

Actividad sísmica de Cataluña durante los últimos 70 años: 1907-1976

por C. GAIBAR-PUERTAS

Director del Instituto Nacional de Geofísica – C.S.I.C. c/ Serrano, 123, Madrid-6

ABSTRACT

In this work, seismic shocks which related to 183 earthquakes were registered or perceived in Catalunya during the 1907-1976 period, were used. After analyzing their characteristics and the variations shown by their annual, monthly and hourly frequencies, the close correlation existing between the spacial dispersion of their 82 epicenters and the situation of the principal macrogeostuctural units is established. As 58 earthquakes were unnoticed by the Catalan seismic observatories and the majority of the rest of these earthquakes were only registered by one or by both of the Catalan observatories, it is possible to conclude on the total insufficiency of the present seismic net stations to recognize, with the required precision, the number and characteristics of the earthquakes generated in Catalunya.

RESUMEN

En este trabajo son utilizadas las sacudidas sísmicas que, vinculadas a 183 terremotos, fueron registradas o percibidas en Cataluña durante el periodo 1907-1976. Luego de analizar sus caracteres, se establece la estrecha correlación existente entre la dispersión espacial de sus 82 epicentros y la ubicación de las principales unidades megageoestructurales. Dado que 58 terremotos resultaron inapercibidos por los propios observatorios catalanes y la mayoría de los restantes únicamente fueron registrados por uno o los dos observatorios de Cataluña, se concluye la total insuficiencia de las actuales Estaciones Sísmicas para conocer, con la precisión requerida, el número y las características de los terremotos generados en Cataluña.

INTRODUCCIÓN

En 1905 se inauguró la estación sísmica del observatorio del Ebro (Tortosa), primera de las instaladas en Cataluña. A renglón seguido, la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona instaló (1906) una estación sísmica en su observatorio del Tibidabo (Barcelona) y, seguidamente el Dr. Cazorro, catedrático del Instituto de Enseñanza Media de Gerona inauguraba el 3^{er} observatorio sísmico catalán instalado, durante 1908, en el propio Instituto.

El primer terremoto registrado por el Observatorio Fabra (Barcelona), muy probablemente, fue generado en el sector Tiana-Alella-Teià: el primer terremoto registrado por el observatorio de Gerona acaeció el 10 de abril de 1909 en los alrededores de Olot; finalmente, el primer terremoto registrado por el observatorio del Ebro acaeció en las proximidades de Adra (Almería) donde alcanzó el grado VIII.

FUENTES DOCUMENTALES Y REFERENCIAS RECOPIADAS

El observatorio sísmico de Gerona funcionó durante un periodo sumamente corto: este hecho es doblemente lamentable pues, de rechazo, quedó inhabilitada una buena parte de la información relativa a terremotos catalanes inscrita en los registros instrumentales continuos obtenidos a lo largo de los últimos 70 años (1907-1976) por los otros dos observatorios catalanes (Fabra y Ebro) pues, como es sabido, el cálculo de la ubicación epicentral, hipocentral, etc. requiere disponer de registros obtenidos en, cuando menos, tres observatorios, y dada la frecuencia con que se obtienen registros defectuosos, siempre es preferible disponer de las bandas registradas en, cuando mínimo, 4 o 5 observatorios.

Habida cuenta de que la inmensa mayoría de los terremotos catalanes alcanzan magnitudes modestas, sus impulsos quedan totalmente amortiguados luego de recorrer distancias moderadas, normalmente inferiores a las existentes entre sus focos sísmicos y las estaciones sísmicas más próximas a Cataluña: Logroño, Toledo y Alicante. Por lo tanto, los registros sísmicos obtenidos en los observatorios catalanes (Fabra y Ebro) únicamente proporcionan un rendimiento verdaderamente efectivo cuando la intensidad de las sacudidas es suficiente para que sus impulsos puedan propagarse hasta alcanzar alguno de los observatorios más próximos a Cataluña.

Consecuentemente, el estudio riguroso de la sismicidad catalana requiere inevitablemente el concurso de los registros obtenidos en otros observatorios españoles y franceses. Según hemos advertido, este concurso solamente es posible actualmente cuando la intensidad de los terremotos supera una determinada magnitud, que sólo es alcanzada por un número próximo al 10 % de las sacudidas. Todo ello comporta un rendimiento excesivamente reducido de los dos observatorios catalanes y limita a 1/10 las aportaciones efectivas de sus registros al conocimiento de la Geografía sísmica de Cataluña.

Con miras a paliar en lo posible estas limitaciones, Comas

y Solà (primer director del Observatorio Fabra: 1906-1913) inició el ensayo del método de las encuestas —a través de la prensa o el envío masivo de estadillos— que resultó muy eficaz al obtener un buen porcentaje de respuestas con los requeridos datos objetivos que, comportando la deseada información macrosísmica, permitieron coleccionar la intensidad de cada terremoto y la ubicación epicentral. En vista de sus excelentes resultados, el método fue perfeccionado y muy frecuentemente utilizado a lo largo de más de medio siglo (1913-1969) por el segundo director del Observatorio, el Prof. Fontserè. A lo largo de un tan dilatado periodo el Prof. Fontserè reunió un voluminoso caudal de datos fiables sobre la sismicidad de Cataluña que, obviamente básicos para la presente investigación, resumió en numerosas publicaciones que intentó condensar en uno de sus últimos trabajos (Fontserè, 1957) En el mismo, amplió y actualizó considerablemente las síntesis publicadas por Comas y Solà (1910 a b y c) por Faura y Sans (1916) y por Rey Pastor (1935, 1948).

También hemos consultado las recopilaciones a escala nacional efectuadas esencialmente por Sánchez Navarro, S. J. (1916, 1917, 1919, 1926), por Galbis (1932 y 1940), por Munuera (1963, 1966 y 1967), así como la totalidad de Boletines Sísmicos Anuales recopilados y publicados por el Instituto Geográfico y Catastral (1951-1976) y el reciente estudio sobre el riesgo sísmico en Cataluña publicado por Roca y Udías (1976).

Al efectuar la recopilación exhaustiva de los datos contenidos en la bibliografía precedente hemos advertido bastantes errores claramente imputables a la transcripción o a la tipografía y que han sido eliminados por referirse a sacudidas perfectamente reseñadas. Los datos compilados han sido clasificados, teniendo en cuenta su procedencia y significación en cuatro grupos (Tabla I).

T A B L A I

GRUPOS DE DATOS	PROCEDENCIA DE LA INFORMACION SISMICA COMPLETARIA					NUMERO TOTAL:
	Percepción	Registros instrumentales (observatorios)				
	Huiana	FABRA	EBRO	FABRA + EBRO	FABRA EBRO + otros	SISMOS
Sacudisimico	101	0	0	0	0	101
Sismos	128	25	23	30	0	225
	th	0	0	0	30	30
TOTALES CIENTOS:	265	25	23	20	30	265
Exclusivamente Instrumentales	0	21	0	25	0	100
TOTALES POSIBLES:	265	100	23	45	30	371

El grupo 1.º comprende 101 sacudidas que, a pesar de no haber sido registradas por los observatorios, fueron perfectamente advertidas en las áreas epicentrales por sus habitantes, cuya información permitió trazar las isosistas definitorias de su intensidad y ubicación epicentral.

El grupo 2.º incluye 128 sacudidas de intensidad moderada que, percibidas por los habitantes, fueron registradas por los equipos instrumentales de los observatorios catalanes: 85 por el Fabra, 23 por el Ebro y 20 por ambos observatorios.

El grupo 3.º comprende las 36 sacudidas más intensas que, además de ser percibidas por los habitantes, no sólo fueron registradas en ambos observatorios catalanes, sino también por observatorios situados fuera de Cataluña. Veinte de ellas fueron registradas en los observatorios más próximos a Cataluña: Bagnères de Bigorre, Logroño y Toledo. Otras 14 sacudidas llegaron a ser registradas por los observatorios de Alicante, Almería, Cartuja, Málaga y Porto. Finalmente, los dos terremotos más violentos: Viella (1923 = Grado VIII, y Montseny (1927) = Grado VII, fueron registrados por la totalidad de los observatorios peninsulares.

Los tres grupos citados integran un total de 265 sacudidas ciertas que acaecieron en el substrato de Cataluña durante el periodo de 70 años (1907-1976) considerado en este trabajo.

En la parte inferior de la Tabla I incluimos un 4.º grupo integrado por más de 200 sacudidas que, fueron exclusivamente registradas por los observatorios catalanes pareciendo corresponder a temblores catalanes muy débiles o a sacudidas más intensas generadas en el substrato exterior a Cataluña. Con miras a concretar las sacudidas atribuibles al substrato catalán, hemos procedido al cálculo de las distancias epicentrales vinculables a cada una de las sacudidas teniendo en cuenta las diferencias entre los tiempos en que fueron registrados los impulsos primero y segundo. Teniendo presentes las distancias desde los observatorios Fabra y Ebro hasta los límites de Cataluña, aquellas distancias nos han permitido desconsiderar gran número de aquellos registros entre los que, lógicamente, figuran la mayoría de los obtenidos en el Ebro. De esta guisa hemos podido coleccionar que, entre las sacudidas implicadas en este grupo, 81 de las registradas por Fabra y 25 registradas por Fabra y Ebro, suministran distancias epicentrales adecuadas para permitir considerar la posibilidad de que los epicentros de estas 106 sacudidas pudieron haber quedado inscritos en Cataluña. Con todo, es preciso retener la posibilidad de que los hipocentros de un número indeterminable de ellas muy bien pudieron corresponder al substrato del Mediterráneo.

En los estudios sobre Geografía sísmica y vinculaciones estructurales únicamente son útiles los temblores de los tres primeros grupos (epicentros localizados) que suman un total de 271, aunque de hecho, corresponden a 265 sacudidas sísmicas pues, algunas de ellas, generaron varios epicentros: 2/VI/1930 = Vimbodí y Sierra del Boix; 8/VIII/1958 = Vallfogona, Sant Privat d'En Bas, Rubí y Sant Feliu de Llobregat, etc.

Las investigaciones efectuadas permiten considerar que la multiplicidad epicentral se produce cuando la sacudida alcanza cierta intensidad (grado 5) indispensable para que las vibraciones se propaguen hasta sectores relativamente alejados: cuando, durante su propagación, alcanzan áreas suficientemente inestables (terremotos en vías de gestación) pueden acelerar la liberación de las tensiones energéticas acumuladas haciendo efectivas las sacudidas potenciales.

Generalmente, estas áreas de resonancia sísmica corresponden a sectores afectados por fallas y, por ende, caracterizados por una mayor actividad sísmica.

Al estudiar el terremoto del 26/III/1943, Fontserè advirtió que esta sacudida submarina acaecida unos 19 km al S. de Sant Feliu de Guíxols según definió la isosista de grado V, repercutió considerablemente en el macizo del Montseny donde alcanzó el mismo grado en una aislada y reducida área que circundó a Santa Fe. Estudiando el archivo del Observatorio Fabra, Fontserè advirtió que esta acentuada resonancia en el Montseny parece tener antecedentes en los sismos de 12/III/1927, 11/V/1930, 5/IX/1930 y 18/IX/1930. Por nuestra parte, hemos advertido el mismo fenómeno en los terremotos de 15/V/1916 (Canet de Mar = grado V, con resonancia en Teià, Alella, Vilassar de Dalt, Cabriels y Montgat donde alcanzó el mismo grado); el submarino del 23/X/1917 (Garraf y Vallcarca = grado VI, con resonancia en una aislada área donde se inscribieron Teià, Alella, Tiana y Martorelles); el de 28/XI/1928 (Tossa de Mar = grado V que se vio incrementado hasta V-VI en el área de resonancia extendida en torno a Teià, Vilassar de Dalt y Cabriels); el del 3/II/1929 (Mataró y Vilassar de Mar = grado V con área de

resonancia en Tiana donde alcanzó el mismo grado). En suma, más frecuentemente que en el Montseny, la resonancia se produce en el sector de Teià-Alella-Tiana que, como veremos después, es el área catalana que ha presentado la máxima frecuencia sísmica.

REAGRUPACIÓN Y CARACTERES DE LAS SACUDIDAS SÍSMICAS GENERADAS EN CATALUÑA DURANTE EL PERIODO 1907-1976

La localización epicentral conferida a cada sacudida y los intervalos cronológicos entre las sacudidas vinculadas a cada epicentro evidencian que 88 sacudidas fueron premonitorias o réplicas de los movimientos sísmicos fundamentales cuyo número se reduce a 183 de los que 58 no fueron aparecidos por los observatorios pero no escaparon al Prof. Fontserè. La información macrosísmica le permitió puntualizar que 4 de estas 58 sacudidas alcanzaron grado V (Torredembarra, Alella, Amer y Begur) y otras 2 llegaron al grado VI (Terrassa y Peguera). Este hecho, verdaderamente parece evidenciar una total certidumbre de que, pese a disponer de dos observatorios sísmicos, en Cataluña acaece un número de terremotos muy superior al de los registrados en Fabra y Ebro.

Otros 6 terremotos que presentaron grado V, más 5 que alcanzaron grado VI, únicamente fueron registrados por el Observatorio Fabra; y otro que alcanzó en Viella el grado V solamente fue registrado por el Observatorio del Ebro; por último, 13 terremotos que presentaron grado V y otros 2 que alcanzaron grado VI, únicamente fueron registrados por Fabra y Ebro. En suma, no obstante haber alcanzado notable intensidad (grados V y VI), vemos como 27 terremotos proporcionaron un número de registros (1 o 2) totalmente insuficiente para su análisis e interpretación. Este hecho reitera la existencia de grandes lagunas en la cobertura de Cataluña por la red nacional de observatorios sísmicos lo que, de rechazo, subraya la gran importancia de la información macrosísmica, que nos permite conocer en cierta medida la intensidad alcanzada por estos terremotos y la localización geográfica de sus epicentros.

Las situaciones epicentrales mostradas por los 183 terremotos evidencian que cierto número de epicentros se han repetido en diversas ocasiones a lo largo de los 70 años considerados: es decir que las tensiones energéticas constantemente acumuladas en los focos sísmicos han sido liberadas mediante sacudidas acaecidas con distintos intervalos. Concretamente, los 183 terremotos identificados se vinculan a 82 áreas epicentrales desigualmente dispersas por toda Cataluña.

En la Tabla II pormenorizamos, en lo posible, los principales datos inherentes a cada uno de los 82 epicentros que hemos ordenado y agrupado en cada una de las tres regiones estructurales principales de Cataluña: Pirineos; sector catalán de la Depresión del Ebro; y Cordillera Costera Catalana. A la derecha de los números asignados a los epicentros figuran los nombres de las localidades más próximas a cada epicentro. La actividad sísmica inherente a cada epicentro (número de sacudidas y réplicas) es reflejada en las columnas 3.^a y 4.^a. La columna 5.^a resume el número total de sacudidas y réplicas que fueron registradas por los observatorios catalanes y, a continuación se detallan los números de las registradas en cada observatorio: Fabra = (columna 6.^a), Ebro = (columna 7.^a) y Gerona = G (columna 8.^a). Para

T A B L A II

EPI CEN	LOCALIDADES EPICENTRALES	ACTIVIDAD		REGISTRADOS			PROP.	INTENSIDAD		
		1907-1976	Nº	Observat.	HIP.	MAXIMA				
TR0		Sacud.	Rep.	F	E	G	h:Kv	Grado	Nº	
PIRINEOS										
1	Viella, Lés, Bessost	4	26	8	6	7	..	33	VIII	6,3
2	Esterrí d' Aneu, Peguera, Espot	4	1	2	1	2	-	(43)	VI	5,8
3	Boí, Caldes de Boí, Llesp	2	0	1	1	1	-	(20)	VI	5,4
4	Pont de Suert	1	0	0	-	-	-	-	II	---
5	Capdella	7	1	1	1	1	-	-	V	5,0
6	Estangento, Lessui, Altron	1	0	1	1	-	-	25	IV	4,7
7	Rialb	1	0	1	1	1	-	-	V	5,0
8	Olp, Estac; Erviny	2	0	0	-	-	-	-	III	---
9	Arcabell, Ars, Civís, Lorna (?)	1	0	1	1	1	-	-	III	3,8
10	Arfa, El Pla de Sant Tirs	2	0	2	2	2	-	(4)	V	3,8
11	La Seu d'Urgell, Cerc	4	1	5	2	4	-	33	IV	4,3
12	Serra del Cadí	1	0	1	1	1	-	33	IV	3,8
13	Arbúguet	1	1	2	-	2	-	33	VI	4,8
14	Musa (?)	1	0	1	-	1	-	33	III	3,8
15	Olopte	1	0	1	-	1	-	33	VI	4,6
16	Puigcerda	1	0	1	1	-	-	-	IV	4,2
17	Gorruja (Llívia)	1	0	1	1	1	-	-	V	5,0
18	La Pobla de Lillet	2	0	2	1	1	-	-	IV	4,6
19	Ribes de Preser	1	0	1	1	1	-	33	III	3,8
20	Setcases	1	0	1	1	1	-	-	V	5,0
21	Camprodon	1	0	0	-	-	-	-	III	---
22	Lludó	2	0	0	-	-	-	-	III	---
23	Darnius	1	0	1	1	-	-	-	III	3,8
24	El Port de la Selva, La Selva de Mar	2	0	1	1	-	-	-	III	3,8
25	Tremp	1	0	1	1	1	-	33	IV	5,0
26	L'Amella de Montsec	1	0	1	1	1	-	33	V	4,7
27	Vilanova de Meià	1	0	1	1	1	-	33	III	3,8
28	Berga	1	0	1	1	1	-	-	V	5,0
29	Campdevàrol, Ripoll	2	0	1	1	1	-	-	V	5,2
30	Puigscalán, Sant Joan de les Abadeses, Vallfogona	2	1	3	3	2	-	-	V	5,2
31	Riudaura, Sant Privat d'En Bas	1	1	2	2	2	-	-	III	3,8
32	Olot	1	1	1	1	-	1	-	III	3,8
33	Castellfollit de la Roca, Montagut, Tortellà	2	0	1	1	-	-	(2)	VI	5,0
34	Aner, Les Planes, Susqueda	3	0	1	1	1	-	33	VI	5,0
AREA CATALANA DE LA DEPRESION DEL EBRO										
35	Solsona	1	0	0	-	-	-	-	IV	---
36	Cardona	1	0	1	1	1	-	-	III	3,8
37	Soria, Castelltallat	1	0	1	1	1	-	33	III	(3,8)
CORDILLERA COSTERA CATALANA										
38	Iles Medes, Torrella de Montgrí	1	0	1	-	1	-	-	IV	4,6
39	Begur	1	0	0	-	-	-	-	V	---
40	Palamós, Sant Feliu de Guíxols, Santa Cristina d'Aro	1	0	1	1	-	-	-	III	(3,8)
41	Lloret de Mar, Tossa de Mar	4	5	4	4	-	-	-	IV	4,6
42	Submarino Frente a Lloret de Mar-Tossa de Mar	1	0	1	1	-	-	-	VI	5,4
43	Blanes	1	0	1	1	1	-	25	IV	4,6
44	Submarino Frente a Calella-Malgrat	1	0	1	1	1	-	-	V	(5,0)
45	Montseny	2	0	1	1	-	-	-	III	3,8
46	Submarino Frente a Calella-Pineda	3	1	2	2	-	-	-	IV	4,6
47	La Garriga, Sant Celoni	1	0	1	1	1	-	-	IV	4,6
48	La Roca del Valles, Montornès del Vallès	3	2	4	4	1	-	-	IV	4,6
49	Llinars del Vallès	2	0	1	1	-	-	-	IV	4,6
50	Mosqueroles, Campins	1	1	1	1	1	-	-	VII	5,8
51	Vallgorguina, Sant Celoni	3	1	4	4	1	-	8	V	5,0
52	Hostalric	1	0	0	-	-	-	-	III	---
53	Arenys de Munt, Arenys de Mar, Canet de Mar, Caldes d'Estrac	8	0	6	6	2	-	-	V	5,0
54	Submarino Frente a Arenys de Mar	1	1	2	2	-	-	-	V	5,0

55	Sant Andreu de Llovaneres, Mataró	2	1	3	3	1	-	25	V	5,1
56	Argentona, Vilassar de Mar	1	0	1	1	1	-	-	V	5,0
57	Gabris, Vilassar de Mar	2	13	7	7	3	-	-	VI	5,4
58	Teià, Masnou	22	12	21	21	3	-	(2)	VI	5,4
59	Vallromanes, Alella	12	10	16	16	1	-	-	V	5,0
60	Tiana, Montgat	5	4	9	9	1	-	-	IV	4,2
61	Sant Feliu de Llobregat	1	0	1	1	1	-	-	III	(3,5)
62	Submarino Frente a Garraf-Vallcarlos	1	0	1	1	1	-	-	VI	5,4
63	Vilafraanca del Penedès	3	0	0	-	-	-	-	II	---
64	Capellades	2	0	1	-	1	-	3	IV	4,0
65	Monistrol	1	0	1	-	1	-	-	III	4,2
66	Terrassa	2	0	0	-	-	-	-	VI	---
67	Martorell	1	0	0	-	-	-	-	III	---
68	Corbera, Subirats, Sant Pau d'Ordal	1	0	1	1	1	-	-	IV	(4,0)
69	Rubí	3	3	6	6	2	-	4	V	4,0
70	Sabadell	1	0	1	1	-	-	-	II	3,8
71	Sitges	1	0	1	1	-	-	-	II	3,5
72	Municipio de Garraf	2	0	1	1	1	-	-	III	(3,5)
73	Montblanc L'Espluga de Francolí, Vimbodí	3	0	3	3	3	-	-	V	5,0
74	Picanyolons	1	0	1	1	1	-	33	III	(3,5)
75	Reus	1	0	1	1	1	-	33	III	(3,8)
76	Roda de Berà, Torredonbarri, Vallmoll	3	0	2	2	1	-	-	VI	5,4
77	Elías	1	0	0	-	-	-	-	III	---
78	Gratallops	1	0	1	1	1	-	3	V	4,1
79	Colldejou	1	0	1	1	1	-	-	VI	5,4
80	Xerta, Serra del Boix	2	0	2	1	2	-	-	V	5,0
81	Tortosa	4	0	3	0	3	-	-	II	3,5
82	Submarino Frente a Sant Carles de la Rápita	2	1	3	0	3	-	33	III	(3,5)

algunas de las sacudidas inherentes a cierto número de epicentros han sido calculadas las profundidades hipocentrales con precisión diversa: menores de 33 km., aproximadas (entre paréntesis y más concretas, que figuran en la columna 9.^a). Finalmente, las columnas 10.^a a 11.^a expresan los valores máximos de las intensidades alcanzadas por las sacudidas de cada epicentro: grado máximo de percepción macrosísmica (columna 10.^a) y magnitud máxima colegida de los registros instrumentales (columna 11.^a).

La columna 3.^a evidencia claramente que la máxima frecuencia sísmica en Cataluña corresponde al segmento meridional de la Sierra de Levante (epicentros n.º 58-60) donde, como contrapartida, la intensidad suele ser muy moderada lo que puede justificar el hecho de que estos terremotos no suelen llegar a ser registrados en el Observatorio del Ebro. Esto puede justificar esencialmente la notable discrepancia entre el número total de terremotos catalanes registrados por los observatorios Fabra (= 148) y Ebro (= 83).

Por su parte, la columna 9.^a refleja claramente que, ajen de intracrustales, los focos sísmicos catalanes suelen ubicarse a profundidades muy someras (2 a 25 km.) únicamente rebasadas —hasta un valor próximo a 43 km en el epicentro n.º 2 ubicado en Boí: es decir, hacia la línea de cumbres pirenaicas donde —ya en territorio francés— han sido detectados algunos hipocentros situados a profundidades comprendidas entre 71 y 96 km. Hasta el presente únicamente ha sido más o menos precisada la profundidad hipocentral para 12 terremotos catalanes, habiendo revelado los valores de: 2 km en dos focos (Teià y Montgat), 3 km en otros dos hipocentros (Gratallops y Rio Aroia), 4 km en otros dos terremotos (Rubí y La Seu d'Urgell), 8 km para el foco de Sant Celoni, 20 km para el de Pequera, 25 km para los litorales de Blanes y Sitges y el pirenaico de Estangento y, finalmente, 43 km para el de Boí.

Las profundidades de los 7 hipocentros calculados en la Cordillera Costera Catalana fluctúan entre 2 y 25 km. Los 5 hipocentros calculados para los Pirineos Catalanes evidencian profundidades comprendidas entre 2 y 43 km. En el área catalana de la Depresión del Ebro únicamente ha sido efectuado el cálculo aproximado de la profundidad hipocentral para uno de los tres terremotos acaecidos revelando ser «normal» (es decir 33 km). Respecto a la intensidad alcanzada por los terremotos catalanes, refiriéndonos a los grados macrosísmicos con que fueron percibidos, en la Tabla III resumimos la gama de valores alcanzados y las frecuencias (con sus porcentajes equivalentes) mostradas por cada uno de los grados en los tres sectores estructurales.

T A B L A . . . III

GRADOS	FRECUENCIAS Y PORCENTAJES EQUIVALENTES		
<u>MAXIMOS</u>	<u>Cordillera Costera</u>	<u>Pirineos Catalanes</u>	<u>Depresión del Ebro</u>
VIII		1 = 3 %	
II	1 = 2 %		
I	7 = 16 %	6 = 28 %	
V	12 = 27 %	9 = 26 %	
IV	10 = 22 %	5 = 15 %	1 = 3 %
III	11 = 24 %	12 = 35 %	2 = 6 %
II	4 = 9 %	1 = 3 %	
PROMEDIOS:	45 = IV 1/5	34 = IV	3 = III 1/3

Para el conjunto de Cataluña, los grados máximos advertidos conducen al promedio de IV 1/10, indicatriz de una intensidad bastante moderada.

Por su parte, las magnitudes sísmicas calculadas conducen a un resultado similar. Calculadas para 106 sacudidas catalanas, presentan valores comprendidos entre: 3.1 y 3.4 en 5 casos; 3.5 y 3.8 en 22 casos; 3.9 a 4.2 en 22 casos; 4.3 a 4.6 en 22 casos; 4.7 a 5.0 en 22 casos; 5.1 a 5.4 en 9 casos; 5.5 a 5.8 en 3 casos: alcanzando el valor máximo de 6.3 en 1 solo caso. Consecuentemente, 93 sacudidas (= 88 % de las estudiadas) presentaron pequeñas magnitudes: $m = 5.0$ y las 13 restantes sacudidas (= 12 % de las estudiadas) alcanzaron magnitudes intermedias: $m = 5.1$ a 6.3. Para el conjunto de las 106 sacudidas consideradas la magnitud sísmica media resulta ser de $m = 4.3$ que indica una intensidad claramente moderada. Sísmica de la Cordillera Costera es bastante superior que la de los Pirineos lo que no obsta para que la intensidad de las sacudidas resulte bastante similar en ambas estructuras. Como era previsible, la Depresión del Ebro presenta una actividad sumamente reducida.

T A B L A . . . IV

UNIDAD	Número de epicentros	Número de terremotos	Número de réplicas	Número total de sacudidas	Intensidades máximas Grado
CORDILLERA COSTERA	45 = 52%	120 = 66%	55 = 63%	175 = 65%	VII 5,5
PIRINEOS CATALANES	34 = 41%	60 = 33%	33 = 37%	93 = 34%	VIII 6,3
DEPRESION DEL EBRO	3 = 3%	3 = 1%	0 = 0%	3 = 1%	IV (4,0)

Es muy interesante constatar los porcentajes de sacudidas (terremotos propiamente dichos y sus eventuales series de réplicas) que, generadas en cada unidad estructural, son o no

registradas por uno y otro observatorios catalanes (Tabla V). Se advierte claramente que, independiente de la unidad estructural donde son generadas, un 66 a 69 % de las sacudidas principales o terremotos propiamente dichos son registrados por los observatorios catalanes. No sucede lo mismo con las sacudidas secundarias o réplicas cuyo registro en dichos observatorios parece claramente condicionado por la distancia epicentral: en efecto, mientras son registrados el 62 % de las generadas en la Cordillera Costera Catalana, los observatorios únicamente registran el 27 % de las originadas en los Pirineos Catalanes.

T A B L A V

SECTORES MEGAFESTRUCURALES	TIPOS DE SACUDIDAS	REGISTRADAS EN LOS OBSERVATORIOS	INAPERCIBIDAS POR LOS OBSERVATORIOS
CORDILLERA COSTERA	Principales	83 = 69 %	37 = 31 %
	Réplicas	34 = 62 %	21 = 38 %
PIRINEOS CATALANES	Principales	40 = 66 %	20 = 33 %
	Réplicas	9 = 27 %	24 = 73 %
DEPRESION DEL EBRO	Principales	2 = 66 %	1 = 33 %
	Réplicas		
TOTALES	Principales	125 = 68 %	58 = 32 %
	Réplicas	43 = 49 %	45 = 51 %
		168 = 62 %	103 = 38 %

Con miras al conocimiento de la Geografía sísmica de Cataluña es importante retener el hecho de que el 38 % de las sacudidas sísmicas generadas en esta región no son apercibidas por los registros instrumentales, incluyendo los de los propios observatorios catalanes.

Todavía conviene precisar el rendimiento (proporción de las sacudidas [principales y réplicas] registradas) conferible a cada uno de los dos observatorios sísmicos catalanes que puede relacionarse con la geoestructura y distancia epicentral desde donde fueron generadas tal y como expresamos en la Tabla VI.

Así se evidencia que entre las sacudidas generadas en la Cordillera Costera, un 43 % son exclusivamente registradas por el Observatorio Fabra, mientras que el 6 % 10 son exclusivamente por el Observatorio del Ebro, y un 19 % son registradas por ambos observatorios.

Contrariamente, las sacudidas originadas en los Pirineos Catalanes registradas exclusivamente por el Fabra entrañan un porcentaje (12 %) sensiblemente idéntico al de las exclusivamente registradas por el Ebro (13 %): el porcentaje máximo (28 %) corresponde, en este caso, a las sacudidas registradas por ambos observatorios.

FACTORES TECTÓNICOS RESPONSABLES DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA GENERADA EN CATALUÑA DURANTE LOS ÚLTIMOS 70 AÑOS: 1907-1976

Los 82 focos sísmicos que, en una o más ocasiones, han funcionado durante el periodo considerado están, lógicamente, asociados a otros tantos accidentes tectónicos que en la mayoría de los casos, afloran en superficie y son observables y cartografiables. Obviamente, el previo conocimiento de la ubicación, traza, dimensión y naturaleza de estas discontinuidades no solamente facilita sus vinculaciones con los focos sísmicos, sino que también puede coadyuvar fundamental-

mente a la precisión de las localizaciones epicentrales. Por supuesto, el número de discontinuidades estructurales existentes en Cataluña es muchísimo mayor que el de los focos activados durante los últimos 70 años y, por otra parte, muchos de los focos generadores de los 183 terremotos y sus 88 réplicas recopilados, deben vincularse a segmentos más o menos reducidos de aquellos accidentes cuya longitud superficial puede alcanzar varias decenas de kilómetros.

Hasta el presente no tenemos noticia de que estas consideraciones hayan sido tenidas en cuenta a la hora de cartografiar los epicentros, que han sido dibujados en la situación definida por las coordenadas geográficas calculadas.

Lamentablemente, cuando se cotejan diversas fuentes informativas es sumamente frecuente advertir que, tanto las coordenadas geográficas como los restantes valores numéricos suministrados por el cálculo para cada terremoto presentan discrepancias que, en ocasiones, resultan excesivamente considerables. Este hecho no sólo distorsiona la cartografía sísmica, sino que también induce a equívocos sobre la vinculación estructural de los focos sísmicos.

Las causas conducentes a tales discrepancias son de diversa índole.

Los datos oficiales publicados por los principales organismos internacionales (USCGS, BCIS, ISS, etc.) así como los obtenidos en los centros sismológicos más importantes e inmediatos a España (LDG, CSEM, etc.) y los calculados por nuestro LCSS del Instituto Geográfico, etc. atribuyen a cada terremoto resultados numéricos discordantes en la inmensa mayoría de los casos: obviamente estos resultados

T A B L A VI

GEOESTRUCTURAS	NÚMERO TOTAL DE SACUDIDAS SÍSMICAS REGISTRADAS			NO REGISTRADAS	
	OBSERV. FABRA	OBSERV. EBRO	OBSERV. FABRA Y EBRO	TOTALS	TRAZAS
CORDILLERA COSTERA	75 = 43%	10 = 6%	34 = 19%	117 = 68%	58 = 32%
PIRINEOS CATALANES	11 = 12%	12 = 13%	26 = 28%	49 = 53%	44 = 47%
DEPRESION DEL EBRO	0 = 0%	0 = 0%	2 = 67%	2 = 67%	1 = 33%
TOTALES	86 = 32%	22 = 8%	62 = 23%	168 = 62%	103 = 38%

del cálculo se refieren a las coordenadas epicentrales y, cuando son calculadas, a las profundidades hipocentrales y a las magnitudes sísmicas. Ordinariamente, las magnitudes de las discrepancias entre los diversos resultados suelen ser de algunas décimas de grado para las coordenadas epicentrales y de algunas décimas para los valores de las magnitudes o intensidades que suelen oscilar entre 3 y 7: en las profundidades hipocentrales son frecuentes las discrepancias de una decena de kilómetros. Tales diferencias, pueden ser debidas a los métodos de cálculo utilizados: a la consideración de

T A B L A VII

ACCIDENTES TECTÓNICOS	PIRINEOS CATALANES	CORDILLERA COSTERA	DEPRESION DEL EBRO	TOTAL CATALUÑA
Fallas	21	36	1	58
Desgarres	3	1	0	4
Cobijaduras	0	8	2	10
Diapiros	1	0	0	1
TOTALES	24	45	3	72

distinto número de registros o de diferentes observatorios donde fueron obtenidos: a diferencias subjetivas en la interpretación de las bandas registradas; a errores de cálculo, etc.

Otras discrepancias, no menos importantes o frecuentes, parecen vinculadas a errores cometidos durante las transcripciones o a erratas tipográficas. A título de ejemplo se atribuyen (Munuera Quiñonero, 1963):

Las coordenadas $41^{\circ} 8'N$ y $1^{\circ} 8'E$ al epicentro del terremoto acaecido el 6/XII/1947 en Sitges cuyas coordenadas reales fueron $41^{\circ} 2'N$ y $1^{\circ} 8'E$; al terremoto del 13/II/1949 percibido con grado VI en Colldejou, le son asignadas las coordenadas epicentrales $42^{\circ} 2'N$ y $1^{\circ} 7'E$, mientras que la situación real es definida por $41^{\circ} 1'N$ y $0^{\circ} 9'E$; al terremoto submarino acaecido el 20/XII/1955 frente al litoral de Vilanova i la Geltrú le son asignadas las coordenadas $41^{\circ} 6'$ y $2^{\circ} 7'E$, añadiendo que fue percibido en Llavaneres con grado V, mientras que en el mapa de isosistas que acompaña al minucioso estudio macrosísmico de este terremoto publicado (7 años antes) por Fontseré, se advierte claramente que las coordenadas fueron $40^{\circ} 8'N$ y $1^{\circ} 8,5'E$ siendo Sitges la población litoral más próxima a la isosista de grado V.

Ordinariamente, las coordenadas geográficas epicentrales son expresadas en grados y décimas de grado. Consecuentemente, las frecuentes discrepancias de 3 y 4 décimas de grado implican imprecisiones de 30 a 40 km, dificultando su vinculación a las discontinuidades estructurales pues éstas suelen sucederse con intervalos inferiores a aquellas magnitudes. Alguno de los errores citados implican imprecisiones epicentrales que rebasan los 100 km.

Marginalmente a las precedentes consideraciones, la Cartografía sísmica viene fundamentándose en la representación de los símbolos conferidos a los epicentros que, en ocasiones, son de distinta forma, tamaño, etc. en función de la intensidad, frecuencia, etc. de los terremotos identificados en un mismo epicentro. Independientemente de la magnitud y el número de errores entrañados por las coordenadas utilizadas, esta representación cartográfica conduce indefectiblemente a una serie de símbolos perfectamente alineados que definen una cuadrícula; esta imagen no puede ser más desafortunada cuando se intenta vincularla a la realidad estructural.

Convencidos de ello, algunos sismólogos fuerzan los valores de las coordenadas desplazando los epicentros hasta situarlos sobre alguna fractura conocida, relativamente próxima a la teórica ubicación epicentral. Este modo de proceder tampoco es admisible pues, como es sabido, lejos de verticales, los planos de falla presentan buzamientos más o menos acentuados. Se comprende que, por escasa que sea la profundidad hipocentral, los epicentros no coinciden con esta traza cartográfica de las fallas.

LA ACENTUADA Y SUGESTIVA ACTIVIDAD SÍSMICA DEL SEGMENTO DE CORDILLERA COSTERA CATALANA COMPRENDIDO ENTRE LA RIERA DE ARENYS I EL RÍO BESÓS

La máxima actividad sísmica catalana es ostentada por el segmento SW de la Cordillera de Levante (sector de Teià, Alella, Tiana) según refleja la Tabla II. La gran frecuencia de las sacudidas sísmicas es tan acentuada que, bastó el transcurso de 7 años a partir de la instalación del Observatorio Fabra, para que Faura y Sans iniciase la publicación del trabajo: *Estudi geotectònic d'una llaga sísmica propera a*

Barcelona correspondent l'epicentre en el Macis de S. Mateu al NNE de Teià (Costa de Llevant)» (1913-1915).

Concretándonos al sector comprendido entre la Riera de Arenys y el Río Besós, durante el periodo considerado en el presente trabajo, la actividad de esta «llaga sísmica» se ha traducido en el siguiente número de epicentros y sacudidas:

— epicentros = 38 % de los que han funcionado en el conjunto de la Cordillera costera y 21 % del número total evidenciado para Cataluña.

— 73 terremotos = 61 % de los acaecidos en la Cordillera Costera Catalana y 40 % del número total de los generados en Cataluña.

— 46 réplicas = 84 % de las registradas o percibidas en la Cordillera costera y 52 % del total de las recopiladas para Cataluña de donde se sigue que, sin género de dudas, casi el 50 % de la actividad sísmica de Cataluña es generada en este reducido sector ubicado en los alrededores septentrionales de la ciudad de Barcelona.

Por lo demás, ciertas peculiaridades del mecanismo sugerido por estas sacudidas son, ciertamente, coincidentes con las habituales de los terremotos generados por el deslizamiento de escamas o frentes olitostromicos como, por ejemplo, los que arman buena parte del substrato de las provincias de Cádiz, Sevilla y Huelva. Efectivamente, los terremotos generados en uno y otro sectores son precedidos habitualmente por intensos y prolongados ruidos subterráneos, que con excepción del terremoto acaecido en Camprodon-Setcases el 9/XII/1921, en Cataluña únicamente han sido percibidos en el segmento SW de la Sierra de Levante: 1907-18/II en Abrera, Rubí y Sant Cugat; 1900-24/I en Terrassa, Castellar, Matadepera, 24/V y 19/VI en Alella, Teià y Tiana, 1911-5/III, 7/IV y 23/IX en Conreria, Alella y Teià; 1912-19/II, 6 y 7/IV en Tossa de Mar; 1914-21/X en Teià y Argentona; 1923-14/V en Teià y Alella; etc. etc.

Lejos de acaecer simultáneamente y concretados al área epicentral, tales ruidos suelen propagarse en determinados sentidos, según ha podido comprobarse en diversas ocasiones. Por ejemplo, poco antes de producirse el terremoto del 21/II/1914, las fuertes trepidaciones fueron percibidas a las 16 h 45 m en Tiana tardando 19 minutos en alcanzar el epicentro, situado en Alella donde fueron percibidos a las 17 h 04 m. En este sentido, acaso sea más ilustrativo el caso del terremoto submarino acaecido a las 05 h 02 m del 26/III/1943 unos 19 km al S. de San Feliu de Guixols donde alcanzó el grado V mientras que, dos horas antes, fueron percibidas en Lloret de Mar las típicas trepidaciones subterráneas que se propagaron hacia él, hasta, cuando menos, la población de Cardedeu; en el mismo sentido se propagó la sacudida sísmica y, con idéntica intensidad, afectó a Santa Fe del Montseny pues quedó circundada por un ísleo dibujado por la isosista de grado V.

CONCLUSIONES

I. — La actividad sísmica generada en Cataluña durante los últimos 70 años ha sido muy notable pese a que, muy probablemente, únicamente ha sido detectado algo más del 50 % de los terremotos acaecidos.

II. — Durante dicho periodo, la máxima actividad sísmica ha sido generada por el segmento más meridional de la Sierra de Levante y, más concretamente, en un sector ubicado unos 14 km al NNE del centro de la ciudad de Barcelona. Este

hecho debe ser tenido muy en cuenta al proyectar las nuevas edificaciones y construcciones en general.

III. – Para lograr una mayor precisión en el conocimiento de la sismicidad de Cataluña es indispensable la instalación de dos nuevas estaciones sísmicas, siendo aconsejable su ubicación en las ciudades de Figueres y la Seu d'Urgell.

BIBLIOGRAFÍA

- COMAS Y SOLÀ, J. (1910): Sismología de Cataluña. *Rev. Soc. Astron. de Esp. y Amér.*, año III, n.º 31, p. 176. *La Vanguardia*, 23 julio y 3 agosto.
- FAURA Y SANS, M. (1913): Sismologia catalana. Estudi geotectònic d'una llaga sísmica propera a Barcelona, corresponent a l'epicentre en el massís Sant Mateu al N. NE de Teyà (Costa de Llevant). *Mem. Inst. Cat. Hist. Nat.*, t. I, n.º 2, 34 p., Barcelona.
- FONTSERÉ, E. (1954): La sismicitat de Catalunya. Conferència Soc. Cat. Geogr., Barcelona, Inst. Est. Cat., 15 p.
- GALBIS RODRÍGUEZ, J. (1932, 1940): Catálogo sísmico de la zona comprendida entre los meridianos 5º E y 20º W de Greenwich y los paralelos 45º y 25º N. Madrid, Inst. Geogr. y Catastr., T. I: 807 p., T. II: 280 p.
- BOLETÍN SÍSMICO, años 1951-1976, Madrid, Inst. Geogr. y Catastr.
- MUNUERA QUINONERO, J. M.ª (1963): Datos sísmicos: coordenadas geográficas y magnitudes hasta 1960 en el área comprendida entre los meridianos 5º E y 10º W de Greenwich y los paralelos 44º y 35º N. *Mem. Inst. Geogr. y Catastr.*, 93 p.
- MUNUERA QUINONERO, J. M.ª (1966): Sismicidad Ibérica 1961-1965. *Mem. Inst. Geogr. y Catastr.*, 21 p.
- MUNUERA QUINONERO, J. M.ª (1967): Iberian seismicity 1961-1965. *Ann. Geof.*, vol. XX, n.º 2, p. 143-169, Roma.
- REY PASTOR, A. (1935): Sismicidad de las regiones litorales españolas del Mediterráneo. I. Región geográfica catalana. *Geol. Mediterr. Occid.*, Vol. III, part. 6, n.º 1, 20 p., Barcelona.
- REY PASTOR, A. (1948): Las costas mediterráneas de la Península Ibérica. Estudio sísmico-geográfico. *Rev. Geof.*, n.º 26, p. 125-155, Madrid.
- ROCA, A., UDIAS, A. (1976): Sismicidad y riesgo sísmico de la zona de Cataluña y Pirineos. *Rev. Geof.*, vol. 35, n.º 3-4, p. 183-207, Madrid.
- SÁNCHEZ NAVARRO, M. M.ª (1917): Datos referentes a la sismicidad de la porción oriental de la Península Ibérica. *Mem. R. Acad. Cienc. y Art. Barcelona*, 3.ª ép., t. XIII, n.º 8, p. 179-188, Barcelona.
- SÁNCHEZ NAVARRO, M. M.ª (1917): Ensayo sobre la sismicidad del suelo español. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, vol. XVII, p. 83-108, Madrid.
- SÁNCHEZ NAVARRO, M. M.ª (1919): La sismicidad del suelo español durante el decenio 1909-1918. *Ibérica*, vol. XII, n.º 287, p. 55; n.º 208, p. 77, Madrid.
- SÁNCHEZ NAVARRO, M. M.ª (1926): La sismicité de l'Espagne. *Materiaux pour l'étude des calamités*, año 3, n.º 9, p. 255-264, Genève, Soc. Geogr.

Recibido, septiembre 1978.