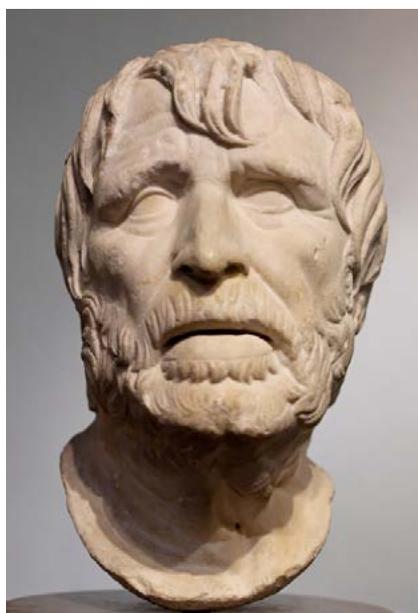


Fig. 1.2. Lucio Anneo Séneca

Séneca comienza considerando cómo los terremotos afectan la estabilidad de lo que consideramos más seguro, que es la Tierra. De acuerdo con la cosmología griega geocéntrica vigente, la Tierra, como centro del universo, está estable e inmóvil y la ocurrencia de los terremotos pone en duda, precisamente, su estabilidad, y de esta forma nos afectan también interiormente. Así y todo, Séneca insiste en que nos debe ayudar el considerar que los terremotos son fenómenos

7 Séneca, L. A. (1966). Libro VI. De los temblores de tierra en *Obras Completas* (traducción y notas Lorenzo Riber) (pp. 883-904). Madrid: Aguilar; Séneca, L. A. (1929). *Liber Sextus, De terrae motu* en *Quaestiones Naturales* (texto y traducción P. Oltramare) (pp. 247-293). Paris: Les Belles Lettres.

naturales y los dioses no tienen nada que ver con ellos. «Estos fenómenos tienen sus causas específicas y no son crueles por mandatos (divinos)». Por lo tanto, tenemos que buscar estas causas naturales («*Quaeramus ergo, quis sit quod terram ab infimo moveat*»; busquemos, pues, que sea lo que mueva la Tierra desde abajo). De acuerdo con los antiguos filósofos griegos, a los que se remite, las causas pueden estar en la Tierra misma, el agua, el aire o el fuego, es decir, cualquiera de los cuatro elementos que en distintas combinaciones forman todas las cosas materiales. Según la filosofía aceptada, los cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego, tienen su lugar natural respecto al centro de la Tierra, precisamente en este orden. A continuación, Seneca expone las opiniones de Tales de Mileto, Anaxágoras, Anaxímenes y otros sin dar nombres, en alguno de los cuatro elementos. Finalmente, la opinión más extendida, defendida, según él, «por los más numerosos y más serios autores», por ejemplo, Arquelaos y después, sobre todo, por Aristóteles, es que la causa es de alguna manera el aire o el viento. A esta opinión dedica más espacio, explicando las diversas opiniones que coinciden en que el viento penetra las cavidades de la Tierra y luego, intentando salir, al ser obstruido, agita y rompe con fuerza la Tierra produciendo su movimiento. Así Séneca concluye: «Por lo tanto, la causa principal por la que la Tierra se mueve es la naturaleza del aire, cambiando rápidamente de un lugar a otro (*Maxima ergo causa est propter quam terra moveatur spiritus natura citus et locum e loco mutans*)».

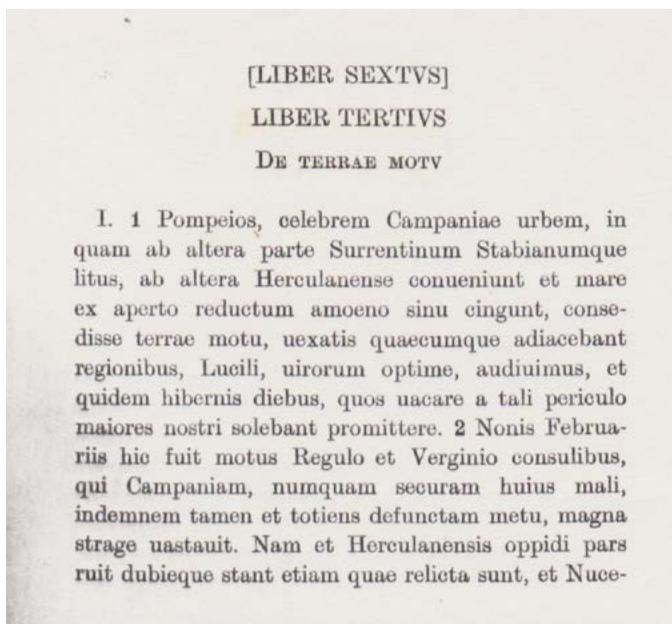


Fig. 1.3. Séneca, *Quaestiones Naturales*, libro VI, De terrae motu

Aunque Demócrito asigna la causa de los terremotos a los cuatro elementos juntos, para Séneca, la opinión más generalizada y avalada entre otros por Epicuro (341-270 a. C.), sigue siendo que la causa es el viento. Esta es, por lo tanto, la opinión a la que Séneca da su consentimiento «Así es lo que a nosotros nos parece, que es este aire el que puede producir tantos efectos (*Nobis quoque placet hunc spiritum esse qui possit tanta conari*)». Distingue luego dos tipos de movimiento en los terremotos, de acuerdo con Posidonio (135-51 a. C.), de sacudida del suelo y de su inclinación. Procede luego a explicar cómo el aire entra en las cavidades subterráneas y, cuando éstas están repletas, busca una salida, provocando el terremoto, cuyos efectos afirma que no superan la extensión de doscientas millas romanas (300 km). Asegura luego que Egipto no

ha sufrido nunca un terremoto y lo atribuye a que debido al efecto del río Nilo, el material es fangoso, sin cavidades por las que pueda entrar el aire. Menciona la ocurrencia de las réplicas y recuerda que los terremotos de Campania del año 62 d. C. duraron varios días. Cita al historiador griego Calístenes (360-328 a. C.), que relata la destrucción por terremotos de algunas ciudades griegas como Helice y Buris, y la isla de Delos. Relata finalmente que en el terremoto de Campania murió un rebaño de seiscientos ovejas y lo atribuye a que el terremoto hizo surgir de la Tierra unas emanaciones venenosas que causaron su muerte.

Séneca no es muy original y se limita a dar las opiniones de los filósofos griegos sobre el origen de los terremotos decantándose por la teoría avalada, sobre todo por Aristóteles, de que son producidos por el viento o el aire introducido en cavidades de la Tierra, al tratar después de salir rompiendo los obstáculos que encuentra. La única parte original es la mención del terremoto de Campania del año 62 d. C., del que tendría noticias directas sobre los daños graves que causó en la ciudad de Herculano y las réplicas que siguieron durante algunos días. En esta obra no hay referencias explícitas a terremotos en la península ibérica. Sin embargo, en una oda dedicada a su ciudad natal, Córdoba, hay una mención de una desgracia acaecida en ella con trescientos muertos, que parece referirse al terremoto del 76-72 a. C. del que habla también el historiador romano Salustio (86-34 a. C), sin dar el lugar exacto donde sucedió. Esta sería la mención más antigua de un terremoto en España<sup>8</sup>.

## La época visigoda, Isidoro de Sevilla

En el reino visigodo, establecido en la península ibérica a principios del siglo VI con capital en Toledo, el autor cristiano más importante, que ya presenta los conocimientos sobre la naturaleza sin relación con la teología, es Isidoro, obispo de Sevilla (560-636). Su obra principal, *Etimologías*, escrita en latín entre 625 y 632 está basada sobre todo en los autores latinos Cayo Plinio (23-79), Séneca y Lucrecio (198-55 a. C.), además de los cristianos Boecio (470-524) y Casiodoro (490-585)<sup>9</sup>.

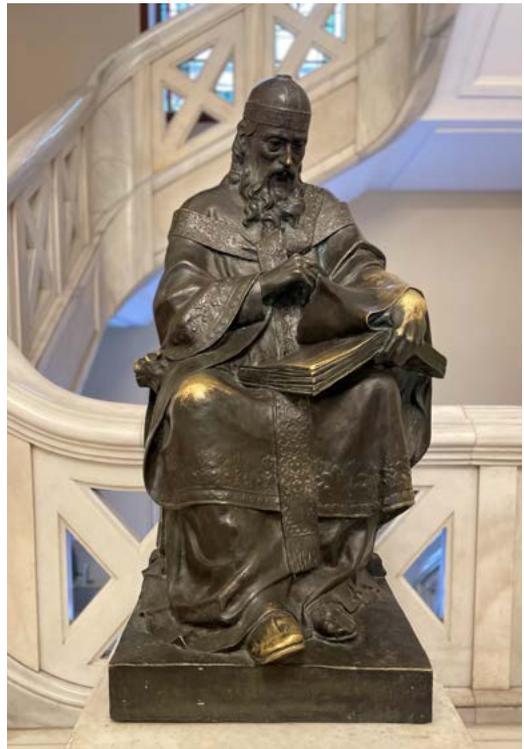


Fig. 1.4. Isidoro de Sevilla  
(Estatua del Instituto Geográfico Nacional, Madrid)

- 8 Knapp, R. C. (1983). *Roman Cordoba* (University of California Classical Studies Vol. 30). Berkeley: University of California Press. (pp.17 nota 104).
- 9 San Isidoro de Sevilla. (2004). *Etimologías* (Edición bilingüe preparada por J. Oroz Reta y M. A. Marcos Casquero, introducción de Manuel C. Díaz y Díaz). Madrid: Biblioteca de Autores Cristianos.

En ella, en el libro XIV, «Sobre la Tierra y sus partes» (*De terra et partibus*) hay una corta alusión al movimiento de la Tierra (terremotos) que es causado por el viento en sus cavidades; «Cuyo movimiento, otros dicen, que sea el viento en sus cavidades el que la mueva (*Cuius motum alii dicunt ventum esse in concavis eius, qui motus eam movet*)». Añade una cita del historiador romano Salustio: «Los vientos rompiendo por las cavidades de la Tierra algunas veces derriban montes y túmulos (*Venti per cava terrae citatu rupti aliquot montes tumulique sedere*,)<sup>10</sup>».

Un tratado más breve es el titulado, *De rerum natura* (Sobre la naturaleza de las cosas), título tomado de la obra de Lucrecio, dedicado al rey Sisebuto, en el que Isidoro resume los conocimientos que había podido recoger sobre la naturaleza, a partir de los autores latinos ya citados<sup>11</sup>. Sobre los terremotos se trata brevemente en el capítulo 46 (*De terraemotu*), donde repite, ampliando un poco lo ya dicho en las *Etimologías*. Se refiere a la teoría tradicional de la causa de los terremotos por los vientos atrapados en las cavidades de la Tierra: «De ahí se produce el terremoto cuando el viento atrapado lo golpea todo (*Inde autem fieri terraemotum dum universa ventus inclusus concutit*)». Cita a Salustio para el origen de los terremotos y al poeta Lucano (39-65) sobre terremotos que afectaron a los Alpes. Añade que solo se dan terremotos allí donde hay cavidades en la Tierra. Aunque no lo cita aquí explícitamente es probable que Isidoro utilice el texto de Séneca. Desde el punto de vista religioso, añade la consideración de que Dios envía terremotos para la conversión a la fe de los pecadores. Esta es la primera mención en un autor español de esta consideración religiosa que veremos que se repetirá más tarde a menudo.

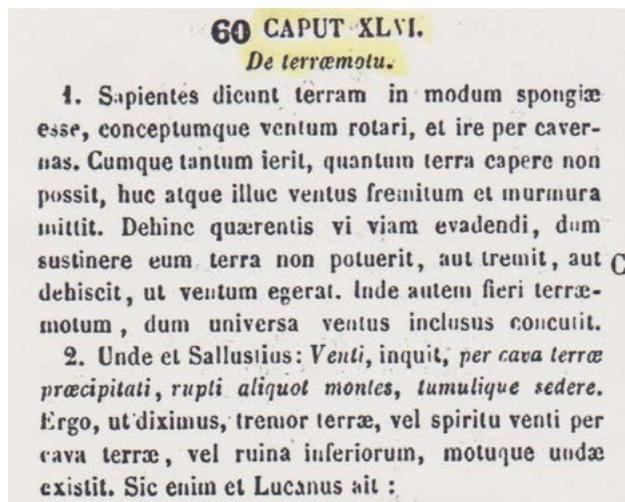


Fig. 1.5. Isidoro, *De rerum natura*, capítulo 46 (*De terraemotu*)

La única mención sobre la ocurrencia concreta de terremotos se encuentra en la obra de Isidoro, *De regibus gothorum, vandalorum et suevorum*<sup>12</sup>, donde dice que, durante la guerra contra los hunos, hacia el año 450, hubo muchos signos prodigiosos en los cielos y la Tierra y hubo

10 Salustio, G. (2006). *Fragmentos de las Historias* (Traducción y notas J.L. Posadas). Madrid: Ediciones Clásicas. Hist, 2, fr. 28.

11 Isidoro de Sevilla. (1996). *De natura rerum* (Estudio, análisis y traducción de Antonio Laborda). Madrid: Instituto Nacional de Estadística.

12 Rodríguez Alonso, C. (1975). *Las historias de los Godos, Vándalos y Suevos de Isidoro de Sevilla* (pp. 83). León: Centro de Estudios San Isidoro.

frecuentes terremotos, sin especificar cuándo ni dónde. Si se refiere a terremotos en la península ibérica, esta sería la única referencia que tenemos de terremotos entre los años 400 y 700 d. C. Sin embargo, la asociación de prodigios en los cielos y terremotos en épocas difíciles, como son las de guerra, es un recurso literario usado a menudo por autores de la Antigüedad.

## Autores medievales

Durante la Edad Media, el sur de la Península, donde se producen la mayoría de los terremotos, estaba ocupada por los árabes, por lo que el tema de los terremotos se encuentra sobre todo en autores árabes, como, por ejemplo, al'Adari, Isa ibn Ahmad al-Razi y Averroes. Entre los autores medievales españoles solo encontramos referencias a los terremotos en Raimundo Lulio (Llull) (1232-1315), uno de los primeros autores españoles de obras de filosofía y ciencias en lengua romance. En su obra el *Libro de Maravillas*<sup>13</sup> (libro VI «Sobre los metales», cap. I, «De la generación de los metales»), se encuentra una referencia corta sobre los terremotos. En ella se dice, en primer lugar, que la Tierra está situada en el centro del firmamento y los astros la afectan igualmente por todas partes con la influencia de su movimiento. Por esta influencia del firmamento se produce un «impedimento» (*empatxament*) y «por algún grueso vapor [...] se causa en ella el temblor o terremoto en aquellas partes donde los vapores le han impedido». En esta breve referencia a los terremotos se añade a la doctrina tradicional del origen de los terremotos, la influencia de los astros en ellos.

---

13 Lulio, R. (1750). *Libro Felix o Maravillas del Mundo*. Mallorca: Viuda Frau.

## 2 Edad moderna: Naturaleza y origen de los terremotos

### Comentarios a los libros de Meteorológica de Aristóteles

Escritos sobre los terremotos se encuentran en los comentarios de autores españoles sobre los cuatro libros de *Meteorológica* de Aristóteles. Como ya hemos visto, Aristóteles se sitúa dentro de la tradición de los filósofos griegos de la consideración de los meteoros, es decir, los fenómenos que tiene lugar en el ámbito terrestre (entre la Tierra y la órbita de la Luna) entre ellos los terremotos, volcanes, truenos, lluvia y vientos. Como ya hemos visto anteriormente, Aristóteles sostiene que los terremotos se producen por el aire o viento introducido en las cavidades de la Tierra, que trata de salir y rompiendo los obstáculos, que se lo impiden sacude la Tierra.

Las obras de Aristóteles se traducen al árabe entre los siglos VIII y IX. Entre sus comentaristas árabes destaca en Córdoba, Averroes (Ibn Rushd) (1126-1198) con una obra sobre los libros de *Meteorológica*. El texto de *Meteorológica* junto con otras obras de Aristóteles se traduce al latín desde el árabe en Toledo en el siglo XII por Gerardo de Cremona (1114-1187). En las universidades europeas, que empiezan a crearse hacia finales del siglo XII, la doctrina de Aristóteles se convierte en el centro de los estudios de filosofía. Entre los comentaristas medievales a las obras de Aristóteles destacan sobre todo Alberto Magno (1206-1280) y Tomás de Aquino (1225-1274), con amplios comentarios a los libros de *Meteorológica*, donde se presentan las ideas de Aristóteles sobre los terremotos. De esta forma, es en los comentarios a los libros de *Meteorológica* de Aristóteles donde encontramos los primeros comentarios sobre la naturaleza y origen de los terremotos.

En España, entre los primeros comentarios a Aristóteles, donde se trata explícitamente de los terremotos, se encuentran dos en latín de Alfonso Pérez (†1596), catedrático de filosofía de la Universidad de Salamanca, *Summa totius meteorologiae facultatis* (1576) y *Epitome in libros metheorologicos Aristotelis* (1576)<sup>14</sup>. En el primero y más extenso dedica tres capítulos (caps. 5-7)

---

14 Pérez, A. (1576). *Summa totius meteorologiae facultatis*. Salamanca: Herederos de Juan de Canovas. Pérez, A. (1576). *Epitome in libros metheorologicos Aristotelis*. Salamanca: Herederos de Juan de Canovas.

a los terremotos. El primero («*De terrae motu*») trata del origen de los terremotos según la teoría aristotélica producidos por los vientos encerrados en las cavidades de la Tierra y cita a Séneca y al historiador griego Plutarco (c. 50-120), así como al filósofo medieval escolástico Alberto Magno. Los dos capítulos siguientes tratan del tamaño y tiempo de los terremotos, de sus efectos, señales y remedios.

Francisco Murcia de la Llana (†1639), profesor de filosofía de la Universidad de Alcalá de Henares, compuso un extenso comentario a *Meteorologica* de Aristóteles, publicado ya en español, *Compendio de los meteoros del príncipe de los filósofos Aristóteles*<sup>15</sup>, en cuyo capítulo 2 trata «De los terremotos y temblores de la Tierra». En él cita a Aristóteles, Plutarco, Séneca, Plinio, Alberto Magno y de los modernos a Giovanni Pico de la Mirandola (1463-1494). Siguiendo a Aristóteles, Murcia de la Llana propone cuatro causas de los terremotos: 1. Derrumbe de montañas en cuevas. 2. Cuando en las concavidades de la Tierra se engendran algunos fuegos que buscando y no hallando por donde salir con ímpetu hacen temblar la Tierra. 3. Cuando en las concavidades de la Tierra entra viento y se cierra su salida que la hace temblar. 4. La más principal por la abundancia de exhalaciones y humillos en las concavidades de la Tierra que buscando por donde salir y no hallando hacen temblar a la Tierra. Enumera también brevemente doce efectos de los terremotos: entre ellos, «El espanto y mortal temor que en todos los hombres causa el ruido y bramido, estremecerse las paredes, abrirse la Tierra»; «Se hiende y abre la Tierra -se tragó cuatro pueblos muy grandes» (no especifica donde o cuando); «Sin abrirse, la Tierra se inclina y tuerce y con ello caen los edificios»; «Suelen levantar la Tierra y de llana hacer un monte -salen islas que antes no había»; «Levantán el mar que se derrama por Tierra»; «Mudar los ríos» y «Causar nuevas fuentes o secar otras». Murcia de la Llana menciona el terremoto de Lisboa de 1531 seguido de un maremoto o tsunami: «En Portugal el río Tajo subió tan alto que vertiendo sus aguas por ambas riberas dejó su madre descubierta y en seco con gran espanto de los que lo vieron, en tiempos del rey D. Manuel, con un terremoto que en las ciudades de aquel reino hizo grandísimo daño». Cita también terremotos en América, en La Paz, 1581, en Arequipa, 1582 y en Lima, 1586 con la producción de un maremoto.

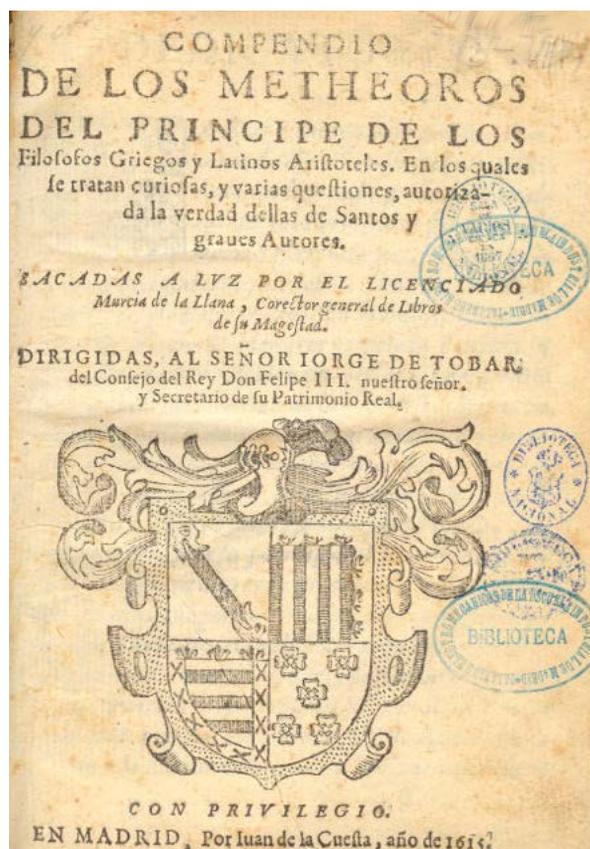


Fig. 2.1. Francisco Murcia de la Llana, *Compendio de los Meteoros* (1615)

15 Murcia de la Llana, F. (1615). *Compendio de los meteoros del príncipe de los filósofos Aristóteles*. Madrid: Juan de la Cuesta.

Entre otros comentarios de autores españoles a los libros *Meteorologica* de Aristóteles, donde se trata de los terremotos, se encuentran los siguientes. Un comentario de Francisco Alonso de Malpartida (1600-1649), profesor de filosofía y teología del colegio jesuita de Alcalá de Henares, sobre tres tratados de Aristóteles (Sobre generación y corrupción, los meteoros y el cielo)<sup>16</sup> incluye al tratar sobre los meteoros el tema de los terremotos (Sectio IX, *De terremoto et ignibus subterraneis*).

Alonso de Malpartida defiende la tesis clásica, de los terremotos producidos por los vientos o exhalaciones en las cavidades de la Tierra, que la agita y fractura al intentar salir. Añade que estas exhalaciones son producidas por el fuego en el interior de la Tierra, a su vez producido por la combustión del azufre y el bitumen (nombre dado a los hidrocarburos). Esta explicación añade el origen natural de las fuentes de calor en la Tierra, a partir de las cuales se generan las exhalaciones que producen los terremotos. Alonso de Malpartida cita la obra de los Conimbricenses de la que se hablará más adelante. Otro comentario es el de Juan de la Anunciación (1633-1701), profesor en el Colegio Carmelita de Salamanca, que presenta la teoría clásica de Aristóteles donde, siguiendo la doctrina tradicional aristotélica ya expuesta, se explica el origen de los terremotos (Disputatio IV. *De meteoris aeris*, Quaestio III, *De terraemotibus*)<sup>17</sup>. Menciona cinco tipos de terremotos: «perforantes», «repulsivos», «ruinosos», «titubeantes» y «con elevación». Entre los signos y efectos singulares que han producido los terremotos afirma que fue un terremoto el que separó la península ibérica de África y que el terremoto en la muerte de Cristo se sintió en toda la Tierra.

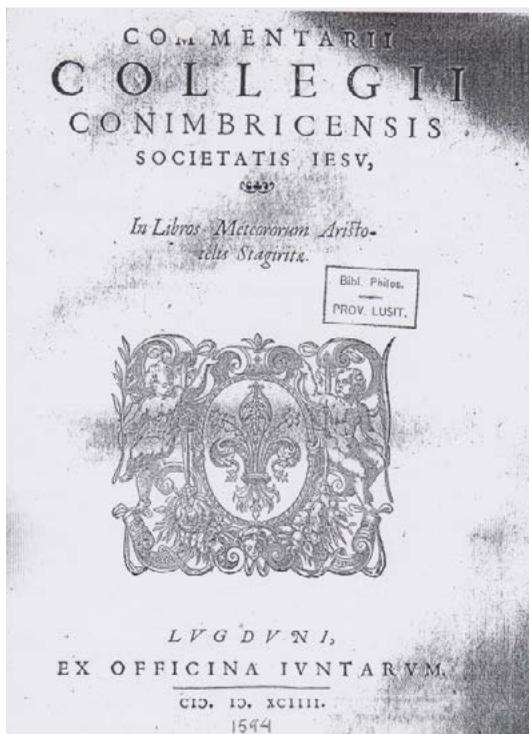


Fig. 2.2. *Commentarii Collegii Conimbricensis* (1594)

16 Alonso de Malpartida, F. (1641). *Disputationes in duobus libros Aristotelis de generatione et corruptione, in quattuor libros de meteoris et in tres libros de coelo*. Alcalá de Henares: Antonio Vázquez.

17 Juan de la Anunciación. (1670). *Tractatus de coelo et meteoris*. Lyon: Petrus Chevalier.

Una obra que tuvo mucha difusión en España en el siglo XVII, sobre todo en los colegios jesuitas, fueron los comentarios a los tratados de Aristóteles de los profesores del Colegio de Coímbra, conocidos como «Conimbricenses», en nuestro caso, el comentario al libro de los meteoros<sup>18</sup>. A los terremotos están dedicados ocho capítulos del tratado, del 11 al 19 (*Tractatus XI, De Terraemotu*). Comienza citando a los autores griegos Tales de Mileto, Demócrito, Anaxímenes y al latino Lucrecio, para pasar a la que considera la explicación «verdadera de las causas de los terremotos», es decir la de Aristóteles (*Vera et peripatetica sententia*). Después de explicar la teoría aristotélica del origen de los terremotos, pasa a discutir los distintos tipos de terremotos, de acuerdo con los tipos de movimientos, citando al autor griego Posidonio y el moderno Georgius Agricola (1494-1555), que distingue cuatro tipos de terremotos: «de vibraciones», «de concusiones», «de golpes contrarios» y «de inclinación». Añade el tratado una presentación de seis signos de la próxima ocurrencia de terremotos y qué lugares son más propicios, como islas y zonas montañosas. Trata también de los efectos que producen los terremotos, enumerando doce de ellos, empezando por el miedo y terror que originan. Menciona el terremoto de Lisboa de 1531, con el efecto que tuvo en el estuario del Tajo.

## Tratados de cosmografía

El tema de los terremotos aparece en los primeros tratados publicados de cosmografía, que empiezan a publicarse en España en el siglo XVI. Juan Pérez de Moya (1512-1596), estudió en Salamanca, donde se graduó de bachiller, y en Alcalá. En su obra *Tratado de cosas de Astronomía y Cosmographia y Philosophia Natural*<sup>19</sup> trata de los terremotos en el capítulo V, artículo XIII, «Trata del temblor de la Tierra y del terremoto o empellón». Al principio hay una cita de Aristóteles al margen, *De Meteoris*, c. 8, lo que indica que lo que va a presentar es la teoría aristotélica. De esta forma, propone que los terremotos son debidos al aire o las exhalaciones en las concavidades de la Tierra, «que se mueve y así hace temblar gran parte de la Tierra». El temblor depende de la dificultad que encuentra el viento para salir de las concavidades, de forma que si las exhalaciones «tienen salida fácil salen y se convierten en viento y no puede temblar toda la Tierra». Afirma que «en los lugares que son muy húmedos y fríos o calientes no hay temblores de Tierra», también que son más frecuentes en verano y otoño y por la noche. Si la salida de las exhalaciones es violenta puede hacer que «se formen montes donde no los había» o hundirse pueblos y abrirse la Tierra. Pone el ejemplo de un terremoto en el año 749 en Mesopotamia que abrió la Tierra por dos millas. Se refiere al terremoto del 18 enero 749, con epicentro en Galilea que produjo graves daños en Palestina y Transjordania. Menciona otro en Nápoles («pocos años ha») que derribó muchos edificios» y otro junto a lago Garda (norte de Italia) que hundió y allanó un monte y que puede referirse al del 17 de noviembre 1579 en Ferrara. Respecto al primero en esa época no hubo ningún terremoto grande en Nápoles, así que puede referirse al mismo de Ferrara. Concluye diciendo que los terremotos son más frecuentes en la costa del mar y en tierras de montes y cavernas.

18 *Commentarii Collegii Conimbricensis Societatis Iesu. In Libros Meteorum Aristotelis Stagiritae.* (1594). Lugduni: Ex officina Iuntarum.

19 Pérez de Moya, J. (1573). *Tratado de cosas de Astronomía, y Cosmographia, y Philosophia Natural*. Alcalá: Ivan Gracián.

El conocido como astrólogo y cosmógrafo Jerónimo de Chaves (1523-1574), primer cosmógrafo de la Casa de Contratación de Sevilla, en su obra *Chronographia* (1576)<sup>20</sup> dedica un corto comentario a las señales de los terremotos. Entre ellas menciona la vista de cometas, el mar hinchado y alterado, el agua de los pozos que se vuelve turbia y hedionda y sonidos en tiempo sereno. Habla del comportamiento anómalo de las aves antes de la ocurrencia de los terremotos («se asientan expavoridas y temerosas») y otros animales («anduvieren expavoridos y como atónitos»). El tema aparece ya en autores latinos y es curioso que esto se siga mencionando todavía hoy, en relación con el problema de la predicción de los terremotos. Chaves añade que los terremotos son más frecuentes en otoño y verano, que cuando son de noche son cerca del alba y de día al mediodía y suceden más en la costa del mar y en lugares montañosos y cavernosos.

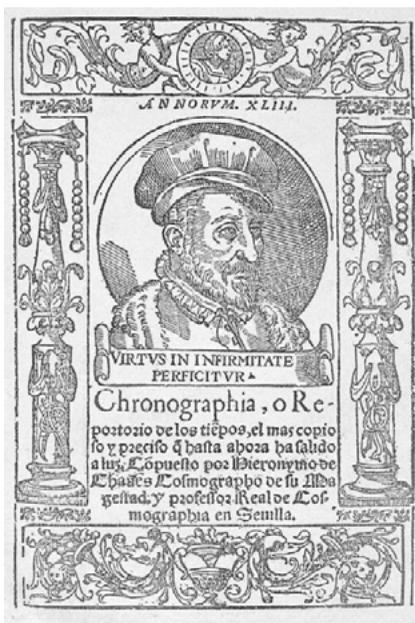


Fig. 2.3. Jerónimo de Chaves, *Chronographia* (1576)

El tema de los terremotos aparece tratado brevemente en la obra, *Esphera en común celeste y terráquea* (1675) de José Zaragoza y Vilanova (1627-1679), jesuita profesor de matemáticas del Colegio Imperial de Madrid<sup>21</sup>. El tema está tratado en el Libro III. «De la esphera terráquea». Proposición XII, «Del mundo subterráneo. De los terremotos y sus causas». Zaragoza comienza con la afirmación: «Nada causa mayor horror a los hombres que el temblor de la Tierra, porque ¿si los fundamentos tiemblan, que seguridad tendrá el edificio?». Como causa de los terremotos pone la acción del fuego subterráneo y el aire: «El fuego subterráneo y el aire encerrado, que con el calor se hace raro, dilata y busca salida, son causa de los naturales (terremotos)». Sobre la existencia de los fuegos subterráneos se basa en la obra *Mundus Subterraneus* (1664) del también jesuita alemán Athanasius Kircher (1602-1680), profesor de matemáticas del Colegio Roma-

20 De Chaves, J. (1576). *Chronographia o Repertorio de los tiempos*. Sevilla.

21 Zaragoza, J. (1675). *Esphera en común, celeste y terráquea*. Madrid: Juan Martín del Barrio.

no<sup>22</sup>. En ella se propone que en el interior de la Tierra hay tres sistemas de canales o conductos por los que circula el aire (*aerofylacios*), el agua (*hydrofylacios*) y el fuego (*pyrofylacios*). Estos últimos conectan un fuego permanente que existe en el centro de la Tierra con los volcanes en la superficie y su interacción con el viento o aire de los *aerofylacios* da origen a los terremotos.



Fig. 2.4. Conductos de fuego o *pyrofylacios* en la tierra según Kircher

Respecto a esta propuesta de los conductos subterráneos de Kircher, prudentemente, Zaragoza afirma: «no les repruebo porque son posibles, ni les apruebo, porque no basta la posibilidad para afirmar el hecho». Cuestiona, por lo tanto, su fundamentación observacional. Zaragoza llama la atención sobre la explosión de la pólvora en las minas, como una sugerencia del origen explosivo de los terremotos que se propondrá más tarde. Menciona en concreto la ocurrencia del terremoto «que arruinó la ciudad de Lorca» (Murcia) en 1674<sup>23</sup>. Propone, como otros autores, algunos signos de la ocurrencia de los terremotos como el enturbiarse el agua de los pozos, ruidos subterráneos y el comportamiento anómalo de animales, en concreto aves, antes de los terremotos.

22 Kircher, A. (1664). *Mundus subterraneus in XII libros digestus*. Amsterdam: Joannem Janssonium Waesberghe.

23 Instituto Geográfico Nacional. Datos sobre el terremoto de Lorca, 28 de agosto de 1674, con una intensidad sísmica de I = VIII.

## Primeras obras de física

En el siglo XVII se empiezan a publicar en España las primeras obras modernas que se pueden ya considerar de física y en algunas de ellas se encuentra el tema de los terremotos. Tomás Vicente Tosca (1651-1723) publica en 1707-1715 una voluminosa obra en nueve volúmenes, *Compendio Mathematico*<sup>24</sup>.

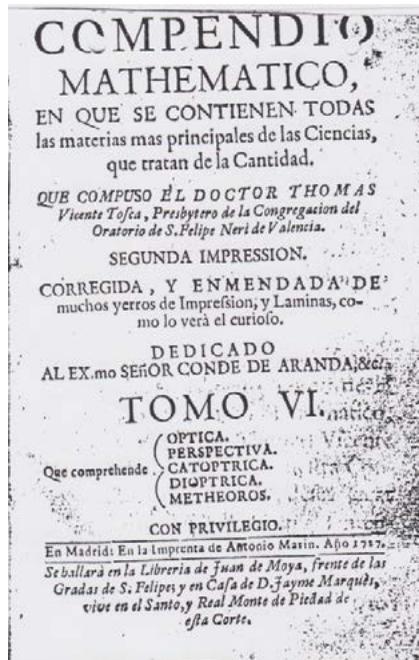


Fig. 2.5. Tomás Vicente Tosca,  
*Compendio Mathematico*, Tomo VI

El tema de los terremotos se encuentra en el volumen VI, Tratado XXII «Physico-Mathematico de los Metheoros», Libro II, «De los meteoros que se engendran en la Tierra». Cap. 2. «De los terremotos y otros meteoros subterráneos». Proposición 7-10. Tosca comienza explicando las causas de los terremotos: «los terremotos se originan del fuego subterráneo, que comunicándose por ocultos conductos a algunas cavernas subterráneas, llenas de azufre, salitre, carbón, sal armoniaco, etc., las inflama encendiéndose prontamente un fuego impetuoso... (que) impele con furia los fundamentos de los montes y abriendo brecha por la parte que menos le resiste, rompe con todo lo que se le opone», y añade «pruévase ser esto así, con lo que se experimenta en las minas, que se vuelan con pólvora». De esta forma propone ya, en cierta manera, el modelo explosivo de los terremotos, a partir de los materiales inflamables presentes en el interior de la Tierra y se aleja del modelo tradicional aristotélico, aunque sigue hablando de los fuegos subterráneos. Como efectos de los terremotos, Tosca propone el ruido, el cambiar de sitio las cosas y, principalmente: «en algunos terremotos se abre horrorosamente la Tierra y tragándose algún monte o ciudad, se vuelve a cerrar». Añade también los cambios en las fuentes de agua de los ríos y lagos y el producir erupciones en los volcanes, «como ha sucedido en el Vesubio y el Etna». De los lugares más expuestos a terremotos dice que son: «los montuosos, singularmente, si no distan mucho del mar».

24 Tosca, T.V. (1707-1715). *Compendio Mathematico*, Valencia: Antonio Bordazar.



Fig. 2.6. Tomás Vicente Tosca (1651-1723)

Una nota corta sobre los terremotos se encuentra en la obra de Andrés Piquer (1711-1772). *Física Moderna Racional y Experimental*, Tratado IV, «De los elementos», cap. VII, «De los fuegos subterráneos», Proposición LXVII, «Los terremotos son efectos del fuego subterráneo»<sup>25</sup>. Piquer empieza asignando la generación de los terremotos al efecto de los fuegos subterráneos: «Pero los efectos más sensibles y dañosos del fuego subterráneo son los terremotos [...] sacudimientos de la Tierra a veces tan violentos, que destruyen las casas y las ciudades enteras». Cita un terremoto en Italia en 1703, terremotos en Perú, citando a José de Acosta, y uno en Valencia en 1744, «de corta duración y de poca actividad», que él mismo experimentó. Piquer cita la propuesta del químico francés Nicolas Lémery (1645-1715), publicada en 1706, sobre origen explosivo de los terremotos y describe su experimento de producir una conflagración con una mezcla de limaduras de hierro y azufre enterradas en la tierra. La explicación explosiva de los terremotos fue propuesta primero en 1684 por el médico inglés Martin Lister (1639-1712)<sup>26</sup> y fue extendida sobre todo por Isaac Newton (1642-1727) que la presenta en su obra *Optics* (libro 2, p. 1, q. 31) y George Louis de Buffon (1707-1788) en *Histoire et théorie de la Terre* (1749), de forma que sustituyó a la tradicional aristotélica en los autores modernos. Piquer es el primer autor español que cita explícitamente a Lémery y propone ya de forma clara el origen explosivo de los terremotos, apartándose de la doctrina tradicional aristotélica. De esta forma, explica el diverso tamaño de los terremotos por «la mayor o menor copia de betún, azufre y otras materias inflamables o tener estas ya encendidas el éxito más o menos fácil», es decir, el tamaño de los terremotos depende de la cantidad de material explosivo que los produce y la forma de producirse la explosión.

25 Piquer, A. (1745). *Física Moderna Racional y Experimental*. Valencia: Pascual García.

26 Lister, M. (1684). Of the nature of earthquakes; more particularly of the origin of matter of them, from the pyrites alone. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 14(157), (pp.512-515).

## Primeros tratados sobre los terremotos

El primer tratado específico sobre los terremotos de un autor español es el publicado en 1697 en Nápoles por Anastasio Marcelino Uberte Balaguer (†1681) con el título *Los estragos del temblor y subterránea conspiración*<sup>27</sup>. Las líneas siguientes del título expresan el contenido del libro: «Las señales, duración, efectos infelices y propicios, Las causas y sus cuatro movimientos, en que tiempo suceden y que Reynos son más molestados por estos horrores». Uberte Balaguer, aragonés que vivía en Nápoles, se fija sobre todo en los terremotos de Italia y cita a menudo la obra contemporánea de Marcello Bonito, *Terra Tremante* (1691)<sup>28</sup>. La obra está dividida en 14 libros: 1. De las señales de los terremotos que antes y después anuncian los estragos e infidelidad. El Sol la Luna y los eclipses son señales de los terremotos. Sucesos raros antes de los terremotos. 2. De la duración y en qué tiempo suelen suceder los temblores – ejemplos de terremotos de Italia. 3. Sobre los efectos que causan y cuales se digan propiamente prodigiosos, según las circunstancias. Efectos, citando a Bonito, de sucesos maravillosos en Italia, en especial en Nápoles 1456. 4. De las causas naturales y sobrenaturales. Castigos de Dios, ejemplos con una larga lista de terremotos usados por Dios desde antigüedad, sacados de Bonito, los últimos en 1542, Toscana y en 1648 Turquía. 5. De las causas naturales. Los terremotos son producidos por el viento subterráneo que busca su salida quiebra y divide peñascos.

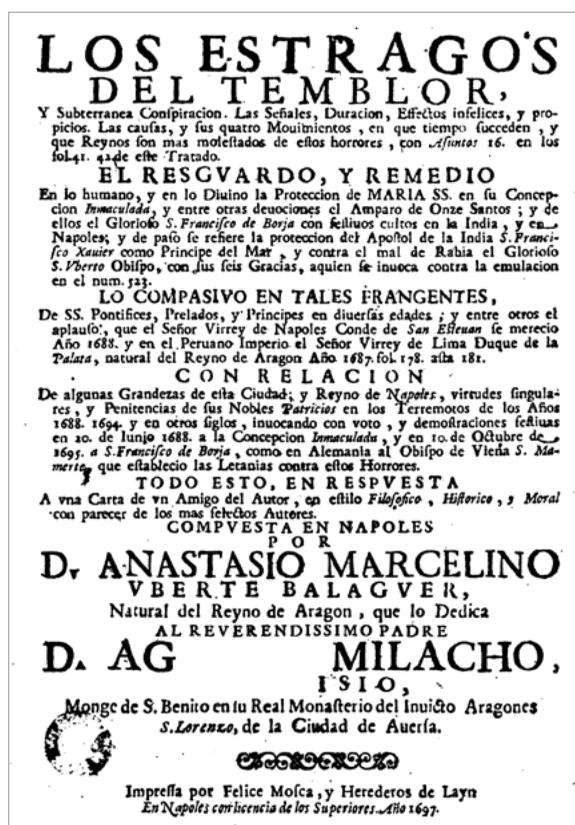


Fig. 2.7. Los estragos del temblor de Uberte Balaguer (1697)

27 Uberte Balaguer, A. M. (1697). *Los estragos del temblor y subterránea conspiración*. Nápoles: Felice Mosca y Herederos de Layn.

28 Bonito, M. (1691). *Terra Tremante*. Nápoles: Ant. Parrino e Michele Luigi Mutii.

También influye el agua y el fuego y la sequedad. Relación entre terremotos y volcanes. Cita los terremotos de Italia 1583 y Portugal 1612, y en América los de 1587 y 1665. 6. De los 4 tipos de movimiento según Bonito. 7. Terremotos de Nápoles, sus provincias y ciudades y lugares de su distrito. 8. De los remedios que se hallan para tanto desconsuelo en los temblores. Recurso a la protección de N<sup>a</sup>. S<sup>a</sup>. Inmaculada Concepción y otros santos. Desde 1625 la intercesión de S. Francisco de Borja. 9. Del alivio que han dado los preladados en terremotos en todas las edades y los príncipes a los pueblos después de tantas desgracias. 10. De los reinos que casi siempre están expuestos a ser más afligidos con temblores. 11. De la forma que se experimentó el temblor del 5 de junio de 1688 en esta ciudad de Nápoles. 12. De los difuntos, de las misiones apostólicas y procesiones de penitencia después del terremoto de 1688 en Nápoles. 13. Del temblor de 5 de junio 1688 con la devoción a varios patronos. 14. De los subsidios, remedios, devoción, largueza y compasión del papa Inocencio II y cardenales después del terremoto.

Como se puede ver por los títulos de los libros en que se divide la obra, el interés se centra en los terremotos de Italia, en especial el de 1688, al que dedica los últimos cuatro capítulos. Gran parte de la información, como ya se ha indicado, está tomada de la obra de Bonito. Sobre la naturaleza y causas de los terremotos solo se ocupa en el libro tercero, presentando la doctrina tradicional de los vientos subterráneos. Su interés se centra en sucesos relacionados con la ocurrencia de los terremotos y las reacciones en la población. Bastante espacio está dedicado a consideraciones de tipo religioso, por ejemplo, los patronos a los que interceder. Los cuatro últimos capítulos hablan sobre el terremoto de Italia de 1688, sentido en Nápoles, del que fue testigo, y presentan abundante información sobre él, sobre todo las reacciones de la población y las actuaciones de los diferente estamentos políticos y religiosos.

El siguiente tratado específico sobre los terremotos es el publicado en 1748 por Diego Torres de Villarroel (1694-1770), *Tratados físicos y médicos de los temblores y otros movimientos de la Tierra llamados vulgarmente terremotos de sus causas, señales, pronósticos auxilios e historias*<sup>29</sup>. El autor, catedrático de matemáticas de la Universidad de Salamanca, es un personaje curioso que nos ha dejado su pintoresca autobiografía, *Vida, ascendencia, nacimiento, crianza y aventuras del doctor Diego de Torres Villarroel*<sup>30</sup>, donde, como él mismo dice, se relatan «los torpes pasos, las culpables quietudes y las melancólicas desventuras de mi miserable vida».

La obra sobre los terremotos es una obra corta dividida en 4 capítulos, que él llama «Pedazos»: 1. Del mundo y mundos. Mundo invisible, mundo celestial (astros), elemental (los 4 elementos); 2. Del mundo subterráneo – pirofilacios, aerofilacios, hidrofilacios y minerales; 3. Origen y causas de los temblores; 4. De las señales y pronósticos de los terremotos y temblores de sus auxilios e historias.

29 Torres de Villarroel, D. (1748). *Tratados físicos y médicos de los temblores y otros movimientos de la tierra llamados vulgarmente terremotos*. Madrid: Viuda de Gerónimo Conejos. Reimpreso en 1748 por la Viuda de Gerónimo Conejos, Valencia; y en 1794 por la Viuda de Ibarra, Madrid.

30 Torres de Villarroel, D. (1743). *Vida, ascendencia, nacimiento, crianza y aventuras del doctor Diego de Torres Villarroel*. Madrid: Imprenta del Convento de la Merced.

La naturaleza de los terremotos se encuentra en el capítulo 3, cuyo título completo es «Del origen y causas de los temblores y pulsos, vibraciones, inclinaciones y otros movimientos de la Tierra, llamados vulgarmente Terremotos, y del tiempo y lugares en que suelen ser más frecuentes». La causa de los terremotos, que considera como las «enfermedades» de la Tierra, según las corrientes organicistas de la época que comparaban la Tierra con un organismo vivo, la atribuye, siguiendo la doctrina tradicional en el «ayre encerrado y oprimido en las cavernas vientres y entrañas de este mundo subterráneo». Villarroel añade la interacción de los aerofilacios y los pirofilacios (conductos de aire y fuego en el interior de la Tierra, propuestos por Kircher) de los que ya ha hablado en el capítulo 2 y la presencia de materiales inflamables («cuya composición es el nitro, azufre y carbón, todas partes aéreas e inflamables») que producen explosiones como en las minas. Mezcla, por lo tanto, el origen tradicional de los vientos subterráneos con el moderno de las explosiones.

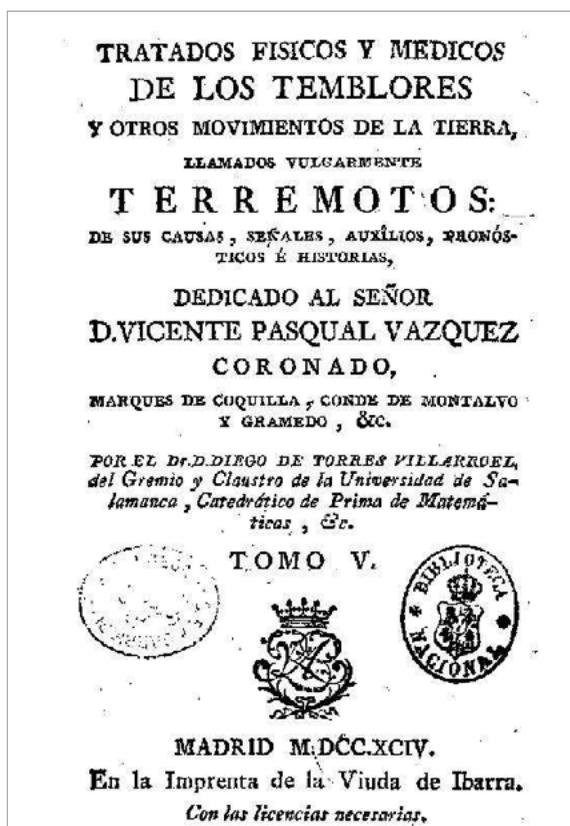


Fig. 2.8. *Tratados de los temblores* de Diego Torres de Villarroel (1748)

Divide el movimiento producido en los terremotos en tres clases «pulso, temblor e inclinación» y añade: «el pulso es el movimiento más pernicioso, porque siempre ocasiona ruinas, roturas y destrozos: abate los edificios y montañas y demuele Ciudades y Provincias». Propone que los terremotos son más frecuentes en primavera y otoño y en los lugares «cavernosos y fungosos» y en los que «tuvieren debaxo de si y perpendiculares a su piso las cavernas del fuego o pirofilaceos y aerofilaceos», poniendo como ejemplo muchas partes de Italia, Frigia, Caria y Lidia.

En el capítulo 4 se trata de las señales que preceden a la ocurrencia de los terremotos. Torres Villarroel comienza con las señales astrológicas o de los astros, poniendo en primer lugar, según la opinión de los astrólogos, los eclipses de Sol y Luna y luego la aparición de cometas, en espe-

cial, los que llama «cometas rubios, verdes y negros». En particular los «cometas negros», cuando aparecen en las constelaciones de Virgo, Tauro y Capricornio son señales seguras de la ocurrencia de grandes terremotos. Cita una obra del astrólogo madrileño Bernardo Pérez de Vargas (s. XVI)<sup>31</sup>, donde aparece esta relación entre la aparición de cometas y terremotos, aunque sin darle mucha importancia, ya que añade: «En este libro se puede V. divertir si le gusta este linaje de lección». Sigue con otras señales de los astros como el color «turbio, bermejo y sanguíneo o ceniciento» del Sol y la Luna y la aparición de nubes de formas especiales. Otras señales son los ruidos percibidos antes del terremoto, «un sonido espantoso, como de bramidos y quejas humanas» y la alteración del agua de los pozos que se vuelve «hedionda, salobre, turbia, puerca y de perverso gusto». Especial atención da al comportamiento de los animales antes de un terremoto, que considera como «pronósticos seguros». Así, asegura que «muchos días antes se ven las aves y los brutos temerosos sin saber dónde posar ni donde huir». Finalmente da algunas recomendaciones para la construcción de las casas, como utilizar «materiales fofos y de poco peso, como son tablas y adobes de tierra, [...] que resisten mejor con su delicadeza la furia de los vaivenes». Termina refiriéndose a los terremotos del año anterior, 1747, en Lima, y el de Valencia del presente (terremoto de Montesa del 23 de marzo 1748<sup>32</sup>). Para el historial de terremotos Torres de Villarroel se refiere a la obra del alemán Johann Zahn (1631-1707)<sup>33</sup> parte 4ª *Geo-Cosmicum*, donde se encuentra una lista de terremotos desde el nacimiento de Cristo hasta sus días y a la obra, ya citada, *Mundus Subterraneus* de Athanasius Kircher.

Una obra sobre los terremotos, que no llegó a publicarse y se conserva en manuscrito, es la de Juan Alfonso Cuebas, jesuita profesor de gramática del Colegio Imperial de Madrid, fechada en 1745 con el título *Discurso Phisico-moral sobre el origen causas y efectos de los terremotos*<sup>34</sup>. Cuebas comienza considerando los terremotos como sucesos naturales, pero añadiendo «dirigidos siempre a los altísimos fines de la providencia» y cita los sitios en las Escrituras donde se habla de ellos. Después de presentar las opiniones de los filósofos griegos sobre el origen de los terremotos, se decanta por el fuego como la causa principal: «Digo que la causa eficiente y primaria de los terremotos son los fuegos subterráneos en cuanto rarifican y dilatan los vapores y el aire que ocultan las venas y escondrijos de la Tierra». Pone el fuego relacionado con los volcanes y también producido con la mezcla de productos, como hierro, azufre y otros, como en las explosiones en las minas citando a Lémery y Newton.

31 Pérez de Vargas, B. (1563). *La Fábrica del Universo o Repertorio Perpetuo*. Toledo.

32 Udías, A., & Buforn, E. (2019). *El terremoto de Montesa del 23 de Marzo de 1748, a partir de documentos contemporáneos*. Madrid: CNIG, Instituto Geográfico Nacional.

33 Zahn, J. (1696). *Specula physico-mathematico-historica notabilium ac mirabilium sciendorum 1*. Nürnberg:Knorz.

34 Cuebas, J. A. *Discurso Phisico-moral sobre el origen causas y efectos de los terremotos* (Ms. Real Academia de la Historia, Colección de Cortes, 9/2807).

# 3

## Relatos sobre terremotos en España y América

### Terremotos en España en los historiadores

Noticias sobre los terremotos sucedidos en la península ibérica se encuentran en los primeros historiadores españoles. El primero que menciona terremotos es Florián de Ocampo (c.1499-1558) en su obra *Los cinco primeros libros de la crónica general* (1543)<sup>35</sup>, empezando por uno en el año 500 a. C. del que, con un lenguaje barroco, dice: «Y fueron tan espantosos aquellos temblores, que muchas casas y cercas de pueblos cayeron, muchos ríos corrieron por otras partes diversas de las que solían, algunos montes y collados bien crecidos se mudaron a diversos lugares con la fuerza del movimiento que los arrojaba fuera de su primer sitio: abriéronse grandes hendiduras por la Tierra y por cerca de la marina y en algunas de ellas salieron nuevas fuentes y nuevos arroyos». Se refiere, también, a la ocurrencia de tsunamis en Cádiz, «hicieron por allí males terribles, la mar anegó muchos lugares que primero fueron descubiertos, lanzó fuera de sí multitud de pescados de los comunes y conocidos y de los nunca vistos.» Estas noticias son recogidas por historiadores posteriores como Esteban de Garibay (1533-1600) en su obra, *Los quarenta libros del Compendio Historial de las crónicas y universal historia de todos los reynos de España* (1571), la de Ambrosio de Morales (1513-1591) *Crónica General de España* (1574), que continuó la obra de Ocampo (1574), y la de Juan de Mariana (1536-1624) *Historia General de España* (1601)<sup>36</sup> Mariana dice, por ejemplo, del terremoto de Lisboa de 1531 seguido de un tsunami: «A principios de este año de treinta y uno, tembló horriblemente la Tierra en Lisboa

---

35 de Ocampo, F. (1543). *Los cinco primeros libros de la crónica general*. Medina del Campo: Guillermo de Millis

36 Garibay, E. de. (1571). *Los quarenta libros del Compendio Historial de las crónicas y universal historia de todos los reynos de España*. Barcelona: Sebastian de Cornelles. Morales, A. de. (1574). *Crónica General de España* (continuación de Ocampo, lib. 6-12). Madrid: Benito Cano, 1791. Mariana, J. de. (1601). *Historia General de España* (Biblioteca de Autores Españoles vols. 30 y 31). Madrid: Rivadeneira, 1854.

y quedaron muchos sepultados entre las ruinas de los edificios. Tragose el mar hinchado gran número de navíos y rechazado con fuerte ímpetu el río Tajo, se derramaron sus aguas por ambas riberas y quedó en seco su madre con increíble espanto de los que lo veían».



Fig. 3.1. Florián de Ocampo, Los cinco primeros libros de la crónica general (1543)

**L**os quatro libros primeros de la Cronica general de España que recopiló el maestro Florián de campo criado y cronista del Emperador Rey nuestro señor por mandado de su magestad çesarea.

En çamora. Año. M. D. xliii.

Custou este libro de 55 seys centos e ns — bñ 78  
a 17 de julho de 1543 — Ala

La ocurrencia de terremotos está también recogida en historias regionales, por ejemplo, en la región del Reino de Aragón en la obra de Gerónimo Zurita (1512-1580), *Anales de la Corona de Aragón* (1610)<sup>37</sup>, y en la de Alicante, con referencia a los terremotos de la zona, en especial el del 2 de diciembre 1620 con daños en Alcoy, y la serie de terremotos en 1644, recogidos por Vicent Carbonell en *Celebre centuria* (1668)<sup>38</sup>.

37 Zurita, G. (1610). *Anales de la Corona de Aragón*. Zaragoza: Lorenzo de Robles.

38 Carbonell, V. (1668). *Celebre Centuria que consagró la ilustre y real villa de Alcoy a honor y culto del Soberano Sacramento del Altar*. Valencia: Juan Lorenço Cabrera. Buforn, E., & Udías, A. (2022). The 1620 and 1644 earthquakes in Alcoy and the Eastern region of Spain. *Seismological Research Letters*, 20, (pp.1-12).

## El terremoto de Málaga de 1680

El 9 de octubre 1680 tuvo lugar un terremoto que causó graves daños (Imax =VIII-IX) en Málaga y su comarca, y se sintió en gran parte del sur de España hasta Madrid<sup>39</sup>. Un relato del terremoto se publicó en París en la *Gazette de France* (N.º 98, 1680) y Robert Hooke (1635-1703) lo menciona en su obra *Discourses of Earthquakes. Their Causes and Effects* (Discursos de los terremotos. Sus causas y efectos, 1705).

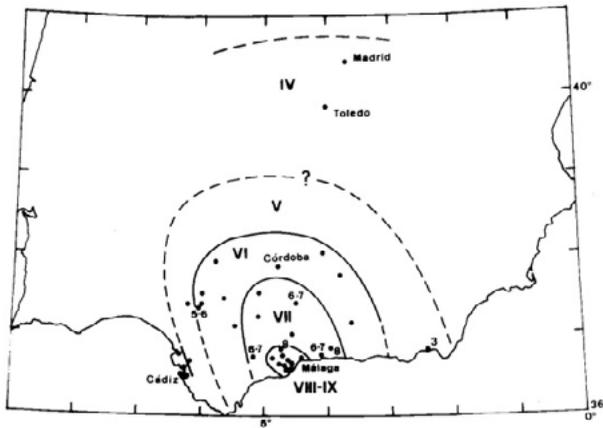


Fig. 3.2. Mapa de intensidades del terremoto de 1680 (Muñoz y Udías, 1988)

La descripción del terremoto se encuentra recogida en varios relatos anónimos donde no se trata del origen natural de los terremotos, sino solo de los daños producidos, y se hace referencia al terremoto como un castigo de Dios<sup>40</sup>. El obispo de Málaga, Alonso de Tomás (1631-1692) publicó, seis días después, una carta pastoral en la que dejaba claro que el terremoto había sido un castigo de Dios por los pecados de los malagueños<sup>41</sup>. Antonio de Cea y Paniagua, un sacerdote de Córdoba, donde se sintió con fuerza el terremoto, reconoce que hay causas naturales de los terremotos, pero en este caso lo único pertinente son las consideraciones religiosas<sup>42</sup>. En aquella época estas consideraciones no eran solo comunes en España, sino corrientes en toda Europa.

39 Muñoz, D., & Udías, A. (1988). Evaluation of damage and source parameters of the Málaga earthquake of October 1680. En W.H.K. Lee, H. Meyers y K. Shimazaki (Eds.), *Historical Seismograms and Earthquakes of the World* (pp. 208-224). San Diego: Academic Press

40 Por ejemplo: Anónimo (1680). *Relación verdadera de la lastimosa destrucción que padeció la Ciudad de Málaga por el espantoso Terremoto que sucedió el Miércoles 9 de Octubre deste presente año de 1680*. Madrid: Archivo Histórico Nacional. Anónimo. (1680). *Relación verdadera en que se cuenta de la Ruina que â causado en la Ciudad de Málaga y Lugares de su Comarca, y assi mismo lo que causó en Madrid, sucedido el día nueve de Octubre, este presente año de 1680*. Sevilla: Juan Francisco de Blas. Anónimo. (1680). *Relación verdadera que da cuenta del espantoso temblor de tierra, que en la muy Noble y muy Leal Ciudad de Sevilla sucedió el día miércoles 9 de Octubre deste año de 1680*. Sevilla: Juan Cabeças.

41 Tomás, A. de (1680). *Carta Pastoral del Ilustrísimo y Reverendísimo Señor D. F. Alonso de Tomás, Obispo de Málaga a los fieles de su obispado en el tiempo que Dios nuestro Señor castigó esta ciudad y su comarca con un temblor de Tierra*. Málaga: Biblioteca Nacional, VE 196/123.

42 Cea y Paniagua, A. de. (1680). *Relación del terremoto ... que el día de 9 de Octubre de 1680 padeció la ciudad de Córdoba*. Córdoba, Madrid: Biblioteca Nacional, VE 196/123.

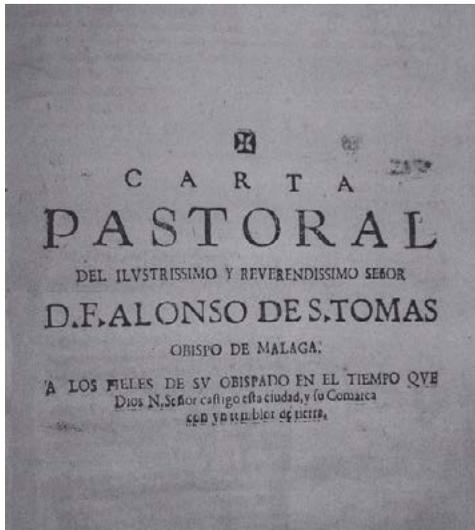


Fig. 3.3. Carta Pastoral de Alonso de Tomás (1680)

Reacciones semejantes se encuentran, por ejemplo, en Inglaterra, en los sermones de Thomas Doolittle (1632-1707), Pastor de Saint Alphage de la Iglesia Anglicana, después del terremoto de Londres de 1692. Esto no quiere decir que el clero, tanto católico como protestante, ignorara las explicaciones naturales de los terremotos, comunes entonces como las aristotélicas o las explosivas, sino que aprovechaban estos sucesos para suscitar sentimientos religiosos, considerándolos como especiales actuaciones divinas en ciertos casos<sup>43</sup>.

## Los terremotos en América

La ocurrencia de grandes terremotos en las recién descubiertas tierras de América motivó que los autores que tratan de ellas dediquen espacio a hablar sobre su ocurrencia. Uno de los primeros es José de Acosta (1540-1600), que vivió en Perú, Bolivia, Chile y México entre 1572 y 1587, en su obra *Historia Natural y Moral de las Indias* (1590)<sup>44</sup>. De los terremotos trata el capítulo XXVI, «De los temblores de Tierra», que sigue al capítulo dedicado a los volcanes. Acosta aclara que algunos asocian los terremotos a los volcanes, pero esto no es del todo cierto, ya que se dan terremotos en América en regiones donde no hay volcanes. Propone la teoría tradicional del origen de los terremotos por las exhalaciones calientes en las cavidades de la Tierra, añadiendo que es semejante a las explosiones de la pólvora en las minas. Afirma que, en América, al igual que en Europa, los terremotos son más frecuentes en la costa, aunque a veces se den también tierra adentro. Así, a lo largo de la costa del sur de Chile a Quito por «más de quinientas leguas han ido los terremotos por su orden». Cita un gran terremoto en Chile sin fecha (probablemente Valdivia 1578) seguido de tsunami, «hizo salir la mar de sí por leguas, dejando en seco los navíos muy lejos de su puesto y otras cosas semejantes de mucho espanto» y los de Arequipa de 1582, Lima de 1586, también seguido de tsunami, y el de Quito de 1587.

43 Udías, A. (2009). Earthquakes as God's punishment in 17th and 18th century Spain. En M. Kölbl-Ebert, *Geology and Religion: A History of Harmony and Hostility* (pp. 41-48). Londres: Geological Society, Special Publication 310.

44 Acosta, J. (1590). *Historia Natural y Moral de las Indias*. Sevilla: Juan de León.

Antonio Vazquez de Espinosa (1570-1630), en su obra, *Compendio y descripción de las Indias Occidentales* (1627)<sup>45</sup>, dedica un capítulo a los terremotos, donde los relaciona con los volcanes: «La causa, a lo que entiendo, de haber temblores tan ordinarios en las Indias, son la materia con que se enciende y ceba el fuego de los volcanes». Siguiendo la doctrina tradicional añade, «Así la exhalación que está en las entrañas y concavidades de la Tierra para salir de ella la rompe con violencia». Cita el terremoto de Lima de 1586 y el de Trujillo de 1619.

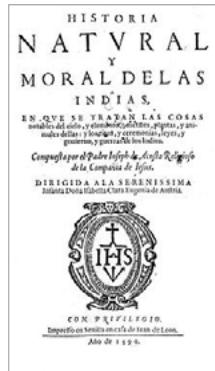


Fig. 3.4. José de Acosta, *Historia Natural y Moral de las Indias* (1590)

Vázquez de Espinosa insiste en la relación entre terremotos y volcanes, de forma que aclara que no basta que los terremotos se den en las tierras marítimas, donde «las rupturas y concavidades de la Tierra se tapan y tupen con la humedad», y añade que en España donde no hay volcanes no hay de ordinario grandes terremotos, como los hay en las Indias donde sí hay volcanes.

Más extensos son los dos capítulos dedicados a los terremotos del Perú por Bernabé Cobo (1580-1657) en su obra *Historia del Nuevo Mundo* (1653)<sup>46</sup>, que empieza afirmando: «La Tierra más molestada de terremotos de toda la América son los llanos y costas de este reino del Perú». Plantea que, aunque se suelen relacionar los terremotos con los volcanes, estos están en el interior, mientras que la zona más propensa a terremotos es la costa, tanto de Chile como de Perú, mencionando los de Arequipa de 1582 y Lima de 1585. Dedicó más atención al «espantoso terremoto» de Arica de 1604, que produjo daños en una amplia zona, en especial en Arequipa, y según él afectó a más de trescientas leguas (1650 km) a lo largo de la costa, y sesenta leguas (330 km) hacia el interior, con daños en Cuzco. A este terremoto dedica el resto del capítulo y el capítulo siguiente, en especial al tsunami que arrasó largas zonas de la costa. Describe en especial la ruina producida por el mar en la ciudad y puerto de Arica, transcribiendo una carta del Corregidor de dicha ciudad, concluyendo: «Al fin fue este el mayor temblor que jamás vieron los españoles desde que poblaron este reino». Cita para terminar los terremotos de Lima 1606, 1609 y 1630, Trujillo 1619, Santiago de Chile 1647 y Cuzco 1650.

Antonio de Ulloa (1716-1795), en la historia de su viaje a América, *Relación histórica del viaje a la América meridional* (1748), para colaborar por parte de España junto con Jorge Juan (1713-1773) en la medida del grado del meridiano organizada por la *Académie des Sciences* de

45 Vázquez de Espinosa, A. (1627/1948). *Compendio y descripción de las Indias Occidentales*. Washington: Smithsonian Institute.

46 Cobo, B. (1890). *Historia del Nuevo Mundo*. Sevilla: Imprenta de Rasco.

París, dirigida por Charles de la Condamine (1701-1756) y realizada entre 1735 y 1743, dedica un capítulo a los terremotos de Perú<sup>47</sup>. Menciona en especial los de 1582 en Arequipa y los de Lima en 1586 y 1687. Recoge además la ocurrencia de doce terremotos en Perú entre 1582 y 1732. Durante su estancia en 1742, toma nota de cinco terremotos sentidos en Lima entre el 9 de mayo y el 14 de octubre. En especial, trata de los terremotos en Lima en 1746. Entre ellos, el terremoto principal del 28 de octubre produjo grandes daños, «los estremecimientos de la Tierra fueron tan violentos que en poco más de tres minutos quedaron hechos destrozo de su furor casi todos o la mayor parte de los Edificios grandes y pequeños que contenía la aquella Ciudad y sepultadas en sus ruinas las Gentes de su Vecindario». Al terremoto siguió un tsunami que asoló sobre todo el puerto de Callao: «pues retirándose el mar considerable distancia, volvió hinchada, formando de sus embravecidas olas montes de espuma y con ellos transformó en Piélagos lo que antes era Callao y Tierra firme [...] sobrepujando las aguas a las murallas y otros edificios altos de aquella plaza». El tsunami asoló también otras ciudades y villas de la costa: «Igual desgracia a la del Callao experimentaron otros puertos de la misma costa entre ellos Cavallas y Guadalupe y, semejante a la de Lima, las villas de Chanchay, Guaúra y los valles de la Barranca, Supe y Pativilca».

Respecto a la causa de los terremotos, Ulloa se atiene a la opinión tradicional de «los Philosophos» que «proviene del esfuerzo que causan los Vientos con su mucha dilatación, tanto los contenidos en las materias sulfúreas y otros Minerales como los esparcidos en las porosidades de la misma Tierra». Relaciona los terremotos con los volcanes producidos por «las materias sulfúreas, nitrosas y otras combustibles que encierran las entrañas de la Tierra [...] que se fermentan hasta un cierto punto y entonces se inflaman y con ellas el viento que las circundaba [...] y produce el mismo efecto que la pólvora». Mezcla, por lo tanto, también de esta forma con la doctrina tradicional el origen explosivo y los fuegos subterráneos y añade que «con esta inflamación el país está más expuesto a los terremotos».

---

47 de Ulloa, A. (1748). *Relación histórica del viaje a la América meridional*. Madrid: Antonio Marín.

# 4 El terremoto de Lisboa de 1755 en España

## Publicaciones en España sobre el terremoto

El 1 de noviembre de 1755 tuvo lugar el famoso terremoto de Lisboa que, seguido de un gran incendio, destruyó gran parte de la ciudad y que culminó con un maremoto o tsunami con olas de hasta 15 metros, produciendo ambos fenómenos un número de muertos que se estima, solo en Lisboa, entre 10 000 y 20 000 y daños considerables en el sur de Portugal, España y noroeste de Marruecos. Precisamente, este suceso dio origen al término español «maremoto» para designar estas olas del mar producidas por los terremotos, que hoy se ha sustituido por el japonés «tsunami». El terremoto se sintió en toda la Península y en algunas partes de Europa, por ejemplo, produjo oscilaciones en los lagos de Suiza y alteraciones en fuentes termales cerca de Praga. El tsunami se extendió hasta las islas del Caribe. La magnitud del terremoto se puede estimar como  $M_w = 9$ , siendo de esta forma el terremoto de mayor tamaño que ha sucedido en Europa.



Fig. 4.1. Grabado contemporáneo de los daños del terremoto en Lisboa

El terremoto, sentido en toda España, afectó en especial a las regiones del suroeste y produjo un total de 1276 muertos, la mayoría debidos al gran tsunami que generó el terremoto y que produjo la mayor parte de las víctimas en las costas de las provincias de Cádiz y Huelva. Su efecto fue especialmente sentido en la ciudad de Cádiz, donde murieron ahogadas unas 200 personas, y en Ayamonte, con 400 víctimas, la mayoría ahogados<sup>48</sup>.



Fig. 4.2. Puerto de Cádiz que fue arrasado por el maremoto

Sobre los daños producidos por el terremoto de 1755 en España y Portugal son muy importantes los documentos de las encuestas oficiales llevadas a cabo en los dos países. En España, el rey Fernando VI, que se encontraba el día del terremoto en San Lorenzo de El Escorial, se trasladó a Madrid y dio la orden el 8 de noviembre al Gobernador del Supremo Consejo de Castilla, que era el Obispo de Cartagena, de solicitar información sobre lo acaecido en España a causa del terremoto y de los daños en las distintas ciudades. Las respuestas a las ocho preguntas incluidas en la investigación se encuentran resumidas en un amplio documento que se encuentra en la Real Academia de la Historia<sup>49</sup>.



Fig. 4.3. Mapa de intensidades del terremoto de Lisboa (Martínez Solares, 2001)

48 Martínez Solares, J. M. (2001). *Los efectos en España del terremoto de Lisboa (1 noviembre 1755)* (Monografía 19). (pp.756) Madrid: Instituto Geográfico Nacional.

49 Real Academia de la Historia. (1756). *Noticia individual que da la Academia de la Historia del terremoto de 1.ª de Noviembre de 1755 por orden del Rey Nuestro Señor a quien la dedica*. Madrid: Real Academia de la Historia.

Este suceso extraordinario produjo abundante literatura publicada en España, especialmente en Sevilla, la mayoría, folletos de distintos tipos. En los siete años posteriores al terremoto se publicaron 42 obras anónimas (32 en Sevilla, 6 en Madrid, 2 en Cádiz y una en Barcelona y Granada) y 41 con autor (15 en Sevilla, 6 en Madrid, 2 en Granada y Puerto de Santa María, y una en Granada, Salamanca, Burgos y Toledo). La mayoría de estas obras se publicaron el mismo año en que ocurrió el terremoto<sup>50</sup>. Muchas de estas publicaciones son narraciones cortas anónimas, algunas de unas pocas páginas, de carácter popular, algunas escritas en verso, que se centran en cómo se había sentido en ciertas regiones, o consideraciones religiosas y de otro tipo, suscitadas por el miedo y angustia que produjo<sup>51</sup>.



Fig. 4.4. Grabado sobre los efectos del maremoto en Lisboa

En estas publicaciones se relatan en primer lugar los daños en Lisboa y Portugal, por ejemplo, *Nueva relación de lo acaecido en la ciudad de Lisboa, Corte del Fidelísimo Rey de Portugal, el día primero de noviembre de este año en la conjuración de todos los quatro elementos, que le acometieron en el terremoto, Tierra, Aire, Fuego y Agua*, (1755); *Noticia de lo acaecido en el reyno de Portugal de resultas del terremoto, experimentado el día primero de noviembre de este presente año de 1755* (1755);

50 Udías, A., & Lopez Arroyo, A. (2009). The Lisbon earthquake of November 1, 1755 in Spanish contemporary authors. En L.A. Mendez Victor, C.S. Sousa Oliveira, J.B. Acevedo y A. Ribeiro, *The 1755 Lisbon earthquake revisited* (pp. 7-24). Berlin: Springer. Rodríguez Domingo, J. M. (2006). «Terra tremuit et quievit: El terremoto de Lisboa de 1755 en la diócesis de Guadix». *Boletín Centro de Estudios Pedro Suárez*, 19, (pp. 111-150). Aparicio Florido, J. A. (2017). *1755 El terremoto que viene*. Cádiz: Q-book.

51 Udías Vallina, A. (2010). *El terremoto de Lisboa en España (testimonios inéditos) Estudio preliminar*. Brenes, Sevilla: Muñoz Moya Editores.

*Noticias de lo acaecido en la Ciudad de Lisboa, Corte del Reyno de Portugal y otras de dicho Reyno, en el día 1 de Noviembre de 1755 a causa del horroroso terremoto y una relación individual de los lugares que se ha tragado el mar, el número de personas que han muerto (1755).* Otras publicaciones se centran en los daños en ciudades españolas como Cádiz, Huelva, Sevilla y Granada, por ejemplo, *Nueva relación y curioso romance en que se declara el más lastimoso suceso que ha sucedido en la ciudad de Cádiz, donde se cuenta por extenso el gran estruendo y tragedias que han ocasionado el Temblor de Tierra y Tormenta de Mar con muchas muertes repentinas como lo verá el curioso lector (1755); Nuevo y curioso romance del estrago causado el día de Todos los santos en la villa de Huelva, declárase como reventó la mar y el río pereciendo más de dos mil personas arruinados los Templos y las Casas, y asistiendo los pocos vecinos que han quedado, en chozas (1755); Relación verídica del horroroso terremoto que acaeció en la muy noble y muy real ciudad de Sevilla, el día primero de noviembre de 1755 (1755); Relación de lo acaecido en la ciudad de Granada el día 1 de Noviembre de 1755 con el terremoto que principió entre 9 y 10 de la mañana y duró 10 minutos (1755).*



Fig. 4.5. El terremoto se sintió con fuerza en Sevilla

Otras publicaciones tienen un carácter religioso, asignando el terremoto a un castigo de Dios por los pecados cometidos, exhortando a la penitencia, dando gracias por haber sido librados de mayores daños y pidiendo la intercesión de los santos para futuros terremotos. Algunos ejemplos: *Patrocinio admirable del Glorioso Patriarca y perfectísimo modelo del Estado Eclesiástico San Phelipe Neri, segundo thaumaturgo y especial avogado en tiempos de terremotos (1755); Penitente reconocimiento de un pecador a la inmensa piedad de su Dios, usando de su alta misericordia, no confundió en desolación total a la ciudad de Sevilla en el formidable terremoto del día primero de Noviembre de 1755 (1755); Prevención espiritual para los temblores dispuesta por un Devoto este presente año de 1755. Diálogo entre un Doctor y un Idiota (1755).* Una de las publicaciones curiosamente asigna el terremoto a la relación de los portugueses con Inglaterra: *Profecía política verificada en lo que está sucediendo a los portugueses por su ciega afición a los ingleses. Hecha luego después del terremoto del año de mil setecientos cincuenta y cinco (1762).* En algunas de estas publicaciones se cuentan sucesos extraordinarios y curiosos, no siempre dignos de crédito, que se dice sucedieron durante el terremoto.

## El terremoto, suceso natural o sobrenatural

La ocurrencia del terremoto de Lisboa generó en toda Europa un interés general por la naturaleza de los terremotos, así también como un intenso debate de carácter teológico, centrado en la opinión presentada por muchos representantes, tanto de la Iglesia Católica como de las Iglesias Protestantes, de que el terremoto había sido un castigo de Dios por los pecados y una llamada al arrepentimiento<sup>52</sup>. Una constante en sermones y tratados después del terremoto era que Dios en su justa ira había destruido Lisboa debido a los pecados de sus habitantes. En Francia y Alemania el debate se centró en el problema teológico de cómo era que, si como se pensaba, Dios había creado el mejor de los mundos, podía suceder tan trágica desgracia. A la posición optimista de algunos autores como Jean Jacques Rousseau (1712-1778), se opuso la crítica violenta de François Marie Voltaire (1694-1778), con su *Poema sobre el desastre de Lisboa* (*Poème sur la désastre de Lisbonne*, 1756) y su popular novela *Cándido o el optimismo* (*Candide ou l'optimisme*, 1759), obras con las que atacaba la postura optimista y providencialista, presentando, al contrario, el desgraciado destino del hombre sobre la Tierra. La fuerza y virulencia de las críticas satíricas de Voltaire fueron las que finalmente se hicieron más populares en Francia. En Alemania, la teodicea optimista está representada, sobre todo, por la obra de Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), que aseguraba que, como creado por Dios, este era el mejor de los mundos<sup>53</sup>. La ocurrencia de este terremoto ponía ahora en duda esta teodicea optimista. El famoso filósofo Immanuel Kant (1724-1804) trató de mantener esta postura y publicó dos obras sobre el terremoto: *Sobre las causas del terremoto con ocasión de la desgracia que ha tenido lugar a finales del año anterior en las regiones del oeste de Europa* e *Historia y naturaleza del extraordinario suceso del terremoto que a finales del año 1755 ha sacudido una gran parte de la tierra*<sup>54</sup>. En estas obras Kant estaba más interesado en los aspectos científicos de las causas del terremoto, aunque también toca el tema de la providencia divina<sup>55</sup>.

En España se originó un debate centrado en el carácter natural o sobrenatural del terremoto y las opiniones se dividieron a favor y en contra de este carácter<sup>56</sup>. Por el carácter sobrenatural del terremoto se defendía que había sido ordenado por Dios como castigo por los pecados y era presentado, sobre todo, en numerosas obras de carácter popular y religioso, que se publicaron solo unos días después de su ocurrencia, como ya hemos visto, y en los sermones en las iglesias,

52 Udías, A. Earthquakes as God's punishment; Oldroyd, D., Amador, F., Kkozák, J., Carneiro, A., & Pinto, M. (2007). The Study of Earthquakes in the Hundred Years Following the Lisbon Earthquake of 1755. *Earth Sciences History*, 26, (pp. 321-370).

53 Leibniz, G. W. (2014) *Teodicea. Ensayos sobre la bondad de Dios, la libertad del hombre y el origen del mal*. Madrid: Biblioteca Nueva.

54 Kant, I. (1756/1922). *Von den Ursachen der Erderschütterungen bei Gelegenheit des Unglücks, welches die westliche Länder von Europa gegen das Ende des vorigen Jahres betroffen hat*. En *Immanuel Kants Werke (11 vols)* (Berlin: Ernst Cassider et al.) Vol. 1, 429-437. Kant, I. (1756b). *Geschichte und Naturbeschreibung der merkwürdigsten Vorfälle des Erdbebens, welches an dem Ende des 1755sten Jahres einen großen Theil der Erde erschüttert hat*. En *Immanuel Kants Werke (11 vols)* (Berlin: Ernst Cassider et al.) Vol. 1, 441-473.

55 Amador, F. (2004). *The causes of 1755 Lisbon Earthquake on Kant*. En *Actas VIII Congreso Sociedad Española de Historia de las Ciencias y las Técnicas*. Logroño.

56 Udías, A. (2009). Earthquakes as God's punishment in 17th-and 18th-century Spain. Geological Society, London, Special Publications, 310(1), 41-48.

sobre todo en Cádiz y Sevilla. Un ejemplo de esta postura es el sermón predicado por Francisco Olazaval y Olayzola (†1769), Canónigo de la Catedral de Sevilla, en el que insiste en los muchos pecados de la ciudad de Sevilla como causa de este castigo, que Dios no ha permitido fuera aún mayor<sup>57</sup>.

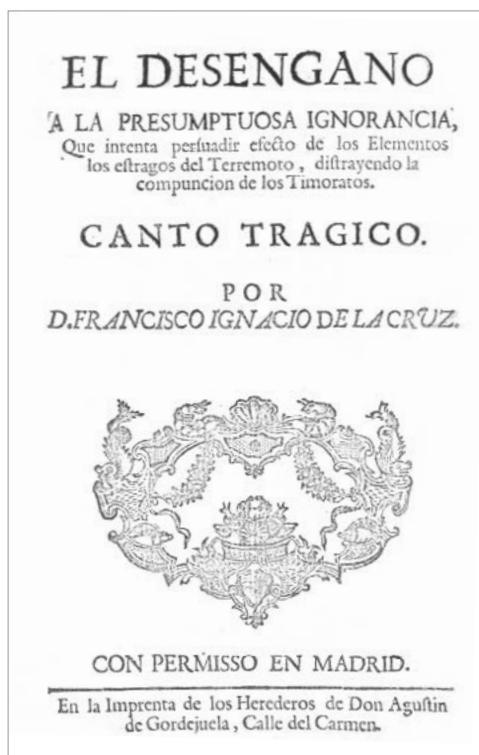


Fig. 4.6. Obra defendiendo el carácter sobrenatural del terremoto

La defensa más firme del carácter sobrenatural del terremoto fue la de Miguel de San José (1682-1757), Obispo de Guadix y Baza, que publicó una carta pastoral en la que refuta las opiniones de los que defendían que este había sido un fenómeno natural, y afirmaba que solamente el negar o dudar de que los terremotos y otros desastres naturales son generalmente el efecto de la ira de Dios, se puede considerar como un error de fe<sup>58</sup>.

La opinión contraria, que defendía el carácter puramente natural del terremoto, fue defendida por los que mantenían posturas más ilustradas. Entre ellos destaca José de Cevallos (1726-1776), teólogo y más tarde Rector de la Universidad de Sevilla y miembro fundador de la Real Sociedad de Sevilla y de la Real Academia de Buenas Letras, dos sociedades de sevillanas en las que se presentaban y discutían las ideas ilustradas. Cevallos presentó su postura, en la que afirma con claridad que «el terremoto ha sido enteramente natural, causado por segundas causas naturales y proporcionadas», en una carta al obispo de Guadix y en la *Censura* incluida en la obra

57 Olazaval y Olayzola, F. J. (1756). *Motivos que fomentaron la ira de Dios explicada en el espantoso terremoto del sábado día primero de Noviembre año de 1755. En la Santa Patriarcal Iglesia de Sevilla y remedios para mitigarla: ofrecidos el sábado 28 de febrero de 1756 en la colocación del Santísimo Sacramento y María Santísima de la sede a su ilustrísimo cabildo y Nobilísima Ciudad, día en que se rezaba el oficio de la Concepción Inmaculada y renovaron el voto de defenderla estas dos comunidades.* Sevilla: Imprenta Mayor de la Ciudad.

58 San José, M. de (1756). *Respuesta que dio a una carta del doctor Jose de Zevallos en assumpto de varios escritos impresos sobre el terremoto.* Granada.

de Benito Feijoo<sup>59</sup>. Juan Luis Roche (1718-1794), médico nacido en Cataluña, establecido en Sevilla y Académico de la Real Academia de las Buenas Letras de Sevilla, defendió la misma opinión y añadió que no hay relación entre los pecados cometidos y la ocurrencia de los terremotos. Retóricamente, Roche se preguntaba: «¿Son Lisboa y Sevilla peores que otras ciudades?» Para él estas consideraciones no eran más que piadosas consideraciones de los teólogos. Tanto Cevallos como Roche apoyaron sus opiniones en la autoridad reconocida de Jerónimo Feijoo, del que hablaremos más adelante, que defendía el carácter natural del terremoto, pero que ya de avanzada edad, no quiso entrar directamente en la controversia.

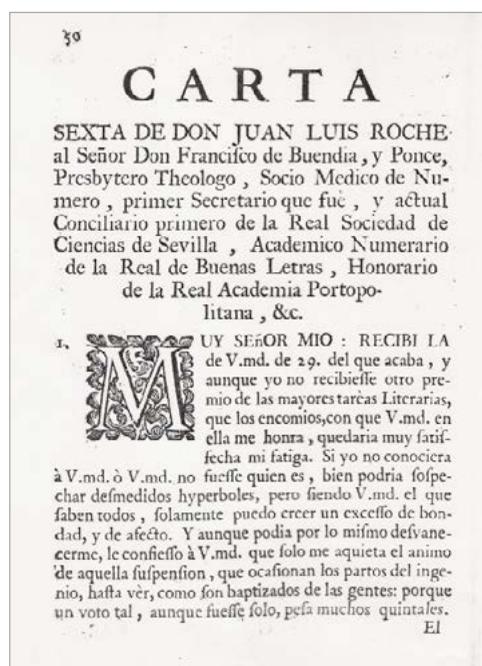


Fig. 4.7. Carta de Juan Luis Roche defendiendo el carácter natural del terremoto

Otro defensor del carácter natural del terremoto fue Antonio Jacobo del Barco y Gasca (1716-1783), catedrático de filosofía, eclesiástico e historiador de Huelva y autor de obras sobre la historia y la agricultura de su región. En una pequeña obra sobre el terremoto, que veremos más adelante, Barco dice que intenta estudiar este suceso como filósofo e indagar sobre sus causas, duración, extensión y efectos. Defendiendo su carácter natural, Barco añadió, sin embargo, que natural no significa casual, y que este tipo de fenómenos deben tomarse como una ocasión para los hombres volverse hacia Dios.

El carácter natural de los terremotos se defendió públicamente en varias conferencias celebradas en la Real Academia de Buenas Letras, en Sevilla, donde se solían discutir ideas ilustradas. Roche tuvo la primera conferencia, diez días después del terremoto (12 de noviembre de 1755: *Sobre el terremoto del 1 de Noviembre*) que se verá más adelante. Jerónimo Audixe de la Fuente (1716-1789) tuvo una conferencia cinco meses después sobre el tema general de los

59 Cevallos, J. de (1757). *Respuesta a la carta del Ilmo. y Rmo. Señor D. Fr. Miguel de San Josef Obispo de Guadix y Baza sobre escritos acerca del terremoto por el Doctor Joseph de Cevallos*. Sevilla: Joseph Navarro y Armijo. Cevallos, J. (1757). *Censura de Don José de Cevallos*. En Feijoo, B.

terremotos (27 de marzo de 1756: *Formación y efectos de los terremotos*)<sup>60</sup> y Francisco de Céspedes Espinosa, casi un año después del terremoto, volvió otra vez sobre el tema (17 de septiembre de 1756: *Relación histórica del terremoto de 1755*). En estas conferencias se trataba el fenómeno de los terremotos desde un punto de vista puramente natural, fuera de toda consideración religiosa. Aunque bastantes de sus miembros eran eclesiásticos, en sus discusiones, de acuerdo con el espíritu de la Ilustración, la Academia se mantuvo fuera de la problemática formalmente teológica.

Algunos autores sostuvieron una posición intermedia en la que mantenían que el terremoto era, en verdad, un suceso natural, pero Dios se había servido de él para avisar o castigar a los pecadores. Entre ellos se encuentra Miguel Cabrera, teólogo de Sevilla de la Orden de los Mínimos, quien defendía que el terremoto era natural en sus causas, como veremos más adelante, en su ser y sus consecuencias, pero, sin embargo, una especial Providencia lo había ordenado para que sucediera en un tiempo y lugar particular. De esta manera, Cabrera consideraba que habían de tenerse en cuenta, tanto las causas físicas como morales del terremoto. Francisco de Buendía y Ponce (1721-1800), teólogo eclesiástico de Sevilla, poeta y médico del arzobispo de Sevilla, consiliario primero de la Real Sociedad de Ciencias de Sevilla y autor de varias obras de historia y medicina, mantuvo una opinión parecida. Exponía que los terremotos, aunque debidos a causas naturales, algunas veces pueden ser un castigo de la mano divina. Francisco Martínez Molés, profesor de teología de la Universidad de Alcalá de Henares tomó también una posición semejante y defendía que, aunque fenómenos naturales, los terremotos podían ser también señales de la ira divina. Así, decía que el terremoto como fenómeno natural puede ser investigado naturalmente, pero puede haber motivos para considerarlo como ordenado por la Providencia como castigo por los pecados. Francisco Mariano Nifo y Cagigal (1719-1803), que sería el fundador del primer periódico de Madrid, mantenía también una posición semejante. Después de explicar las causas naturales del terremoto, que veremos más adelante, añade que había que considerar también sus causas y efectos morales, siendo así que Dios puede usar estos fenómenos como avisos a los pecadores para que se arrepientan. El licenciado madrileño Juan de Zúñiga, en una carta a Feijoo, explica, por un lado, las causas naturales de los terremotos, y por otro, cómo Dios usa estas causas naturales para mostrar su desagrado por los pecados de los hombres. Pedro Trebna, miembro de las sociedades ilustradas de Sevilla, en un largo manuscrito, titulado «Tratado Phisico-Historico», en el que hace, «una completa relación reflexionada del funesto terremoto sobrevenido a España y África en 1º de Nov. de 1755», que no se llegó a publicar y se conserva su manuscrito<sup>61</sup> y cuyo contenido se verá más adelante, presenta con detalle los argumentos presentados en este debate en Sevilla y da su propia opinión. En ella, después de rechazar el carácter sobrenatural del terremoto, defiende, sorprendentemente, que, aunque natural, el fenómeno, sin embargo, no lo fue del todo, sino que tuvo un cierto carácter preternatural, esto es, pudo haber sido causado por algún espíritu maligno.

60 Audix de la Fuente, J. (1755). «Discurso meteorológico sobre el origen de los terremotos». Manuscrito en el Archivo Academia Sevillana de Buenas Letras, II, Disertaciones, (folios 20-41).

61 Trebna, P. (1758). *Tratado Phisico-Historico, en que hecha una completa relación reflexionada del funesto Terremoto sobrevenido a España y África en 1º de Nov. de 1755, se procura indagar la causa de los Terremotos en general y particularmente la del nuestro parangonado con otros más Notables.* (Manuscrito). Real Academia de la Historia, Colección de Cortes 9/2766-654, (pp. 405).

En conclusión, en España después del terremoto de Lisboa hubo defensores de las dos opiniones, sobre su carácter natural o sobrenatural, y la opinión de que había sido un castigo de Dios no fue la única, como a veces se afirma. Entre los ilustrados se defendió con claridad que este había sido un fenómeno natural y que no había que ver en él un castigo de Dios. Voces tradicionales entre el clero, sin embargo, lo consideraron como un castigo o aviso de Dios a los pecadores para que se convirtieran. Como hemos visto, también existió una postura intermedia que lo consideraba como un fenómeno natural, pero que la providencia divina lo había permitido para mover a los pecadores a su arrepentimiento.

### Tratados sobre los terremotos a raíz del terremoto de Lisboa

Con ocasión del terremoto de Lisboa sale a la luz en España toda una serie de publicaciones que tratan del origen y naturaleza de este suceso y de los terremotos en general<sup>62</sup>. A algunas de ellas se ha hecho ya referencia y las veremos ahora con más detalle. Una de las primeras noticias del terremoto está en la carta de Antonio de Ulloa al embajador de España en la Haya, que se tradujo al inglés y se leyó el 18 de diciembre 1755 en la reunión de la Royal Society de Londres, de la que era miembro<sup>63</sup>. La nota se refiere a los daños en Cádiz y describe que su violencia no fue inferior al terremoto de Lima y Callao (Perú) de 1746, que él había experimentado. Señala el tiempo de ocurrencia, 9 horas y 3 minutos de la mañana (en realidad un error por las 10 horas), duración 5 minutos y añade que, si no hubiera sido por la solidez de los edificios, todo Cádiz habría quedado destruido. Menciona la ocurrencia de daños también en Sanlúcar y Conil. Relata la llegada de la primera ola del tsunami una hora más tarde, a las 11:10, con una altura de 50 pies (15,4 m) y una segunda 20 minutos más tarde, con daños a los barcos del puerto, con un número grande de víctimas en el istmo. Esta puede considerarse como la primera publicación de carácter puramente científico sobre los terremotos publicada fuera de España por un autor español.

El mismo año 1755, se publica la obra de Fernando López de Amézua, *Carta Philosophica sobre el terremoto que se sintió en Madrid*<sup>64</sup>, fechada el 4 de noviembre, que relata cómo se sintió el terremoto en Madrid, sin conocer todavía los enormes daños causados en Lisboa, y considera que se trata de un terremoto local. Empieza relatando que tres días antes del terremoto se notó falta de agua en las fuentes y el día antes se observaron unas nubes de forma extraña en el cielo y un fuerte viento del noroeste. El día primero de noviembre a las 10 y 18 minutos se sintieron los primeros movimientos y poco después «el violento temblor» y continúa: «Fueron tan grandes los vaivenes de las Torres de la Iglesias y grandes edificios, que cuantos pudieron observarlos (que

---

62 Due Rojo, A. (1945). *Las teorías sismogénicas en España durante los últimos siglos. Anales Asociación Española Progreso de las Ciencias*, 10, (pp. 283-294). Udías, A. (2015). *El origen de los terremotos en la ilustración española*. En F.A. González Redondo (coord.), *Ciencia y Técnica entre la Paz y la Guerra, 1714, 1814, 1914*. (pp. 933-940). Madrid: SEHCYT. Udías, A. (2013). *Development of seismology in Spain in the context of the three large earthquakes of 1755, 1884 and 1954. Earth Science History*, 32, (pp. 186-203).

63 Ulloa, A. (1755). An Account of the Earthquake at Cadiz, in a Letter to the Spanish Ambassador at the Hague. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 69, (pp. 427).

64 López de Amézua, F. (1755). *Carta Philosophica sobre el terremoto que se sintió en Madrid y en toda esta Península el día primero de Noviembre de 1755*. Sevilla: Joseph Navarro y Armijo.

fueron muchísimos) no acaban de admirar que no se desplomasen todos». Los únicos daños que menciona son la caída de dos cruces de piedra en las portadas de las iglesias de San Antonio y Nuestra Señora del Buen Suceso, la segunda, matando en su caída a dos muchachos. El movimiento fue tan violento «que todos abandonaron sus casas [...] buscando en las plazas [...] la seguridad de sus vidas amenazadas de tanto y tan inminente peligro». El movimiento más fuerte «duró cinco minutos y algunos segundos» y se sintió en más de cuarenta leguas (220 km) del entorno sin más víctimas que los dos muchachos mencionados.

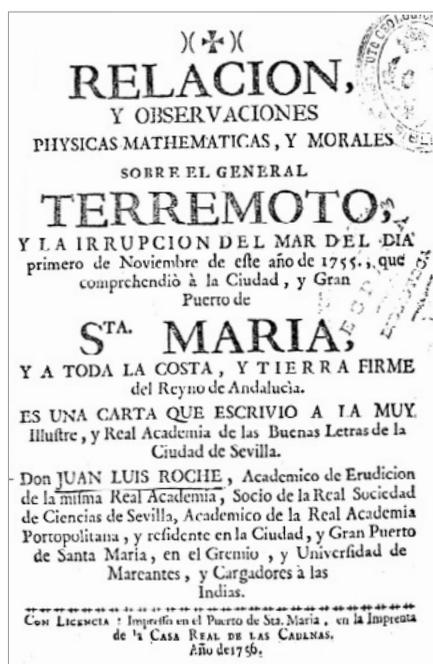


Fig. 4.8. Juan Luis Roche sobre el terremoto en el Puerto de Santa María

Escrita el 12 de noviembre de 1755, aunque publicada en 1756, es la obra de Juan Luis Roche, *Relación y observaciones physico-mathematicas y morales sobre el general terremoto*<sup>65</sup>, donde se trata de los daños sufridos por el terremoto y tsunami del 1 de noviembre de 1755 en el Puerto de Santa María. De él dice ser «uno de los más espantosos terremotos que ha padecido España, haciéndose lugar entre los más notables de la Europa», y «que ha sido el más fatal que ha padecido el Reyno de Portugal desde la muerte de Christo Señor nuestro». Comienza con una breve exposición de la causa explosiva de los terremotos citando a Lémery: «los supuestos innegables de ser la Tierra porosa, tener cavernas con ayre y materias inflamables que son otros tantos compuestos para una pólvora natural». El terremoto se sintió en el Puerto de Santa María a las diez de la mañana y duró de 8 a 10 minutos. Señala que no hubo víctimas, «aunque se cayeron algunas paredes viejas, remates de Torres y Portadas, sin que apenas quedase Casa, ni Templo que no se resintiese o cuartease». Roche observa que las vibraciones fueron de norte a sur. Luego pasa a describir con detalle el tsunami que llegó una hora después: «A una hora de pasado el Terremoto (pero no el susto) se descubrió la Mar, a distancia de una legua que con elevadas y

65 Roche, J. L. (1756). *Relación y observaciones physico mathematicas y morales sobre el general terremoto y la irrupción del mar del día primero de Noviembre de este año de 1755, que comprehendió à la ciudad y gran Puerto de Santa María y a toda la costa y tierra firme del Reyno de Andalucía*. Puerto de Santa María: Casa Real de las Cadenas.

violentísimas olas se encaminaba contra este Pueblo». Estima que el agua avanzó «como las tres leguas desde su arranque por encima del río». Murieron ahogadas cuatro personas y aparecieron algunos cadáveres en las playas de muertos en otras partes. En un Apéndice pone una lista de terremotos en España: en el año 580; 2 de febrero 1373 en los Pirineos; 18 diciembre 1396 en Valencia, 24 abril 1431 y en 1680, añadiendo como «generales en Europa» los de los años 880, 1198, 1545. En una nota añadida, Roche da las referencias de las historias donde encuentran mencionados los terremotos de 1396, 1504 y 1580.

El mismo año 1755, Martínez Molés publica, *Dissertación physica: Origen y formación del terremoto padecido el día primero de noviembre de 1755*<sup>66</sup>. Dividido en diez capítulos, comienza describiendo los terremotos como «Tragedia horrible, formidable asombro, a cuyas violentas concusiones nada hay seguro». Reconoce que en España los terremotos no son muy frecuentes y se centra en el reciente de Lisboa que «se observó con corta diferencia de tiempo en todo el Reyno». Se propone estudiarlo, ya que: «Si es este Phenómeno natural, naturalmente se causa, luego se permite a la indagación». Así que a pesar de ser profesor de teología se va a centrar en las causas físicas. Empieza mencionando que, según Aristóteles, hay tres tipos de movimiento en los terremotos: «pulso, temblor e inclinación»; precisando que el presente terremoto, sentido por él en Alcalá, ha sido de temblor. Moles pone como origen de los terremotos los fuegos subterráneos, citando los «pirophilacios» de Kircher, cuya existencia asegura que está comprobada por la actividad de los volcanes, como por ejemplo los de Filipinas, Japón y Perú. Precisa que, a su vez, los fuegos subterráneos se deben a la presencia de «materias nitrosas, bituminosas y sulfúreas» en el interior de la Tierra. Añade también la presencia de aire subterráneo, (los «aerophilacios» de Kircher), de forma que concluye: «Este Ayre y el Fuego subterráneo son las causas eficientes de los Terremotos». Sigue, después, su acercamiento al modelo explosivo: «¿Qué cosa más admirablemente horrenda, ni más parecida al Terremoto, que la formación del Trueno en la atmósfera y la explosión de una bombarda? Una mina, verdaderamente, es un Terremoto». Atribuye a la virtud elástica del aire subterráneo que «sacude las paredes de los montes, rompe los techos de las cavernas subterráneas, quiebra, subierte y hace los admirables efectos que se observan». Finalmente, añade la acción del agua en los conductos subterráneos (los «hidrophilacios» de Kircher) en la generación de los terremotos. El fuego convierte estas aguas en vapor que «concorre tan activamente a la producción de los terremotos». Al final, Molés cita algunos terremotos de la antigüedad en los años, 20 en Grecia, 79 en Chipre, 107 en Asia, 123 en la actual Turquía, 363 en Nicomedia y en 444 en Constantinopla. Termina con una exhortación religiosa: «mirad a Cádiz consternado, a Sevilla tumultuante, a Lisboa aniquilada», para que se enmienden las costumbre, «Escarmentad, pues Españoles, escarmentad, advertid que un abismo invoca a otro abismo». Es importante notar la cita de autores modernos por Molés, como el inglés Robert Boyle (1627-1691), los franceses Pierre Gassendi (1592-1655) y Edme Mariotte (1620-1684) y el alemán Wilhelm Homberg (1652-1715).

66 Martínez Molés, F. (1755). *Dissertación physica: Origen y formación del terremoto, padecido el día primero de noviembre de 1755*. Madrid: Juan de San Martín.

También en el año 1755 se publica la obra de Nifo y Cagigal, *Explicación physica y moral de las causas, señales, diferencias y efectos de los terremotos*<sup>67</sup>. Empieza el capítulo «Causas físicas de los terremotos» con un resumen de las opiniones de los filósofos de la antigüedad griega desde Anaxágoras a Aristóteles. Después de refutar sus propuestas, propone una modificación de la doctrina aristotélica, asignando la causa de los terremotos a las exhalaciones «gruesas engendradas en las entrañas de la Tierra» que «baten contra la Tierra y aunque sólida la mueven con ímpetu, causando el terremoto». Estas exhalaciones, a su vez, son producidas por «la lluvias o aguas subterráneas heridas del Sol». Más adelante, lo resume diciendo: «la exhalación seca y gruesa, engendrada en las entrañas de la Tierra [...] acumulada por el calor del Sol». Así que más o menos sigue a Aristóteles, añadiendo el efecto del calor del Sol. Después del tema de la causa de los terremotos, siguen los temas «Diferencias de los terremotos»; en qué épocas del año son más frecuentes (primavera y otoño) y en qué tipo de lugares (cerca del mar y lugares con montes) y «Diferencias del movimiento», los ya mencionados por Aristóteles: temblor, vibración e inclinación. Sigue el tema de «Las señales o pronósticos que preceden a los terremotos», dando ocho de ellas, tales como las de los astros, los eclipses, la hinchazón del mar y cambios en el agua de los pozos, pero curiosamente no cita las de los animales. Finalmente, un largo espacio es dedicado a las «Causas y efectos morales de los terremotos», donde expone lo ya mencionado más arriba. Son interesantes las referencias que aparecen a lo largo del texto, además de a grandes terremotos en muchas partes del mundo desde la antigüedad, a terremotos en la península Ibérica, empezando con el terremoto de Lisboa de 1755 y como se sintió en España en especial en Cádiz, Sevilla y Córdoba. Otros terremotos citados de la Península son: uno en Córdoba mencionado sin dar fecha por el filósofo árabe Averroes (1126-1198); el de 1340 en Lisboa; 24 agosto 1356 en toda la Península y en especial Lisboa; 18 diciembre 1394 en Valencia y Castilla; 1396 y 1464 en Sevilla; 1431 en Aragón y Cataluña; 1504 en Sevilla; enero 1531 en Lisboa. Los únicos autores modernos que se citan son el químico francés Lémery y el italiano Alessandro Sardo (1520-1588) que publicó un libro sobre los terremotos en 1586<sup>68</sup>.

Nifo y Cagigal en su libro pasa a explicar la naturaleza de los terremotos, empezando con su definición: «Llamase Terremoto cualquiera movimiento de algún espacio considerable de la Tierra, producido por alguna causa impelente dentro de sus mismas entrañas, la cual hace temblar, hundir, abrir, y lanzar enormísimas porciones de su mole». Menciona los clásicos tres tipos de movimientos, temblor, pulsación e inclinación. Refiere algunos efectos de grandes terremotos, como nacimiento o hundimiento de islas y cambios de lugar de montes. Respecto al origen de los terremotos cita a autores antiguos griegos y latinos desde Tales de Mileto a Séneca y Plinio y finalmente da como opinión más probable, «la repentina inflamación de las materias bituminosas y sulfúreas contenidas en las subterráneas cavernas no lejos de la superficie de la Tierra». Se refiere, por lo tanto, claramente al origen explosivo. Sigue una enumeración de catorce efectos de los terremotos, tales como que los terremotos son más frecuentes cerca del mar y de los volcanes (II), que el movimiento más frecuente es del temblor (VI), y que un terremoto puede levantar montes y mover provincias enteras (IX).

67 Nipho, F. M. (1755). *Explicación physica y moral de las causas, señales, diferencias y efectos de los terremotos*. Madrid: Herederos de Agustín de Gordejuela.

68 Sardo, A. (1586). *Discorso del Terremoto*. En *Discorsi* (pp. 170-207). Venecia: Gioliti.

En 1756, del Barco y Gasca publicó en Huelva su obra que ya hemos mencionado más arriba en referencia al carácter natural o sobrenatural del terremoto<sup>69</sup>. En ella propone claramente el origen explosivo de los terremotos justificando que «no hay cosa más parecida a un Terremoto que el ruido y estrago de una mina bien atacada». De esta forma, comparando un terremoto con la explosión de una mina afirma: «La causa que produce el efecto en ambos casos es la misma, esto es, los materiales de Azufre, Nitro y Betún de que hay bastante cantidad en las entrañas de la Tierra». A diferencia de una mina, sin embargo, en el terremoto el material inflamable está distribuido por varios lugares y se va encendiendo sucesivamente desde un punto original a otro.



Fig. 4.9. Obra de Antonio Jacobo del Barco sobre el origen del terremoto

Para el terremoto de Lisboa sitúa ese punto (el foco del terremoto, diríamos hoy) más cerca de la costa de África que de Portugal. Además, añade que el fondo del mar se levantó allí, empujando las aguas hacia las costas y cómo luego inundó Lisboa y Cádiz. Esta es la primera propuesta de una explicación del tsunami que produjo el terremoto. Por eso, más adelante dice que «entre todos los efectos físicos del Terremoto, ninguno hay más peligroso y más horrible que la agitación que causa en las aguas». Añade la información de un barco que se encontraba a 50 leguas (275 km) cerca del cabo San Vicente y que se vio afectado creyendo tocar tierra. Más adelante, afirma: «se hace sumamente verosímil el pensamiento de que del fondo del Océano Occidental naciese el presente Terremoto que causó el mayor daño en las costas inmediatas de África y Portugal». Precisamente es en esa zona, frente al cabo San Vicente, donde se estima hoy la localización del epicentro del terremoto.

69 Del Barco, A. J. (1756). Cartas del Doctor, Catedrático de Philosophia y Viario de la villa de Huelva, a Don N. satisfaciendo algunas preguntas curiosas sobre el terremoto de primeros de Noviembre de 1755. En *Discursos Mercuriales*, XIV (pp. 565-606). En Juan Enrique Graef. Hurtado Simó, R. (2015). El terremoto de Lisboa de 1755 en el pensamiento de Feijoo y del Barco. *Tales, Revista de Filosofía*, 5, (pp.115-124).

El mismo año 1756, publica Miguel Cabrera, *Explicación Physico-Mechanica de las causas del Temblor de Tierra* <sup>70</sup>. Se declara seguidor de la doctrina tradicional aristotélica y propone la explicación de los terremotos por lo que él llama la «Vena Cava». Por este nombre, Cabrera designa un conducto que atraviesa la Tierra del polo norte al sur, donde corre el agua de sur a norte y de la que se derivan una multitud de canales por todo el interior de la Tierra, como las venas en el cuerpo humano, en una concepción organicista, y luego se comunica con las aguas de los océanos, lagos y ríos en la superficie, cuya corriente va de norte a sur para completar el circuito. Así afirma: «Todo movimiento subterráneo y todo movimiento sobre la Tierra en el agua es gobernado por la ley de la Vena Cava». A esto añade la consideración del calor que convierte el agua en vapor y que forma las exhalaciones aristotélicas que dan origen a los terremotos, «mirado así el Terremoto no es más que encenderse la exhalación, arruinar montes, desplomar Ciudades, tragárselas». Siguiendo la concepción organicista llama a los terremotos «enfermedades de la Tierra», que son un fenómeno natural y, más aún, necesario. La distribución de las «venas» a partir de la Vena Cava por todo el interior de la Tierra explica la extensión del movimiento de los terremotos. Cabrera aplica esto a la extensión del terremoto de 1755 que afectó a toda la Península y África, «Si el temblor del día de Todos los Santos en España y África fue Temblor y algunas Lagunas de Alemania y de la Noruega hicieron movimiento [...] fue porque difundióse alguna porción de exhalación encendida por aquellas arterias de la Tierra, conducida por las aguas de la tal vena con que se mezcló». A lo largo del texto Cabrera critica las opiniones de los filósofos modernos, en especial a René Descartes (1596-1650), y los escritos de Nifo y Cagigal y López de Amézua.

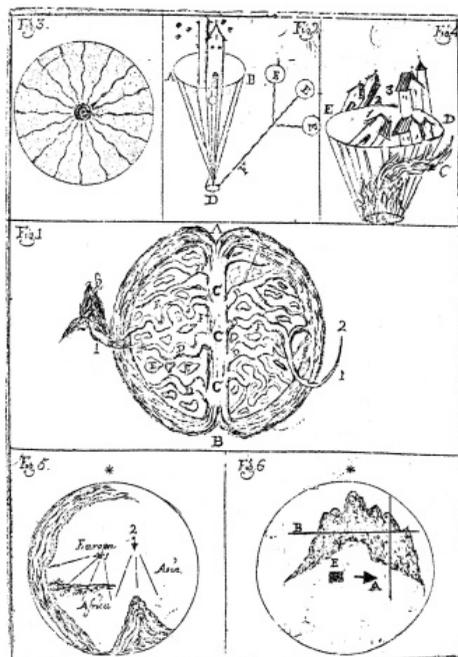


Fig. 4.10. La Vena Cava y los terremotos en Miguel Cabrera (1756)

<sup>70</sup> Cabrera, M. (1756). *Explicación Physico-Mechanica de las causas del Temblor de Tierra como constan de la doctrina del príncipe de los philosophos Aristoteles, dada por medio de la vena cava y sus leyes*. Sevilla: Diego de S. Román y Codina.

En 1756 se publica la obra de Isidoro Ortiz Gallardo, Catedrático de Matemáticas de la Universidad de Salamanca, *Sobre la generación, causas y señales de los terremotos*<sup>71</sup>. La obra está dedicada a su tío, Diego Torres de Villarroel, que, como ya vimos, también había publicado un libro sobre los terremotos. La obra está concebida como respuesta a dos escolares a los que describe como «muy jactanciosos de mala crianza y muy desvergonzados de Philosophia [...] que en lo sucio y raído de sus Sotanas y en lo desgarrado de sus expresiones, conocí eran cursantes de la venturosa Medicina». Está escrita en un lenguaje pintoresco, y está dividida en cinco lecciones: I. «Descripción de lo interior de la Tierra y circulación del Agua», II. «De el origen, generación y causas de los Terremotos»; III. «Causas y generación de el Terremoto sucedido, quasi en toda España, el día primero de Noviembre de este año 1755 a las diez de la mañana». IV. «Superior causa, tanto de la irregularidad pasada, quanto de el Terremoto». V. «Efectos y señales de los terremotos». Empieza presentando los tres sistemas de conductos subterráneos de pirofilacios, hidrofilacios y aerofilacios, aunque sin citar a Kircher. La causa presentada de los terremotos es la de los materiales inflamables en el interior de la Tierra, ya común de la época, es decir, el modelo explosivo: «Si los materiales encerrados y encendidos son muchos retostados, rasinosos y malignos como el sulfur, Arsenico, sal armoniaco, sal tartárea, nitro, antimonio y otros semejantes, prontos à inflamarse y encenderse, y que abundan de aire; rompen la Tierra por diversas partes, levantan edificios y montes, tragan ríos y sepultan Provincia y Ciudades». Menciona las tres clases clásicas de los movimientos: temblor, pulso e inclinación.

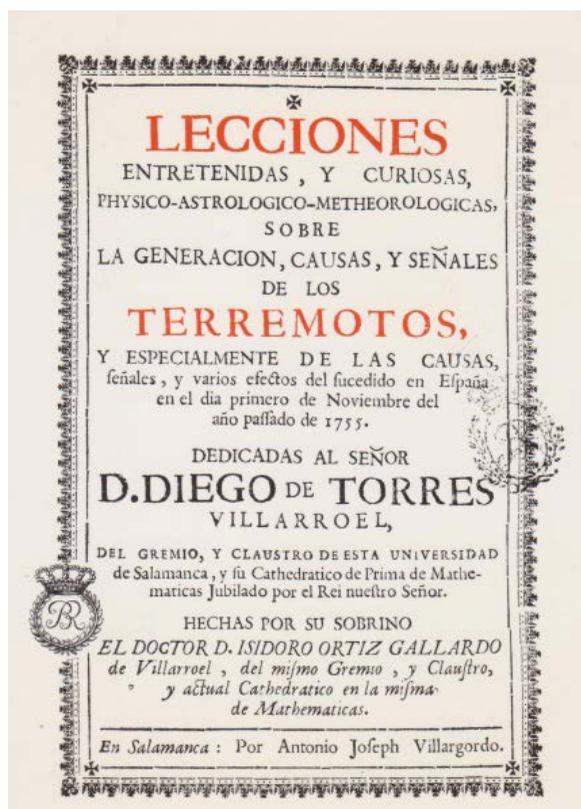


Fig. 4.1.1. Isidoro Ortiz Gallardo (1756) sobre los terremotos (Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería, N.º 43, Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos)

71 Ortiz Gallardo, I. (1756). *Lecciones entretenidas y curiosas physico-astrologicas-meteorologicas sobre la generación, causas y señales de los terremotos y especialmente de las causas señales y varios efectos del sucedido en España en el día pasado de 1755*. Salamanca: Antonio Joseph Villargordo.

Sobre el terremoto de 1755, Ortiz Gallardo señala las abundantes lluvias en años anteriores y en especial en otoño de ese año como su preparación. Luego la conjunción de los pirofilacios, hidrofilacios y aerofilacios con los materiales inflamables en las venas y cavernas subterráneas «y revolviéndose y desatándose con el incendio las partes salnitrosas en viento» se produjo el terremoto. El hecho de que se sintió casi al mismo tiempo en sitios como Lisboa y Madrid, indica la velocidad con «que corrió lo más de nuestra Península en poquísimos minutos». Relaciona el terremoto con el eclipse de Sol de 1753 y la situación de los planetas entonces y que se repitió en 1755. Finalmente habla de las ya conocidas señales de los terremotos, en especial, la situación de los astros y el comportamiento anómalo de los animales. Así que termina diciendo: «dándome los Escolares muchas gracias se marcharon enterados y contentos».

Escrita en 1758 es la obra de Pedro Trebnał, ya citada más arriba. La obra está dividida en seis secciones: 1. «Relación de lo que corrió y causó en España el terremoto de 1º de Nov»; 2. «Efectos físicos y morales, meteoros y phenomenos sucesos varios acaecidos en Europa los años siguientes al día del Terremoto»; 3. «Parangón de extraordinarios terremotos con el nuestro»; 4. «Opiniones de los antiguos sobre la causa de los terremotos»; 5. «Opiniones de los modernos sobre la causa de los terremotos»; 6. «Sobre la naturalidad o sobrenaturalidad de la causa de nuestro gran Temblor». Como se ve es un tratado muy completo y es una pena que no se publicara. Empieza con la comparación de que «El terremoto es una especie de guerra» [...] una guerra oscura que camina por debajo de nuestros pies». Entre las preguntas a las que va a contestar se encuentran: ¿Cuál sea la causa física e inmediata de los terremotos? ¿Si hay variedad de especies de ellos y cuáles sean? ¿Qué efectos físicos causan ordinariamente; cuales extraordinariamente? ¿Qué fenómenos se observen en los terremotos? Propone como causa de los terremotos el aire en las cavernas subterráneas, citando los aerofilacios de Kircher y la obra de López de Amezua. Para el de 1755 propone una caverna situada entre las costas occidentales de España y África.

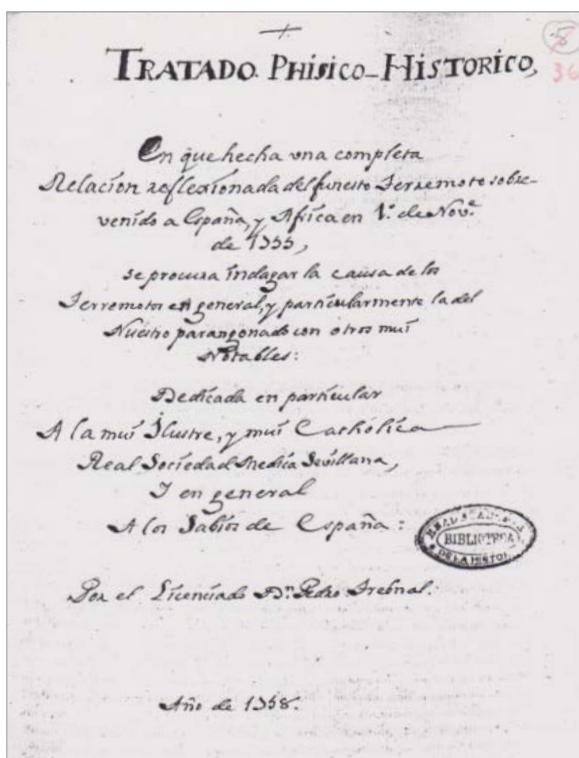


Fig. 4.12. Manuscrito de Pedro Trebnał (1758) sobre el terremoto de Lisboa (Biblioteca, Real Academia Española de la Historia, Madrid)

## Jerónimo Feijoo. La causa eléctrica de los terremotos

Benito Jerónimo Feijoo y Montenegro (1676-1764), benedictino profesor de teología de la Universidad de Oviedo es el autor de *Teatro crítico universal* (1726-1740) y *Cartas eruditas* (1742-1760), dos obras muy influyentes en la introducción de las ideas científicas modernas en España. La primera referencia de la obra de Feijoo se encuentra en la publicación de una carta, que le manda el ya mencionado Juan de Zúñiga, fechada en 20 de noviembre, y publicada en 1756 junto con la respuesta de Feijoo<sup>72</sup>.

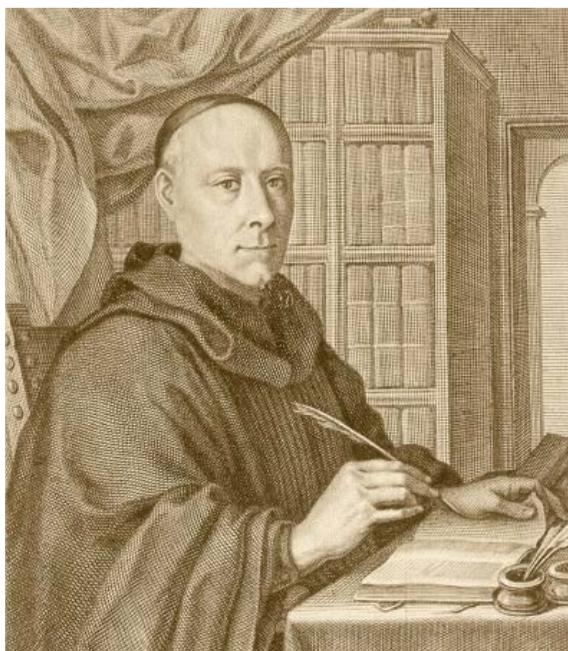


Fig. 4.13. Benito Jerónimo Feijoo y Montenegro

Zúñiga empieza haciendo referencia a los «errores comunes» que Feijoo ha combatido en sus obras y le pide que se pronuncie sobre el terremoto de Lisboa. Continúa dando su opinión sobre el origen de los terremotos, citando la obra de Kircher, *Mundus subterraneus*: «Causen estos terremotos o bien el fuego subterráneo o bien el viento», relacionándolos con los volcanes, citando el del Etna. Respecto al terremoto de Lisboa, empieza con la extensión, ya que se sintió hasta Cádiz y Sevilla, comparándolo con el de 1456 en Nápoles y que se sintió en Roma, y uno en Perú en 1604, sentido en 300 leguas (1650 km). La duración en España se pone entre 6 y 10 minutos. Llama la atención sobre que se sintió al mismo tiempo, «A las diez en Cádiz y en Sevilla: A las mismas diez en Lisboa, y a esta misma hora, con poca diferencia en Toledo y en Navarra». Siguiendo el modelo explosivo, afirma, «Esto es ser la pólvora tan fina que en solo un abrir y cerrar de ojos puede correr mucho trecho». Pasa luego a hablar de los sonidos antes y durante el terremoto: «el fragor que precede al terremoto» y lo relaciona con el aire en las cavernas subterráneas. Cita un terremoto en 1356 con daños en Lisboa y Sevilla y uno en Toledo en 1221, citando al historiador Juan de Mariana (1536-1624), a pesar de ser Toledo un lugar muy seguro por sus rocas y estar apartado del mar. Zúñiga relata cómo se sintió el terremoto de Lisboa en

72 Zúñiga, J. de. (1756). *El terremoto y su uso. Dictamen de el Rmo. P. Mro. Fr. Benito Feijoo*. Toledo: Francisco Martin.

Toledo, donde escribe, durante la celebración en la catedral. Siguen varios relatos curiosos con poca relación con el terremoto, narrando cómo en los terremotos nacen nuevas fuentes y otras se secan, y la noticia de dos fuentes que manaban vino y leche, que no considera muy verosímil. Sobre lo que llama «el uso del terremoto», distingue los que buscan su origen como causa natural, estudiándolo físicamente y los que buscan su causa moral y concluye: «Dios se sirve de las causas naturales para la ejecución de sus indignaciones». De «los que escudriñan las causas físicas de este terremoto», dice que con ello no adelantamos nada. Sin embargo, pasa a afirmar su origen «por la explosión de las substancias bituminosas y sulfúreas en las entrañas de la Tierra, de forma que se seguirán produciendo». Concluye «con la consideración de los efectos morales del terremoto y que en último término todo sucede para que «se enmienden nuestras vidas».

La segunda parte de la obra citada es la respuesta de Feijoo (*Respuesta y Dictamen del Rmo. Feijoo*), donde empieza, de acuerdo con Zúñiga, con la necesidad de «combatir errores comunes». Pasa a la consideración del miedo a los terremotos que identifica con el del miedo a la muerte que sigue de ellos. Toca la «razón física» de los terremotos y, cómo, de acuerdo con el modelo explosivo, su tamaño depende de la «cantidad de materias inflamables y inflamadas (que ciertamente son sus causas)». Cita el catálogo de terremotos de Johann Zahn, fijándose, entre los mayores, en uno en 1604 en la costa de Perú, citado también por Zúñiga y otro en Canadá en 1663, ambos sentidos en una amplia región, y los acaecidos en Lisboa en 1532 y 1551. Feijoo dedica el resto de la carta a que más que a los terremotos debemos de temer a una muerte repentina, más abundante y común. No añade, por lo tanto, nada nuevo a la explicación sobre los terremotos presentada por Zúñiga.

La obra de Feijoo más original sobre el origen de los terremotos es la publicada posteriormente, también en 1756, *Nuevo systema sobre la causa física de los Terremotos, explicado por los phenomenos eléctricos*<sup>73</sup>. La obra está dedicada a la Academia Portopolitana (del Puerto de Santa María) y precedida primero por una carta de Roche, académico de dicha academia, del que ya hemos visto su obra sobre el terremoto. Sigue una larga censura de Cevallos (*Censura de Don Joseph Cevallos*). En ella empieza alabando a Séneca: «el que entre los antiguos escribió con más profundidad, peso, elegancia, y documentos sobre Terremotos», precisando que dijo que no fue un terremoto el que separó la Península de África, sino el avance del mar. Roche da luego una lista de terremotos de la Península, empezando por el del 23 agosto 1356, con daños en Sevilla, citado por el historiador Mariana; el de 24 de abril de 1431, también en Sevilla, aunque Mariana pone los mayores daños en Aragón, Cataluña y Rosellón; el del 5 de abril de 1504, también en Sevilla, Mariana solo lo pone en Castilla y Andalucía; el de enero de 1531 que «estremeció con tanta furia Lisboa» y, finalmente, el del 9 de octubre de 1680, también en Sevilla (los mayores daños fueron en realidad en Málaga). Esta pequeña lista, recoge los mayores terremotos de la península ibérica entre 1300 y 1700.

En una primera «Censura» a la obra de Feijoo, Cevallos considera el problema teológico afirmando que: «siendo efectos naturales los Terremotos, truenos y tempestades, concurre Dios a su producción, como con cualquier otro efecto natural» y discute si es una herejía negar que

73 Feijoo, J. B. (1756). *Nuevo systema sobre la causa física de los Terremotos, explicado por los phenomenos eléctricos y adaptado al que padeció España en primero de Noviembre del año antecedente de 1755*. Puerto de Santa María: Casa Real de las Cadenas.

los terremotos son pronóstico de la ira de Dios, para negarlo y concluir que el de 1755, «ha sido enteramente natural y causado por las causas segundas naturales y proporcionadas, concurriendo Dios, como produce otro cualquier efecto natural» .

Sigue una segunda «Censura» de Francisco de Buendía, del que ya se vio su postura respecto al carácter sobrenatural del terremoto. En ella discute la tesis que propone Feijoo, que el origen de los terremotos está en la virtud eléctrica que explica que el terremoto se haya sentido al mismo tiempo a distancias tan grandes. Buendía apunta que aun siendo el terremoto un suceso natural, no deja de poder ser un castigo de Dios.

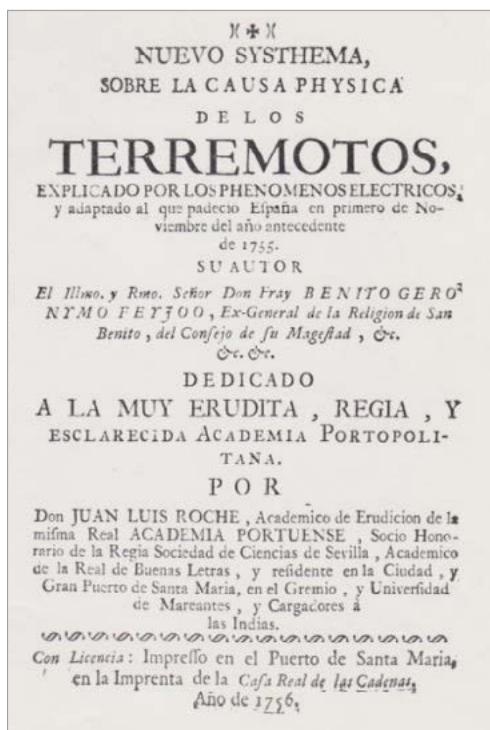


Fig. 4.14. Obra de Jerónimo Feijoo (1756) sobre la causa eléctrica de los terremotos

Otra «censura» muestra la aprobación de Miguel Antonio de Origuella, lector jubilado, que asegura que no puede menos que aplaudir «este Escrito, porque manifestar al público una nueva doctrina, tan a todas luces docta y tan doctamente lúcida, es digno de Elogios, no de Censuras.» Acepta que este que Feijoo llama nuevo «Systhema» es realmente original y con él se justifica lo sucedido en el terremoto de 1755, que fue sentido al mismo tiempo en lugares tan distantes.

La obra misma de Feijoo está dividida en cinco cartas cortas. Ya en la primera propone la causa de los terremotos a «un nuevo milagro de la virtud eléctrica», así como explica la ocurrencia de rayos y truenos. En las cartas tercera y cuarta propone el nuevo llamado «Systhema». Acepta que la causa de la mayoría de los terremotos, que afectan solo un área limitada, está en la explosión de las materias inflamables presentes en las cavidades subterráneas, es decir, el modelo ya clásico explosivo, pero, añade que esto no es posible para terremotos como el de 1755, que se sintió al mismo tiempo en lugares tan distantes entre sí como Cádiz y Oviedo, a 120 leguas (660 km). Así, propone en la cuarta carta que «nuestro gran Terremoto no fue efecto de la explosión de las materias inflamables contenidas en las cavidades subterráneas». Feijoo encuentra la solución en la electricidad. En realidad, la causa eléctrica de los terremotos había sido ya propuesta por autores como William Stukeley (1687-1765) en 1749, y lo sería más tarde por Giovanni

Battista Beccaria (1716-1781) en 1758, sin embargo, Feijoo insiste que la idea es totalmente original suya. Propone que, así como en las nubes de la atmósfera se producen truenos y rayos, también se produce algo semejante en las nubes de las exhalaciones existentes en las cavidades subterráneas. Concluye que la causa de estos terremotos «son unos nublados tempestuosos formados o congregados en las cavernas subterráneas», ya que el fuego eléctrico se encuentra en mayor abundancia en los materiales sulfúreos y bituminosos de las cavernas subterráneas. De esta forma, concluye que los terremotos que se sienten en una gran extensión al mismo tiempo son producidos por una descarga eléctrica en los materiales electrizados presentes en las cavernas subterráneas. En la obra se añaden dos cartas más, una quinta de Feijoo que no añade nada nuevo y una última de Roche que solo da algunos casos de terremotos sentidos en lugares muy distantes y, curiosamente, propone un péndulo vertical rodeado de cristales para avisar con el ruido de la llegada de los primeros movimientos de un terremoto. ¿Tenemos aquí una primera aproximación a un sismómetro?

## Los portugueses, Moreira de Mendonça y Ribeiro

Aunque el autor es un portugués, conviene reseñar aquí la obra publicada en 1758, tres años después del terremoto de Lisboa, por Joachim Joseph Moreira de Mendonça, *Historia Universal dos Terremotos*<sup>74</sup>. La obra fue muy utilizada por autores españoles y en ella se encuentra un catálogo de terremotos que ha servido de base a los primeros catálogos de terremotos de la Península. El catálogo contiene 426 terremotos, el primero en el año 1815 a. C., según Moreira el primer terremoto del que hay información histórica. 45 de ellos son terremotos en la península ibérica, el primero en 880 a. C. En cuanto a la causa de los terremotos, Moreira defiende las explosiones subterráneas, mencionando que los efectos que causa la pólvora encendida son muy análogos a los que se experimentan en los terremotos. Cita a Lémery, en cuanto a cómo se pueden producir espontáneamente las explosiones a partir de los materiales inflamables en el interior de la Tierra. Respecto al terremoto de 1755, propone que las explosiones fueron propagándose por las cavernas subterráneas, desde un primer foco en el mar cerca de Lisboa hacia el sur de Portugal, España y norte de Marruecos. Moreira trata con detalle el movimiento del mar, que, como él dice, fue uno de los efectos más terribles del terremoto. Finalmente, relata catorce señales previas a la ocurrencia de los terremotos, entre ellas, el cambio en el agua de ríos y lagos, el tiempo atmosférico inusual, señales en el cielo y el comportamiento anómalo de los animales.

Por último, Benito Bails (1730-1797), el matemático español más importante de esta época, autor de *Elementos de Matemáticas* (11 vols. 1772-1783), publicó en 1781 una traducción de la obra del médico portugués António Ribeiro Sanches (1699-1783), *Tratado de la conservación de la salud de los pueblos y consideraciones sobre los terremotos*<sup>75</sup>. La parte que dedica a los terremotos trata primero sobre su causa, según el modelo químico explosivo, con cita de Lémery. Pasa

74 Moreira de Mendonça, J. J. (1758). *Historia Universal dos Terremotos, que tem habido no mundo, de que ha noticia desde a sua criação até o seculo presente*. Lisboa: Antonio Vicente da Silva.

75 Ribeiro Sanches, A. (1757). *Tratado da conservacão da saude dos povos*. (Appendix, *Consideraçoes sobre os terremotos*). Lisboa: Joseph Philippe. Ribeiro Sanches, A. (1781). *Tratado de la conservación de la salud de los pueblos y consideraciones sobre los terremotos* (B. Bails, Trad.). Madrid: Joachim de Ibarra.

luego a considerar las exhalaciones presentes en las concavidades del interior de la Tierra, a su vez también causadas por las mezclas de los compuestos químicos presentes en ellas: «la mismas exhalaciones y vapores despedidos de las materias sulfúreas, ácidas y salinas[...] será forzoso re- vienten como una mina». Curiosamente asigna la misma causa a los fenómenos de la atmósfera: «la causa de los terremotos y volcanes lo es también de las auroras boreales, [...] de los relám- pagos, truenos y rayos. De esta forma concluye que «La causa de los terremotos, relámpagos y truenos es la misma».

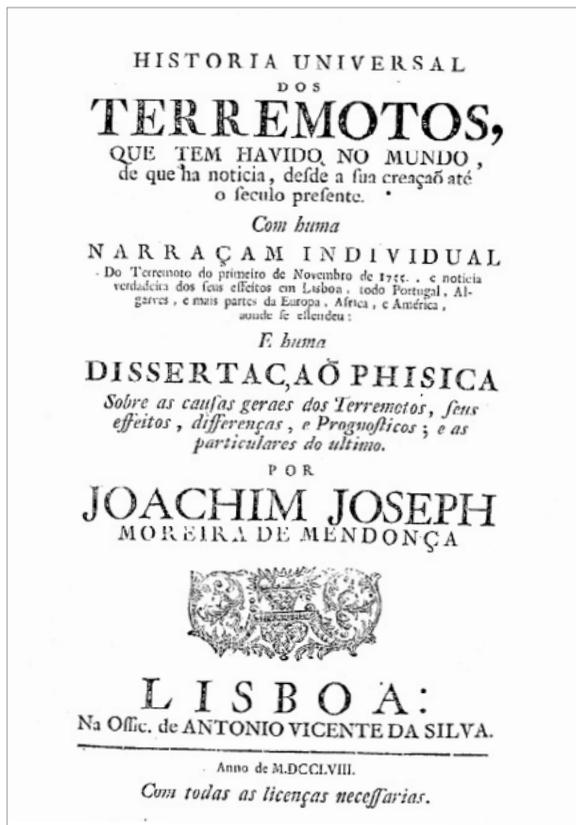


Fig. 4.15. *Historia Universal dos Terremotos* de Moreira de Mendonça

La segunda parte está dedicada al terremoto de 1755, donde Ribeiro Sanches va a ceñirse «a hacer mención de los lugares donde se ha sentido y de los fenómenos más notables así de tierra como de mar». Empieza por Lisboa, donde «en siete minutos derribó o abatió la mayor parte de los majestuosos edificios que eran ornamento de aquella capital». Menciona luego el efecto del mar que «se retiró primero y luego se echó sobre la ciudad». En España menciona que el terremoto se sintió en «Cádiz, Puerto de Santa María, S. Lucar, Xerez, Puerto Real, Algeciras, Ayamonte, Sevilla, Córdoba hasta Granada y Alicante» y en Marruecos destruyó muchas villas y ciudades como Fez, Tetuán, Tanger y Ceuta, y la que más, Mequinez. Añade que se sintió en Suecia y Pomerania y otros lugares de Europa. Termina señalando que todo lo que impide la transpiración de las exhalaciones subterráneas contribuye a causar terremotos, y recomendando no construir ciudades cerca del mar y hacer casas de un solo piso y separadas unas de otras. No sabemos la difusión que tuvo esta obra en España.



# 5 Desarrollo en España de las nuevas ideas sobre los terremotos

## Los terremotos y los procesos geológicos

A finales del siglo XVIII y comienzos del XIX, empiezan unos desarrollos nuevos de la geología que van a tener importantes consecuencias para las ideas sobre el origen y naturaleza de los terremotos que se introducen pronto en España. En primer lugar, se abandona totalmente lo que quedaba de la tradición aristotélica, y se proponen nuevas ideas de acuerdo con los presupuestos de la ciencia moderna basada en las observaciones. Se cuestiona la edad de la Tierra, que, de acuerdo con el texto del Génesis, se suponía de unos 5000 años, y se propone una mucha mayor duración, del orden de millones de años, basada en la edad de las rocas, de acuerdo con la teoría del enfriamiento y solidificación de una Tierra originalmente fundida, de acuerdo con las ideas cosmológicas del origen del sistema solar a partir de una nebulosa, propuestas ya por Descartes, Kant y sobre todo Pierre Simon de Laplace (1749-1827). Respecto a la posterior evolución de la Tierra, entre las teorías propuestas destacan dos alternativas. Una pone su origen en la deposición del material en el agua, para formar luego las rocas, que se llamó «neptunismo», propuesta en 1777 por Abraham Werner (1749-1814), conocido como el padre de la geología alemana. Esta propuesta se relacionó con el relato bíblico del diluvio universal. Werner propone un primitivo océano universal en el cual se han formado por deposición las rocas sedimentarias. Otra propuesta, que se denominó «plutonismo», asigna la formación de las montañas a la ascensión y enfriamiento de material fundido en el interior de la Tierra, propuesta en 1795 por James Hutton (1726-1797) en su obra *Theory of the Earth (Teoría de la Tierra)*. Respecto a los procesos de formación de la Tierra que han dado origen a su aspecto actual, Hutton además toma una postura más radical y propone una serie de ciclos sin fin, de procesos de elevación, erosión, sedimentación y consolidación, insistiendo en que estos procesos son los mismos que los que se dan actualmente, corriente que se conoce como «uniformismo».

Finalmente, en 1830, Charles Lyell (1797-1875) publica su obra *Principles of Geology* (*Principios de Geología*), que se considera como el inicio de la geología moderna. En ella, Lyell, siguiendo a Hutton, establece los principios del uniformismo moderno, y mantiene que, a lo largo de la historia de la Tierra, los procesos que se han dado son los mismos que se están dando en la actualidad. De esta manera, conectaba el presente con el pasado en relación con la formación de la Tierra. De acuerdo con esta visión, para explicar los procesos que han dado como resultado la situación actual de la Tierra, como la formación de las rocas sedimentarias, su elevación, plegamiento y erosión, son necesarios muchos millones de años. Por ello, Lyell propone que la edad de la Tierra debe de superar los cien millones de años.

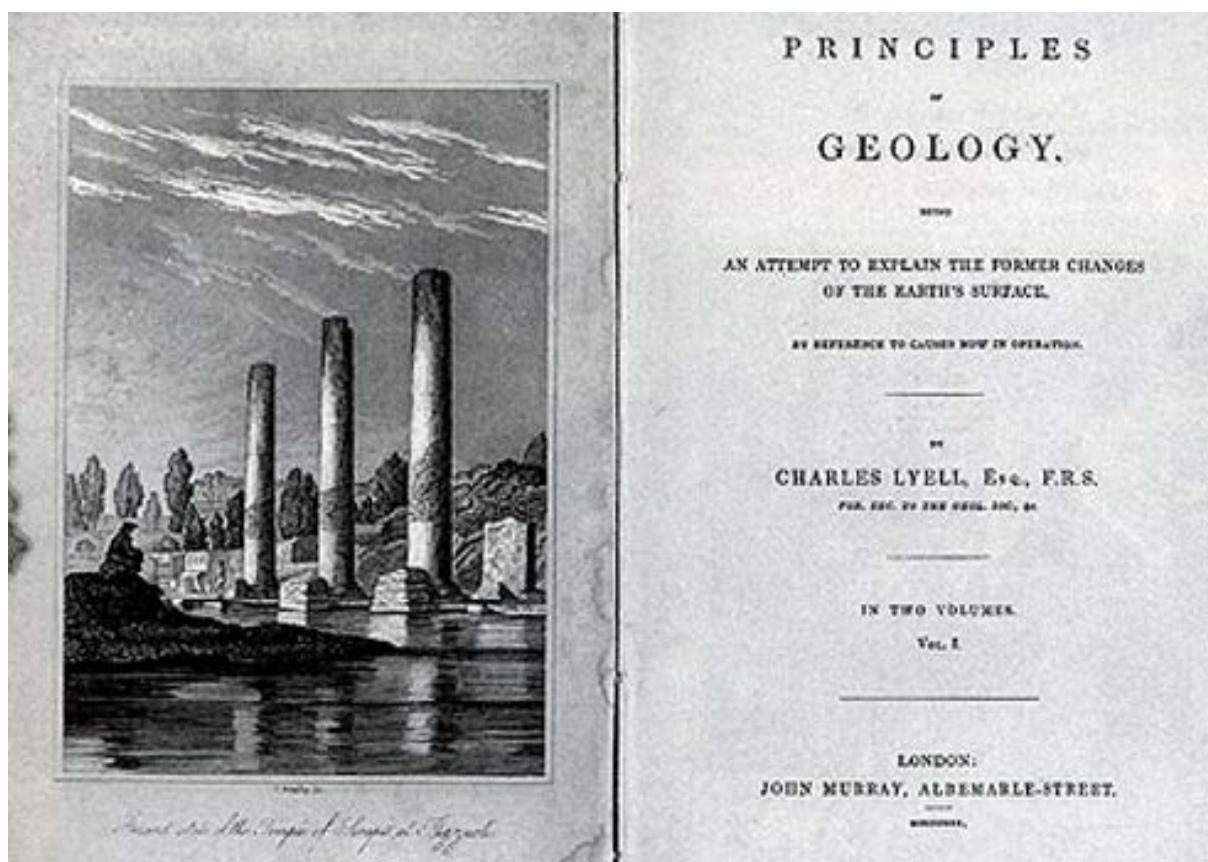


Fig. 5.1. Charles Lyell, *Principles of Geology* (1830)

Respecto a la generación de los terremotos, se empiezan a dar una serie de desarrollos nuevos que conducen al establecimiento de la sismología moderna<sup>76</sup>. John Michell (1724-1793), un geólogo inglés, propuso en 1760, después del terremoto de Lisboa, la idea fundamental de que un terremoto se produce en un foco y su movimiento se propaga en la Tierra en forma de ondas elásticas. Esta idea la desarrolló más tarde Thomas Young (1773-1829), a quien se deben importantes desarrollos de la teoría de la elasticidad. Michell y Young mantienen todavía en

<sup>76</sup> Udías, A. (1985). Evolución histórica de las teorías sobre el origen y mecanismo de los terremotos. En A. Udías, D. Muñoz y E. Buforn, *Mecanismo de los terremotos y tectónica* (pp. 15-40). Universidad Complutense de Madrid.

el foco el origen explosivo de los terremotos. En su obra, Lyell muestra un gran interés por el aspecto geológico de los terremotos y relaciona estos, junto con los volcanes, con los procesos dinámicos en la corteza terrestre<sup>77</sup>. De esta forma, introduce las ideas modernas sobre el origen de los terremotos y los relaciona con los levantamientos y subsidencia y otras deformaciones de la corteza terrestre, y propone ya que los terremotos son debidos a fracturas en las capas de la corteza, aunque sin dejar claro si las fracturas son causa o efecto de estos<sup>78</sup>. Robert Mallet (1810-1881), un ingeniero irlandés, publica en 1846 *On the Dynamics of Earthquakes (Sobre la dinámica de los terremotos)*, con la aplicación de los principios de la mecánica a los terremotos. Más tarde, en su estudio del gran terremoto de Nápoles de 1857, presenta de forma clara la propagación de las ondas sísmicas por la Tierra a partir del foco, aunque manteniendo todavía su naturaleza explosiva<sup>79</sup>.

Una nueva línea se abre con las observaciones de las estructuras geológicas y su relación con los terremotos, lo que va a conducir a un nuevo paradigma sobre su origen, abandonando el foco explosivo. Los terremotos se consideran producidos por los movimientos verticales de la corteza terrestre que producen plegamientos y fallas en su adaptación a la contracción de la tierra debida su enfriamiento. Entre los primeros en establecer esta relación se encuentra Alexander von Humboldt (1769-1859), con su estudio del terremoto de Ecuador de 1797, donde afirma que no es la constitución química de las rocas, sino su estructura mecánica la que influye en la propagación de las sacudidas<sup>80</sup>. Eduard Suess (1831-1914) en su obra monumental, *Das Anlitz der Erde (La faz de la Tierra, 1883-1909)* divide los terremotos en volcánicos y de dislocación, asignando ya estos últimos al movimiento del deslizamiento de las fallas. Estas ideas fueron desarrolladas por su discípulo Rudolf Hoernes (1850-1912), quien divide ya claramente los terremotos en volcánicos y tectónicos<sup>81</sup>. También las encontramos en el texto de geología *Manual of Geology (Manual de geología, 1862)*, escrito por el geólogo americano James D. Dana (1813-1895). Por lo tanto, queda ya propuesto definitivamente que los terremotos son fenómenos que están vinculados a la formación de las estructuras geológicas y que son producidos por fracturas de los materiales de la corteza terrestre.

Por otro lado, Alexis Perrey (1807-1882) estudió exhaustivamente los terremotos en Europa en sus *Memoirs sur les tremblements de terre (Memorias sobre los terremotos)*, publicadas entre 1845 y 1862. Entre las memorias, una está dedicada a los terremotos de la península Ibérica, con el primer catálogo moderno de terremotos específico para la región, que incluye los sucedidos entre 1009 y 1846<sup>82</sup>. Una lista bastante completa de terremotos de la península se puede

77 Lyell, C. (1830). *Principles of Geology* (Vol. 1, pp. 460-479). John Murray.

78 Bolt, B. A. (1998). Earthquakes and Earth Structure: a Perspective since Hutton and Lyell. En D. J. Blundell & A. C. Scott, *Lyell: the Past in the Key to the Present* (pp. 349-361). Geological Society. 143, 143, 349-361.

79 Mallet, R. (1862). *Great Neapolitan Earthquake of 1857: The First Principles of Observational Seismology*. Royal Society.

80 von Humboldt, A. (1848). *Cosmos. Essai d'une description physique du monde* (pp. 228- 245) Gide et Boudry Paris

81 Hoernes, R. (1893). *Erdbebenkunde: Die Erscheinungen und Ursachen der Erdbeben, die Methoden ihrer Beobachtung*. Leipzig Veit & Co.

82 Perrey, A. (1847). Sur les tremblements de Terre de la péninsule Ibérique. *Annales des Sciences physiques et Naturelles d'Agriculture et d'Industrie, Tome X*, Lyon: Barret.

encontrar, también, en el catálogo general de Karl Adolf von Hoff (1771-1837)<sup>83</sup>. A finales del siglo XVIII, se empiezan a usar péndulos para detectar y registrar el movimiento de los terremotos, y en 1859, Luigi Palmieri (1807-1896), director del Observatorio Vesubiano, utilizó los primeros sismógrafos, cuyo uso se extiende muy pronto, por ejemplo en Italia, por Filippo Cecchi (1822-1887) y Adolfo Cancani (1856-1904).

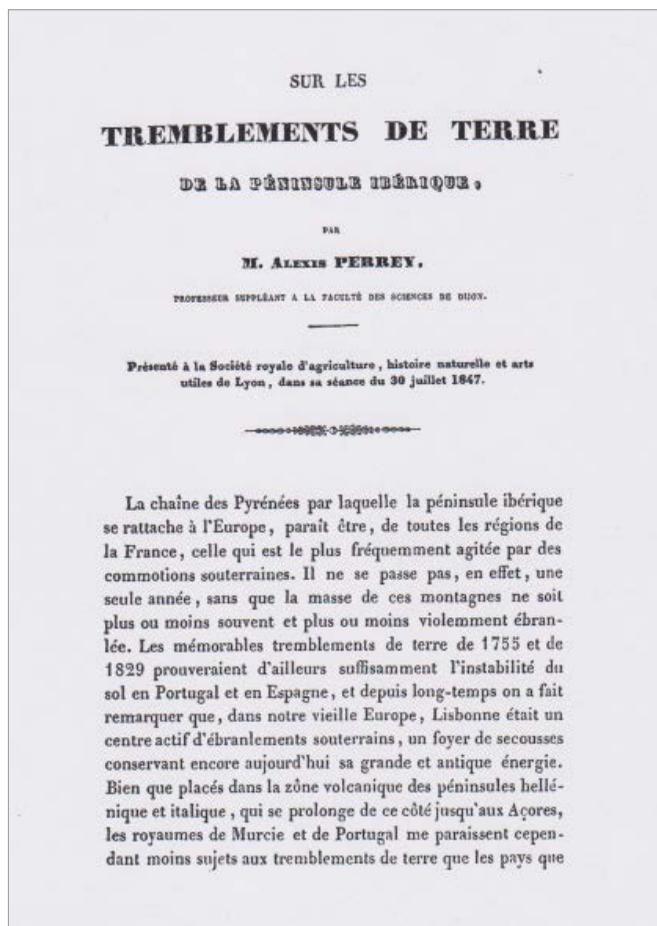


Fig. 5.2. Alexis Perrey, *Tremblement de terre de la péninsule Ibérique*, (1847)

## Los terremotos de Granada de 1801 y 1806

Estos nuevos desarrollos de la sismología y sobre el origen de los terremotos se van introduciendo poco a poco en España<sup>84</sup>. Una ocasión especial es la ocurrencia de los terremotos de 1801 y 1806 (Granada), 1829 (Torrevecija) y en especial el de 1884 (Arenas del Rey, Granada). El 20 de junio de 1801 tuvo lugar en Atarfe, Granada, un terremoto de intensidad máxima VI, y el 27 de octubre de 1806 otro mayor en Pinos Puente, también cerca de Granada (Imax = VIII), con una larga serie de unas 100 réplicas que ocurrieron hasta marzo de 1807. En ambos casos los terremotos se sintieron en Granada capital.

<sup>83</sup> von Hoff, K. A. (1840). *Chronik der Erdbeben und Vulkan-Ausbrüche*. Gotha: Justus Perthes.

<sup>84</sup> Delgado Marchal, R. El conocimiento científico español sobre el origen de los terremotos, (pp. 93 – 101).

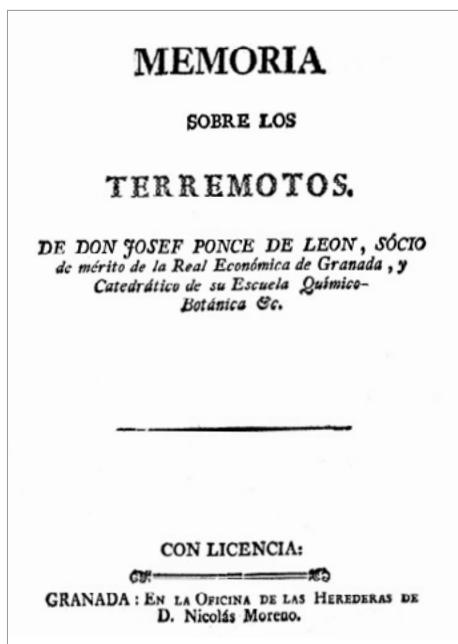


Fig. 5.3. Josef Ponce de León, *Memoria sobre los terremotos* (1806)

Con ocasión de estos terremotos, José Ponce de León (1753-1819), doctor en medicina y fundador de la Academia Químico-Botánica en Granada, publicó en 1806 *Memoria sobre los terremotos*<sup>85</sup>, donde trata de la naturaleza y causas de los terremotos<sup>86</sup>. Ponce de León defiende que: «la química sola es la que puede dar alguna certeza en los hechos de la naturaleza y en el terremoto, no solo ha manifestado la causa que lo produce, sino que los ha producido artificialmente». Los terremotos son, por lo tanto, fenómenos que se deben estudiar a través de la ciencia, en particular la química y la física, quedando fuera todas otras consideraciones. Respecto a la química, Ponce de León se refiere a los experimentos ya citados del químico francés Lémery y a las opiniones de los que llama los «sabios de Francia» contemporáneos, como el químico Antoine Baumé (1728-1804) y, en especial, Eugène Louis Patrin (1742-1815), naturalista y mineralogista, autor de *Histoire Naturelle des Mineraux* (*Historia natural de los minerales*, 5 vols, 1800-1801). Ponce de León empieza distinguiendo entre terremotos «aéreos, ígneos y eléctricos». Los aéreos «nacen de la compresión que recibe el aire en un hundimiento de alguna de las cavernas subterráneas»; los ígneos son causados por «el desprendimiento del calórico en la descomposición de las piritas» y los eléctricos son producidos por «una descarga eléctrica en el interior de la Tierra». Ponce de León distingue en un terremoto «el foco donde se forma, los materiales que entran en su producción, la causa que todo lo pone en movimiento y los productos que se forman». Finalmente, «la causa, que obra sobre estos gases, los inflama y los pone en movimiento, es el fluido eléctrico». Defiende, por lo tanto, todavía, una unión entre el foco explosivo y la influencia de las descargas eléctricas, como agentes determinantes en el origen de los terremotos, pero en ningún caso cita la obra de Feijoo. Insiste en la presencia en las pizarras, que

85 Ponce de León, J. (1806). *Memoria sobre los terremotos y aplicación de su doctrina a los que dan en Granada*. Granada: Herederas de Nicolás Moreuo.

86 Martín Marfíl, J, Vidal Sánchez, F, & Espinar Moreno, M. (1999). Características de los terremotos según José Ponce de León. *Boletín ROA*, 5/99, (pp. 255-263).

se encuentran en los montes, de compuestos químicos como «sulfatos, óxidos de metales, carbón y ácido sulfúrico libres». Estos compuestos forman los gases que forman como «una mina cuya recámara está esperando la mecha para ponerse en movimiento. Para esto no se necesita más agente que el fluido eléctrico». Ponce de León une de esta forma el modelo del foco explosivo de los terremotos, a partir de la concentración de gases producidos por los compuestos químicos en el interior de la Tierra, con el origen eléctrico, ya que es la descarga eléctrica la que finalmente produce su explosión. Brevemente, trata también del problema del anuncio y la predicción de los terremotos, concluyendo que «hay muy pocas señales que anuncien que ha de haberlos».

Ponce de León trata finalmente la situación en la zona de Sierra Nevada, su composición y la altura de los picos Veleta y Mulhacén. Concluye que «la gran montaña primitiva ha formado los gases, como se acaba de decir, y por conductos subterráneos los ha remitido a la Sierra de Elvira» donde él pone el foco del terremoto de 1806. A la acumulación de gases sigue el efecto de las descargas eléctricas ya que, según él, «la Sierra Nevada, el disco y toda su armadura, es el depósito principal y mayor de toda la electricidad » y así concluye: «No podemos negar que la Sierra Nevada es un depósito inmenso de fluido eléctrico». En concreto, compara la sierra de Elvira con «una botella de Leiden, sobrecargada y en comunicación con el depósito de la Nevada». Convencido de la naturaleza eléctrica de los terremotos, para terminar, sugiere instalar en la zona montañosa unos conductores de electricidad, cada vez de menor sección para terminar en la llanura, y de este modo descargar la electricidad, con lo que añade que «probablemente parece que se estorbarían los temblores». Aunque aclara: «Pero esto es soñar. La empresa es ardua, insuperable y no reducible a la práctica... solamente residirá en la imaginación».

Juan Sempere y Guarinos (1754-1830), valenciano, jurista, político y economista, fiscal de la chancillería de Granada, es el autor de *Reflexiones sobre los terremotos de Granada*, escrito con ocasión del terremoto de 1806<sup>87</sup>. Modestamente, empieza afirmando: «No puedo lisonjearme de ser inventor de ningún nuevo sistema ni remedio contra los terremotos, pero la elección y reunión de mis noticias y reflexiones podrán, tal vez, conducir para evitar la repetición de diligencias inútiles». Empieza con una relación de los terremotos en el sur de España, empezando con el de Sevilla de 1504, entre ellos cita el de Málaga de 1680, el de Montesa de 1748 y los daños producidos en España por el de Lisboa de 1755. Añade luego los terremotos de Granada en 1778, 1789, 1801 y 1806. El terremoto de 1789 le lleva a discutir el problema del pozo Airón, un pozo supuestamente excavado por los árabes para evitar los terremotos dejando salir los vientos subterráneos que pensaban que los producían, y que estaba cegado. Se proponía volverlo a abrir, aunque Sempere deja claro: «Por fin, prevaleció el dictamen más sano y racional que se oponía a la abertura del pozo Airón y excavaciones de otros tan inútiles».

Sempere dedica un capítulo al terremoto del 1 de septiembre de 1804 y a los daños producidos en los pueblos de Berja y Dalías, en Almería, con citas a documentos del Alcalde Mayor y a los Reales Acuerdos remitidos por el rey. Mayor extensión da a los terremotos ocurridos en Granada, donde vivía, en septiembre y octubre de 1806 y aclara que en Granada capital no hubo ninguna víctima y que en los pueblos más cercanos al epicentro «no han pasado de diez o doce

87 Sempere y Guarinos, J. (2006). *Reflexiones sobre los terremotos de Granada* (Ed. R. Herrera Guillen). Madrid: Biblioteca Saavedra Fajardo.

los muertos y contusos». De los daños en los pueblos de Santa Fe, Pinos Puento, Arquerosa y Soto de Roma, dice que, de sus 1332 casas, 94 han sido arruinadas enteramente y solo 118 «han quedado sin ningún quebranto», estimando el valor de los daños en 7 704 042 reales (aproximadamente unos 12 millones de euros en valor actual).

En el capítulo dedicado a las causas de los terremotos, Sempere empieza afirmando: «En los terremotos no hay nada diabólico ni maravilloso. Son tan naturales como las lluvias, los granizos, tempestades, huracanes y otros tales fenómenos» y añade que la «geología o ciencia de la tierra» ha demostrado de los volcanes que sus causas son las mismas que las de los terremotos. Cita la obra del naturalista irlandés William Bowles (1705-1780), que trabajó en España invitado por Antonio de Ulloa desde 1752 hasta su muerte y publicó un libro de geografía e historia natural de España<sup>88</sup>, y al ya citado químico francés Patrin. A partir de la obra de este último, propone las causas de los terremotos como debidas a «los fluidos aeriformes que llenan los intersticios de las capas arcillosas [...] llegando a inflamarse por las detonaciones eléctricas que se comunican con la misma celeridad que el rayo». Se trata, por lo tanto, de la combinación del modelo explosivo con la participación de la electricidad, como ya vimos en Ponce de León, al que Sempere cita extensamente y del que dice que «ha dado una descripción más interesante de este territorio y una explicación algo menos inverosímil de las causas de los terremotos». Cita también otra memoria sobre estos terremotos de Nicolás Garrido, capitán de ingeniería, que no se ha podido encontrar. En ella se hace referencia al físico francés, Pierre Bertholon de Saint-Lazare (1741-1800), quien había propuesto una especie de pararrayos (a los que llama «paratemblores») para descargar la electricidad de la tierra y así evitar futuros terremotos<sup>89</sup>. Se trata de la misma idea propuesta por Ponce de León que, como ya vimos, él mismo había considerado impracticable. Sempere, finalmente, trata de cómo se han de construir las casas, para que no sufran en los terremotos, y termina considerando, curiosamente, que los terremotos no eran un obstáculo para que Carlos V hubiera establecido la capital de España en Granada.

## El terremoto de Torrevieja de 1829

El 21 de marzo de 1829 tuvo lugar un fuerte terremoto que causó grandes daños en la zona de Levante, en especial en las localidades de Torrevieja, Almoradí y Torrelamata (intensidad X), y se sintió en una amplia zona entre Alicante, Cartagena y Murcia, con una larga serie de réplicas<sup>90</sup>. José Agustín de Larramendi (1769 -1848), político, ingeniero y geógrafo, quien formaba parte de la Inspección de Caminos y Canales de la Corona desde 1799 y era director de la Escuela de Ingenieros de Caminos desde 1821, fue el encargado el 10 de abril 1829 de reconocer los daños<sup>91</sup>. El 9 de junio del mismo año publicó los resultados de la inspección, *Memoria y relación circunstan-*

88 Bowles, W. (1775). *Introducción a la historia natural y a la geografía física de España*. Madrid: Imprenta Real.

89 Bertholon de Saint-Lazare, P. (1787). *De l'électricité des météores*. París.

90 Muñoz, D., Udías, A., & Moreno, E. (1983). Reevaluación de los datos del terremoto de 1829 (Torrevieja). *Sismicidad histórica de la región de la Península Ibérica*. Madrid: Asociación Española Ingeniería Sísmica, (pp. 38-41).

91 Domínguez López, C., & Sáenz Ridruejo, F. (1999). *José Agustín de Larramendi, primer Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos*. Bilbao: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos del País Vasco.

ciada de los estragos que la terrible catástrofe de los terremotos de 21 de marzo y siguientes ... han causado en Torrevieja y demás pueblos de la gobernación de Orihuela<sup>92</sup>. De Larramendi se desplazó a la zona después de recibir el encargo, empezando por Torrevieja, que estaba experimentando todavía las réplicas del terremoto. En su *Memoria*, empieza mencionando los terremotos anteriores ocurridos en la zona en 1802, 1822 y 1828, para centrarse en el terremoto acaecido en 1829, relatando los daños y efectos en el terreno. Señala que: «los pueblos que están en medio de la vega del Segura han sufrido más que los que están inmediatos a la sierra», situando el foco del terremoto cerca de Torrevieja, donde todavía «se sienten diez, doce o más un día con otro». Da una lista de terremotos de la Península, empezando con uno sentido en 1356 en Lisboa y siguiendo con otros sentidos en 1431 en Andalucía, en 1504 y 1531 en toda España, y en 1748 en Montesa. Respecto a la causa de los terremotos, De Larramendi afirma con cautela: «Por grandes que hayan sido, de cuarenta años a esta parte, los progresos de la ciencia geognóstica o geológica, es muy oscura todavía la teoría de los volcanes y terremotos». Da por sentado que la opinión general es que «son efectos de fuegos subterráneos, aunque no se sabe bien cómo se encienden las materias inflamables que los producen, ni a qué profundidad están». Por lo tanto, asume el carácter explosivo del foco a partir de los materiales inflamables subterráneos y se cuestiona el papel que la electricidad juega en ellos: «¿No hay lugar a sospechar que el fluido eléctrico juega un papel principal en estos fenómenos?».

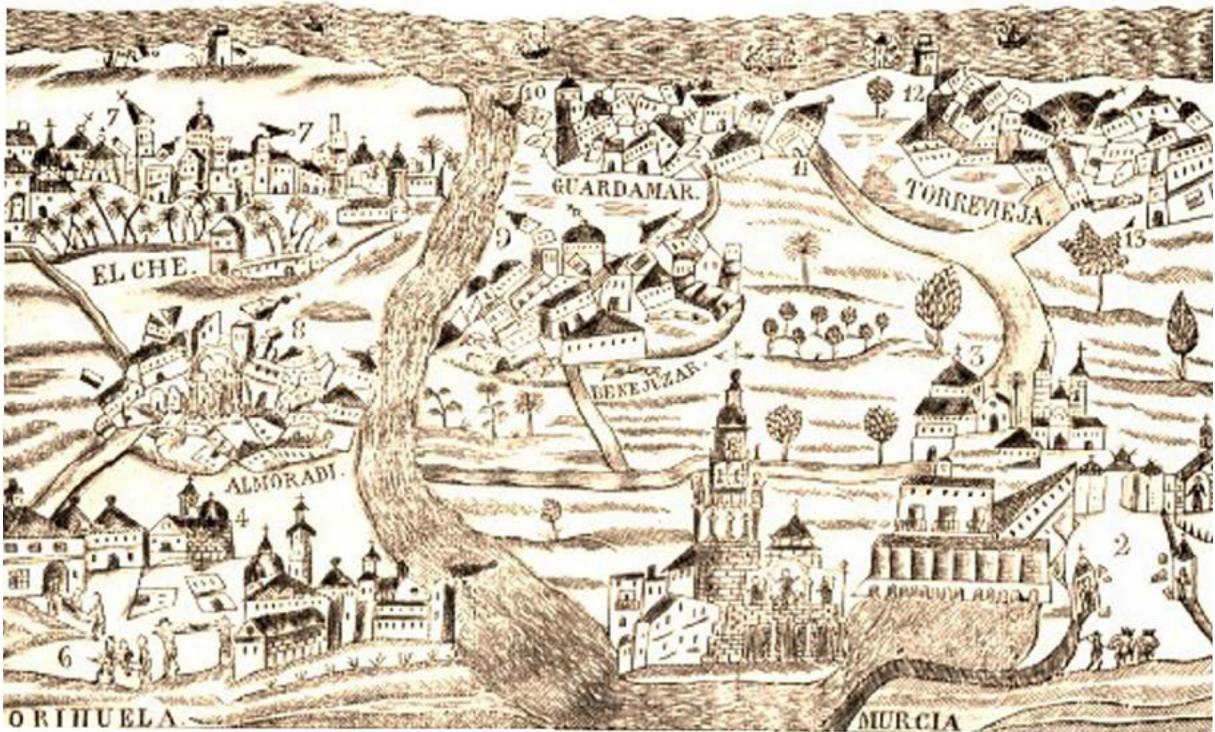


Fig. 5.4. Grabado de los daños del terremoto de 1829

<sup>92</sup> de Larramendi, J. A. (1829). *Memoria y relación circunstanciada de los estragos que la terrible catástrofe de los terremotos de 21 de marzo y siguientes han causado en Torrevieja y demás pueblos de la gobernación de Orihuela*. Madrid: Imprenta Real.

El tema principal de la memoria de De Larramendi es el de los daños producidos por el terremoto, localizándose los mayores en Torrevieja, Almoradí, Guardamar Rojas y Benejúzar, de modo que estos pueblos, «por estar del todo arruinados deben ser reconstruidos de nuevo». De Larramendi propone una serie de normas para la reconstrucción: «Las dimensiones de las casas, de las calles y el género de construcción, serán las apropiadas a los pueblos sujetos a temblores de tierra». Por ejemplo, propone casas de un solo piso y de no más de 15 pies (4,5 m) de altura, y calles anchas de 45 a 50 pies (13.5 a 15 metros). Da también algunas normas para la construcción, que se caracteriza por el uso preferente de la madera y la mampostería. De Larramendi se plantea reconstruir Torrevieja en otro lugar, pero más tarde lo rechaza y piensa que después de la reconstrucción: «En un país tan ameno los nuevos pueblos con alamedas en las calles vendrán a ser los más hermosos del Reino».

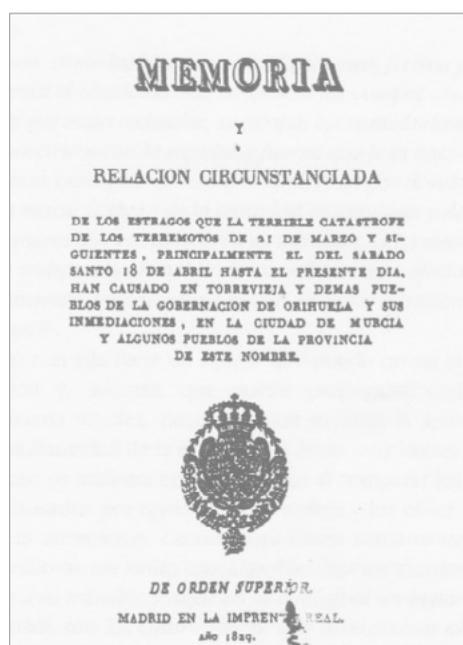


Fig. 5.5. Memoria de J. A. Larramendi sobre el terremoto de Torrevieja 1829

Al final hay una tabla con los daños detallados en 28 pueblos, que se resumen en un total de 389 muertos y 375 heridos, 2965 casas asoladas y 2396 quebrantadas, y 47 iglesias derruidas. Los pueblos con mayores daños (más de 250 casas asoladas) son Torrevieja, Almoradí, Guardamar, Rojas, Benejúzar y Orihuela. De Larramendi, a lo largo de su estudio, tiene la visión del ingeniero más interesado en los daños y consecuencias de los terremotos y la reconstrucción de las casas derruidas que en su naturaleza y causas.

El terremoto de Torrevieja fue la ocasión de la publicación de *Memoria sobre el terremoto*, escrita en 1815<sup>93</sup> por José Antonio Ponzoa (1791-1848), político y economista originario de Murcia, y también catedrático de Economía Política de la Universidad Central de Madrid. Un párrafo introductorio alude al terremoto de Torrevieja del 21 de marzo de 1829 y a él se refiere

93 Ponzoa, J. A. (1829). *Memoria sobre el terremoto* (leída en la Real Academia de Medicina de Murcia en la sesión de 22 de mayo de 1815). Madrid: Ibarra. Canales Martínez, G. (Ed.). (1999). *La catástrofe sísmica de 1829 y sus repercusiones*. Murcia: Pictografía. (Reproducido como «Vademecum que recoge una conferencia sobre terremotos pronunciada en Murcia por José Antonio Ponzoa», (pp. 319-325). .

la reproducción de una carta escrita por un testigo presencial de Murcia, que se incluye al final de la obra, y que presenta datos de los daños producidos en varios pueblos como Orihuela y Torrevieja. En la *Memoria*, Ponzoa trata, en general, del terremoto o temblor de tierra, descrito como: «fenómeno sobre el que sería de desear que los físicos se afanasen en vano... pero de cuya realidad es nuestra triste y general experiencia».



Fig. 5.6. Isosistas del terremoto de Torrevieja 1829 (Muñoz et al. 1983)

En la primera parte, comienza mencionando algunos terremotos de la Península, empezando con el terremoto ocurrido en 1356 que afectó especialmente a Lisboa y a la región del Algarve, y siguiendo luego por los sismos de 1431, 1504 y 1531. Hace especial mención al terremoto ocurrido en Lisboa en 1755, y a los daños que el evento produjo en Cádiz y Sevilla. Para ilustrar la fuerza de los terremotos, les asigna la causa de la desaparición de la Atlántida y la separación de España y África. Pasa luego a relatar la relación entre volcanes, terremotos y los fuegos producidos por: «la existencia de grandes cantidades de betunes, de turbas, de alumbre, de azufre, de piritas, de agua y aire, agentes poderosos de la naturaleza y de cuya combinación resultan los fenómenos más espantosos». Se trata, por lo tanto, del modelo explosivo de los terremotos, que parte de los compuestos químicos presentes bajo tierra y la acción del fuego y el agua, y también de la obligada cita a los experimentos de Lémery. La segunda parte de la obra trata de la acción de la electricidad, sobre todo para explicar el hecho de que un terremoto como el de Lisboa se sintiese al mismo tiempo en lugares muy distantes. De esta forma, Ponzoa se pregunta: «¿Hay otro agente en la naturaleza capaz de producir este efecto a más de la electricidad?» Curiosamente, no hay todavía mención de las ondas sísmicas producidas por los terremotos, que como hemos visto habían sido ya propuestas por Michell y Young. Presentando la similitud entre los truenos y los terremotos, Ponzoa concluye que hay que reconocer una misma causa en ambos fenómenos, que identifica como la electricidad. Después de la carta que describe los daños del terremoto de Torrevieja, Ponzoa incluye finalmente una oda de un amigo suyo que comienza como sigue: «Sosiega tus temblores, monte horrendo/ Y sobre este peñasco formidable/ Déjame imperturbable/ Investigar la causa del tremendo/ Ruido de tus entrañas bullidoras».

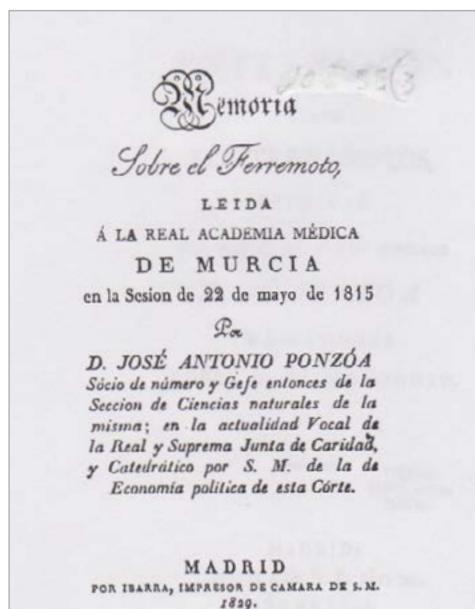


Fig. 5.7. Memoria de J. A. Ponzoa sobre el terremoto de Torrevieja de 1829

Otro escrito publicado con ocasión del terremoto de Torrevieja es *Ensayo sobre volcanes y terremotos*, de Lorenzo Arrazola (1795-1873), político, abogado, catedrático de jurisprudencia en las universidades de Valladolid y Madrid, diputado en Cortes y en varias ocasiones Ministro de Gracia y Justicia<sup>94</sup>. En el *Ensayo*, después de una dedicatoria a sus estudiantes («mis caros Escolares») y añadiendo «Con el objeto, pues, de cebar hoy vuestra curiosidad naciente y de que vosotros podáis mañana satisfacer la ajena», Arrazola comienza con una larga introducción de reflexiones morales sobre las catástrofes de los terremotos, donde insiste en que, regido por la Sabiduría Divina, «nada sucede en el Universo por acaso y nada sin un fin eminente sabio», aunque «a primera vista parece que repugnan a la bondad de un Dios». A estas consideraciones se vuelve al final del capítulo IV, donde se habla de las causas morales de estos fenómenos, «aunque los terremotos son efectos puramente naturales». Vemos aquí una vuelta a las consideraciones de los escritos publicados después del terremoto de Lisboa y que habían sido ya abandonadas por Ponce de León y Ponzoa.

Arrazola empieza con la figura y composición de la Tierra, haciendo referencia a las cavidades subterráneas y los hidrofilacios, todavía utilizando este término *kircheriano*. Después de una primera parte dedicada a los volcanes, pasa a tratar los terremotos, distinguiendo primeramente entre el movimiento undulatorio y el oscilatorio. De los terremotos que afectaron a la Península menciona solo los de Málaga de 1680 y de Lisboa de 1755. Según él, los efectos de este último se extendieron por toda Europa y llegaron hasta Persia. De las causas de los terremotos mencionados, afirma que son las mismas que las de los volcanes, que «son el fuego subterráneo, el aire enrarecido y el agua revuelta», donde el fuego «se ceba o alimenta a expensas de las inmensas minas de azufre y betunes que abriga la Tierra». Para explicar el hecho de que terremotos como el de Lisboa se sientan al mismo tiempo a grandes distancias recurre a la electricidad, aunque

94 Arrazola, L. (1829). *Ensayo sobre volcanes y terremotos: Contiene curiosas observaciones morales, históricas y físicas sobre los fenómenos volcánicos y terremotos en general y en particular sobre los acontecimientos de Murcia y Orihuela*. Valladolid: Imprenta de Aparicio; Reproducido en Arrazola, L. (1829/1999). *Tratado escrito por Lorenzo Arrazola a raíz del terremoto de 1829*. En G. Canales Martínez, *La catástrofe sísmica de 1829 y sus repercusiones*.

con cierto reparo: «[...] no me atrevo a aventurar, por ahora, mi opinión en favor del influjo de la electricidad en los terremotos, más que como mera conjetura». La última parte trata sobre terremoto de Orihuela, como Arrazola lo denomina, del que menciona la ocurrencia de un premonitor tres minutos antes y describe extensamente sus daños y circunstancias. Da los datos aproximados de mil muertos y otros tantos heridos y cuatro mil casas arruinadas, sin la precisión que ya vimos en la *Memoria* de De Larramendi.

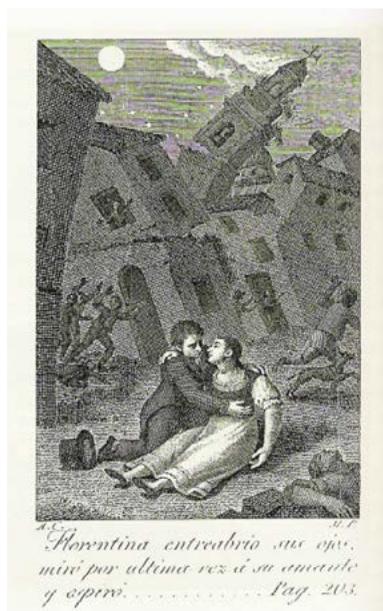


Fig. 5.8. E. Vayo, *Los terremotos de Orihuela o Henrique y Florentina* (1829)

Finalmente, el terremoto fue la ocasión de la publicación por Estanislaos de Koska Vayo de la novela romántica *Los terremotos de Orihuela o Henrique y Florentina*, que termina con el siguiente pasaje: «[...] Florentina entreabrió sus ojos y miró por última vez a su amante y espiró [...]. Un sacudimiento espantoso levanta la tierra, y abriendo un abismo por aquella parte, se traga a los amantes»<sup>95</sup>.

## El terremoto de Huércal-Overa de 1863

El 10 de junio de 1863 tuvo lugar un terremoto en Huércal-Overa, en el norte de la provincia de Almería, cerca de la costa, que produjo daños ( $I_{max} = VI-VII$ ) y fue seguido por una larga serie de réplicas hasta enero del año siguiente<sup>96</sup>. Casiano de Prado (1797-1866), ingeniero de minas y desde 1849 miembro de la Comisión de la Carta Geológica, fue encargado de su estudio, que publicó en seis artículos cortos de la *Revista Minera*, fundada en 1838 y de la que era director, y más tarde en un libro<sup>97</sup>. De Prado estaba sobre todo interesado en los efectos y daños

95 de Koska Vayo, E. (1829). *Los terremotos de Orihuela o Henrique y Florentina, historia trágica*. Valencia: Librería de Cabrerizo.

96 Fernández Bolea, E. (2009). Los terremotos de 1863 en la comarca del Levante almeriense. *Espiral-Cuadernos del Profesorado*, 2, (pp. 27-40).

97 Prado, C. de. (1863). *Los terremotos de la provincia de Almería*. Madrid: Viuda de D. A. Yenes.

producidos por los terremotos y en la distribución de la sismicidad de la zona de Almería. Reconoce la relación entre volcanes y terremotos y se plantea el problema sobre su origen, todavía no del todo conocido: «¿Qué son estos temblores? [...] Los físicos y los geólogos se hacen unos a otros las mismas preguntas y por lo que parece todavía está bastante lejano el tiempo en que se llegue a un acuerdo sobre tan extraño fenómeno».

De Prado muestra su conocimiento de los terremotos de América del Sur, citando algunos en especial, como el de Quito de 1797 y el de Caracas de 1812.

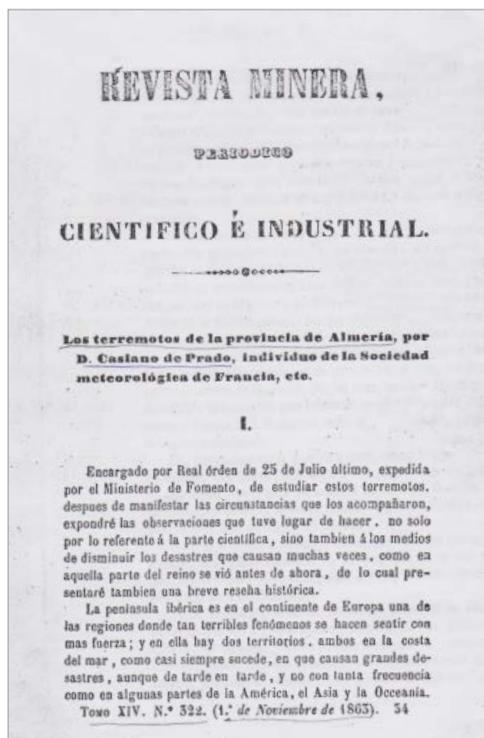


Fig. 5.9. C. de Prado, *Los terremotos de la provincia de Almería* (1863)

De los terremotos de la Península menciona los de Lisboa de 1356, 1531 y 1755, y de los sismos de la región de Almería, menciona el de Vera de 1518 y el más reciente y de mayor intensidad de Dalías (lo sitúa en Berja, muy cerca de Dalías), ocurrido el 25 de agosto de 1804 ( $I_{max} = VIII-IX$ ) y seguido de una larga serie de réplicas (11 de intensidad mayor que V) sucedidas hasta diciembre del mismo año. De Prado da una atención especial al terremoto de Torrevieja de 1829, citando la memoria de De Larramendi y las medidas tomadas por el autor para la reconstrucción, en especial, las determinaciones sobre la anchura de las calles y la altura de las casas. La mayor parte del libro de Casiano de Prado se dedica al terremoto de 1863. Sobre las réplicas, De Prado menciona que entre el 1 y el 6 de julio se sintieron 35, las mayores el 2 de julio y el 6 y el 23 de agosto. Los mayores daños tuvieron lugar en Huércal-Overa, aunque no hubo víctimas. La iglesia parroquial «quedó muy resentida, observándose, además de varias grietas en la bóveda y paredes, que se ha torcido la parte superior del cimborrio». El terremoto causó también daños en Vera, aunque de poca importancia.



# 6 El terremoto de Andalucía de 1884

## Introducción de las nuevas ideas geológicas

Las nuevas ideas de la geología desarrolladas durante el siglo XIX, que vimos en el capítulo anterior, y con ellas las ideas de la naturaleza de los terremotos, se van introduciendo en España, y en su introducción tuvo un papel importante el terremoto de Andalucía de 1884. Una serie de acontecimientos influyen en el desarrollo de la geología en España. En 1777 se crea la Escuela de Minas de Almadén, en la que en 1799 se inicia la enseñanza de la geognosia o geología, que se traslada a Madrid en 1836 y en 1857 se crea el título de Ingeniero de Minas. En 1847 inicia su andadura en Madrid la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Dos años más tarde, en 1849, nace la Comisión para la Carta Geológica de Madrid y General del Reino, que en 1873 toma el nombre de Comisión del Mapa Geológico de España. En 1857 se promulga la ley reguladora de la enseñanza promovida por Claudio Moyano (1809-1890), conocida como «ley Moyano», la cual, en particular, reorganizó las universidades españolas, estatalizándolas y reduciéndolas a diez, con la Universidad Central en Madrid, e imponiendo programas uniformes. En 1852 se había creado la Cátedra de Geología y Paleontología en la Universidad de Madrid y, en 1871, se crea la Real Sociedad Española de Historia Natural. En 1847, el ingeniero de minas Joaquín Ezquerra del Bayo (1793-1859) publica la traducción de la obra de Lyell con el título de *Elementos de Geología*<sup>98</sup>, que contribuye a la introducción de las nuevas ideas geológicas en España<sup>99</sup>.

---

98 Lyell, C. (1847). *Elementos de Geología* (Traducción J. Ezquerra del Bayo). Madrid: Antonio Yenes.

99 Alastrué, E. (1983). Lyell en España. En *Geología de España, Libro jubilar J.M. Rios* (Vol. III, pp. 259-269). Madrid: IGME.

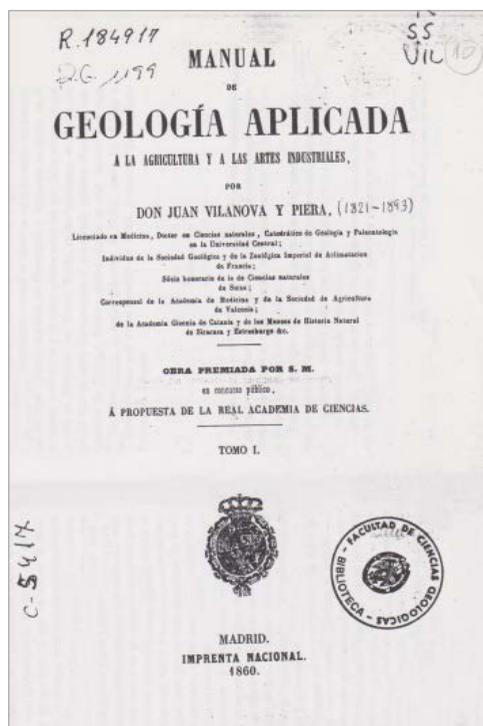


Fig. 6.1. Juan Vilanova,  
*Manual de Geología  
Aplicada* (1860)

Juan Vilanova y Piera (1821-1893)<sup>100</sup>, tras convertirse en el primer titular de la Cátedra de Geología y Paleontología en la Universidad de Madrid, en 1852, participó en la Comisión del Mapa Geológico de España y en 1860 publicó *Manual de Geología Aplicada*, primer texto moderno de geología con autor español<sup>101</sup>. En el tratamiento de los terremotos, Vilanova habla ya claramente de la propagación de las ondas sísmicas, citando a Young, y de los instrumentos, «con el nombre de *sismómetros*», para su registro. Describe los terremotos como el «sacudimiento terrible que agita y hace temblar más profundamente la bóveda sólida» de la Tierra. Mantiene la relación «muy íntima» entre terremotos y volcanes, explicables ambos por la «teoría geodinámica», que establece una causa común para ambos. Esta teoría mantiene la existencia de un «calor central del globo», remanente desde el origen de la Tierra, según las teorías cosmológicas del origen del Sistema Solar según la teoría de la nebulosa de Laplace, y el enfriamiento y la adaptación de las capas superficiales de la Tierra que explican los volcanes y los terremotos. De esta forma, «los terremotos, segundo efecto de la actividad terrestre, encuentran una explicación satisfactoria en la contracción determinada por el enfriamiento». Sin embargo, añade que también hay que admitir la «influencia de depósitos subterráneos de agua, vapor y otros gases cuya mezcla puede hacerse detonante»<sup>102</sup>. Hay en Vilanova, por lo tanto, un cierto abandono de la teoría explosiva del foco de los terremotos y una explicación ya en términos de los procesos geodinámicos de la corteza terrestre, aunque todavía sin mucha precisión.

100 Truyol Santonja, J. (1993). La geología española en la época de Juan Vilanova y Piera. En *Homenaje a Juan Vilanova y Piera- 1883-1993. Geología, paleontología e historia en el siglo XIX*. Valencia: Universidad de Valencia.

101 Vilanova y Piera, J. (1860). *Manual de Geología Aplicada a la Agricultura y a las Artes Industriales*. Madrid: Imprenta Nacional.

102 Vilanova y Piera, J. (1860). *Manual de Geología Aplicada a la Agricultura y a las Artes Industriales*. (pp. 67-73, 86-87) Madrid: Imprenta Nacional.

## El terremoto de Andalucía de 1884

En la tarde noche del día 25 de diciembre, día de Navidad, de 1884, los asistentes a la ópera de Donizetti, *Lucia di Lammermoor*, en el Teatro Real de Madrid quedaron aterrorizados ante las sacudidas del edificio por un terremoto. La mañana siguiente, llegó la información telegráfica con las noticias de que un fuerte terremoto había destruido varios pueblos de Andalucía entre Granada y Málaga, causando numerosas víctimas. El tiempo origen se ha determinado a las 21:08:09 UT y las coordenadas del epicentro en 36° 57' de latitud norte y 3° 59' de longitud oeste, siendo su profundidad de entre 10 y 20 km. La intensidad máxima se ha estimado en X grados (*European Macroseismic Scale*, EMS) en Arenas del Rey, y en intensidad IX en unas diez localidades más. A partir de estos valores de la intensidad se ha estimado la magnitud de ondas superficiales en  $M_s = 6,8$ . Las réplicas continuaron hasta el mes de abril, con siete de intensidad máxima mayor de VI; en los primeros diez días se sintieron más de cuarenta réplicas. Entre los pueblos fuertemente afectados por el terremoto, además de Arenas del Rey, se encuentran Alhama de Granada, Jayena y Ventas de Zafarraya, que quedaron prácticamente destruidos. El número total de víctimas fue de 745 muertos y 1485 heridos. La situación para los pueblos afectados se vio agravada por una tormenta de nieve y bajas temperaturas los días siguientes, que afectaron a las muchas personas que habían perdido sus casas. La topografía de la región intensificó los daños, ya que se produjeron muchos corrimientos de tierra y fracturas del terreno, algunas de hasta ocho kilómetros de longitud; por ejemplo, el pueblo entero de Güevéjar se deslizó bastantes metros por una pendiente. El rey Alfonso XII hizo una visita a los pueblos más afectados y se recolectaron hasta unos 6,5 millones de pesetas (unos 40 000 €)<sup>103</sup> en donativos.



Fig. 6.2. Daños del terremoto de 1884 en Arenas del Rey

<sup>103</sup> Udías, A., & Muñoz, D. (1979). The Andalusian earthquake of 25 December 1884. *Tectonophysics*, 53(3-4), (pp. 291-299); López Arroyo, A., Martín Martín, A. J., & Mezcu Rodríguez, J. (1994). Terremoto de Andalucía. Influencia en sus efectos del terreno y del tipo de construcción. En *El terremoto de Andalucía del 25 de diciembre de 1884* (pp. 5-94). y Muñoz, D., & Udías, A. (1981). Estudio de los parámetros y serie de réplicas del terremoto de Andalucía del 25 de diciembre de 1884 y de la sismicidad de la región Granada-Málaga (pp. 95-139). En *El terremoto de Andalucía del 25 de diciembre de 1884*. Madrid: Instituto Geográfico Nacional. Vidal Sánchez, F. (2011). El terremoto de Alhama de Granada de 1884 y su impacto. *Anuari Verdguer*, 19, (pp. 11-45).

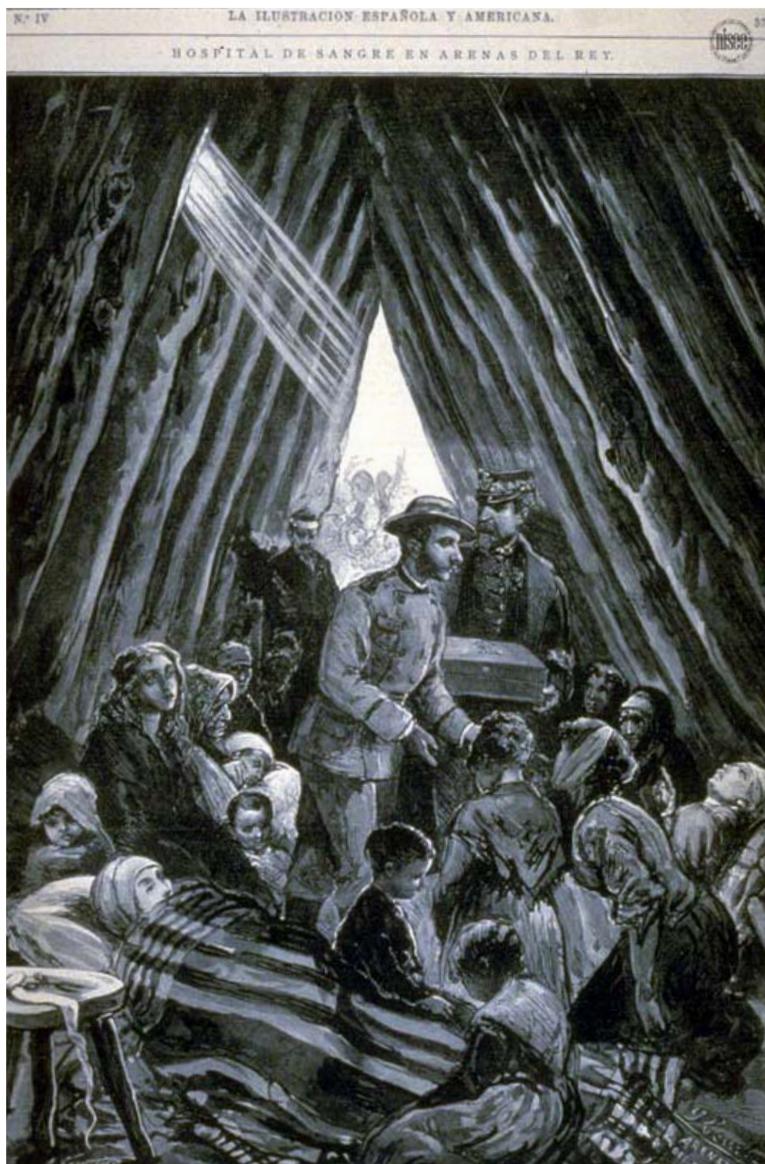


Fig. 6.3. Visita del rey Alfonso XII a los damnificados por el terremoto

El terremoto tuvo también una amplia repercusión en Europa, con un buen número de publicaciones sobre este en Francia, Italia, Alemania y Reino Unido<sup>104</sup>. Pocos días después de su ocurrencia se publicaron notas y artículos sobre el terremoto en las revistas científicas *Nature* (Reino Unido), *La Nature* y *Revue d'Astronomie Populaire* (Francia), *Globus* y *Humboldt* (Alemania), y *Bulletino del Vulcanismo Italiano* (Italia), y también en las memorias de las sociedades científicas *Académie des Sciences de Paris* (Francia) y *Real Accademia dei Lincei* (Italia). Estas dos sociedades nombraron además comisiones que se desplazaron a España para estudiar los daños del terremoto y las características de la geología de la región, como se verá a continuación. Muchos sismólogos y geólogos eminentes publicaron artículos sobre el terremoto, además de los componentes de las comisiones francesa e italiana, entre los que se encuentran Arnold von Lasaulx (1839-1886), Michele Stefano de Rossi (1834-1898) y Charles Davison (1858-1940).

<sup>104</sup> Udías, A., Buforn, E., & Mattesini, M., Contemporary publications in European on the Spanish earthquake of 1884. *Seismological Research Letters*. DOI: 10.1785/j0220220176.

## Las tres comisiones para su estudio

Este es el primer terremoto español que fue objeto de un verdadero estudio científico moderno, con reconocimiento de los daños y los efectos sobre el terreno, y con la determinación de los parámetros del foco y la relación con la geología de la región. Para su estudio se organizaron tres comisiones, una oficial española y las ya mencionadas comisiones de la *Académie des Sciences de Paris* y la *Real Accademia dei Lincei*. Las comisiones publicaron extensas memorias que incluyen, además del reconocimiento y evaluación de los daños y efectos en el terreno, estudios de la sismicidad y la geología del sur de la península ibérica. La comisión española se estableció el 7 de enero de 1885 por Real Orden. El presidente de la comisión fue Manuel Fernández de Castro (1825-1895), ingeniero de minas, director del Instituto Geológico y Minero de España y de la Comisión del Mapa Geológico de España, y miembro de la Academia de Ciencias. Los también ingenieros de minas Daniel Francisco de Paula Cortázar y Larrubia (1844-1927), Joaquín G. Tarín (1838-1910) y Juan Pablo Lasala formaron parte de esta comisión junto con su presidente.



Fig. 6.4. Informe de la Comisión Española

Un extenso informe con los resultados del estudio de la comisión española se publicó en 30 de marzo de 1885<sup>105</sup>. La comisión distribuyó, entre la población de la zona afectada de las provincias de Granada y Málaga, un cuestionario con 33 preguntas del que se recibieron 500 respuestas. El informe comienza con una parte dedicada a las «teorías sísmicas», en la que se reconoce la divergencia entre los autores sobre el origen y naturaleza de las fuerzas que originan los terremotos, y que empieza con la siguiente definición: «Un terremoto es el sacudimiento producido en el suelo de una comarca más o menos extensa por las fuerzas endógenas, es decir, una manifestación de la dinámica terrestre de lo interior a lo exterior de nuestro globo». Hay ya aquí una relación clara entre los terremotos y los procesos que tienen lugar en la corteza terrestre

105 Comisión Nombrada para el Estudio de los Terremotos de Andalucía. (1885). *Terremotos de Andalucía: Informe de la comisión nombrada para su estudio dando cuenta del estado de los trabajos*. Madrid: Imprenta de M. Tello.

y que son consecuencia de la dinámica del interior de la Tierra. Se admite la existencia de una mayor temperatura con el aumento de la profundidad, aunque sin aceptar del todo la existencia de un núcleo fundido en el centro de la Tierra. El proceso dominante es el del enfriamiento progresivo de la Tierra y su contracción, que determina los procesos que ocurren en la corteza sólida. Terremotos y volcanes son las dos expresiones más relevantes de los «fenómenos endógenos» resultantes de esta dinámica. Se ponen de relieve las reacciones de la corteza sólida a las presiones generadas por el calor del interior de la Tierra a través de la presencia en ella de gases y agua. Hay citas a Lyell y Mallet, y a geólogos más contemporáneos como el francés Elie de Beaumont (1798-1874), miembro de la Comisión del Mapa Geológico de Francia, y los italianos Antonio Stoppani (1824-1891) y Michele Stefan Rossi (1834-1898). Las siguientes partes del informe tratan de la orografía y geología de las provincias de Granada y Málaga, y de las características del terremoto, como el tiempo de la ocurrencia, el área afectada y los daños producidos en los diversos pueblos. El informe establece una serie de normas que se deben tener en cuenta en la reconstrucción de los pueblos, que se llevaron a cabo en la nueva construcción de los pueblos más afectados. En el informe se echa de menos la inexistencia en España de estaciones sismológicas con instrumentos, que ya existían en Italia. Sin embargo, Mario Jona, ingeniero del puerto de Málaga, construyó unos rudimentarios sismómetros consistentes en dos péndulos verticales y uno horizontal conectados a un circuito eléctrico que hacía sonar una alarma cuando los sismómetros detectaban un terremoto y dejaba registrada la hora en un reloj.

Uno de los péndulos tenía un dispositivo gráfico que dejaba registrada la trayectoria del movimiento del suelo. Con estos instrumentos, que se pueden considerar como los primeros «sismómetros» instalados en España, Jona detectó muchas de las réplicas sentidas en Málaga hasta el 9 de marzo. Lo mismo hizo Eusebio Caballero, profesor de ciencias del colegio de los jesuitas en Málaga.

La comisión francesa organizada por la *Académie des Sciences de Paris* estaba dirigida por Ferdinand André Fouqué (1828-1904), profesor de historia natural del *Collège de France*, y el equipo estaba formado por siete ingenieros de minas y geólogos, entre ellos Marcel Bertrand (1847-1907), más tarde presidente de Société Géologique de France, Charles Barrois (1851-1939), profesor de geología de la Universidad de Lille, y Wilfred Kilian (1862-1925), profesor de la Universidad de Grenoble. El equipo llegó a Málaga el 7 de febrero de 1885 y permaneció hasta finales de marzo<sup>106</sup>. El informe de la comisión francesa se publicó en 1889 y su traducción española en 1893, en la que se añadieron 61 notas con comentarios y críticas por parte de la comisión española<sup>107</sup>. Además, Fouqué publicó varios artículos y un capítulo sobre el tema en su libro *Le tremblement de terre*<sup>108</sup>. Gran parte del informe es un estudio geológico de la zona

106 Bonnin, J., Durand-Delga, M., & Michard, A. (2002). La «Mission d'Andalousie», expédition géologique de l'Académie des Sciences de Paris à la suite du grand séisme de 1884. *Comptes Rendus Geoscience*, 334(9), (pp. 795–808).

107 Fouqué, F. A. (1889). «Mission d'Andalousie»: études relatives au tremblement de terre du 25 décembre 1884 et à la constitution géologique du sol ébranlé par les secousses. *Mémoires de l'Académie des Sciences de Paris*, 30(2), (p. 772), 42 pl; Fouqué, F. A. (1893). *Estudios referentes al terremoto de Andalucía ocurrido en 25 de Diciembre de 1884 y a la constitución geológica del terreno conmovido hecho por la comisión destinada al objeto por la Academia de Ciencias de Paris*. Madrid: Imp. M. Tello.

108 Fouqué, F. A. (1889). *Le tremblement de terre*. «Tremblement de terre d'Andalucía, 25 décembre 1884» Paris: J.B. Bailliére. (Parte II, Cap. IV).

afectada por el terremoto, y en él se insiste en la relación entre la distribución de los terremotos y las estructuras geológicas y se incluye un mapa de isosistas con tres zonas: zona epicentro, zona media y zona externa.

En Italia, la *Real Accademia dei Lincei* organizó una comisión formada por dos eminentes geólogos y sismólogos, Torquato Taramelli (1845-1922), profesor de la Universidad de Pavía y miembro fundador de la Sociedad Sismológica Italiana, y Giuseppe Mercalli (1850-1914), profesor de la Universidad de Catania. Ambos profesores, que habían sido estudiantes de Stoppani, se desplazaron a la zona en abril de 1885.

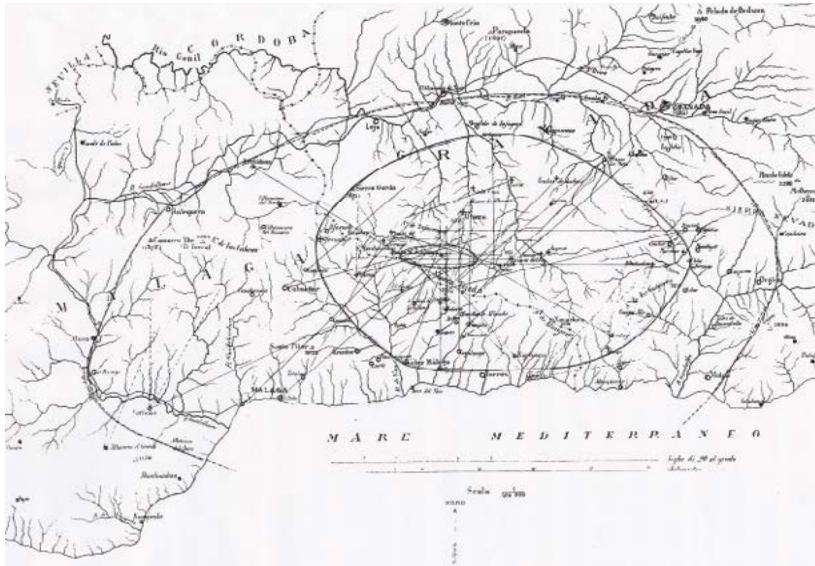


Fig. 6.5. Mapa de isosistas de Taramelli y Mercalli (Taramelli y Mercalli, 1885)

Su extensa memoria<sup>109</sup> está dividida en tres partes: la primera sobre las condiciones tectónicas del sur de España, la segunda sobre los terremotos de Andalucía, con un catálogo muy completo, basado en parte en el catálogo de Perrey, y la tercera sobre las características y daños producidos por el terremoto, que determina la profundidad del foco en 12 km. En la tercera parte, los autores presentan un mapa de isosistas, que divide la región en tres zonas, de mayor a menor daño, que corresponden a daño «disastroso», «rovinoso» y «fortísimo». En la primera zona señalan un área pequeña en dirección este-oeste que marca la fuente del terremoto. En el mapa, Mercalli no usa todavía su escala de intensidades (Escala Mercalli), que desarrolló el mismo año 1885 con diez grados y que fue ampliada a la actual de 12 grados en 1902 por Cancani.

## Nuevos estudios sobre los terremotos

A raíz del terremoto de Andalucía se publican en España varios estudios sobre los terremotos que aplican las ideas modernas. Entre ellos destacan los publicados por el geólogo gaditano de familia escocesa José Macpherson (1839-1902), una de las figuras más importante en el de-

109 Taramelli, T., & Mercalli, G. (1885). Il terremoto andaluso cominciato il 25 Dicembre 1884. *Real Accademia dei Lincei, Roma, Serie Quarta*, 3, (pp. 116-222).

sarrollo moderno de la geología, y en especial de la petrografía, en España<sup>110</sup>. Debido a sus largas estancias en París y a su conocimiento de los geólogos franceses, después del terremoto estuvo en estrecho contacto con la comisión francesa, en especial con Barrois, y a él se debe un interesante estudio del terremoto de Andalucía, presentado en una conferencia celebrada en enero de 1885 en la Real Sociedad Española de Historia Natural y posteriormente en el Ateneo de Madrid en febrero del mismo año, y que más tarde fue publicado<sup>111</sup>. Macpherson presenta una concepción moderna del origen de los terremotos, que se atribuye a los procesos geodinámicos de la corteza terrestre, que son provocados por los procesos derivados del enfriamiento y contracción de la Tierra. De forma que «la parte externa (de la Tierra) [...] tiene por necesidad que ocupar un espacio menor [...] y dada su rigidez esto no puede tener lugar sin deformarse». Los terremotos son resultado de este proceso: «Si la adaptación se verifica de una manera tranquila y regular (los estratos) se plegarán sobre sí mismos, y cuando su tensión pase de cierto límite se romperán y deslizándose unos fragmentos sobre otros, bajarán o subirán en la vertical produciendo las fracturas conocidas en geología con el nombre de fallas». Claramente los terremotos son, por lo tanto, producidos por las fracturas de la corteza terrestre y ya no hay lugar a proponer el foco explosivo o las descargas eléctricas.



Fig. 6.6. José Macpherson  
y Hemás (Hernández Pacheco, 1927)

110 Hernández Pacheco, E. (1927). El geólogo gaditano D. José Macpherson y su influjo en la ciencia española. *Anales Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, 1, (pp. 72-92). Alastrué, E. (1968). *La personalidad y la obra de Macpherson*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

111 Macpherson, J. (1885). *Los terremotos de Andalucía*. Madrid: Fortanet; Macpherson, J. (1885). Sur les tremblements de terre de l'Andalousie. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 100, (pp. 136-137).

Domingo de Orueta y Duarte (1862-1926), estudiante entonces de la Escuela de Minas, que se encontraba en Málaga el día del terremoto, a través de su profesor Lucas Mallada (1841-1921), fundador de la paleontología española, y con el apoyo de Macpherson, a quien consideraba también su profesor, obtuvo permiso de la Escuela para ausentarse de las clases y hacer un reconocimiento y estudio de los daños producidos por el terremoto que publicó el año siguiente<sup>112</sup>. Anteriormente, había hecho estudios de campo geológicos en la zona afectada por el terremoto, lo que le facilitó el trabajo. Éste comienza con una descripción de la topografía y geología de la zona, y una segunda parte trata sobre todo de los «fenómenos accesorios, tales como hundimientos de terrenos, grietas, daños causados y otros». Una tercera parte trata de «las causas generadoras del temblor de tierra». En ella encontramos ya claramente cómo, siguiendo a su profesor Macpherson, De Orueta expone las relaciones entre las intensidades del movimiento sísmico y la constitución geológica. Siguiendo también las ideas de Macpherson y citando a Suess y Dana, De Orueta propone como hipótesis más aceptada para explicar la causa de los fenómenos sísmicos que éstos son consecuencia de los procesos geodinámicos, y la enuncia en forma concisa: «Los terremotos son fenómenos accesorios de la formación de las montañas».

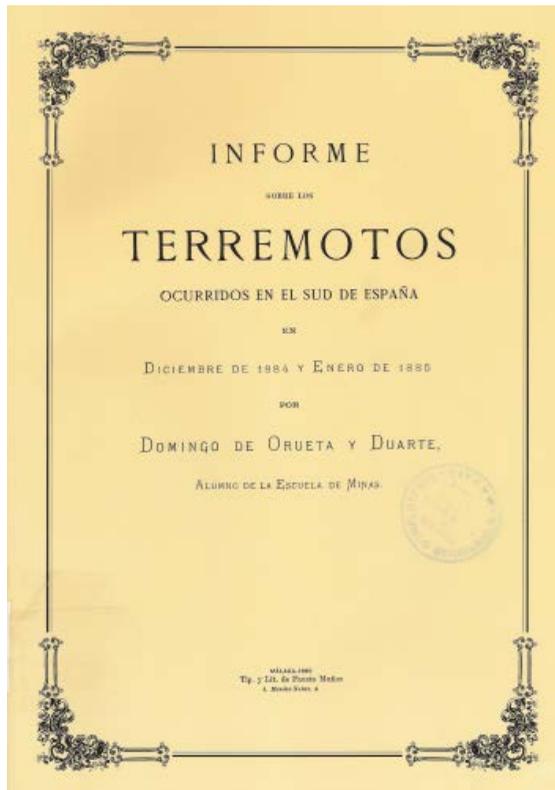


Fig. 6.7. Domingo de Orueta, *Informe sobre los terremotos* (1885) (Biblioteca Virtual de Andalucía)

De forma detallada, De Orueta relaciona los daños producidos por el terremoto con las estructuras geológicas y presenta un mapa de isosistas dividido en tres zonas: una primera zona de destrucción total (separada en cuatro pequeñas áreas), otra de destrucción parcial, y una última zona de daños importantes. A pesar de su juventud, tenemos en la obra de De Orueta un estudio

<sup>112</sup> Orueta y Duarte, D. de. (1885). *Informe sobre los terremotos ocurridos en el sur de España en diciembre de 1884 y enero de 1885*. Málaga: Tipografía de Fausto Muñoz.

muy completo de la relación entre los daños y la constitución geológica de la zona afectada, y también la presentación de las ideas modernas sobre el origen de los terremotos.

Los terremotos de Andalucía fueron la ocasión de la publicación del libro *Los temblores de Tierra*<sup>113</sup>, por Cesáreo Martínez y Aguirre (1853-?), catedrático de Historia Natural del Instituto de Segunda Enseñanza de Málaga<sup>114</sup>. El libro está dividido en cuatro partes: la primera trata sobre cómo se sintieron los terremotos en las provincias de Málaga y Granada, la segunda y tercera sobre las teorías sobre los orígenes de los terremotos, y la cuarta aborda en particular los deslizamientos y hundimientos subterráneos. En una introducción preliminar, Martínez y Aguirre trata de algunas definiciones, como las de la geología, la dinámica terrestre y, en concreto, los temblores de tierra, los cuales, citando al geólogo alemán M. Fuchs, define como «comociones de la superficie sólida del planeta, provocadas por fuerzas naturales desconocidas, pero subterráneas». A continuación, trata de algunos términos sismológicos como: ondas sísmicas, curvas «homosistas» u «homosísmicas», centro o foco, epicentro, sismómetros, sismógrafos y micro-sismógrafos. Explícitamente, Martínez y Aguirre rechaza claramente el foco explosivo: «Experiencias muy delicadas han puesto en claro que no puede asimilarse la sacudida inicial de un temblor de tierra al choque producido por la explosión de un cuerpo detonante». En su lugar, el autor propone: «La causa de todos los temblores de tierra no volcánicos consiste siempre en movimientos mecánicos de ciertas porciones de la masa sólida del globo», especificando que pueden ser hundimientos y deslizamientos. Finalmente, propone un mecanismo en el que corrientes de agua subterráneas disuelven rocas que luego colapsan produciendo terremotos. El libro acaba con una nota pesimista sobre el interés por la ciencia en España: «[...] los catedráticos españoles, como no sea para ser escarnecidos y despreciados, para nada práctico sirven en nuestra nación».

Los terremotos de Andalucía fueron también la ocasión para el ensayo sobre las teorías sobre los terremotos de Salvador Calderón y Arana (1851-1911)<sup>115</sup>, geólogo y naturalista, de vida un tanto azarosa durante un tiempo en Francia y Alemania, hasta que, en 1895, obtuvo la cátedra de Mineralogía y Botánica de la Universidad Central de Madrid. Calderón hace una revisión de las distintas teorías sobre el origen de los terremotos, empezando por las propuestas por Cesáreo Martínez en relación a los desplazamientos subterráneos, que ya hemos visto, y sobre las que, sin embargo, el geólogo francés Pierre Virlet d'Aoust (1800-1894), junto con Fouqué, pensaban que no se podían aplicar a los terremotos de Andalucía. En segundo lugar, Calderón trata de la teoría volcánica en sentido amplio, que considera como la preferida por las comisiones francesa y española establecidas para el estudio del terremoto de Andalucía, y que está relacionada con la existencia del magma fundido en el interior de la Tierra. Como una variante

---

113 Martínez y Aguirre, C. (1885). *Los temblores de tierra, estudio de estos fenómenos con motivo de los terremotos sentidos en las provincias de Málaga y Granada durante los 7 últimos días del año 1884 y enero de 1885*. Málaga: Biblioteca Andaluza.

114 Garrido Sánchez, M. (2014). Creación y enriquecimiento de los Gabinetes de Ciencias del Instituto Provincial de Málaga (1849-2013) España. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Aula Museos y Colecciones)*, 1, (pp. 33-45).

115 Calderón, S. (1885). Teorías propuestas para explicar los terremotos de Andalucía. *Anales de la Sociedad Española de Historia Natural, XIV*, (pp. 353-363).

de esta teoría, Calderón presenta la propuesta por Gabriel Daubrée (1814- 896), director de la Escuela Superior de Minas de París, para el que el agua es el agente productor de los temblores (teoría acuífera), al que el calor comunica una fuerza expansiva. La tercera teoría propuesta es la de la causa eléctrica, donde Calderón se apoya en Virlet d'Aoust para afirmar: « [...] creemos deben referirse (los terremotos de Andalucía) a efectos eléctricos y comprenderse en esta categoría de las *tempestades seísmicas*», y añade: «Nosotros estamos persuadidos de la existencia de tempestades seísmicas en Andalucía». La cuarta propuesta es la de la teoría orogénica, que según Calderón es iniciada por De Beaumont y defendida, como ya vimos, por Macpherson, a quien cita, y por el geólogo alemán Arnold von Lasaulx, que estudió los terremotos ocurridos en 1873 y 1877 en Herzogenrath (Alemania) y el propio terremoto de Andalucía por medio de una publicación sobre este<sup>116</sup>. De Macpherson dice «que no ha dejado de ser blanco de objeciones por parte de eminentes geólogos», entre ellos miembros de la comisión francesa. Sin embargo, Calderón no está de acuerdo con estas objeciones. Finalmente, concluye que, a pesar de todo: «Parécenos evidente que el temblor de tierra de Andalucía no ha proporcionado datos ciertos y claros para apoyar decididamente ninguna teoría», aunque parece inclinarse por la que «busca sus precedentes en los antiguos movimientos orogénicos», es decir, por el origen tectónico de los terremotos. Termina defendiendo a la geología de los que quieren colocarla, «por debajo de las demás ciencias naturales, por cuanto ignora y vacila, lo mismo que las restantes, en punto a las causas primeras de los grandes fenómenos».

Finalmente, un pequeño y sencillo libro sobre los terremotos, con ocasión del de Andalucía, *Breve idea acerca de los terremotos*, de Octavio Barba y Segalerva (1862 - ?), se publicó en Málaga en marzo de 1885<sup>117</sup>. En el mismo, curiosamente, no hay ninguna mención a los terremotos sucedidos en Andalucía, sino solamente una enumeración de las posibles causas de los terremotos, tales como el efecto de la atracción de la Luna, los derrumbamientos de cavidades subterráneas, la salida de gases subterráneos producidos por reacciones químicas y el calor interno, y, finalmente, «según la opinión de algunos sabios,» la relación de los terremotos con el origen de la formación de las montañas. Se incluye también la relación de algunos efectos de los terremotos como la modificación de las fuentes y la formación de «gigantescas olas» en el mar.

En conclusión, el terremoto de Andalucía fue la ocasión de la introducción en España de las nuevas ideas sobre el origen de los terremotos, en la que participaron ingenieros de minas y geólogos, formados ya en las nuevas ideas geológicas. Las dos comisiones, francesa e italiana, que se desplazaron a la zona, así como la comisión oficial española, contribuyeron con sus estudios y la publicación de sus informes a un estudio serio del terremoto de Andalucía de 1884, así como de la naturaleza de los terremotos en general. En la introducción de estas nuevas ideas, fue muy importante la influencia de autores franceses, en especial Fouqué, mientras que, entre los españoles, destaca la figura de Macpherson, quien ya vincula claramente los terremotos con los procesos orogénicos y la transmisión de su movimiento por la Tierra desde su foco en forma de ondas elásticas.

116 von Lasaulx, A. (1885). *Die Erdbeben von Andalusien*. Humboldt Stuttgart, Enke June.

117 Barba y Segalerva, O. (1885). *Breve idea acerca de los terremotos*. Málaga



# 7

## La sismología instrumental

### Desarrollo instrumental de la sismología

Una vez establecido que los terremotos se propagan en la Tierra a partir de un foco en la forma de ondas elásticas, se empezaron a utilizar péndulos horizontales y verticales para detectar la llegada de estas ondas y medir su amplitud, y determinar de este modo su origen en el tiempo y el espacio y su tamaño. Los primeros instrumentos fueron construidos en Italia hacia 1750, por Nicolás Cirillo y Domenico Salsamo, entre otros. Algunos de estos instrumentos tenían un reloj para indicar el tiempo del comienzo del movimiento, y un estilete unido a la masa del péndulo, que marcaba sobre un cristal ahumado su movimiento, en cuyo caso se llamaban *sismoscopios*. Hacia 1860, Palmieri utilizó por primera vez el término *sismógrafo* para el instrumento que registraba el tiempo de llegada y la duración y amplitud del movimiento de una manera continua. Hacia finales del siglo XIX en Italia se empezaron a utilizar los instrumentos que registraban de forma continua el movimiento sobre papel ahumado dispuesto en un tambor rotatorio, donde se registraban también las señales de tiempo, y que fueron diseñados, entre otros, por Giulio Grablovitz (1846-1928), Giovanni Agamennone (1858-1949) y Giuseppe Vincentini (1860-1944)<sup>118</sup>. Estos instrumentos consistían en péndulos horizontales y verticales con grandes masas pero bajas amplificaciones (inferiores a cien veces). En Alemania, Emil Wiechert (1861-1928), primer catedrático de Geofísica en la Universidad de Göttingen, y Carl Mainka (1874-1943) diseñaron sismógrafos mecánicos, el primero con un péndulo invertido que registraba las dos componentes horizontales, y el segundo con tres componentes, con masas entre 200 y 500 kg, y

---

<sup>118</sup> Ferrari, G. (1992). *Two Hundred Years of Seismic Instruments in Italy, 1731-1940*. Roma: Instituto Nazionale di Geofisica.

amplificaciones entre 100 y 300<sup>119</sup>. En 1890, John Milne (1850-1913), considerado como el padre de la sismología moderna, desarrolló un instrumento con un péndulo inclinado de pequeña masa y periodo de ocho segundos<sup>120</sup>. Sismógrafos de este tipo también fueron desarrollados en Japón por Fusakichi Omori (1868-1923) y en Rusia por Igor Nikiforov. Un importante progreso en la instrumentación se dio con el desarrollo del sismógrafo electromagnético en Rusia hacia 1910, gracias a los trabajos de Boris Galitzin (Golitzyn) (1862-1916). Este sismógrafo consistía en la combinación de sismómetro y el galvanómetro, y marcó el comienzo de un nuevo tipo de instrumentos con una amplificación del orden de 1000, mucho mayor que la de los sismógrafos puramente mecánicos.

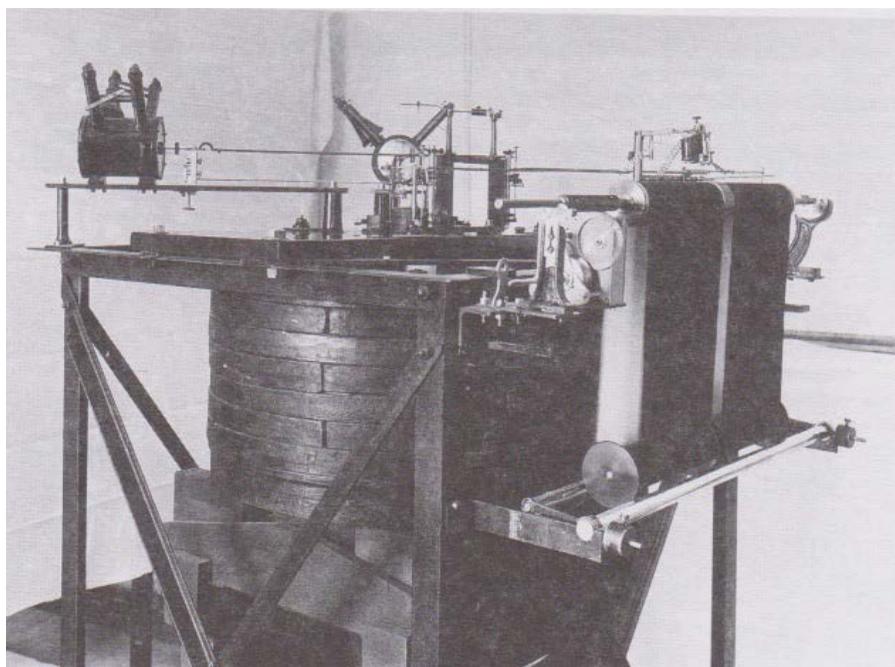


Fig. 7.1. Sismógrafo Wiechert horizontal (Payo Subiza y Gómez Menor, 1998)

Rápidamente, los nuevos sismógrafos electromagnéticos sustituyeron a los mecánicos. Entre estos, se encuentran los desarrollados en Estados Unidos por Hugo Benioff (1899-1968) en 1930, de periodo corto (1 s) y con amplificaciones de 100 000, y por Frank Press (1925-2020) y Maurice Ewing (1906-1974) en 1953, de periodo largo (15 s) y amplificaciones de 1500. Un desarrollo moderno posterior consiste en los sismógrafos digitales, y hacia 1982 aparecen los instrumentos de «banda ancha», con un rango de periodos entre 0,1 y 1000 s, y amplificaciones del orden del millón, diseñados en Alemania por E. Wieland y G. Strekeisen, con los que se superó la dualidad de los sismógrafos de corto y largo periodo, siendo los más utilizados en el presente<sup>121</sup>.

119 Dewey, J. W., & Byerly, P. (1969). The early history of seismometry (to 1900). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 59(1), (pp.183-227).

120 Herbert-Gustar, L. K., & Nott, P. A. (1980). *John Milne: Father of Modern Seismology*. Tenterden (UK): Paul Norbury.

121 Udías, A., & Buforn, E. (2018). «Instrumentation and digital data processing». En *Principles of Seismology* (2ª ed. pp. 32-35). Cambridge: Cambridge University Press.

A partir del desarrollo de los sismógrafos, comienza a generalizarse la instalación de las estaciones sismológicas y la organización de los servicios sismológicos en los distintos países. En 1903 había ya estaciones distribuidas prácticamente por los cinco continentes. Por ejemplo, en Europa se instalaron estaciones en Italia, Alemania, Reino Unido, España, Grecia, Portugal y Rumanía. La necesidad del intercambio de datos entre las distintas estaciones para el estudio de los terremotos llevó al desarrollo de organismos internacionales de sismología. Georg Gerland (1833- 1919), profesor en la Universidad de Estrasburgo, impulsó la institucionalización de la sismología, creando el *Bureau Central International de Seismologie* (Oficina Central Internacional de Sismología, BCIS) en Estrasburgo, y organizando la primera Conferencia Internacional de Sismología en 1901.



Fig. 7.2. II Asamblea General de la IUGG, Madrid, 1924

En 1904 se creó la «Asociación Internacional de Sismología» con 18 estados miembros, que en 1922 pasó a ser una de las secciones de la *International Union of Geodesy and Geophysics* (Unión Internacional de Geodesia y Geofísica, IUGG) con el nombre de *International Association of Seismology and Physics of the Earth Interior* (Asociación Internacional de Sismología y Física del Interior de la Tierra, IASPEI)<sup>122</sup>. En 1951, como parte de IASPEI, se crea la *European Seismological Commission* (Comisión Sismológica Europea, ESC), que tuvo su primera reunión en 1952. La presencia temprana de España en estos organismos internacionales queda reflejada en la celebración en 1924 en Madrid de la II Asamblea General de la IUGG, presidida por el rey Alfonso XIII. En 1922 se creó el Comité Nacional de Geodesia y Geofísica, que en 1947 pasó a llamarse Comisión Nacional de Geodesia y Geofísica (CNGG), contando con representantes de distintos organismos. En 1959, la ESC celebró su 5ª Asamblea General en Alicante bajo el auspicio del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y, en 1969, IASPEI, junto con la ESC y la *International Association of Geomagnetism and Aeronomy* (Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía, IAGA), celebró su Asamblea General en Madrid. En 1990, la ESC celebró su Asamblea General en Barcelona. La presencia española en la ESC queda reflejada

<sup>122</sup> Rothé, J. P. (1981). Fifty Years of History of the International Association of Seismology (1901-1951). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71(3), (pp. 905-923)..

por la presencia de Juan María Bonelli, del IGN, que fue vicepresidente en 1958 y presidente en 1959-1962; Agustín Udías, de la UCM, vicepresidente entre 1982 y 1986 y presidente entre 1976 y 1992 de la Subcomisión para el estudio del «Mecanismo Focal y Predicción de Terremotos»; y Mariano García Fernández, secretario general entre 2002 y 2014, y María José Jiménez, presidenta en 2018, ambos del CSIC.



Fig. 7.3. Antonio Romaña, Observatorio del Ebro, en la presidencia de la Asamblea de la IASPEI-IAGA, Madrid 1969. (Observatorio del Ebro)

## Comienzos de la sismología moderna

La utilización de los datos de los sismógrafos da origen a una nueva época de la sismología que podemos llamar de «sismología instrumental o moderna». En el periodo anterior, la «sismología descriptiva» se limitaba a la descripción de los efectos de los terremotos sobre edificios y el terreno, la confección de los primeros catálogos de terremotos, con las fechas, horas aproximadas y lugares donde los daños habían sido mayores, y la propuesta de teorías sobre su origen. La disposición de datos de los tiempos y amplitudes de los desplazamientos de las ondas sísmicas registradas por los sismógrafos proporcionan ahora los datos cuantificados básicos para determinar el tiempo en que se produce el terremoto, su localización, tamaño y su mecanismo. La localización y el tiempo origen se determinan a partir de los datos proporcionados por los sismogramas, en particular a partir de las llegadas de las ondas a distintas estaciones. El tamaño, que venía dado, de acuerdo con los daños producidos, por la intensidad máxima en la escala de doce grados propuesta por Mercalli y Cancani en 1902, se expresa ahora por la magnitud, una medida proporcional a la energía liberada por el terremoto en el foco, propagada por las ondas y registrada en los sismogramas, propuesta en 1935 por Charles Richter (1900-1985) y ampliada más tarde, en 1942, junto con Beno Gutenberg (1889-1960), ambos pertenecientes al *California Institute of Technology* (Pasadena, California). El estudio de la propagación de las ondas sísmicas lleva también a la determinación de la estructura de la Tierra, formada por capas de material de diferentes velocidades de las ondas. Estos modelos de la estructura de la Tierra son a su vez necesarios para la determinación de los parámetros de los terremotos. De esta forma, la sismología se convierte, fundamentalmente, en una aplicación de los principios de la mecánica junto con el análisis cuantitativo de los datos de los tiempos de llegada y las amplitudes de las ondas registradas en los sismogramas.

En el mundo académico, la sismología aparece primero vinculada a la geología, todavía en sus aspectos más descriptivos, y en los más cuantitativos aparece como parte de la naciente geofísica. En 1898, en la Universidad de Göttingen (Alemania) se crea la primera cátedra de geofísica, que ocupa Emil Wiechert<sup>123</sup>. En la tradición alemana, la sismología se mantiene como parte de la geofísica en las facultades de física, mientras que en la tradición inglesa, y también en Norteamérica, también con el nombre de «geología física» (*physical geology*), la sismología forma parte de los departamentos de geología, o más modernamente de los de «ciencias de la Tierra» (*Earth sciences*), que incluyen geología y geofísica.

En estos años, se publican los primeros textos de sismología, por ejemplo los de Hoernes, *Erdbebenkunde* (1893), y Milne, *Seismology* (1898), seguidos, entre otros, por los de August Sieberg (1875-1945), *Handbuch der Erdbebenkunde* (1904); Hobbs, *Earthquakes: An Introduction to Seismic Geology* (1908); Montesus de Ballore, *La sismologie moderne* (1911); y Galitzin, *Vorlesung der Seismometrie* (1914).

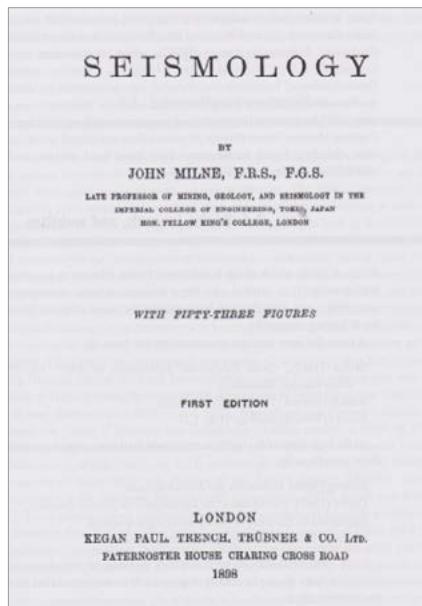


Fig. 7.4. John Milne, *Seismology* (1898)

En esos años, también se publican los primeros catálogos globales modernos de terremotos, los primeros por Robert y John Mallet en 1858, *Earthquake Catalogue of the British Association*, y por Milne en 1899, *A Catalogue of Destructive Earthquakes, AD 7 – 1899*. Estos catálogos sirvieron de base para muchos catálogos regionales modernos. A partir de esos años, se establecen algunos organismos encargados de la determinación instrumental de los parámetros de los terremotos a nivel mundial, por ejemplo el del BCIS, en Francia, en 1904; el Comité Sismológico de la *British Association for the Advancement of Science*, que en 1918 se convirtió en el *International Seismological Center* (ISC), en Reino Unido, en 1911; y, en Estados Unidos, la oficina de terremotos del *United States Coast and Geodetic Survey* (USCGS) desde 1930 y, más tarde, en 1966, el *National Earthquake Information Center* (NEIC), desde 1973 parte del *U.S. Geological*

123 Schröder, W. (1988). Emil Wiechert and the Foundation of Geophysics. *Acta Geodaetica et Geophysica Montanistica Hungarica*, 23(2), (pp. 165-185).

*Survey* (Servicio Geológico de Estados Unidos, USGS). Entre las primeras revistas científicas en las que aparecen artículos de sismología se encuentran: *Gerland Beiträge zur Geophysik* (1887), *Bulletin of the Seismological Society of America* (1911), *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* (1922) y el *Journal of Geophysical Research* de la *American Geophysical Union* (1948).

En los primeros años del siglo veinte, se empiezan a dar muchos de los desarrollos fundamentales de la sismología moderna<sup>124</sup>. En la determinación de la estructura de la Tierra por métodos sísmicos, Andrija Mohorovicic (1857-1936) detecta, por primera vez, la existencia de la corteza, de unos 35 km de espesor, por encima de lo que se llamó el manto; Richard D. Oldham (1858-1936) y Gutenberg la del núcleo externo de naturaleza líquida a 2900 km de profundidad; e Inge Lehmann (1888-1993) la del núcleo interno sólido. Augustus Love (1863-1940) propone, además de las ondas superficiales, ya propuestas por John W. Strutt, Lord Rayleigh (1842-1919) (ondas Rayleigh), otras que llevan su nombre (ondas Love). Los trabajos de Harold Jeffreys (1891-1989), Gutenberg y Keith Bullen (1906-1976) llevan a establecer los primeros modelos globales de la distribución de las velocidades de las ondas sísmicas en el interior de la Tierra, que es dividida en tres regiones principales: corteza, manto y núcleo, lo cual es instrumento básico para la determinación de los parámetros del foco de los terremotos. A raíz del terremoto de San Francisco de 1906, Harry F. Reid (1859- 1944) propone la teoría del rebote elástico en la fractura de una falla para la generación de los terremotos, y unos años más tarde, Perry Byerly (1897-1978) en California e Hirokichi Honda (1906-1982) en Japón proponen, entre 1930 y 1950, los primeros métodos para la determinación del mecanismo de los terremotos, es decir, la orientación de la falla que los ha producido. A partir de estos primeros elementos, la sismología se ha ido desarrollando con rapidez y complejidad hasta nuestros días proporcionando conocimientos cada vez más detallados sobre la estructura de la Tierra y la naturaleza de los terremotos.

## Primeras estaciones sismológicas en España

En el informe español sobre el terremoto de Andalucía de 1884, se hacía notar que en España no existía todavía ninguna estación sismológica, como era ya el caso de Italia. Los primeros instrumentos tardarían todavía en instalarse. Un péndulo Milne horizontal se instaló en 1898 en el Real Observatorio de la Armada (ROA) en San Fernando, Cádiz (fundado en 1753), como parte de la red global de sismógrafos diseñada por Milne. Esta fue la primera estación sismológica estable instalada en España. Al año siguiente, se instalaron en el mismo observatorio sismógrafos de componentes horizontales y vertical Milne, adquiridos en Inglaterra siendo director Tomás de Azcárate Menéndez (1849-1921), y a ellos se añadieron más tarde otros sismógrafos construidos en el mismo observatorio<sup>125</sup>.

124 Ben-Menahem, A. *A Concise History of Mainstream Seismology*.

125 Boloix Carlos-Roca, R. (1998). Aportaciones del Real Instituto y Observatorio de la Armada a la ciencia en España. 100 años de registros sísmicos. *Boletín ROA*, 5(99), (pp. 3-10). Nadal, I. (1922). *El contralmirante Excmo Sr. D. Tomás de Azcárate. El Observatorio de Marina de San Fernando. Labor del Sr. Azcárate como director del Observatorio*. San Fernando: Iris. Rodríguez de la Torre, F. (1998). Documentos del Observatorio de San Fernando y el Ministerio de Marina sobre la instalación del primer sismógrafo en España. *Boletín ROA*, 5(99), (pp. 125-130).



Fig. 7.5. Real Observatorio de la Armada, San Fernando, Cádiz (finales del siglo XIX)

Las siguientes estaciones sismológicas fueron de iniciativa privada y algunas de ellas funcionaron solo durante unos años<sup>126</sup>. Entre 1820 y 1970, los jesuitas instalaron una red mundial de 75 observatorios, entre ellos dos en España<sup>127</sup>. En 1902, instalaron un observatorio, el Observatorio de Cartuja (Granada) en la Facultad de Filosofía y Teología, con secciones de astronomía, meteorología y sismología<sup>128</sup>. En la sección de sismología, los primeros instrumentos fueron dos sismógrafos italianos de componente horizontal Vincentini y otros dos Stiattesi. En 1908, se instaló un sismógrafo horizontal Wiechert y más tarde, entre 1908 y 1924, se instalaron varios instrumentos de construcción propia, entre ellos uno electromagnético de tipo Galitzin. El observatorio estuvo dirigido por jesuitas hasta 1971, cuando pasó a la Universidad de Granada. En 1904, los jesuitas instalaron otro observatorio en la Facultad de Filosofía y Teología de Roquetes (Tarragona), el Observatorio del Ebro, dedicado principalmente al geomagnetismo y la física solar<sup>129</sup>. En la sección de sismología se instalaron, en 1904, sismógrafos Vincentini horizontales y vertical y Grablovitz horizontales, y, en 1914, Mainka horizontales.

126 Batlló, J. (2000). *Revision of the catalogue of historical seismic stations in Spain*. En *I Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica*. CD-ROM. Batlló, J., & Bormann, P. (2000). A catalog of Old Spanish Seismograms. *Seismological Research Letters*, 71(4), (pp. 570-580).

127 Udías, A. (2003). *Searching the Heavens and the Earth: The History of Jesuit Observatories*. Dordrecht: Kluwer.

128 Espinar, M., Esquivel, J. A., & Peña, J. A. (2003). *Historia del Observatorio de Cartuja, 1902-2002. Nuevas investigaciones*. Granada: Exmo Ayuntamiento de Granada, Concejo de Turismo, Cultura y Deporte

129 García Doncel, M., & Roca Rosell, A. (2007). *Observatorio del Ebro: Un siglo de historia (1904-2004)* (Publicaciones del Observatorio del Ebro Memoria 18). Roquetas.

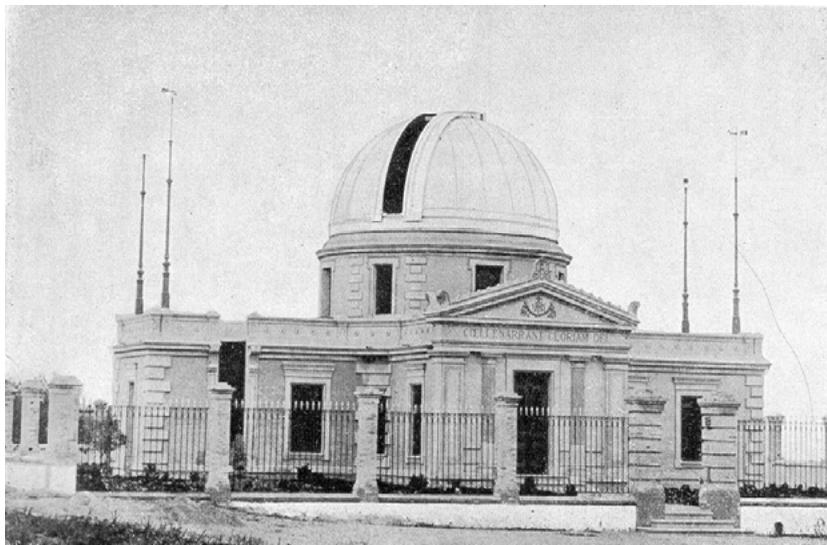


Fig. 7.6. Observatorio de Cartuja, Granada

Una estación sismológica se instaló en Barcelona en 1907, en el Observatorio de Fabra, de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, que había sido fundado en 1904 y tenía secciones de astronomía, meteorología y sismología, la última de las cuales contaba con sismógrafos Mainka.



Fig. 7.7. Instituto Geográfico Nacional, Madrid

El Instituto Geográfico y Estadístico, más tarde «Instituto Geográfico y Catastral, y en la actualidad Instituto Geográfico Nacional (IGN), fundado en 1870, y que había asumido los trabajos de geodesia y cartografía de la Comisión del Mapa Geológico de España, inició en 1905

la organización del Servicio Sismológico, encargándose de esta el ingeniero militar y geógrafo Eduardo Mier y Miura (1858-1930)<sup>130</sup>.

En 1904, España se adhirió a la Asociación Internacional de Sismología y, en 1905, Mier y Miura asistió a su segunda asamblea en Berlín, promovida por Gerland. Después de visitar varias estaciones sismológicas en Alemania, Mier y Miura, tomando como ejemplo las redes de estaciones ya instaladas en Europa, sobre todo en Alemania, donde había once estaciones llamadas de primer orden, propuso la organización en España del Servicio Sismológico. Mier y Miura propuso, al principio, la instalación de seis estaciones sismológicas en A Coruña, Donostia/San Sebastián, Zaragoza, Málaga, Murcia y València, que, unidas a las ya existentes en Tortosa, Granada, Barcelona y San Fernando, resultarían en diez estaciones en España. De un modo idealista, Mier y Miura propone, para una estación de primer orden, seis sismógrafos de varios tipos, además de otros instrumentos. Este ambicioso programa no se llevó a cabo, y la primera estación del Servicio Sismológico se instaló en Toledo en 1909, en los sótanos de la Diputación Provincial, con sismógrafos Agamennone, Bosch-Omori, Vicentini, y Milne<sup>131</sup>.

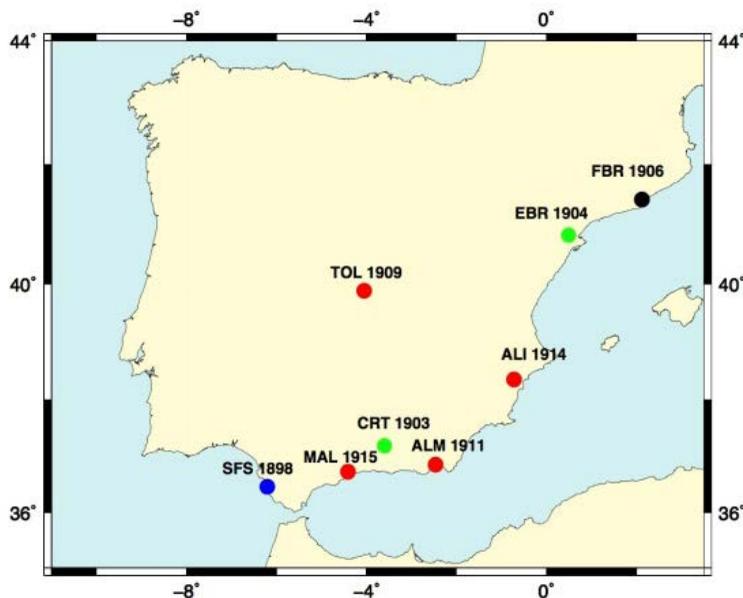


Fig. 7.8. Primeras estaciones sismológicas (rojo IGN)

La instalación fue dirigida por José Galbis Rodríguez (1868-1952), entonces jefe del Servicio Sismológico y en 1931 director general del Instituto Geográfico. A la estación de Toledo siguieron las de Almería (1911), Alicante/Alacant (1914) y Málaga (1915), con sismógrafos Vicentini y Bosch-Omori. Posteriormente, la instrumentación de las estaciones se fue modernizando, con la instalación de sismógrafos Mainka y Wiechert en 1924 y Hiller-Stuttgart en 1959. Nuevas estaciones se instalaron, por ejemplo, en Tenerife y La Palma, en las Islas Canarias. En años siguientes, se modernizó el instrumental de todas las estaciones y se instalaron

<sup>130</sup> Mier y Miura, E. (1910). *Organización del Servicio Sismológico en España*. Madrid: Memorial de Ingenieros del Ejército; Anduaga, A. (2004). Earthquake, Damage and Prediction: The Spanish Seismological Service, 1898-1930. *Earth Science History*, 23(2), (pp. 175-207).

<sup>131</sup> Payo Subiza, G., & Gómez-Menor, R. (1998). *Historia del Observatorio Geofísico de Toledo*. Madrid: Instituto Geográfico Nacional.

más estaciones. Por parte del Gobierno de los Estados Unidos, en 1957 se instaló en Sonseca (Toledo) una red (*array*) de 19 estaciones, más tarde ampliada a 26, dentro del programa relacionado con el control de explosiones nucleares, que pasó al IGN en 1996. En 1962, dentro del mismo programa, se instalaron en Toledo y Málaga dos estaciones de la *World Wide Standard Stations Network* (Red Mundial de Estaciones Estándar, WWSSN). La WWSSN era una red mundial de unas 120 estaciones con instrumentos modernos de alta calidad de periodo corto y largo, relacionada con el control de las explosiones nucleares, que funcionó hasta 1996. Las dos estaciones en España contribuyeron con sus observaciones a los nuevos estudios del análisis de las ondas sísmicas.

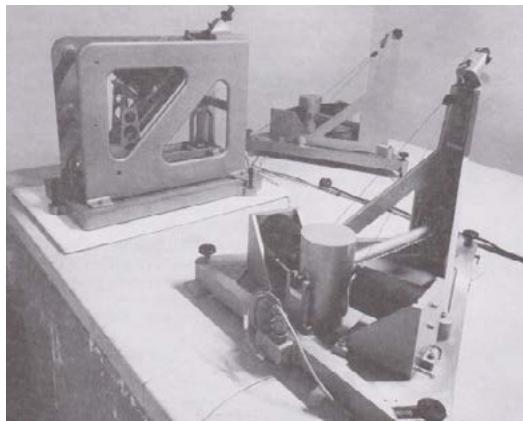


Fig. 7.9. Sismómetros de periodo largo de la estación WWSSN de Toledo (Payo Subiza y Gómez Menor, 1998)

En la actualidad, la Red de Alerta Sísmica del IGN consta de 116 estaciones, conectadas en tiempo real con el Centro de Recepción de Datos Sísmicos que forma parte del Centro Nacional de Información Sísmica en Madrid, que tiene encomendado el servicio de vigilancia sísmica. Además, hay instaladas en España otras redes sísmicas como la Red Sísmica de Cataluña con 22 estaciones, la Red Sísmica de Andalucía del Instituto Andaluz de Geofísica de la Universidad de Granada, con 17 estaciones, y la Red Sísmica *Western Mediterranean* de la Universidad Complutense y el Observatorio de la Armada, que cuentan con la colaboración del centro alemán de investigación *GeoForschungsZentrum* (GFZ), de Potsdam, con 11 estaciones. La red *Western Mediterranean* tiene además estaciones en Portugal y Marruecos con la colaboración de la Universidad de Évora (Portugal) y la Universidad Mohamed V de Rabat (Marruecos).

## Los primeros sismólogos españoles modernos

Con la instalación de las primeras estaciones sismológicas, comienzan en España los primeros estudios sismológicos modernos. Entre estos se encuentran los estudios de Vicente Inglada Ors (1879-1949), ingeniero militar que entre 1910 y 1923 ocupó el puesto de director del Observatorio Geofísico de Toledo y después el de director de la sección de sismología del IGN<sup>132</sup>.

<sup>132</sup> Rodríguez de la Torre, F. (1982). Vida y obra de Vicente Inglada Ors (1879-1949). *Revista del Instituto de Estudios Alicantinos*, 34, (pp. 13-77); Payo Subiza, G., & Gómez Menor, R. (1998). *Historia del Observatorio Geofísico de Toledo*, 5-7, (pp. 89-91), (pp. 135-138); Macelwane, J. B. (1949). Vicente Inglada Ors, 1879-1949. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 39(4), (pp. 219-220).



Fig. 7.10. Vicente Inglada Ors  
(Payo Subiza y Gómez Menor, 1998)

Inglada también fue vicedirector de la *Revista de Geofísica* del CSIC desde su creación en 1942 hasta 1948. Junto con José García Siñeriz (1886-1974) y Wenceslao del Castillo, tradujo del alemán al español el libro de Galitzin *Conferencias sobre sismometría* (1921), uno de los primeros textos de sismología moderna publicado en España, y la obra de Alfred Wegener (1880-1930) sobre la deriva continental, *La génesis de los continentes y océanos* (1924). Su contribución más importante a la sismología es el desarrollo de una metodología para la determinación numérica de los hipocentros a partir de los tiempos de llegada de las ondas sísmicas, que se publicó en España, Francia y Alemania<sup>133</sup>. Este es el primer trabajo moderno de sismología publicado por un español fuera de España. Inglada también publicó otros libros de sismología en español de carácter más divulgativo, como *La Sismología: sus métodos, el estado actual de sus problemas fundamentales*, (1923), *La corteza terrestre* (1923) y *Estudio sobre la propagación de las ondas sísmicas* (1942).

Otro de los primeros sismólogos modernos españoles perteneciente también al IGN es Alfonso Rey Pastor (1890-1959), proveniente también del estamento militar, director del Observatorio de Alicante y jefe de la sección de Geofísica del IGN<sup>134</sup>. Rey Pastor publicó los primeros estudios de la sismicidad y sismotectónica de la península ibérica, *Traits sismiques de la péninsule Ibérique* (1927) y *Sismicidad de la Península Ibérica* (1936), y el primer *Mapa Sismotectónico de la Península Ibérica* (1952). Por sismotectónica se entiende la relación entre la distribución espacial

<sup>133</sup> Inglada Ors, V. (1921). *Nuevas fórmulas para abreviar el cálculo de la profundidad aproximada del foco sísmico por el método de Kövesligethy y su aplicación a algunos temblores*. Madrid: Instituto Geográfico y Estadístico; Inglada Ors, V. (1927). *Calcul des coordonnés du foyer séismique au moyen des heures de p ou P observées au voisinage de l'épicentre*. *Publication de BCSI S. A. Travaux Scientifique*, 5, (pp. 3-58); Inglada Ors, V. (1928). *Die Berechnung der Herdkoordinaten eines Nahbebens aus den Eintrittszeiten der in einigen benacharten Stationen aufgezeichneten p oder P Wellen*. *Beiträge zur Geophysik*, 19(1).

<sup>134</sup> Sánchez Gabriel, M. (1996). *Alfonso Rey Pastor*. Logroño; Payo Subiza, G., & Gómez Menor, R. (1998). *Historia del Observatorio Geofísico de Toledo*, 8-29, (pp. 92-94).

de los terremotos y los accidentes de la tectónica de una región. En especial, Rey Pastor estudió la sismicidad y sismotectónica de la región de Levante, publicando *Sismicidad de la comarca costera alicantina* (1948) y *Estudio sismotectónico de la región SE de España* (1951).



Fig. 7.11. Alfonso Rey Pastor  
(Payo Subiza y Gómez Menor, 1998)

En el Observatorio de Cartuja, destaca la labor del jesuita Manuel Sánchez Navarro-Neumann (1867-1941), uno de los grandes sismólogos españoles de su época, director del Observatorio de 1915 a 1931<sup>135</sup>. La falta de fondos para adquirir nuevos instrumentos le obligó a diseñar y construir él mismo nuevos instrumentos sismológicos, utilizando como modelos los producidos en Alemania por Mainka y Wiechert, y llegó a construir uno de gran masa de 3000 kg con una amplificación del movimiento del suelo de 1000 veces, valor excepcional para un sismógrafo mecánico.



Fig. 7.12. Manuel Sánchez  
Navarro-Neumann  
(Due Rojo, 1940)

<sup>135</sup> Due Rojo, A. (1940). *Labor científica del R. P. Manuel Sánchez Navarro, S. J.* Granada: Observatorio de Cartuja. Due Rojo, A. (1941). El R. P. Manuel M. Sánchez Navarro, S. J. *Boletín Real Sociedad de Historia Natural*, 39, (pp. 117-120).

En 1924 construyó dos sismógrafos electromagnéticos del tipo que acababa de ser desarrollado en Rusia por Galitzin y que empezaban a sustituir a los mecánicos. Entre sus trabajos sismológicos destacan sus estudios sobre los terremotos del sur de España. En 1917 y 1921 publicó el primer catálogo moderno de terremotos de la península ibérica, utilizando los catálogos de Milne, Mallet y Perrey<sup>136</sup>. Ante la falta de obras sobre este tema, publicó el primer libro en español sobre los terremotos y sus efectos: *Terremotos, sismógrafos y edificios* (1916). Su sucesor fue Antonio Due Rojo (1898-1975) que procuró mantener el funcionamiento de la estación sismológica en los difíciles años posteriores a la guerra civil española<sup>137</sup>. La carencia de fondos, que impedía la renovación de la instrumentación, y el desarrollo del Servicio Sismológico del IGN, hizo que la importancia del Observatorio fuera disminuyendo. Due Rojo continuó la labor sismológica de Navarro-Neumann y publicó algunos estudios de sismicidad del sur de España y de terremotos sucedidos en la región<sup>138</sup>.

Al frente del Servicio Sismológico del IGN, Galbis realizó su mayor y más duradera contribución a la sismología con su catálogo de terremotos de España, basado especialmente en los catálogos sísmicos anteriores de Moreira de Mendonça, Perrey y Sánchez Navarro-Neumann, que añade estudios históricos no utilizados por los anteriores catálogos y que sigue siendo una referencia obligada para los terremotos anteriores a 1940<sup>139</sup>.



Fig. 7.13. José María Bonelli como presidente de la ESC en la reunión de Alicante de 1959 (IGN)

136 Sánchez Navarro-Neumann, M. M. (1917). Ensayo sobre la sismicidad del suelo español». *Boletín de la Real Sociedad de Historia Natural*, (enero 1917), (pp. 83-108) Sánchez Navarro-Neumann, M. M. (1921). Bosquejo sísmico de la península Ibérica. *La estación sismológica y el observatorio astronómico y meteorológico de Cartuja, Granada*. Granada: Observatorio de Cartuja.

137 Espinar Moreno, M., & Morcillo Puga, J. de D. Vida y obra del R. P. Antonio Due Rojo, S.J..A.G.P.D.S. – *Universidad de Granada*, (pp. 1-32).

138 Due Rojo, A. (1956). El período sísmico de Granada (abril-mayo 1956). *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. Serie B, Año X, Vol. 42, Nº 84*, (pp.159-170). Due Rojo, A. (1952). *El período sísmico de la provincia de Jaén (marzo a agosto de 1951)*. Granada: Observatorio de Cartuja.

139 Galbis Rodríguez, J. (1932, 1940). *Catálogo Sísmico de la zona comprendida entre los meridianos 5° E y 20° W de Greenwich y los paralelos 45° y 25° N*, Vols. I y II. Madrid: Dirección General del Instituto Geográfico Catastral y de Estadística [vol. I] e Instituto Geográfico y Catastral [vol.II]

Otros dos miembros del IGN de esta época, que hicieron importantes contribuciones tempranas a la sismología, fueron Juan María Bonelli Rubio (1904-1981) y Luis Esteban Carrasco (1919- 2016), desde 1967 catedrático de la Universidad de Granada y también presidente y académico fundador de la Academia de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales de Granada, en especial, con el estudio de la determinación de la magnitud de los terremotos y un estudio del terremoto profundo de 29 de marzo 1954<sup>140</sup>. Este terremoto, de magnitud 7 y profundidad de 635 km, con epicentro al sur de Granada, supuso un suceso imprevisto para esta zona que suscitó un general interés de los sismólogos fuera de España.

Como ya se vio, en el Observatorio de Fabra se había instalado una estación sismológica en 1907, aunque su mayor interés estaba en la astronomía y la meteorología. En el Observatorio destaca la labor de Eduard Fontserè (1870- 1970), impulsor de la meteorología y la geofísica en Cataluña y fundador, en 1921, del «Servei Meteorològic de Catalunya»<sup>141</sup>. Entre 1916 y 1969, Fontserè publicó dieciocho notas sobre terremotos de Cataluña y su obra principal de sismología es el catálogo de terremotos de Cataluña, publicado póstuma y juntamente con Josep Iglésies en 1971 (*Recopilació de dades sísmiques de les terres catalanes entre 1100 i 1906*)<sup>142</sup>.



Fig. 7.14. Eduard Fontserè (1870-1970)  
(Iglésies, 1983)

En el campo académico, la sismología como parte de la geofísica tardó en introducirse en las universidades españolas. En 1929, Fontserè propuso la creación de una escuela de meteorología y geofísica en la Universidad de Barcelona (UB), pero la idea no llegó a realizarse. La primera cátedra de geofísica se crea en 1933 en la Universidad Central de Madrid (después Universidad Complutense de Madrid, UCM), que ocupa Arturo Duperier (1896-1959), cuyos trabajos de investigación, que había empezado en Inglaterra, se centraron en los rayos cósmicos y la meteo-

<sup>140</sup> Bonelli Rubio, J. M., & Esteban Carrasco, L. (1954). *La magnitud de los sismos en Toledo*. Madrid: Instituto Geográfico y Catastral.; Bonelli Rubio, J. M., & Esteban Carrasco, L. (1957). *El sismo de foco profundo de 24 de marzo de 1954 en la falla de Motril*. Madrid: Instituto Geográfico y Catastral.

<sup>141</sup> Iglésies, J., (1983). *Eduard Fontserè. Relació de fets*. Barcelona: Fundació Salvador Vives Casajuana.

<sup>142</sup> Fontserè, E., & Iglésies, J. (1971). *Recopilació de dades sísmiques de les terres catalanes entre 1100 i 1906*. Barcelona: Fundació Salvador Vives Casajuana.

rología<sup>143</sup>. Duperier fue cesado tras la Guerra Civil Española y, en 1940, la cátedra se desdobra en dos, una de Geofísica y otra de Meteorología, que ocuparon, en 1948 y respectivamente, Luis Lozano Calvo (1904-1988) y Federico Morán Samaniego (1901-1984).<sup>144</sup> Lozano trabajó sobre todo en problemas de gravimetría y aplicaciones de la geofísica a la prospección<sup>145</sup>. En la Universidad de Barcelona se creó una cátedra de meteorología que ocupó, en 1961, Manuel Puigserver i Zanón (1922-2020), que se había formado en la Universidad de Chicago. Estos fueron los primeros puestos de profesores de geofísica y meteorología en la universidad española. Más tarde, en la década de los ochenta, se crean puestos docentes de geofísica, además de en Madrid y Barcelona, en otras universidades, entre ellas las de Granada, Zaragoza, Alicante/Alacant y Almería, en las que se han formado también grupos de investigación de sismología.

En el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), fundado después de la Guerra Civil en 1939, se creó, en 1941, el Instituto Nacional de Geofísica, cuyo primer director fue García Siñeriz, que en 1943 fue también encargado del curso de geofísica de la UCM. El Instituto estuvo luego vinculado a la Cátedra de Geofísica de la UCM con Lozano como director, hasta su supresión en 1979. Desde 1942 hasta su supresión, el Instituto publicó la *Revista de Geofísica*, de la que fue primer director Siñeriz y a quien sucedió Lozano desde 1958 hasta 1976 y después, hasta 1979, Constantino Gaibar Puertas, y en la que aparecieron numerosos artículos sobre sismología. A partir de la década de 1970 se forman también grupos de investigación en sismología en varios institutos del CSIC, por ejemplo, el Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, (Barcelona) (hoy Geociencias Barcelona-GEO3BCN-CSIC); y el Museo de Ciencias Naturales (Madrid).

143 González de Posada, F., & Bru Villaseca, L. (1996). *Arturo Duperier: Martir y mito de la ciencia española*. Ávila: Diputación Provincial de Ávila. Udías Vallina, A. (1983). *Arturo Duperier, los comienzos de la Geofísica en la Universidad Española*. Santander: Aula de Cultura Científica. Udías, A., & Buforn, E. (1997). *La carrera universitaria de Arturo Duperier, primer Catedrático de Geofísica (I)*. *Revista Española de Física*, 11, (pp. 49-52). Udías, A., & Buforn, E. (1998). *La carrera universitaria de Arturo Duperier, primer Catedrático de Geofísica» (II)*. *Revista Española de Física*, 12, (pp. 48-51).

144 Udías, A. (2003). *Geofísica en la Universidad Española*. *Revista Española de Física*, (Noviembre-Diciembre 2003), 26.

145 Lozano, L. (1951). *Fórmula de la gravedad normal en España*. Madrid: Instituto Geográfico Catastral.



# 8

## El desarrollo moderno de la sismología

### Sismicidad, riesgo sísmico y tectónica de placas

A partir de 1950 se dan una serie de nuevos desarrollos que marcan ya el comienzo de la actual sismología moderna, entre ellos, en el campo instrumental, el desarrollo de nuevos sismógrafos, con los primeros instrumentos digitales en 1962<sup>146</sup> y los de banda ancha en 1983, la utilización de ordenadores desde 1960 para el análisis de las ondas sísmicas, internas y superficiales, y la determinación numérica de los parámetros focales y el mecanismo de los terremotos.

Un importante avance en la interpretación de los terremotos y su relación con los procesos tectónicos tuvo lugar con la propuesta entre los años 1965 y 1968 de la teoría de la «tectónica de placas», con los trabajos pioneros de John T. Wilson (1908-1993), William J. Morgan (1935- ), Xavier Le Pichon (1937 -), y en especial con la propuesta de la relación de esta teoría con los terremotos por Bryan L. Isaac, John E. Oliver (1923-2011), Lynn R. Sykes (1937- ) y Dan P. McKenzie. La teoría propone como las principales unidades geodinámicas la «litosfera» (capa rígida de unos 100 km de espesor), que se desliza sobre la «astenosfera» (capa viscosa). La litosfera está dividida en placas (las seis principales: Eurasia, África, América, Pacífico, Indo-Australia y Antártida) con movimiento relativo entre ellas. La mayoría de los terremotos se producen en sus bordes (terremotos interplacas) y algunos en su interior (terremotos intraplacas)<sup>147</sup>. Hace 200 millones de años las placas estaban unidas en una sola, la «Pangea» y se han ido separando hasta su posición actual, idea propuesta ya anteriormente en 1912 por Wegener en su obra sobre la deriva de los continentes<sup>148</sup>.

---

146 Miller, W. F. (1963). *The Caltech Digital Seismograph*. *Journal of Geophysical Research*, 68(3) (pp. 841-847).

147 Kearey, P., & Vine, F. J. (1996). *Global Tectonics* (2nd ed.). Oxford: Blackwell Science.

148 Wegener, A. (1915). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Braunschweig: Friedr Vieweg und Sohn.

En España, estos desarrollos se empiezan a introducir a partir de los años sesenta del siglo XX. El catálogo de terremotos de la península ibérica de Galbis se moderniza en 1963 por José María Munuera Quiñonero (1909-1999), jefe del Servicio Sismológico del IGN, que añade, para muchos de los terremotos anteriores a 1900, la hora origen, da la localización con las coordenadas epicentrales y añade un valor de la magnitud calculada a partir de la intensidad máxima, y continúa el catálogo hasta 1972, con horas origen, hipocentros y magnitudes determinadas a partir de datos instrumentales<sup>149</sup>.



Fig. 8.1. José María Munuera Quiñonero, Agustín Udías y Alfonso López Arroyo y las esposas de Munuera y López Arroyo en la XIV Asamblea de la ESC en 1974 en Trieste (colección del autor, C. A.)

A partir de 1960, en el IGN se dan los primeros pasos en la introducción de los avances de la sismología moderna, como, por ejemplo, la utilización de los ordenadores digitales para trabajos de sismología. En 1965, comienza la colaboración con el IGN de Agustín Udías Vallina, jesuita formado en la Universidad de Saint Louis (Missouri) con William Stauder (1922-2002), Otto Nuttli (1926-1988) y Carl Kisslinger (1926-2008); en la Universidad de California-Berkeley con Bruce A. Bolt (1930-2005); y en la Universidad de Frankfurt con Hans Berkhemer. Udías se centró en estudios de sismología, en especial la determinación del mecanismo de los terremotos a partir del análisis de las ondas sísmicas y su aplicación a la tectónica de placas. Su colaboración con Munuera y José Luis Flores Calderón, del IGN, se centró en el desarrollo de programas de ordenador, entre ellos programas para la determinación de la localización de los terremotos de la Península y el análisis de frecuencias de las ondas sísmicas<sup>150</sup>. Su colaboración con el IGN contó con el apoyo de la agencia americana *Air Force Office of Scientific Research* (AFOSR), encargada de las investigaciones sismológicas con otros países, sobre todo en aquellos en los que se habían instalado estaciones de la red WWSSN por parte del Gobierno de Estados Unidos, como era el caso de España, con los observatorios de Málaga y Toledo. Estos trabajos llevan a una nueva

149 Munuera, J. M. (1965). *Datos básicos para un estudio de sismicidad en el área de la península Ibérica*, Memoria 32. Madrid: Instituto Geográfico y Catastral.

150 Munuera, J. M., & Udías, A. (1967). *Programa de cálculo electrónico para la localización de sismos próximos en la región de la Península Ibérica*. Madrid: Instituto Geográfico y Catastral.

definición de la sismicidad de la Península, con nuevos mapas de epicentros de los terremotos por parte de Munuera, quien inició el trabajo de modernización de las estaciones sismológicas del IGN, en el que participó Julio Morencos Tevar (1921-1996), director de la Estación Sismológica de Alicante y más tarde subdirector de Geofísica y director del IGN, autor de varios trabajos sobre la teoría y funcionamiento de los sismógrafos electromagnéticos<sup>151</sup>. En 1962, se creó la Comisión Permanente de Normas Sismorresistentes (CPNS), dependiente del IGN, que redactó en 1968 la primera norma sismorresistente, acompañada con un mapa de riesgo sísmico, con posteriores y sucesivas actualizaciones, la primera en 1972. Siguiendo las recomendaciones de la CNGG respecto a la necesidad de redactar unas instrucciones sismorresistentes para la edificación en zonas de riesgo, Munuera comenzó, también, los trabajos del estudio del riesgo sísmico en la Península, siendo el autor de uno de los primeros trabajos en España sobre construcción sismorresistente<sup>152</sup>.

Alfonso López Arroyo (1927-2017), director del Observatorio de Málaga y más tarde subdirector del IGN, fue un verdadero pionero de la sismología moderna y la ingeniería sísmica en España<sup>153</sup>. Se había formado en sismología en la Universidad de Saint Louis (Missouri) con James B. Macelwane (1883-1956), y más tarde pasó un año en el U. S. Geological Survey en Golden (Colorado) trabajando con Álvaro Espinosa (1933-2015) y Ted Algermissen. La ocurrencia de dos terremotos importantes, uno en el Golfo de Cádiz en 1964 ( $M_s = 7.1$ ), y el otro frente al cabo San Vicente en 1969 ( $M_s = 7.6$ ), en el área del terremoto de Lisboa de 1755, fue la ocasión de dos estudios pioneros de López Arroyo en colaboración con Udías, con la determinación de su mecanismo a partir del análisis de ondas sísmicas internas y superficiales, en los que se relaciona por primera vez la sismicidad del sur de la Península y su prolongación hasta las islas Azores a lo largo de la falla «Azores-Gibraltar», que separa las placas tectónicas de Eurasia y África<sup>154</sup>.

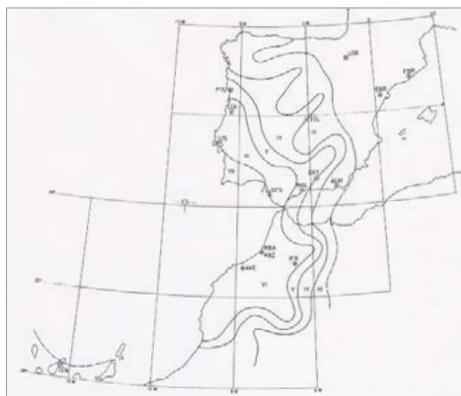


Fig. 8.2. Isosistas del terremoto de 28 febrero 1969,  $M_s = 8$

151 Morencos, J. (1967). *Determinación del amortiguamiento de un sismómetro*. Madrid: Instituto Geográfico Nacional.  
Morencos, J. (1972). *Respuestas teóricas de sistemas sismómetro-galvanómetro*. Madrid: RACEFN.

152 Munuera, J. M. (1962). *Estudio previo para efectuar el cálculo de construcciones sismo-resistentes*. Madrid: Instituto Geográfico y Catastral. (p.23 y 2 mapas).

153 Roca Adrover, A., Martínez Solares, J. M., & Udías Vallina, A. (2012). Alfonso López Arroyo: pionero de la sismología y la ingeniería sísmica. *Física de la Tierra*, 24, (pp. 11-16). Udías, A., & Roca, A. (2017). Alfonso López Arroyo (1927-2017)». *Journal of Seismology*, 21, 1657-1658.

154 López Arroyo, A., & Udías, A. (1972). Aftershock sequence and focal parameters of the February 28, 1969 earthquake of the Azores-Gibraltar fracture zone. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 62(3), (pp. 699-720).

Udías había hecho en 1967 los primeros estudios del mecanismo de los terremotos de la Península<sup>155</sup>. En un trabajo posterior de Udías y López Arroyo, de 1972, se interpreta formalmente, y por primera vez, la sismicidad y el mecanismo de los terremotos de la zona en el contexto de la nueva teoría de la tectónica de placas, asociada al extremo oeste del borde entre las placas Euroasiática y Africana, estudio que fue ampliado más tarde con la colaboración de Julio Mezcua Rodríguez, profesor titular en la UCM y más tarde subdirector de Geofísica en el IGN<sup>156</sup>. De esta manera los terremotos de la península ibérica quedan por primera vez explicados en el contexto de la tectónica global.

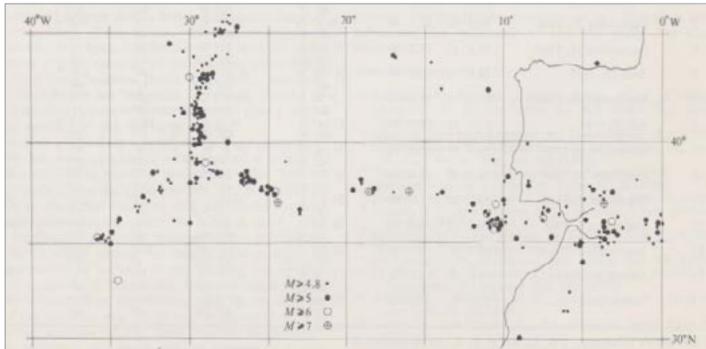


Fig. 8.3. Sismicidad de la región Azores-Gibraltar (Udías y López Arroyo, 1972)

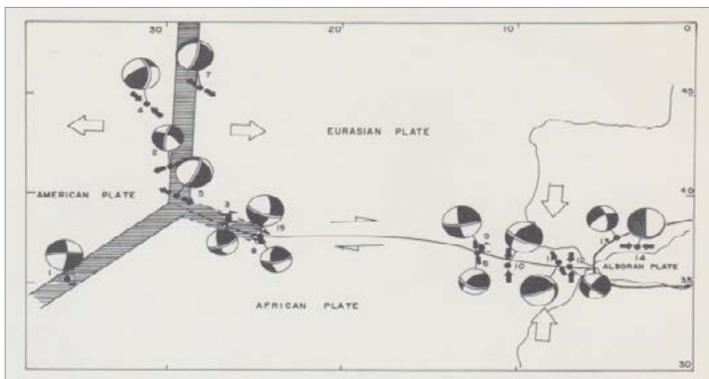


Fig. 8.4. Primer esquema de tectónica de placas de la región Azores-Gibraltar (Udías y López Arroyo, 1972)

Para el estudio de la sismicidad, sismotectónica y riesgo sísmico en la región de la península ibérica y norte de África, se creó en 1969, dentro de la ESC, el Grupo de Trabajo Ibero-Mogrebí, con representantes de España, Portugal, Marruecos, Argelia y Túnez, que tuvo entre sus primeras reuniones la reunión de Lisboa en 1972, Madrid en 1977, Rabat en 1979 y Túnez en 1981. La actividad del grupo decreció a partir de la década de los ochenta, aunque posteriormente ha habido diversas tentativas de reactivar el grupo con actividades conjuntas, por ejemplo, el «Curso práctico de Sismología» en Rabat en 2008 y 2009, subvencionado por UCM y ROA junto con la Universidad Mohamed V de Rabat, que contó con la participación de investigadores de España, Portugal, Marruecos y Argelia.

155 Udías, A. (1967). The focal mechanism of earthquakes in the southern coast of the Iberian Peninsula. *Tectonophysics*, 4, (pp. 229-234).

156 Udías, A., & López Arroyo, A. (1972). Plate tectonics and the Azores-Gibraltar region. *Nature*, 237, (pp. 67-69).  
Udías, A., López Arroyo, A., & Mezcua, J. (1976). Seismotectonic of the Azores-Alboran region. *Tectonophysics*, 31, (pp. 259-289).

Entre 1973 y 1977, Udías ocupó la plaza de profesor agregado de Geofísica de la Universidad de Barcelona, donde dirigió un grupo de investigación en sismología, participando en este, entre otros, Antoni M. Correig i Blanchar (1947-2013), quien se formó también en la Universidad de Saint Louis (Missouri) y le sucedió en 1977 como profesor en Barcelona, fue director del *Laboratori d'Estudis Geofísics Eduard Fontserè* entre 1982 a 2009, y trabajó sobre características de las ondas sísmicas<sup>157</sup>; José Antonio Canas Torres (1945-2020), que también se formó en la Universidad de Saint Louis y trabajó sobre todo en la propagación y atenuación de ondas superficiales, fue más tarde catedrático en la Universidad Politécnica de Barcelona, y director de IGN entre 1996 y 2002; Enrique Banda Tarradellas, durante un tiempo en la Universidad Técnica Federal de Zúrich (*Eidgenössische Technische Hochschule, ETH*), en Suiza, más tarde profesor de investigación en el Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera del CSIC; Antoni Roca Adrover, que fue director del Servei Geològic del Institut Cartogràfic de Catalunya; y Elisa Buforn Peiró y Emma Suriñach Cornet, que se incorporaron a la UCM. Suriñach sucedió a Correig en el Laboratori d'Estudis Geofísics y más tarde fue catedrática de la UB.

Desde 1977 hasta 2005, Udías pasó a ocupar la Cátedra de Geofísica de la UCM, en la que Mezcua trabajaba como profesor adjunto. En ella se formó un grupo de investigación en sismología con algunos de sus miembros procedentes de Barcelona. Se desarrollaron, entre otras líneas de investigación, el estudio de la corteza terrestre, por medio de la interpretación de perfiles sísmicos, como se verá más adelante; la sismicidad; el mecanismo de los terremotos; la sismotectónica; y el riesgo sísmico de la Península. En especial, se continuaron los trabajos sobre la determinación del mecanismo de los terremotos y su aplicación a los de la Península, y su interpretación en el contexto de la tectónica de placas de la región Azores-Gibraltar con modelos más detallados que el propuesto en 1972 por Udías y López Arroyo<sup>158</sup>. En ellos participaron Mezcua, hasta que pasó totalmente al IGN; y Buforn, procedente de la UB, profesora titular y más tarde catedrática en UCM. Buforn pasó tiempo con el sismólogo chileno Raul Madariaga en la Universidad de París y la *École Normal Supérieure*, y con Hiroo Kanamori en el California Institute of Technology (Pasadena).

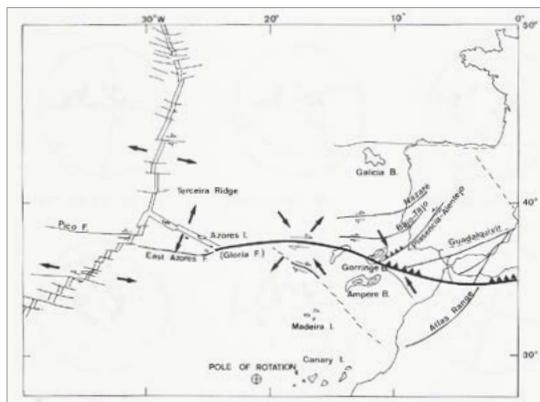


Fig. 8.5. Sismotectónica de la región Azores-Gibraltar (Buforn et al, 1988)

157 Suriñach, E. (2013, 27 de marzo). Per amor a la terra: Antoni M. Correig i Blanchard (1947-2013). *La Vanguardia*, (pp. 29).

158 Udías, A., López Arroyo, A., & Mezcua, J. (1976). Seismotectonic of the Azores-Alboran region. *Tectonophysics*, 1, (pp. 259-289). Buforn, E., Udías, A., & Colombás, M. A. (1988). Seismicity, source mechanism and tectonics of the Azores-Gibraltar plate boundary. *Tectonophysics*, 152, (pp. 89-118).

Suriñach, procedente también de la UB, fue profesora ayudante en la Universidad Complutense y después profesora titular y catedrática de la UB, y se dedicó preferentemente a estudios de la corteza terrestre, y más tarde al estudio sísmico de los aludes<sup>159</sup>. Miguel Herraiz Sarachaga, ocupó más tarde el puesto de catedrático, con especial interés en la atenuación de las ondas sísmicas e ingeniería sísmica, y Maurizio Mattesini, formado en las universidades de Burdeos y Uppsala, también catedrático, con estudios del núcleo de la Tierra. Del grupo relacionado con los estudios de la estructura de la corteza por medio de perfiles sísmicos se hablará más adelante. Colaboradores asiduos de la Cátedra, además de Madariaga, fueron otro sismólogo chileno, Armando Cisternas, afincado también en Francia en la Universidad de Estrasburgo, así como el profesor Bruce A. Bolt de la Universidad de California, Berkeley, y el ya mencionado Álvaro Espinosa, del U.S. Geological Survey.

En la Universidad de Granada (UG) se formó un grupo importante de investigación sobre sismología, sismotectónica y riesgo sísmico, en especial de la región de Andalucía, que en 1989 constituyó el Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos. El Instituto comenzó con la herencia del antiguo Observatorio de Cartuja, que se había incorporado a la universidad en 1971. En este destaca el trabajo en sismología de los profesores Carlos López Casado, Fernando de Miguel Martínez (†1996), Francisco Vidal Sánchez, Gerardo Alguacil, José Morales, Jesús Ibáñez y, más recientemente, Inmaculada Serrano; Daniel Stich, formado en la Universidad de Múnich y el GFZ; Javier Almendro; y Flor de Lis Mancilla<sup>160</sup>. En Cataluña, se llevan a cabo estudios de sismicidad en el Servei Geològic del Institut Cartogràfic y en el Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera del CSIC en este último con los estudios de Antonio Villaseñor.



Fig. 8.6. Grupo de la UCM en 1980, (desde derecha) Juan José Dañobeitia, Enrique Banda, Elisa Buforn, Agustín Udías, María José Jiménez, Emma Suriñach, Diego Córdoba y Mariano García (C.A.)

<sup>159</sup> Suriñach, E., Vilajosana, I., Khazaradze, G., Biescas, B., Furdada, G., & Vilaplana, J. M. (2005). Seismic detection and characterization of landslides and other mass movements». *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, (pp. 791-798).

<sup>160</sup> Por ejemplo, Stich, D., Ammon, C. J., & Morales, J. (2003). Moment tensor solutions for small and moderate earthquakes in the Ibero-Maghreb region. *Journal of Geophysical Research*, 108. doi:10.1029/2002JB002057. Serrano, I., Zao, D., & Morales, J. (2002). 3-D crystal structure of the extensional Granada Basin in the convergent boundary between the Eurasian and African plate. *Tectonophysics*, 344, (pp. 61-79).

En 1982, la redacción de la *Revista de Geofísica* pasó al Departamento de Geofísica de la UCM con Udías de director hasta 1992, cuando se suprimió definitivamente. En su lugar, desde 1989 hasta 2017 se editó en la UCM la revista *Física de la Tierra*, de la que Udías fue director desde 1989 hasta 2005 y Buforn desde 2005 hasta 2017, en la que ocho números completos están dedicados a temas de sismología. Udías fue fundador en 1996 de la revista *Journal of Seismology*, publicada por la editorial Springer, y su director hasta 2005. En 2013, le sucedió Mariano García Fernández, formado en la UCM, del CSIC. En 1999, Udías publicó *Principles of Seismology* (Principios de sismología) un libro de texto moderno de sismología, con una segunda edición en colaboración con Buforn en 2018<sup>161</sup>.

En 1983, el catálogo de terremotos de España se renovó extendiéndose hasta 1980 por parte de Mezcua y José Manuel Martínez Solares, ambos formados en la UCM y miembros del IGN<sup>162</sup>. Mezcua publicó en 1982 un catálogo de isosistas de terremotos y, con Martínez Solares en 2002, un detallado catálogo de los terremotos históricos (hasta 1900) de la región<sup>163</sup>. Sobre estos catálogos se basa el actual catálogo oficial del IGN de formato digital, accesible en la web: <https://www.ign.es/web/sis-catalogo-terremotos>, que contiene los terremotos ocurridos entre 1370 y el presente en la región Ibero-Magrebí, siendo actualizado de forma continua. Para el periodo anterior a 1900 (1370-1900), el catálogo está basado en el catálogo de Martínez Solares y Mezcua (2002). La información contiene la fecha, la hora origen, coordenadas consideradas como epicentrales, intensidad EMS1998 y magnitud con información adicional, como mapa de intensidades (las magnitudes comienzan a partir de 1925). El catálogo de terremotos de Cataluña de Fontserè e Iglesias de 1971 fue modernizado y puesto al día en 1983 por Suriñach y Roca<sup>164</sup>. El Institut Cartogràfic de Catalunya publicó en 1999, un renovado y detallado catálogo de terremotos de Cataluña entre 880 a. C. y 1996<sup>165</sup>. En 1981 se publicó uno de los primeros catálogos de terremotos de las Islas Canarias, por Fuencisla Monge, de la UCM<sup>166</sup>. Un nuevo catálogo de la región de las Islas Canarias fue publicado en 2020 por el IGN<sup>167</sup>. Un tema de investigación relacionado con la revisión de los catálogos, que se inició hacia 1982 en la UCM en colaboración con el IGN, fue el del estudio de los terremotos históricos, anteriores a 1900, en el que participaron, en especial, las profesoras Dolores Muñoz Sobrino y Buforn. Entre los

161 Udías, A. & Buforn, E. (2018). *Principles of Seismology* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

162 Mezcua, J., & Martínez Solares, J. M. (1983). *Sismicidad del área Ibero-Mogrebí*, Publicación 203. Madrid: Instituto Geográfico Nacional.

163 Mezcua, J. (1982). *Catálogo general de isosistas de la Península Ibérica*. Publicación 202. Madrid: Instituto Geográfico Nacional. Martínez Solares, J. M., & Mezcua, J. (2002). *Catálogo sísmico de la península Ibérica (880 a. C. – 1900)*, Monografía 18. Madrid: Instituto Geográfico Nacional.

164 Suriñach, E., & Roca, A. (1982). *Catálogo de terremotos de Catalunya, Pirineos y zonas adyacentes. La sismicidad de la zona comprendida entre 40°N-44°N y 3°W-5°E. NE de la Península Ibérica*. Madrid: Cátedra de Geofísica, Universidad Complutense.

165 Susagna i Vidal, M. T., & Goula i Suriñach, X. (1999). *Atlas sísmic de Catalunya - Volum 1. Catàleg de sismicitat*. Barcelona: Institut Cartogràfic de Catalunya.

166 Monge, F. (1981). *Catálogo Sísmico preliminar del Archipiélago Canario*. Universidad Complutense de Madrid. Cátedra de Geofísica. (pp.33) Publicación 165.

167 Instituto Geográfico Nacional. (2020). *Revisión del Catálogo Sísmico de las Islas Canarias (1341-2000)*. Madrid: Instituto Geográfico Nacional.

estudios realizados están los de los terremotos de Ontinyent de 1258, de Alcoi de 1620 y 1644, de Málaga de 1680, de Montesa de 1748, de Lisboa de 1755, de Orán de 1790, de Torrevieja de 1829 y de Andalucía de 1884<sup>168</sup>. Estudios de sismicidad histórica se han llevado a cabo en la Universidad de Granada, en especial de la de Andalucía por Francisco Vidal y Manuel Espinar Moreno<sup>169</sup>, y en el Institut Cartogràfic de Catalunya por Roca, Teresa Susagna y colaboradores.

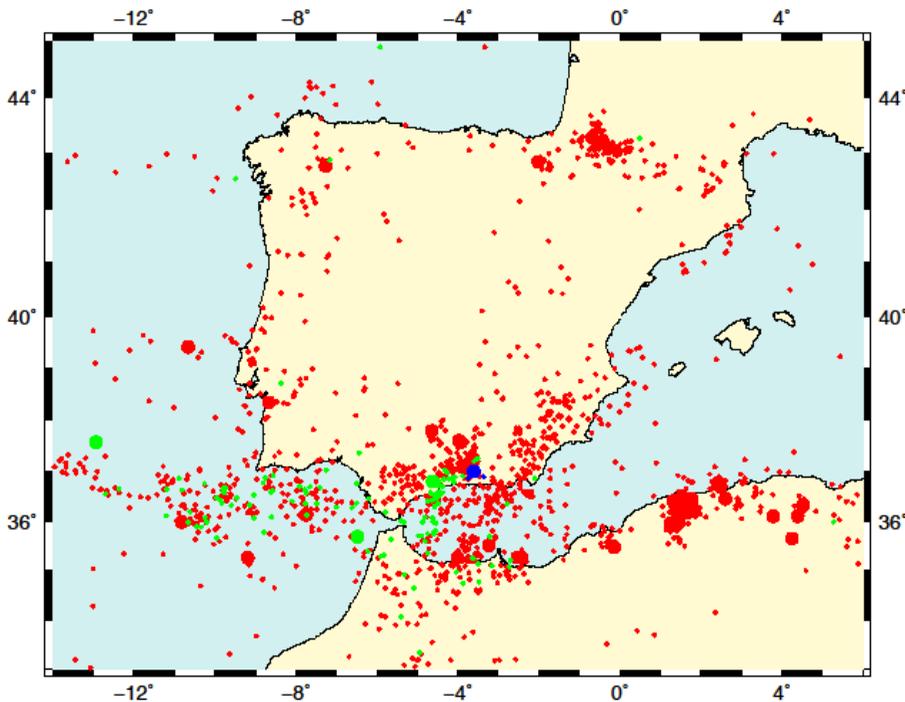


Fig. 8.7. Sismicidad de la península Ibérica, 1950-2000,  $M > 3.5$ , según el catálogo IGN (Tamaño grande  $M > 5$ , profundidad en km: rojos  $< 40$  km, verdes 40-120 km, azul 630-670 km)

A partir de los nuevos estudios de la sismicidad de la Península, tanto instrumental como histórica, se han llevado a cabo nuevos desarrollos de la evaluación del riesgo sísmico que se habían comenzado con los trabajos de Munuera y que López Arroyo, verdadero pionero de estos estudios en España, continuó con nuevas metodologías<sup>170</sup>. En los años ochenta, las tesis doctorales de Antonio J. Martín Martín y Dolores Muñoz<sup>171</sup> constituyeron una importante contribución. A partir de esos años, los trabajos se han desarrollado con la aplicación de nuevos métodos probabilísticos de evaluación del riesgo y la confección de nuevos mapas de peligrosidad sísmica para España por el IGN, los más recientes los incluidos en las Normas Sismorresistentes de 2002 y 2007. Otros trabajos de riesgo sísmico se han llevado a cabo, por ejemplo, en la Universidad Politécnica de Madrid, por Belén Benito Oterino, formada con Udías en la UCM.

168 Por ejemplo: Udías, A., & Muñoz, D. (1979). The Andalusian earthquake of 25 December 1884. *Tectonophysics*, 53, (pp. 291-299). Buforn, E., Coca, P., & Udías, A. (2017). Los terremotos de 1748 de Montesa (Valencia) y de 1790 de Orán (Argelia). *Física de la Tierra*, 29, (pp. 101-119).

169 Espinar Moreno, M. *Trabajos sobre sismicidad histórica I y II* (Granada, Libros EPCCM, 2021).

170 López Arroyo, A., & Villacañas Berenguer, J. (1999). Metodología Simplificada para el Análisis del Riesgo Sísmico. *Física de la Tierra*, 11, (pp. 269-284).

171 Martín Martín, A. J. (1983). *Riesgo sísmico en la Península Ibérica*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. Muñoz Sobrino, D. (1983). *Estudio del riesgo sísmico en el sur y sureste de la Península Ibérica*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid.

Entre 1984 y 1989, la Cátedra de Geofísica de la UCM, junto con el IGN, participó en un proyecto con el U.S. Geological Survey sobre la evaluación y disminución del riesgo sísmico en España, financiado por el Comité Conjunto Hispano-Norteamericano para la Cooperación Científico y Técnica, liderado por Udías y López-Arroyo por parte de España, y por Espinosa por parte estadounidense. Este proyecto permitió estancias de investigación de investigadores españoles en el centro de Estados Unidos, y de sismólogos americanos en España, entre otros, los eminentes sismólogos, Keitti Aki (1930-2005), Kanamori, Algermissen y Kisslinger. A partir de 1990, la UCM y el IGN participaron en varios proyectos de sismología financiados por la Comunidad Europea en los que participaban grupos de Francia, Italia, Alemania, Holanda y Grecia. Entre ellos, por ejemplo, *High-Quality earthquakes strong motion measurements for structural and seismic source studies* (Medidas de alta calidad de movimientos fuertes de terremotos para estudios de la estructura y fuente sísmica), siendo las entidades participantes: UCM, IGN, Institut de Physique du Globe (IPG, París), Universidad de Trieste (Italia), CSEM (Estrasburgo, Francia), Universidad de Atenas (Grecia), Universidad de Salónica (Grecia), LNEC (Lisboa), Aquater Pesaro (Italia), y ETH (Zúrich, Suiza), y estando su duración comprendida entre 1991 y 1992; y *Observation and modelling of heterogeneities in seismic sources and crustal structure for seismic hazard assessment around actives faults in the Mediterranean region* (Observación y modelado de heterogeneidades en las fuentes sísmicas y estructura de la corteza para la evaluación del riesgo sísmico alrededor de las fallas activas en la región del Mediterráneo), siendo las entidades participantes: UCM, IGN, IPG (París), ICTP (Trieste), Universidad de Trieste, Universidad de Oxford, Instituto Superior Técnico (Lisboa), Universidad de Tesalónica, y Universidad de Atenas, con duración comprendida entre 1994 y 1996.

Un desarrollo reciente es el comenzado en 2010 por la Universidad Complutense de Madrid junto con el Institut Geològic de Catalunya y el Real Instituto y Observatorio de la Armada para la viabilidad de un Sistema de Alerta Sísmica Temprana (SAST, en inglés *Earthquake Early Warning System*, EEWS) para el sur de la península ibérica. Los SAST permiten dar una alerta en una cierta localidad de la llegada del movimiento fuerte de un terremoto, un corto tiempo antes de que suceda. En el proyecto se han obtenido relaciones empíricas para la obtención de la magnitud a partir de los parámetros de la alerta. El SAST, operativo desde 2015 en la UCM, ha mostrado su eficacia en la detección de terremotos de la región<sup>172</sup>.

Un tema importante es la colaboración de España con Latinoamérica en sismología. En 1971, el IGN participó como observador, y desde 1987 como miembro permanente, en el CERESIS (Centro Regional de Sismología), organismo de la UNESCO para América Latina. La UCM tuvo contactos, en especial después de la reunión en 1973 de IASPEI en Lima, con varios centros de sismología, entre ellos el Instituto Geofísico de la Universidad Javeriana de Colombia, el Observatorio de la Paz, de Bolivia, la Universidad Autónoma de Méjico, el CICESE de Ensenada (Méjico), y la Universidad Centroamericana de El Salvador. Dentro de esta colaboración se llevaron a cabo varios proyectos subvencionados por la Unión Europea y la Agencia Española para la Cooperación Internacional, por ejemplo el proyecto *Assesment of seismic hazard in El Salvador* (Evaluación del riesgo sísmico en El Salvador), en el que participaron UCM e

172 Carranza, M., Buforn, E., Colombelli, S., & Zollo, A. (2013). Earthquake Early Warning for southern Iberia: A P wave threshold-based approach. *Geophysical Research Letters*, 40, 4588-4593. doi:10.1002/grl.50903.

IGN por parte de España, la Universidad Centroamericana, el Imperial College de Londres, el IPG de París y la Universidad de Atenas. Estos proyectos fomentaron la colaboración de los sismólogos españoles, en especial los jóvenes que se iban incorporando en las distintas instituciones, con los de instituciones europeas.

Desde los años 1990, los grupos de investigación de sismología continúan activos con numerosos trabajos en estudios de diversos aspectos de la sismología como sismicidad, mecanismo de los terremotos, y sismotectónica de la región Ibero-Magrebí, en especial, su parte más sísmicamente activa del contacto entre las placas Euroasiática y Africana. En ellos participan, entre otros, los grupos ya mencionados de IGN, CSIC, UCM, UB y UG, así como de otras universidades donde se han creado también grupos de sismología, como las de Zaragoza, Alicante/Alacant y Almería.

## Estructura de la Tierra. El Proyecto Geodinámico

Además de la determinación de los parámetros de los terremotos, el estudio de las ondas sísmicas contribuye al conocimiento de la estructura del interior de la Tierra, con el estudio tanto de las ondas internas como de las superficiales. Gonzalo Payo Subiza (1931- 2002)<sup>173</sup>, director del Observatorio de Toledo desde 1965, llevó a cabo numerosos estudios pioneros en España sobre la dispersión de ondas superficiales y la estructura de la corteza y el manto superior bajo de la Península y en la zona del Mediterráneo, entre ellos uno en 1960 sobre las ondas generadas por explosiones nucleares<sup>174</sup>. Payo pasó un tiempo con Marcus Båth (1915-1994) en la Universidad de Uppsala (Suecia), y fue uno de los primeros sismólogos españoles con publicaciones en revistas internacionales y presentaciones en congresos. Este tipo de estudios de la estructura de la Tierra por medio de análisis de ondas superficiales se continuó en la Universidad de Zaragoza con los trabajos de José Badal Nicolás y José Serón<sup>175</sup>.



Fig. 8.8. Gonzalo Payo (C.A.)

173 Payo Subiza, G., & Gómez Menor. *Historia del Observatorio Geofísico de Toledo*, 100-104, (pp. 144-158); Udías, A. (2003). Gonzalo Payo (1931-2002). *Journal of Seismology*, 7, (p.138).

174 Payo, G. (1964). Dispersion of Rayleigh waves produced by nuclear explosions. Crustal structure of western Europe. *Annali di Geofisica*, 17,(pp. 265-284). Payo, G. (1965). Iberian Peninsula crustal structure from surface waves dispersion. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 55, (pp. 727-743). Payo, G. (1970). Structure of the crust and upper mantle in the Iberian shield by means of a long period triangular array. *Journal of the Royal Astronomical Society*, 20,(pp. 493-508).

175 Badal, J. I., & Serón, F. (1985). Propagación de ondas Love en medios inhomogéneos lateralmente por elementos finitos. *Revista Académica Ciencia, Enseñanza y Filosofía de la Química y de la Naturaleza de Zaragoza*, No. 40, (pp. 37-50).

En 1971, la IUGG propuso a nivel mundial el Proyecto Geodinámico Internacional (*International Geodynamic Project*) de estudios interdisciplinarios de la dinámica de la Tierra. Mientras que en el anterior Proyecto del Manto Superior, en 1960, apenas hubo participación española, en el Proyecto Geodinámico, gracias sobre todo al esfuerzo de Antonio Romañá Pujó (1900-1981), del Observatorio del Ebro, que entonces ocupaba la presidencia del patronato Alfonso el Sabio del CSIC, y de José María Torroja (1916-1994), catedrático de Astronomía y Geodesia de la UCM, fue posible una activa participación de España<sup>176</sup>.

## Los perfiles sísmicos profundos

Entre los programas desarrollados dentro del Proyecto Geodinámico destaca sobre todo el del estudio de la corteza terrestre en España, por medio de perfiles sísmicos profundos, para el que se constituyó en 1974 el Grupo de Trabajo para Perfiles Sísmicos Profundos con Udías de coordinador<sup>177</sup>. Este fue el primer proyecto sismológico en España en el que participó un importante número de investigadores de instituciones nacionales y europeas. Los perfiles sísmicos consisten en realizar explosiones en tierra o en mar que se registran a lo largo de líneas de sismógrafos de cuyo análisis se deduce la estructura de la corteza y el manto terrestre.

El primer programa de perfiles sísmicos dentro del Proyecto Geodinámico se desarrolló entre 1974 y 1979, y en él participaron por parte de España, y en especial, el ROA y la Armada, que proporcionaron los barcos y explosivos para las explosiones en el mar, y las universidades de Barcelona, Complutense de Madrid y Granada, y el IGN y el CSIC, en las observaciones y su interpretación. Para el trabajo de observación de los perfiles, IGN, UCM y UB adquirieron los primeros equipos sísmicos portátiles que se utilizarían también más tarde para otros estudios. Las instituciones europeas que participaron fueron: Eidgenössische Technische Hochschule (ETH), Zúrich (Suiza); Institut de Physique du Globe (IPG), París (Francia); Universität Fridericiane Karlsruhe (UFK) (Alemania); e Instituto Nacional de Meteorología e Geofísica (INMG), Lisboa (Portugal). La realización de los perfiles sísmicos profundos en España se remonta a una propuesta del profesor Stefan Mueller (1931-1997), del ETH, en 1972. Entre los participantes conviene mencionar, por parte de España, a López Arroyo y Payo (IGN), Manuel Catalán y Mariano Boloix (ROA), Udías, Banda, Josep Gallart y Suriñach (UB y UCM), y, por parte de otros países, a Mueller, que participó de una manera especial en la preparación, diseño y ejecución del programa junto con Jörg Ansorge, Dieter Mayer-Rosa y Erhard Wielandt (ETH); L. Steinmetz, Denis Hatzfeld y Alfred Hirn, (IPG); Claus Prodehl y Karl Fuchs (1932-2021) (UFK); y Victor Sousa Moreira y Luiz Mendes Victor (INMG). Este fue el primer proyecto sismológico realizado en España en el que participaron, además de los grupos españoles, un importante número de investigadores de instituciones europeas.

176 Buforn, E., & Udías, A. (2022). El Proyecto Geodinámico Internacional y los primeros perfiles sísmicos profundos en España: 50 aniversario. *Revista Española de Física*, 36(1), (pp. 21-25).

177 Buforn, E., & Udías, A. (2022). El Proyecto Geodinámico Internacional y los primeros perfiles sísmicos profundos en España: 50 aniversario. *Revista Española de Física*, 36(1) (pp. 23-25).



Fig. 8.9. Organización del Perfil Cádiz-Cartagena 1974: (desde derecha) Manuel Catalán, Gonzalo Payo, Agustín Udías y Alfonso López Arroyo (C.A.)

Los primeros perfiles se realizaron en 1974, en el mar de Alborán, organizados y financiados por el IPG, con explosiones en mar realizadas por un barco francés. En septiembre del mismo año, tuvo lugar el primer perfil en España, en tierra, en las dos direcciones de Cádiz a Cartagena, con explosiones en el mar. En este perfil y los siguientes fue muy importante la participación de los barcos de la Armada, en especial, los barcos hidrográficos Malaspina y Tofiño, que realizaron las explosiones de entre 100 y 1000 kg en el mar, bajo la dirección del ingeniero de armas navales Pedro Miranda Cuesta (1929-2015). En las observaciones en tierra con estaciones sísmicas portátiles, participaron alumnos de la UCM y la UB, siendo una gran oportunidad para su formación, y personal del IGN y del CSIC y de los organismos extranjeros participantes, ETH, IPG y UFK. El programa de perfiles sísmicos continuó en los años siguientes con perfiles en diversas partes de la Península y en los archipiélagos de Baleares y Canarias, de cuya interpretación resultaron los primeros modelos detallados de la estructura de la corteza<sup>178</sup>.



Fig. 8.10. Preparación de las cargas. Derecha: Stephan Mueller y Pedro Miranda (C.A.)

<sup>178</sup> Udías, A. (1977). *Perfiles sísmicos profundos en España (1974-1975)*. Comisión española del Proyecto Geodinámico. Madrid: I.G.N. Banda, E., Udías, A., Müller, St., Mezcuca, J., Boloix, M., Gallart, J., & Aparicio, A. (1983). *Crustal structure beneath Spain from deep seismic soundings experiments*. *Physics Earth and Planetary Interiors*, 31, (pp. 277-280).

En los años ochenta, dentro del programa de perfiles sísmicos, España participó en dos proyectos europeos: el proyecto ECORS-Pirineos para el estudio de los Pirineos, y el proyecto ILIHA (*Iberian Lithosphere Heterogeneity and Anisotropy*), parte del proyecto más general del Geotransversal Europeo (*European Geotransverse*), con perfiles de larga extensión que cubrían gran parte de la Península. Entre 1974 y 1988 se llevaron a cabo 12 perfiles en el dominio de las Béticas, 7 marinos en el golfo de Cádiz y mar de Alborán, 6 en el sistema Ibérico, 8 en Galicia, 9 en los Pirineos, 4 en las islas Canarias y 5 en las Baleares, con la participación de grupos de España, Portugal, Francia, Alemania, Países Bajos y Suiza. Estos perfiles proporcionaron abundante información sobre la estructura de la corteza y el manto superior bajo de la Península y de los archipiélagos de Baleares y Canarias. En la Península muestran los engrosamientos de la corteza bajo Sierra Nevada y los Pirineos y la transición a corteza oceánica en los bordes<sup>179</sup>. Sobre ellos se realizaron cuatro tesis doctorales, dos en la UCM y dos en la UB, y once tesis de licenciatura (cinco en la UB, cinco en la UCM y una en el ETH).



Fig. 8.11. Observadores en un perfil de las islas Canarias (primero derecha Antoni M. Correig) y estación de registro (C.A.)

En época más reciente estos estudios se han prolongado con perfiles sísmicos de reflexión en distintas partes de la Península y en zonas marítimas cercanas, y otros tipos de perfiles sísmicos<sup>180</sup>. Los estudios de la estructura de la corteza terrestre en la Península por medio de perfiles sísmicos dieron origen a la formación de nuevos grupos de investigación en sismología, como, por ejemplo, el del Instituto Jaime Almera, en el que participaron entre otros Banda, Josep Gallart y Jordi Díaz, el del Instituto de Ciencias del Mar (CSIC), con Juan José Dañoibeitia, y el de la UB, con Suriñach, todos en Barcelona; en Madrid, en el Museo de Ciencias Naturales (CSIC), con Ramón Ortiz y Alicia García, y en la UCM, con Diego Córdoba y Mario Cotilla (sismólogo cubano), así como en otras universidades y en el IGME. Investigadores españoles han participado también en perfiles realizados en otras regiones, como Méjico, América Central y el Caribe. Las colaboraciones de grupos españoles en perfiles realizados en Iberoamérica comenzaron en 1985 con perfiles en Méjico, con la participación de UCM, IGN y UB, y por parte de Méjico con la de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Se han realizado

179 Entre los muchos estudios, por ejemplo: Banda, E., Gallart, J., García-Dueñas, V., Dañoibeitia, J. J., & Makris, J. (1993). Lateral variation of the crust in the Iberian Peninsula: New evidence from the Betic Cordillera. *Tectonophysics*, 221, (pp. 53-66).

180 Gallart, J., Díaz, J., & Córdoba, D. (2006). Investigando la estructura litosférica en la Península Ibérica y sus márgenes: Tres décadas de perfiles sísmicos profundos. *Física de la Tierra*, 18, (pp. 69-96).

otros perfiles, por ejemplo, en 1992 en Chile, con la participación española del Instituto Jaime Almera (CSIC), la UCM, el IGN y la Universidad de Chile, y en el Caribe en 2005, con la participación de la UCM, el ROA y la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD). El estudio de la estructura del interior de la Tierra y en especial de la corteza y manto superior por medio de perfiles sísmicos es un campo de investigación sismológica que sigue abierto y en el que actualmente participan diversos grupos en España.

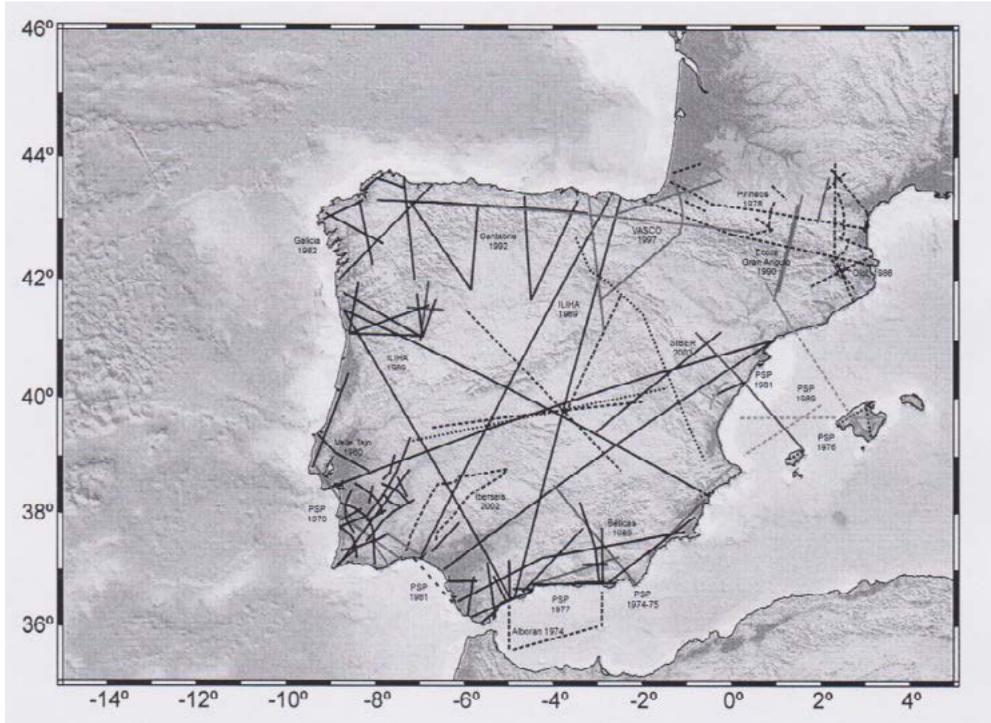


Fig. 8.12. Perfiles sísmicos (Gallart et al., 2006)

## Epílogo

La situación de la península ibérica en el borde de placas entre Eurasia y África, con la ocurrencia esporádica de grandes terremotos, ha llevado desde la antigüedad a la preocupación por el estudio de la naturaleza y el origen de estos fenómenos en España. En especial, el terremoto de Lisboa de 1755 marca un hito importante en este proceso. Más tarde con los terremotos del siglo XIX, en especial el de Andalucía de 1884, se introducen los desarrollos modernos de la geología para su explicación. En el siglo XX, la instalación de estaciones sismológicas en España introduce la sismología moderna instrumental. El estudio de los terremotos más recientes, como, por ejemplo, el sismo profundo de Granada de 1954 y el terremoto de 1969 frente al cabo San Vicente, contribuyen también al desarrollo de la sismología en España. España ha estado presente desde muy pronto en los organismos internacionales relacionados con la sismología, como IASPEI y ESC, y ha participado en proyectos internacionales, en especial, el Proyecto Geodinámico. La sismología se desarrolla en instituciones como, sobre todo, el Instituto Geográfico Nacional, el Real Observatorio de la Armada en San Fernando, y el Instituto Geológico y Minero de España; en los institutos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas; y en las universidades, en especial, Complutense de Madrid, Barcelona, Granada, Alicante y Zaragoza. Modernamente, la sismología se centra, en especial, por un lado en los estudios de sismicidad, mecanismo de los terremotos, sismotectónica y riesgo sísmico y, por otro, en los estudios de la estructura de la Tierra, en especial, corteza y manto superior bajo la Península, por medio de perfiles sísmicos y el análisis de ondas superficiales. Estos estudios se encuadran en el contexto geodinámico de la región Ibero-Magrebí. Desde los años ochenta, la instalación de modernas estaciones sísmicas digitales y la transmisión de datos en tiempo real, junto con el empleo de ordenadores cada vez más potentes, y unido a una mayor colaboración a nivel internacional que comenzó con el Proyecto Geodinámico, han permitido la creación de nuevos grupos y el desarrollo de nuevas líneas de investigación, tanto en las universidades como en los centros de investigación.



## Bibliografía

- ACOSTA, J. de. (1590). *Historia Natural y Moral de las Indias*. Sevilla: Juan de Leon.
- ALASTRUÉ, E. (1968). *La personalidad y la obra de Macpherson*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- ALASTRUÉ, E. (1983). Lyell en España. En *Geología de España, Libro jubilar J.M. Rios* (pp. 259-269). Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- ALONSO DE MALPARTIDA, F. (1641). *Disputationes in duobus libros Aristotelis de generatione et corruptione, in quattor libros de meteoris et in tres libros de coelo*. Alcalá de Henares: Antonio Vazquez.
- AMADOR, F. (2004). *The causes of 1755 Lisbon Earthquake in Kant*. En Actas del VIII Congreso Sociedad Española de Historia de las Ciencias y las Técnicas, Logroño, (pp.485-495).
- ANDUAGA, A. (2004). Earthquake, Damage and Prediction: The Spanish Seismological Service, 1898-1930. *Earth Science History*, 23, (pp. 175-207).
- ANÓNIMO. (1680). *Relación verdadera de la lastimosa destrucción que padeció la Ciudad de Málaga por el espantoso Terremoto que sucedió el Miércoles 9 de Octubre deste presente año de 1680*. Madrid: Archivo Histórico Nacional.
- ANÓNIMO. (1680). *Relación verdadera en que se cuenta de la Ruina que á causado en la Ciudad de Málaga y Lugares de su Comarca, y así mismo lo que causó en Madrid, sucedido el día nueve de Octubre, este presente año de 1680*. Sevilla: Juan Francisco de Blas.
- ANÓNIMO. (1680). *Relación verdadera que da cuenta del espantoso temblor de tierra, que en la muy Noble y muy Leal Ciudad de Sevilla sucedió el día miércoles 9 de Octubre deste año de 1680*. Sevilla: Juan Cabeças.
- ANÓNIMO. (1756). *Noticia individual que da la Academia de la Historia del terremoto de 1ª de Noviembre de 1755 por orden del Rey Nuestro Señor a quien la dedica*. Madrid: Real Academia de la Historia.

- ANÓNIMO. (1885). *Terremotos de Andalucía. Informe de la comisión nombrada para su estudio dando cuenta del estado de los trabajos*. Madrid: Imprenta de M. Tello.
- ANÓNIMO. (2000). *Revisión del Catálogo Sísmico de las Islas Canarias (1341-2000)* Madrid: Instituto Geográfico Nacional.
- ANUNCIACIÓN, Juan de la (1670). *Tractatus de coelo et meteoris*. Lyon: Petrus Chevalier.
- APARICIO FLORIDO, J. A., 1755. *El terremoto que viene* (Cádiz: Q-book, 2017).
- ARISTÓTELES. (1887). *Opera Omnia, Graece et latine*. Paris: Firmin Didot.
- ARRAZOLA, L. (1829). *Ensayo sobre volcanes y terremotos: contiene curiosas observaciones morales, históricas y físicas sobre los fenómenos volcánicos y terremotos en general y en particular sobre los acontecimientos de Murcia y Orihuela*. Valladolid: Imprenta de Aparicio.
- AUDIXE DE LA FUENTE, J. (1755). *Discurso meteorológico sobre el origen de los terremotos* (Ms. Archivo Academia Sevillana de Buenas Letras, II, Disertaciones, folios 20-41).
- BADAL, J.I., & SERÓN, F. (1985). Propagación de ondas Love en medios inhomogéneos lateralmente por elementos finitos. *Revista de la Academia de Ciencias Exactas Físicas Químicas y Naturales de Zaragoza*, No. 40, (pp. 37-50).
- BANDA, E., UDÍAS, A., MÜLLER, S., MEZCUA, J., BOLOIX, M., GALLART, J., & APARICIO, A. (1983). Crustal structure beneath Spain from deep seismic soundings experiments. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 31, (pp. 277-280).
- BANDA, E., GALLART, J., GARCÍA-DUEÑAS, V., DAÑOBEITIA, J. J., & MAKRIS, J. (1993). Lateral variation of the crust in the Iberian Peninsula: New evidence from the Betic Cordillera. *Tectonophysics*, 221, (pp. 53-66).
- BARBA Y SEGALERVA, O. (1885). *Breve idea acerca de los terremotos*. Málaga.
- BARCO, A. J. del. (1756). Cartas del Doctor ... Catedrático de Philosophia y Viario de la villa de Huelva, a Don N. satisfaciendo algunas preguntas curiosas sobre el terremoto de primeros de Noviembre de 1755. En J. E. Graef, *Discursos Mercuriales*, XIV, (pp. 565-606).
- BATLLÓ, J. (2000). Revision of the catalogue of historical seismic stations in Spain. En *I Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica* (CD-ROM).
- Batlló, J., & BORMANN, P. (2000). A catalog of Old Spanish Seismograms. *Seismological Research Letters*, 71(5), (pp. 570-580).
- BAXTER, R. (2015). *Seismology: Our Violent Earth*. Edina, MN: Abdo Publishing.
- BEN-MENAHEN, A. (1995). A concise history of mainstream seismology: Origins, legacy and perspectives. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85, (pp. 1202-1225).
- BERTHOLON DE SAINT-LAZARE, P. (1787). *De l'électricité des météores*. Paris.
- BOLOIX CARLOS-ROCA, R. (1998). Aportaciones del Real Instituto y Observatorio de la Armada a la ciencia en España. 100 años de registros sísmicos. *Boletín del Real Observatorio de la Armada*, 5(99), (pp. 3-10).

- BOLT, B. A. (1998). Earthquakes and Earth Structure: a Perspective since Hutton and Lyell. En D.J. Blundell y A.C. Scott (Eds.), *Lyell: The Past in the Key to the Present* (pp. 349-361). Geological Society, Special Publication 143.
- BONELLI RUBIO, J. M., & ESTEBAN CARRASCO, L. (1954). *La magnitud de los sismos en Toledo*. Madrid: Instituto Geográfico y Catastral.
- BONELLI RUBIO, J. M., & ESTEBAN CARRASCO, L. (1957). *El sismo de foco profundo de 24 de marzo de 1954 en la falla de Motril*. Madrid: Instituto Geográfico y Catastral.
- BONNIN, J., DURAND-DELGA, M., & MICHARD, A. (2002). La «Mission d'Andalousie », expédition géologique de l'Académie des Sciences de Paris à la suite du grand séisme de 1884. *Comptes Rendus Geoscience*, 334, (pp. 795-808).
- BONITO, M. (1691). *Terra Tremante*. Nápoles: Ant. Parrino e Michele Luigi Mutii.
- BOWLES, W. (1775). *Introducción a la historia natural y a la geografía física de España*. Madrid: Imprenta Real.
- BUFORN PEIRÓ, E., & UDÍAS VALLINA, A. (2022). El proyecto geodinámico internacional y los primeros perfiles sísmicos profundos en España. *Revista Española de Física*, 36(1), (pp. 21-25).
- BUFORN, E., UDÍAS, A., & COLOMBÁS, M. A. (1988). Seismicity, source mechanism and tectonics of the Azores-Gibraltar plate boundary. *Tectonophysics*, 152, (pp. 89-118).
- BUFORN, E., COCA, P., & UDÍAS, A. (2017). Los terremotos de 1748 de Montesa (Valencia) y de 1790 de Orán (Argentina). *Física de la Tierra*, 29, (pp. 101-119).
- CABRERA, M. (1756). *Explicación Physico-Mechanica de las causas del Temblor de Tierra como constan de la doctrina del príncipe de los philosophos Aristoteles, dada por medio de la vena cava y sus leyes*. Sevilla: Diego de S. Román y Codina.
- CALDERÓN, S. (1885). Teorías propuestas para explicar los terremotos de Andalucía. *Anales de la Sociedad Española de Historia Natural*, XIV, (pp. 353-363).
- CAPEL, H. (1980). Organicismo, fuego interior y terremotos en la ciencia española del siglo XVIII. *Geocrítica*, 27/28.
- CARBONELL, V. (1668). *Celebre Centuria que consagró la ilustre y real villa de Alcoy a honor y culto del Soberano Sacramento del Altar*. Valencia: Juan Lorenço Cabrera.
- CARRANZA, M., Buforn, E., Colombelli, S., & Zollo, A. (2013). Earthquake Early Warning for southern Iberia: A P wave threshold-based approach. *Geophysical Research Letters*, 40, (pp. 4588-4593). <https://doi.org/10.1002/grl.50903>
- CEA Y PANIAGUA, A. de. (1680). *Relación del terremoto... que el día de 9 de Octubre de 1680 padeció la ciudad de Córdoba*. Madrid: Biblioteca Nacional, VE 196/123.
- CEVALLOS, J. de. (1757). *Respuesta a la carta del Ilmo. y Rmo. Señor D. Fr. Miguel de San Josef Obispo de Guadix y Baza sobre escritos acerca del terremoto por el Doctor Joseph de Cevallos*. Sevilla: Joseph Navarro y Armijo.

- CHAVES, J. de. (1576). *Chronographia o Repertorio de los tiempos*. Sevilla.
- COBO, B. (1890). *Historia del Nuevo Mundo*. Sevilla: Imprenta de Rasco.
- Commentarii Collegii Conimbricensis Societatis Iesu. In Libros Meteorum Aristotelis Stagiritae.* (Lugduni, Ex officina Iuntarum, 1594).
- CUEBAS, J. A. *Discurso Phisico-moral sobre el origen causas y efectos de los terremotos*. Madrid: Real Academia de la Historia, Colección de Cortes, Ms. 9/2807.
- DELGADO MARCHAL, J. (1999). El conocimiento científico español sobre el origen de los terremotos en el siglo XIX. En G. Canales Martínez (Ed.), *La catástrofe sísmica de 1829 y sus repercusiones* (pp. 93-101). Murcia: Pictografía.
- DEWEY, J. W., & BYERLY, P. (1969). The Early History of Seismometry (to 1900). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 59, (pp. 183-227).
- DOMÍNGUEZ LÓPEZ, C., & SÁENZ RIDRUEJO, F. (1999). *José Agustín de Larramendi, primer Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos*. Bilbao: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos del País Vasco.
- DUE ROJO, A. (1940). *Labor científica del R. P. Manuel Sánchez Navarro, S. J.* Granada: Observatorio de Cartuja.
- DUE ROJO, A. (1941). El R. P. Manuel M. Sánchez Navarro, S. J. *Boletín de la Real Sociedad de Historia Natural*, 39, (pp. 117-120).
- DUE ROJO, A. (1945). Las teorías sismogénicas en España durante los últimos siglos. *Anales de la Asociación Española Progreso de las Ciencias*, 10, (pp. 283-294).
- DUE ROJO, A. (1952). *El período sísmico de la provincia de Jaén (Marzo a Agosto de 1951)*. Granada: Observatorio de Cartuja.
- DUE ROJO, A. (1956). *El período sísmico de Granada (Abril-Mayo 1956). Notas y Comunicaciones. Instituto Geológico y Minero de España, Serie B, Año X, Vol. 42, N° 84*, (pp. 159-170).
- ESPINAR MORENO, M. (2021). *Trabajos sobre sismicidad histórica I y II*. Granada: Libros Estudios sobre Patrimonio Cultura y Ciencias Medievales.
- ESPINAR, M., ESQUIVEL, J. A., & PEÑA, J. A. (2003). *Historia del Observatorio de Cartuja, 1902-2002. Nuevas investigaciones*. Granada: Exmo. Ayuntamiento de Granada, Concejo de Turismo, Cultura y Deporte.
- ESPINAR MORENO, M., & MORCILLO PUGA, J. D. *Vida y obra del R. P. Antonio Due Rojo, S.J.* Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos – Universidad de Granada, (pp. 1-32).
- FEIJOO, J. B. (1756). *Nuevo systema sobre la causa physica de los Terremotos, explicado por los fenómenos eléctricos y adaptado al que padeció España en primero de Noviembre del año antecedente de 1755*. Puerto de Santa María: Casa Real de las Cadenas.
- FERNÁNDEZ BOLEA, E. (2009). Los terremotos de 1863 en la comarca del Levante almeriense. *Espiral- Cuadernos del Profesorado*, 2, (pp. 27-40)

- FERRARI, G. (1992). *Two Hundred Years of Seismic Instruments in Italy, 1731-1940*. Roma: Istituto Nazionale di Geofisica.
- FONTSERÈ, E., & IGLÈSIES, J. (1971). *Recopilació de dades sísmiques de les terres catalanes entre 1100 i 1906*. Barcelona: Fundació Salvador Vives Casajuana.
- FOUQUÉ, F. A. (1889). *Le tremblement de terre*. Paris: J.B. Baillière.
- FOUQUÉ, F. A. (1889). Mission d'Andalousie: études relatives au tremblement de terre du 25 décembre 1884 et à la constitution géologique du sol ébranlé par les secousses. *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 30(2).
- FOUQUÉ, F. A. (1893). *Estudios referentes al terremoto de Andalucía ocurrido en 25 de Diciembre de 1884 y a la constitución geológica del terreno conmovido hecho por la comisión destinada al objeto por la Academia de Ciencias de Paris*. Madrid: Imp. M. Tello.
- GALBIS RODRÍGUEZ, J. (1932, 1940). *Catalogo Sísmico de la zona comprendida entre los meridianos 5° E y 20° W de Greenwich y los paralelos 45° y 25° N*. Vols. I y II. Madrid: Dirección General del Instituto Geográfico Catastral y de Estadística [vol. I] e Instituto Geográfico y Catastral [vol. II].
- GALLART, J., DÍAZ, J., & CÓRDOBA, D. (2006). Investigando la estructura litosférica en la Península Ibérica y sus márgenes: Tres décadas de perfiles sísmicos profundos. *Física de la Tierra*, 18, (pp. 69-96).
- GARCÍA DONCEL, M., & ROCA ROSELL, A. (2007). *Observatorio del Ebro. Un siglo de historia (1904-2004)*. Roquetas: Publicaciones del Observatorio del Ebro.
- GARIBAY, E. de. (1571). *Los quarenta libros del Compendio Historial de las crónicas y universal historia de todos los reynos de España*. Barcelona: Sebastián de Cornelles.
- GARRIDO SÁNCHEZ, M. (2014). Creación y enriquecimiento de los Gabinetes de Ciencias del Instituto Provincial de Málaga (1849-2013). *Boletín de la Real Sociedad de Historia Natural* (Sec. Aula Museos y Colecciones), 1, (pp. 33-45).
- GESCHICHTE DER SEISMOLOGIE, SEISMIK UND ERDGEZEITENFORSCHUNG* (Berlin: Zentralinstitut für Physik der Erde. Akademie der Wissenschaft der DDR, vol 64, 1981).
- GONZÁLEZ DE POSADA, F., & BRU VILLASECA, L. (1996). *Arturo Duperier: Mártir y mito de la ciencia española*. Ávila: Diputación Provincial de Ávila.
- HERBERT-GUSTAR, L. K., & NOTT, P. A. (1980). *John Milne: Father of Modern Seismology*. Tenterden (UK): Paul Norbury.
- HERNÁNDEZ PACHECO, E. (1927). El geólogo gaditano D. José Macpherson y su influjo en la ciencia española. *Anales de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, 1, (pp. 72-92).
- HOBBS, W. H. (1908). *Earthquakes, an Introduction to Seismic Geology*. Sidney: Appleton.
- HOERNES, R. (1893). *Erdbebenkunde: Die Erscheinungen und Ursachen der Erdbeben, die Methoden ihrer Beobachtung*. Leipzig: Veit & Co.

- HURTADO SIMÓ, R. (2015). *El terremoto de Lisboa de 1755 en el pensamiento de Feijoo y del Barco. Tales, Revista de Filosofía*, 5, (pp. 115-124).
- IGLÉSIES, J. (1983). *Eduard Fontseré. Relació de fets*. Barcelona: Fundació Salvador Vives Casajuana.
- INGLADA ORS, V. (1921). *Nuevas fórmulas para abreviar el cálculo de la profundidad aproximada del foco sísmico por el método de Kövesligethy y su aplicación a algunos temblores*. Madrid: Instituto Geográfico y Estadístico.
- INGLADA ORS, V. (1927). *Calcul des coordonnés du foyer séismique au moyen des heures de  $p$  ou  $P$  observées au voisinage de l'épicentre. Publication de Bureau Central International de Seismologie A: Travaux Scientifiques*, 5, (pp. 3-58).
- INGLADA ORS, V. (1928). *Die Berechnung der Herdkoordinaten eines Nahbebens aus den Eintrittszeiten der in einigen benachbarten Stationen aufgezeichneten  $p$  oder  $P$  Wellen. Beiträge zur Geophysik*, 19(1).
- ISIDORO DE SEVILLA. (2004). *Etimologías*. (Edición bilingüe preparada por J. Oroz Reta y M. A. Marcos Casquero, introducción de Manuel C. Díaz y Díaz). Madrid: Biblioteca de Autores Cristianos.
- ISIDORUS HISPALENSES. (1996). *De natura rerum*. (Estudio, análisis y traducción de Antonio Laborda). Madrid: Instituto Nacional de Estadística.
- KANT, I. (1756/1922). *Von den Ursachen der Erderschütterungen bei Gelegenheit des Unglücks, welches die westliche Länder von Europa gegen das Ende des vorigen Jahres betroffen hat. En Immanuel Kants Werke (11 vols) Berlin: Ernst Cassider et al.* Vol. 1, 429-437.
- KANT, I. (1756/1922). *Geschichte und Naturbeschreibung der merkwürdigsten Vorfälle des Erdbebens, welches an dem Ende des 1755sten Jahres einen großen Theil der Erde erschüttert hat. En Immanuel Kants Werke (11 vols) (1922) Berlin: Ernst Cassider et al.* Vol. 1, 441-473.
- KEAREY, P., & VINE, F. J. (1996). *Global Tectonics* (2.<sup>a</sup> ed.). Oxford: Blackwell Science.
- KIRCHER, A. (1664). *Mundus subterraneus in XII libros digestus*. Amsterdam: Joannem Janssonium Waesberghe.
- KNAPP, R. C. (1983). *Roman Cordoba (University of California Classical Studies Vol. 30)*. Berkeley: University of California Press.
- LARRAMENDI, J. A. de. (1829). *Memoria y relación circunstanciada de los estragos que la terrible catástrofe de los terremotos de 21 de marzo y siguientes principalmente el del Sabado Santo 18 se Abril hasta el presente dia han causado en Torrevieja y demás pueblos de la gobernación de Orihuela, en la ciudad de Murcia y algunos pueblos de la provincia*. Madrid: Imprenta Real.
- LEIBNIZ, G. W. (2014) *Teodicea. Ensayos sobre la bondad de Dios, la libertad del hombre y el origen del mal*. Madrid: Biblioteca Nueva.
- LISTER, M. (1684). Of the nature of earthquakes; more particularly of the origin of matter of them, from the pyrites alone. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 14 (157), (pp. 512-515).

- LÓPEZ ARROYO, A., & UDÍAS, A. (1972). Aftershock sequence and focal parameters of the February 28, 1969 earthquake of the Azores-Gibraltar fracture zone. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 62(1972), 6(pp. 99-720).
- LÓPEZ ARROYO, A., & VILLACAÑAS BERENGUER, J. (1999). Metodología Simplificada para el Análisis del Riesgo Sísmico. *Física de la Tierra*, 11(pp. 269-284).
- LÓPEZ ARROYO, A., MARTÍN MARTÍN, A. J., & MEZCUA RODRIGUEZ, J. (1981). Terremoto de Andalucía. Influencia en sus efectos del terreno y del tipo de construcción. En *El terremoto de Andalucía del 25 de diciembre de 1884* (pp. 5-94). Madrid: Instituto Geográfico Nacional.
- LÓPEZ DE AMEZUA, F. (1755). *Carta Philosophica sobre el terremoto que se sintió en Madrid y en toda esta Península el día primero de Noviembre de 1755*. Sevilla: Joseph Navarro y Armijo.
- LOZANO, L. (1951). *Fórmula de la gravedad normal en España*. Madrid: Instituto Geográfico Catastral.
- LULIO, R. (1750). *Libro Félix o Maravillas del Mundo*. Mallorca: Viuda Frau.
- LYELL, C. (1830). *Principles of Geology*. Londres: John Murray.
- LYELL, C. (1847). *Elementos de Geología* (J. Ezquerro del Bayo, Trad.). Madrid: Antonio Yenes.
- MACELWANE, J. B. (1949). Vicente Inglada Ors, 1879-1949. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 39(1949), (pp. 219-220).
- MACPHERSON, J. (1885). *Los terremotos de Andalucía*. Madrid: Fortanet. Mallet, R. (1862). *Great Neapolitan earthquake of 1857: the first principles of observational seismology*. Londres: Royal Society.
- MARIANA, J. de. (1854). *Historia General de España (1601)*. (Biblioteca de Autores Españoles vols. 30 y 31). Madrid: Rivadeneira.
- MARMO, C. (1989). Le teorie del terremoto da Aristotele a Seneca. En E. Guidoboni (Ed.), *I terremoti prima. Del mille in Italia e nell'area Mediterranea* (pp. 170-330). Bologna: Istituto Nazionale di Geofisica, SGA.
- MARTÍN MARFIL, J., VIDAL SÁNCHEZ, F., & ESPINAR MORENO, M. (1999). Características de los terremotos según Josef Ponce de León. *Boletín del Real Observatorio de la Armada*, 5(99), (pp. 255-263).
- MARTÍN MARTÍN, A. J. (1983). *Riesgo sísmico en la Península Ibérica*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- MARTÍNEZ Y AGUIRRE, C. (1885). *Los temblores de tierra, estudio de estos fenómenos con motivo de los terremotos sentidos en las provincias de Málaga y Granada durante los 7 últimos días del año 1884 y enero de 1885*. Málaga: Biblioteca Andaluza.
- MARTÍNEZ MOLÉS, F. (1755). *Dissertación physica: Origen y formación del terremoto, padecido el día primero de noviembre de 1755*. Madrid: Juan de San Martín.
- MARTÍNEZ SOLARES, J. M. (2001). *Los efectos en España del terremoto de Lisboa (1 Noviembre 1755)* (Monografía 19). Madrid: Instituto Geográfico Nacional.

- MARTÍNEZ SOLARES, J. M., & MEZCUA, J. (2002). *Catálogo sísmico de la península Ibérica (880 a.C. – 1900)* (Monografía 18). Madrid: Instituto Geográfico Nacional.
- MEZCUA, J. (1982). *Catálogo general de isostas de la Península Ibérica* (Publicación 202). Madrid: Instituto Geográfico Nacional.
- MEZCUA, J., & Martínez Solares, J. M. (1983). *Sismicidad del área Ibero-Magrebí* (Publicación 203). Madrid: Instituto Geográfico Nacional.
- MIER Y MIURA, E. (1910). *Organización del Servicio Sismológico en España*. Madrid: Memorial de Ingenieros del Ejército.
- MONGE, F. (1981). *Catálogo Sísmico Preliminar del Archipiélago Canario*. Universidad Complutense de Madrid. Cátedra de Geofísica. Publicación 165.
- MONTESUS DE BALLORE, F. (1921). Histoire de la Sismologie. *Revue des Questions Scientifiques*, 3e Sr., 29(pp. 29-57, 320-350).
- MORALES, A. de. (1791). *Crónica General de España. (continuación de Ocampo, lib. 6-12, 1574)*. Madrid: Benito Cano.
- MOREIRA DE MENDONÇA, J. J. (1758). *Historia Universal dos Terremotos, que tem habido no mundo, de que ha noticia desde a sua criação até o seculo presente*. Lisboa: Antonio Vicente da Silva.
- MORENCOS, J. (1967). *Determinación del amortiguamiento de un sismómetro*. Madrid: Instituto Geográfico Nacional.
- MORENCOS, J. (1972). *Respuestas teóricas de sistemas sismómetro-galvanómetro*. Madrid: Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales.
- MUNUERA, J. M. (1962). *Estudio previo para efectuar el cálculo de construcciones sismo-resistentes*. Madrid: Instituto Geográfico y Catastral.
- MUNUERA, J. M. (1963). *Datos básicos para un estudio de sismicidad en el área de la península Ibérica* (Memoria 32). Madrid: Instituto Geográfico y Catastral.
- MUNUERA, J. M., & Udías, A. (1967). *Programa de cálculo electrónico para la localización de sismos próximos en la región de la Península Ibérica*. Madrid: Instituto Geográfico y Catastral.
- MUÑOZ SOBRINO, D. (1983). *Estudio del riesgo sísmico en el sur y sureste de la Península Ibérica*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- MUÑOZ, D., & UDÍAS, A. (1981). Estudio de los parámetros y serie de réplicas del terremoto de Andalucía del 25 de diciembre de 1884 y de la sismicidad de la región Granada-Málaga. En *El terremoto de Andalucía del 25 de diciembre de 1884* (pp. 95-139). Madrid: Instituto Geográfico Nacional.
- MUÑOZ, D., UDÍAS, A., & MORENO, E. (1983). Reevaluación de los datos del terremoto de 1829 (Torre Vieja). En *Sismicidad histórica de la región de la Península Ibérica* (pp. 38-41). Madrid: Asociación Española de Ingeniería Sísmica.
- MURCIA DE LA LLANA, F. (1615). *Compendio de los meteoros del príncipe de los filósofos Aristóteles*. Madrid: Juan de la Cuesta.

- NADAL, I. (1922). *El contralmirante Excmo Sr. D. Tomás de Azcárate. El Observatorio de Marina de San Fernando. Labor del Sr. Azcárate como director del Observatorio*. San Fernando: Iris.
- NIPHO, F. M. (1755). *Explicación physica y moral de las causas, señales, diferencias y efectos de los terremotos*. Madrid: Herederos de Agustín de Gordejuela.
- OCAMPO, F. de. (1543). *Los cinco primeros libros de la crónica general*. Medina del Campo: Guillermo de Millis.
- OLAZAVAL Y OLAYZOLA, F. J. de. (1756). *Motivos que fomentaron la ira de Dios explicada en el espantoso terremoto del sábado día primero de Noviembre año de 1755. En la Santa Patriarcal Iglesia de Sevilla y remedios para mitigarla: ofrecidos el sabado 28 de febrero de 1756 en la colocación del Santísimo Sacramento y María Santísima de la sede a su ilustrísimo cabildo y Nobilísima Ciudad, día en que se rezaba el oficio de la Concepción Inmaculada y renovaron el voto de defenderla estas dos comunidades*. Sevilla: Imprenta Mayor de la Ciudad.
- OLDROYD, D., AMADOR, F., KKOZÁK, J., CARNEIRO, A., & PINTO, M. (2007). The Study of Earthquakes in the Hundred Years Following the Lisbon Earthquake of 1755. *Earth Sciences History*, 26, 3 (pp. 21–370).
- ORUETA Y DUARTE, D. de. (1885). *Informe sobre los terremotos ocurridos en el sur de España en diciembre de 1884 y enero de 1885*. Málaga: Tipografía de Fausto Muñoz.
- ORTIZ GALLARDO, I. (1756). *Lecciones entretenidas y curiosas physico-astrologicas-meteorologicas sobre la generación, causas y señales de los terremotos y especialmente de las causas señales y varios efectos del sucedido en España en el día pasado de 1755*. Salamanca: Antonio Joseph Villargordo.
- PAYO, G. (1964). Dispersion of Rayleigh waves produced by nuclear explosions. Crustal structure of western Europe. *Annali di Geofisica*, 17, (pp. 265-284).
- PAYO, G. (1965). Iberian Peninsula crustal structure from surface waves dispersion. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 55, (pp. 727-743).
- PAYO, G. (1970). Structure of the crust and upper mantle in the Iberian shield by means of a long period triangular array. *Journal of the Royal Astronomical Society*, 20 (pp. 493-508).
- PAYO SUBIZA, G., & Gómez-Menor, R. (1998). *Historia del Observatorio Geofísico de Toledo*. Madrid: Instituto Geográfico Nacional.
- PÉREZ, A. (1576). *Summa totius meteorologiae facultatis*. Salamanca: Herederos de Juan de Canovas.
- PÉREZ, A. (1576). *Epitome in libros metheorologicos Aristotelis*. Salamanca: Herederos de Juan de Cánovas.
- PÉREZ DE MOYA, J. (1573). *Tratado de cosas de Astronomía, y Cosmographía, y Philosophía Natural*. Alcalá: Ivan Gracián.
- PÉREZ DE VARGAS, B. (1563). *La Fábrica del Universo o Repertorio Perpetuo*. Toledo.
- PERREY, A. (1847). Sur les tremblements de Terre de la péninsule Ibérique. *Annales des Sciences Physiques et Naturelles d'Agriculture et d'Industrie, Tome X*. Lyon: Barret.

- PIQUER, A. (1745). *Física Moderna Racional y Experimental*. Valencia: Pascual García.
- PONCE DE LEÓN, J. (1806). *Memoria sobre los terremotos y aplicación de su doctrina a los que dan en Granada*. Granada: Herederas de Nicolás Moreno.
- PONZOA, J. A. (1829). *Memoria sobre el terremoto (leída en la Real Academia de Medicina de Murcia en la sesión de 22 de mayo de 1815)*. Madrid: Ibarra.
- PRADO, C. de. (1863). *Los terremotos de la provincia de Almería*. Madrid: Viuda de D. A. Yenes.
- REY PASTOR, A. (1924). Las teorías sismogénicas a través de la historia. *Ibérica*, 21, (pp. 234-238, 248-252).
- RIBEIRO SANCHES, A. (1757). *Tratado da conservacão da saude dos povos..* (Appendix, *Consideraçõs sobre os terremotos*). Lisboa: Joseph Philippe.
- RIBEIRO SANCHES, A. (1781). *Tratado de la conservación de la salud de los pueblos y consideraciones sobre los terremotos* (B. Bails, Trad.). Madrid: Joachim de Ibarra.
- ROCA ADROVER, A., MARTÍNEZ SOLARES, J. M., & UDÍAS VALLINA, A. (2012). Alfonso López Arroyo: pionero de la sismología y la ingeniería sísmica. *Física de la Tierra*, 24, (pp. 11-16).
- ROCHE, J. L. (1756). *Relación y observaciones physico mathematicas y morales sobre el general terremoto y la irrupción del mar del día primero de Noviembre de este año de 1755, que comprehendió a la ciudad y gran Puerto de Santa María y a toda la costa y tierra firme del Reyno de Andalucía*. Puerto de Santa María: Casa Real de las Cadenas.
- RODRÍGUEZ ALONSO, C. (1975). *Las historias de los Godos, Vándalos y Suevos de Isidoro de Sevilla*. León: Centro de Estudios San Isidoro.
- RODRÍGUEZ DE LA TORRE, F. (1982). Vida y obra de Vicente Inglada Ors (1879-1949). *Revista del Instituto de Estudios Alicantinos*, 34, (pp. 13-77).
- RODRÍGUEZ DE LA TORRE, F. (1998). Documentos del Observatorio de San Fernando y el Ministerio de Marina sobre la instalación del primer sismógrafo en España. *100 Años de observaciones sismológicas en San Fernando, 1898-1998. Boletín del Real Observatorio de la Armada*, 5/99, (pp. 125-130).
- RODRÍGUEZ DOMINGO, J. M. (2006). *Terra tremuit et quievit: El terremoto de Lisboa de 1755 en la diócesis de Guadix. Boletín Centro de Estudios Pedro Suárez*, 19, (pp. 111-150).
- ROTHÉ, J. P. (1981). Fifty Years of History of the International Association of Seismology (1901-1951). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71, (pp. 905-923).
- SALUSTIO C. G. *Fragmentos de las Historias* (traducción y notas de J.L. Posadas). Madrid: Ediciones Clásicas (2006).
- SÁNCHEZ GABRIEL, M. (1996). *Alfonso Rey Pastor, Trayectorias de una vida profesional y científica*. Logroño: Ayuntamiento de Logroño.
- SANCHEZ NAVARRO-NEUMANN, M. M. (1917). Ensayo sobre la sismicidad del suelo español. *Boletín de la Real Sociedad de Historia Natural*, (Enero), (pp. 83-108).

- SANCHEZ NAVARRO-NEUMANN, M. M. (1921). Bosquejo sísmico de la península Ibérica. En *La estación sismológica y el observatorio astronómico y meteorológico de Cartuja, Granada*. Granada: Observatorio de Cartuja.
- SAN JOSÉ, M. de. (1756). *Respuesta que dio a una carta del doctor Jose de Zevallos en assumpto de varios escritos impresos sobre el terremoto*. Granada.
- SARDO, A. (1586). *Discorso del Terremoto en Discorsi*. Venecia: Gioliti. (pp. 170-207)
- SCHRÖDER, W. (1988). Emil Wiechert and the Foundation of Geophysics. *Acta Geodetica et Geophysica*, 23, (pp. 165-185).
- SEMPERE Y GUARISNOS, J. (2006). *Reflexiones sobre los terremotos de Granada* (Edición de R. Herrera Guillén). Madrid: Biblioteca Saavedra Fajardo.
- SÉNECA, L. A. (1966). *Obras Completas* (Traducción y notas de L. Riber). Madrid:Aguilar.
- SÉNECA, L. A. (1929). *Quaestiones Naturales* (texto y traducción de P. Oltramare). París: Les Belles Lettres.
- SERRANO, I., ZAO, D., & MORALES, J. (2002). 3-D crustal structure of the extensional Granada Basin in the convergent boundary between the Eurasian and African plate. *Tectonophysics*, 344, (pp. 61-79).
- STICH, D., AMMON, C. J., & MORALES, J. (2003). Moment tensor solutions for small and moderate earthquakes in the Ibero-Maghreb region. *Journal of Geophysical Research*, 108. <https://doi.org/10.1029/2002JB002057>.
- SURIÑACH, E. (2013, marzo 27). Per amor a la terra: Antoni M. Correig i Blanchard (1947-2013). *La Vanguardia*, 29.
- SURIÑACH, E., & ROCA, A. (1982). *Catálogo de terremotos de Catalunya, Pirineos y zonas adyacentes. La sismicidad de la zona comprendida entre 40°N-44°N y 3°W-5°E. NE de la Península Ibérica*. Madrid: Cátedra de Geofísica, Universidad Complutense.
- SURIÑACH, E., VILAJOSANA, I., KHAZARADZE, G., BIESCAS, B., FURDADA, G., & VILAPLANA, J. M. (2005). Seismic detection and characterization of landslides and other mass movements. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, (pp. 791-798).
- SUSAGNA I VIDAL, M. T., & GOULA I SURIÑACH, X. (1999). *Atles sísmic de Catalunya- Volum 1. Catàleg de sismicitat*. Barcelona: Institut Cartogràfic de Catalunya.
- TARAMELLI, T., & MERCALLI, G. (1885). Il terremoto andalusí comiciati il 25 Dicembre 1884. *Real Accademia dei Lincei, Roma, Serie Quarta, 1885, 3*, (pp. 116-222).
- TOMÁS, A. de. (1680). *Carta Pastoral del Ilustrísimo y Reverendísimo Señor D. F. Alonso de Tomás, Obispo de Málaga a los fieles de su obispado en el tiempo que Dios nuestro Señor castigó esta ciudad y su comarca con un temblor de Tierra*. Madrid: Biblioteca Nacional. (Número de catálogo: VE 196/123).
- TORRES DE VILLARROEL, D. (1743). *Vida, ascendencia, nacimiento, crianza y aventuras del doctor Diego de Torres Villarroel*. Madrid: Imprenta del Convento de la Merced.

- TORRES DE VILLARROEL, D. (1748). *Tratados físicos y médicos de los temblores y otros movimientos de la tierra llamados vulgarmente terremotos*. Madrid.
- TOSCA, T. V. (1707-1715). *Compendio Mathematico*. Valencia: Antonio Bordazar.
- TREBNAL, P. (1758). *Tratado Phisico-Historico, en que hecha una completa relación reflexionada del funesto Terremoto sobrevenido a España y Africa en 1º de Nov. de 1755, se procura indagar la causa de los Terremotos en general y particularmente la del nuestro parangonado con otros más Notables*. (Real Academia de la Historia, manuscrito Colección de Cortes 9/2766-654, Madrid).
- TRUYOL SANTONJA, J. (1993). La geología española en la época de Juan Vilanova y Piera. En *Homenaje a Juan Vilanova y Piera 1883-1993. Geología, paleontología e historia en el siglo XIX*. Valencia: Universidad de Valencia.
- UBERTE BALAGUER, A. M. (1697). *Los estragos del temblor y subterránea conspiración*. Nápoles: Felice Mosca y Herederos de Layn.
- UDÍAS, A. (1967). The focal mechanism of earthquakes in the southern coast of the Iberian Peninsula. *Tectonophysics*, 4, (pp. 229-234).
- UDÍAS, A. (1977). *Perfiles sísmicos profundos en España (1974-1975)*. Comisión española del Proyecto Geodinámico. Madrid: Instituto Geográfico Nacional.
- UDÍAS, A. (1983). *Arturo Duperier, los comienzos de la Geofísica en la Universidad Española*. Santander: Aula de Cultura Científica.
- UDÍAS, A. (1985). Evolución histórica de las teorías sobre el origen y mecanismo de los terremotos. En A. Udías, D. Muñoz y E. Buforn, *Mecanismo de los terremotos y tectónica* (pp. 15-40). Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- UDÍAS, A., & BUFORN, E. (2018). *Principles of Seismology*. (2ª ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- UDÍAS, A. (2003). *Searching the Heavens and the Earth: The History of Jesuit Observatories*. Dordrecht: Kluwer.
- UDÍAS, A. (2003). Geofísica en la Universidad Española. *Revista Española de Física, (Noviembre-Diciembre 2003)*, 26.
- UDÍAS, A. (2003). Gonzalo Payo (1931-2002). *Journal of Seismology*, 7, 138.
- UDÍAS, A. (2009). Earthquakes as God's punishment in 17th and 18th century Spain. En M. Kölbl-Ebert (Ed.), *Geology and Religion: A History of Harmony and Hostility* (pp. 41-48). Londres: Geological Society, Special Publication 310.
- UDÍAS VALLINA, A. (2010). *El terremoto de Lisboa en España (testimonios inéditos) Estudio preliminar*. Brenes, Sevilla: Muñoz Moya Editores.
- UDÍAS, A. (2013). Development of seismology in Spain in the context of the three large earthquakes of 1755, 1884, and 1954. *Earth Science History*, 32 (pp. 186-203).

- UDÍAS, A. (2015). El origen de los terremotos en la ilustración española. En F. A. González Redondo (Coord.), *Ciencia y Técnica entre la Paz y la Guerra, 1714, 1814, 1914* (pp. 933-940). Madrid: Sociedad Española de Ciencia y Técnica.
- UDÍAS, A., & BUFORN, E. (1998). La carrera universitaria de Arturo Duperier, primer Catedrático de Geofísica (II). *Revista Española de Física, 12*, (pp. 48-51).
- UDÍAS, A., & BUFORN, E. (2019). *El terremoto de Montesa del 23 de Marzo de 1748, a partir de documentos contemporáneos*. Madrid: Centro Nacional de Información Geográfica, Instituto Geográfico Nacional.
- UDÍAS, A., & LÓPEZ ARROYO, A. (1972). Plate tectonics and the Azores-Gibraltar region. *Nature, 237*, (pp. 67-69).
- UDÍAS, A., & LÓPEZ ARROYO, A. (2009). The Lisbon earthquake of November 1, 1755 in Spanish contemporary authors. En L. A. Mendez Victor, C. S. Sousa Oliveira, J. B. Acevedo, & A. Ribeiro (Eds.), *The 1755 Lisbon earthquake revisited* (pp. 7-24). Berlin: Springer.
- UDÍAS, A., & MUÑOZ, D. (1979). The Andalusian earthquake of 25 December 1884. *Tectonophysics, 53*, (pp. 291-299).
- UDÍAS, A., & ROCA, A. (2017). Alfonso López Arroyo (1927-2017). *Journal of Seismology, 21*, 1657-1658.
- UDÍAS, A., LÓPEZ ARROYO, A., & MEZCUA, J. (1976). Seismotectonics of the Azores-Alboran region. *Tectonophysics, 31*, (pp. 259-289).
- UDÍAS, A., BUFORN, E., & MATTESINI, M. (2022). Contemporary publications in Europe on the Spanish earthquake of 1884. *Seismological Research Letters, 93*, (pp. 3489-3497).
- ULLOA, A. de. (1748). *Relación histórica del viaje a la América meridional*. Madrid: Antonio Marín.
- ULLOA, A. de. (1755). An Account of the Earthquake at Cadiz, in a Letter to the Spanish Ambassador at the Hague. *Philosophical Transactions of the Royal Society, 69*, (p. 427).
- VAYO, E. de K. (1829). *Los terremotos de Orihuela o Henrique y Florentina, historia trágica*. Valencia: Librería de Cabrerizo.
- VÁZQUEZ DE ESPINOSA, A. (1948). *Compendio y descripción de las Indias Occidentales* (escrito en 1627, publicado por C.U. Clark). Washington: Smithsonian Institute.
- VILANOVA Y PIERA, J. (1860). *Manual de Geología Aplicada a la Agricultura y a las Artes Industriales*. Madrid: Imprenta Nacional.
- VON HOFF, K. A. (1840). *Chronik der Erdbeben und Vulkan-Ausbrüche*. Gotha: Justus Perthes.
- VON HUMBOLDT, A. (1848). *Cosmos. Essai d'une description physique du monde*. Paris: Gide et Baudry.
- VON LASAULX, A. (1885). *Die Erdbeben von Andalusien*. Humboldt: Enke.
- WEGENER, A. (1915). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Braunschweig: Friederich Vieweg und Sohn.

- WILSDORF, H., & SCHMIDT, P. (1981). Erdbebentheorien und Prodigia in der griechisch-römischen Antike und einige Aspekte ihre rezeption in späterer Zeit. *Geschichte der Seismologie, Seismik und Erdgezeitenforschung* (Zentralinstitut für Physik der Erde. Akademie der Wissenschaft der Deutes Demokratik Republik, vol 64).
- ZAHN, J. (1696). *Specula physico-mathematico-historica notabilium ac mirabilium sciendorum 1*. Nürenberg: Knorz.
- ZARAGOZA, J. (1675). *Esphera en común, celeste y terráquea*. Madrid: Juan Martín del Barrio.
- ZÚÑIGA, J. de. (1756). *El terremoto y su uso. Dictamen de el Rmo. P. Mro. Fr. Benito Feijoo*. Toledo: Francisco Martin.
- ZURITA, G. (1610). *Anales de la Corona de Aragón*. Zaragoza: Lorenzo de Robles.

## Índice onomástico

### A

José de Acosta 22, 30, 31  
Giovani Agamennone 81  
Georgius Agricola 18  
Keitti Aki 105  
Alberto Magno 15, 16  
Alfonso XII 71, 72  
Alfonso XIII 83  
Ted Algermissen 99  
Gerardo Alguacil 102  
Javier Almendro 102  
Francisco Alonso de Malpartida 17  
Anaxágoras 8, 11, 44  
Anaximenes 8, 18  
Jörg Ansorge 107  
Juan de la Anunciación 17  
Aristóteles 8, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 43, 44, 114, 120  
Arquelao 8, 11  
Lorenzo Arrazola 65  
Jerónimo Audixe de la Fuente 39  
Tomás de Azcárate Menéndez 86

### B

José Badal Nicolás 106  
Benito Bails 52  
Enrique Banda Tarradellas 101  
Octavio Barba y Segalerva 79  
Antonio Jacobo del Barco y Gasca 39  
Charles Barrois 74  
Marcus Båth 106  
Antoine Baumé 59  
Roberta Baxter 7  
Elie de Beaumont 74  
Giovanni Battista Beccaria 51  
Hugo Benioff 82  
Belén Benito Oterino 104  
Ari Ben Menahem 7  
Hans Berkhemer 98  
Pierre Bertholon de Saint-Lazare 61  
Marcel Bertrand 74  
Boecio 12  
Mariano Boloix 107  
Bruce A. Bolt 98, 102  
Juan María Bonelli Rubio 94

- Marcello Bonito 23  
 William Bowles 61  
 Robert Boyle 43  
 Francisco de Buendía y Ponce 40  
 George Louis de Buffon 22  
 Elisa Buforn Peiró 101  
 Keith Bullen 86  
 Perry Byerly 86
- C**
- Eusebio Caballero 74  
 Miguel Cabrera 40, 46  
 Salvador Calderón y Arana 78  
 Calígula 10  
 Calístenes 12  
 José Antonio Canas Torres 101  
 Adolfo Cancani 58  
 Horacio Capel 8  
 Vicent Carbonell 28  
 Casiodoro 12  
 Wenceslao del Castillo 91  
 Manuel Catalán 107, 108  
 Antonio de Cea y Paniagua 29  
 Filippo Cecchi 58  
 Francisco de Céspedes Espinosa 40  
 José de Cevallos 38, 39  
 Jerónimo de Chaves 19  
 Nicolás Cirillo 81  
 Armando Cisternas 102  
 Claudio 10  
 Bernabé Cobo 31  
 Charles de la Condomine 32
- Diego Córdoba 102, 109  
 Antoni M. Correig i Blanchar 101  
 Daniel Francisco de Paula Cortázar 73  
 Mario Cotilla 109  
 Juan Alfonso Cuebas 26
- D**
- James D. Dana 57  
 Juan José Dañobeitia 102, 109  
 Gabriel Daubrée 79  
 Charles Davison 7, 72  
 José Delgado Marchal 8  
 Demócrito 8, 11, 18  
 René Descartes 46  
 Jordi Díaz 109  
 Thomas Doolittle 30  
 Antonio Due-Rojo 8  
 Arturo Duperier 94, 117, 124, 125
- E**
- Epicuro 11  
 Manuel Espinar Moreno 104  
 Álvaro Espinosa 99, 102  
 Luis Esteban Carrasco 94  
 Maurice Ewing 82  
 Joaquín Ezquerro del Bayo 69
- F**
- Benito Jerónimo Feijoo 49  
 Manuel Fernández de Castro 73  
 Fernando VI 34  
 José Luis Flores Calderón 98  
 Eduard Fontserè 94, 101

Ferdinand André Fouqué 74

Karl Fuchs 107

M. Fuchs 78

## G

Constantino Gaibar Puertas 95

José Galbis Rodríguez 89

Boris Galitzin 82

Josep Gallart 107, 109

Alicia García 109

Mariano García Fernández 84, 103

José García Siñeriz 91

Esteban de Garibay 27

Nicolás Garrido 61

Pierre Gassendi 43

Georg Gerland 83

Giulio Grablovitz 81

Beno Gutenberg 84

## H

Denis Hatzfeld 107

Miguel Herraiz 102

Alfred Hirn 107

William H. Hobbs 7

Rudolf Hoernes 57

Wilhelm Homberg 43

Hirokichi Honda 86

Robert Hooke 29

James Hutton 55

## I

Jesús Ibáñez 102

Josep Iglesias 94

Vicente Inglada Ors 90, 91, 119, 122

Bryan L. Isaac 97

Isidoro 12, 13, 47, 118, 122

## J

Harold Jeffreys 86

María José Jiménez 84, 102

Mario Jona 74

Jorge Juan 31

## K

Hiroo Kanamori 101

Immanuel Kant 37

Athanasius Kircher 19, 26

Carl Kisslinger 98

## L

Pierre Simon de Laplace 55

José Agustín de Larramendi 61, 116

Juan Pablo Lasala 73

Inge Lehmann 86

Gottfried Wilhelm Leibniz 37

Nicolas Lémery 22

Xavier Le Pichon 97

Martin Lister 22

Alfonso López Arroyo 5, 98, 99, 108, 122,  
125

Carlos López Casado 102

Fernando López de Amezua 41

Augustus Love 86

Luis Lozano Calvo 95

Lucrecio 12, 13, 18

Raimundo Lulio 14

Charles Lyell 56

**M**

James B. Macelwane 99  
 José Macpherson 75, 76, 117  
 Raul Madariaga 101  
 Carl Mainka 81  
 Lucas Mallada 77  
 John Mallet 85  
 Robert Mallet 57  
 Flor de Lis Mancilla 102  
 Juan de Mariana 27, 49  
 Edme Mariotte 43  
 Francisco Martínez Molés 40  
 José Manuel Martínez Solares 5, 103  
 Cesáreo Martínez y Aguirre 78  
 Antonio J. Martín Martín 104  
 Maurizio Mattesini 102  
 Dieter Mayer-Rosa 107  
 Dan P. McKenzie 97  
 Luiz Mendes Victor 107  
 Giuseppe Mercalli 75  
 Julio Mezcuca Rodríguez 100  
 John Michell 56  
 Eduardo Mier y Miura 89  
 Fernando de Miguel Martínez 102  
 John Milne 82, 85, 117  
 Pedro Miranda 108  
 Andrija Mohorovicic 86  
 Fuencisla Monge 103  
 Ferdinand Montesus de Ballore 7  
 Ambrosio de Morales 27  
 José Morales 102

Federico Morán Samaniego 95  
 Joachim J. Moreira de Mendonça 52, 53, 93, 120  
 Julio Morencos Tevar 99  
 William J. Morgan 97  
 Claudio Moyano 69  
 Stefan Mueller 107  
 José María Munuera Quiñonero 98  
 Dolores Muñoz Sobrino 103  
 Francisco Murcia de la Llana 16

**N**

Isaac Newton 22  
 Francisco Mariano Nifo y Cagigal 40  
 Igor Nikiforov 82  
 Otto Nuttli 98

**O**

Florián de Ocampo 27  
 Francisco Olazaval y Olayzola 38  
 Richard D. Oldham 86  
 John E. Oliver 97  
 Fusakichi Omori 82  
 Miguel Antonio de Origuela 51  
 Ramón Ortiz 109  
 Isidoro Ortiz Gallardo 47  
 Domingo de Orueta y Duarte 77

**P**

Luigi Palmieri 58  
 Eugène Louis Patrin 59  
 Gonzalo Payo Subiza 106  
 Alfonso Pérez 15

- Juan Pérez de Moya 18  
 Bernardo Pérez de Vargas 26  
 Alexis Perrey 57, 58  
 Giovanni Pico de la Mirandola 16  
 Andrés Piquer 22  
 Pisón 10  
 Plinio 12, 16, 44  
 Plutarco 16  
 José Ponce de León 59  
 José Antonio Ponzoa 63  
 Posidonio 11, 18  
 Casiano de Prado 66, 67  
 Frank Press 82  
 Claus Prodehl 107  
 Manuel Puigcerver i Zanón 95
- R**
- Régulo 10  
 Harry F. Reid 86  
 Alfonso Rey Pastor 7, 91, 92, 122  
 António Ribeiro Sanches 52  
 Charles Richter 84  
 Antoni Roca Adrover 101  
 Juan Luis Roche 39, 42  
 Antonio Romañá Pujó 107  
 Michele Stefan Rossi 74  
 Jean Jacques Rousseau 37
- S**
- Domenico Salsamo 81  
 Salustio 12, 13, 122  
 Manuel Sánchez Navarro-Neumann 92  
 Miguel de San José 38  
 Alessandro Sardo 44  
 Juan Sempere y Guarisnos 60  
 Lucio Anneo Séneca 10  
 José Serón 106  
 Inmaculada Serrano 102  
 August Sieberg 85  
 Sisebuto 13  
 Victor Sousa Moreira 107  
 William Stauder 98  
 L. Steinmetz 107  
 Daniel Stich 102  
 Antonio Stoppani 74  
 John W. Strutt y Lord Rayleigh 86  
 William Stukeley 51  
 Eduard Suess 57  
 Emma Suriñach Cornet 101  
 Teresa Susagna 104  
 Lynn R. Sykes 97
- T**
- Tales de Mileto 8, 11, 18, 44  
 Torquato Taramelli 75  
 Joaquín G. Tarín 73  
 Tiberio 10  
 Alonso de Tomás 29, 30, 123  
 Tomás de Aquino 15  
 Diego Torres de Villarroel 24, 25, 47  
 José María Torroja 107  
 Tomás Vicente Tosca 21, 22  
 Pedro Trebnal 40, 48

**U**

Uberte Balaguer, A. 23, 124

Agustín Udías Vallina 98

Antonio de Ulloa 31, 41, 61

**V**

Estanislao de Koska Vayo 66

Antonio Vázquez de Espinosa 31, 125

Verginio 10

Francisco Vidal Sánchez 102

Juan Vilanova y Piera 70, 124

Antonio Villaseñor 102

Giuseppe Vincentini 81

Pierre Virlet d'Aoust 78

François Marie Voltaire 37

Karl Adolf von Hoff 58

Alexander von Humboldt 57

Arnold von Lasaulx 72, 79

**W**

Alfred Wegener 91

Abraham Werner 55

Emil Wiechert 81, 85, 123

Erhard Wielandt 107

John T. Wilson 97

**Y**

Thomas Young 56

**Z**

Johann Zahn 26, 50

José Zaragoza y Vilanova 19

Juan de Zúñiga 40, 49

Gerónimo Zurita 28



CNIG: Calle General Ibañez de Ibero, 3  
28003 - Madrid (España)  
[www.ign.es](http://www.ign.es) / [www.cnig.es](http://www.cnig.es)  
[consulta@cnig.es](mailto:consulta@cnig.es)

