

N. 42223  
R. 40801



HOTEL MELIA CASTILLA MADRID, 13/14 MARZO-89

## **RIESGOS EXTRAORDINARIOS**

*D. Angel Arévalo Barroso*  
Director General del Instituto  
Geográfico Nacional

CEGERS'89: EL SEGURO DE TODO RIESGO DE DAÑO FÍSICO; LA SEGURIDAD  
INTEGRAL DE LA EMPRESA

---

"RIESGOS EXTRAORDINARIOS" ( Angel Arévalo Barroso)

El planteamiento de los riesgos extraordinarios o catastró-  
ficos de naturaleza geológica dentro del ámbito de los riesgos in-  
dustriales, cual es el del presente Congreso, no es tarea sencilla,  
al menos con cierto nivel de profundidad y como argumento para la  
adopción de criterios y medidas preventivas en relación con los --  
mismos.

Es cierto que cualquier gerente de riesgos o responsable -  
general de la seguridad empresarial puede y debe plantearse cierto  
número de problemas que, originados o transmitidos por el medio na-  
tural, pueden afectar a la estabilidad funcional de su empresa en-  
forma de siniestro. No es menos cierto, sin embargo, que determina-  
dos fenómenos de carácter geológico se presentan o manifiestan con  
características y magnitudes que escapan a acciones preventivas --  
eficientes, así como, incluso, a aseguramientos específicos respec-  
to de sus consecuencias.

Creo que también en el ámbito empresarial, todavía hoy, la  
sensación íntima de impotencia y pasiva resignación ante las mani-  
festaciones de fuerza colosal de la naturaleza, preside la actua-  
ción humana y social, tal y como ha acontecido a lo largo de los -  
siglos. Por una parte, la imposibilidad o extrema dificultad para  
descubrir causas mediatas del riesgo, por otra, la dimensión --  
cuantitativa de los efectos, imposibles de evitar en muchos casos,  
contribuyen a admitir el peligro con renuncia a la lucha preventi-  
va, esperando que, simplemente, el riesgo no se actualice en si-  
niestro grave durante nuestra personal estancia o responsabilidad.

Coadyuva también a esta actitud social la amplitud de los plazos o periodos de incidencia que empíricamente contrastamos para muchos de esos siniestros, hecho éste que nos aleja demasiado, tanto en el espacio como en el tiempo, del problema y del temor al mismo. Es algo así como el paradigma de la conciencia o conveniencia psicológica y social respecto del accidente, que "siempre les ocurre a otros y lejos de aquí", o aquello de "¡qué cosas pasan por el mundo!".

Para no extenderme demasiado en esta primera parte, tan pesimista como realista (me parece a mí), es preciso convenir, -- además, que no estamos ante riesgos "controlables" o "aislables", al menos no en similitud con los riesgos industriales o personales, digamos, "clásicos". En general, las medidas preventivas disponibles para los humanos frente a los riesgos catastróficos de origen geológico o natural son muy escasas, costosas y de más que dudosa eficacia. No estamos pues, ante un problema social o económico sobre el que nuestra propia gestión preventiva pueda esperarse eficiente, ya que no tenemos datos fiables a nuestro alcance, -- las estadísticas son difícilmente aplicables o identificables a nuestro caso concreto, las relaciones causa-efecto (ya difíciles de analizar) son extraordinariamente variables y complejas, los comportamientos "seguros" sólo parecen potencialmente eficaces si se plantean previamente a nuestra gestión y en entornos mucho más amplios al de nuestra responsabilidad, con una extraordinaria importancia de cadenas de riesgos inducidos o potenciados, etc., -- etc.

Reconozco, obviamente, que ya desde el principio estoy de cantando mi aportación hacia el riesgo sísmico, cuando existen -- otros muchos de naturaleza geológica que no se revisten de esas características tan críticas como las que enuncié y que, por tanto, pueden ser tratados de manera más convencional, con técnicas preventivas homologables y con un enfoque sustancialmente semejante a los riesgos de incendio, de construcción o de explosión, por citar sólo algunos.

Aún asumiendo el sesgo de mi intervención hacia el riesgo de terremoto, estimo obligada una rápida consideración hacia otros riesgos naturales, sin ánimo de exhaustividad ni de sistemática y sin apelar a potenciales, pero lejanos o esotéricos problemas cósmicos que me parece no son del caso, por muy oportuna y realista que debiera ser su apreciación social prevencionista (meteoritos naturales o artificiales, contaminación espacial, intensificación de radiaciones asociadas al descenso del campo magnético terrestre o de la capa de ozono, al "efecto invernadero", a los ciclos bioquímicos del carbono o a los ciclos hidrológicos y de erosión-sedimentación global). Mucho más cercanos, frecuentes e incidentes son los problemas geológicos como los que están ligados a la dinámica externa de la corteza terrestre, cuales son los de deslizamientos de laderas, desprendimientos de bloques, movimientos de dunas, expansividad de terrenos, subsidencias kársticas, dinámica litoral, erosión e inundación. Entre ellos, no cabe duda de que el riesgo de inundación es el de mayor gravedad e incidencia en muchas regiones del globo y particularmente de España, pero no lo trataré por ser objeto de la aportación de mi compañero D. José Luis García Rodríguez.

Hay, finalmente, otros riesgos de carácter natural y geológico que se relacionan con la Geodinámica interna y que, en general, son de más difícil estudio y de mayor gravedad que los mencionados. Son los diapiros, las erupciones volcánicas, los tsunamis y los terremotos.

Conviene, no obstante, clarificar el concepto de "riesgo", sobre todo en el campo de los que nos ocupan. Sería un grave error afectar con el grado de riesgo o peligro la mera potencialidad o la casuística de fenómenos naturales de la dinámica terrestre, aunque se trasladen a la superficie con enormes liberaciones de energía y produzcan grandes modificaciones del suelo. Tales fenómenos no son sino manifestaciones positivas de una tierra viva, tan viva como hace millones de años (principio del actualismo), que sólo entran a formar parte del "peligro natural" cuando inciden sobre el-

hombre y su sociedad, amenazando seriamente sus vidas y sus bienes.

Así, debemos considerar el riesgo geológico como aquella -- condición, proceso o suceso en el medio geológico que supone una -- amenaza para la salud, seguridad o bienestar de una comunidad, ya -- por el daño que puede causar en ella, ya por la alteración de sus -- funciones o de su economía. Resulta obvia la relación del riesgo o -- de la peligrosidad con el daño potencial, superando y restringiendo -- el ámbito de la mera posibilidad de un suceso geológico que puede -- incidir o no sobre la sociedad. Cualesquiera de los casos enuncia-- dos más arriba, cuando se producen en un área desértica (por ejem-- plo) no pasan de ser fenómenos geofísicos, cuya ecuación del riesgo -- es nula, por serlo uno de los factores de la misma (riesgo = proba-- bilidad de ocurrencia del suceso X valor del daño esperado).

De este razonamiento ciertamente simplista, es posible dedu-- cir la evidente consecuencia preventiva inicial y que debería ser -- prioritaria: la incidencia del riesgo sobre la sociedad presupone -- una opción previa de ésta de ubicarse o asentarse en zonas de expo-- sición o de mayor probabilidad del suceso geológico.

Lo anterior es sencillo de decir, pero de enorme dificultad -- para asumirlo como esquema preventivo básico. No sólo sucede que la -- probabilidad del suceso afecta en muchas ocasiones a la superficie -- del Planeta con leyes desconocidas y dudosamente discriminatorias, -- sino porque áreas activas geológicamente suelen ser especialmente -- ricas y justificativas del asentamiento humano desde épocas remotas, -- ya por sus recursos minerales, ya por su fertilidad y potencialidad -- de usos.

A pesar de las anteriores páginas, no pretendo mantenerme -- en la generalización de los riesgos geológicos, sino centrar mi -- atención en el riesgo sísmico, que es el justificante de mi inter-- vención. Terminaré, pues, con estas consideraciones globales apun-- tando tres ideas básicas sobre los riesgos geológicos que, de algu-- na manera, sitúan una ideología preventiva sobre ellos:

- a) Salvo en supuestos muy concretos y parciales, los fenómenos naturales no son evitables. La Tierra mantiene su dinámica. Pero esos fenómenos sólo constituirán riesgos y producirán catástrofes cuando el hombre, sus ciudades o sus bienes se vean afectados por los mismos. La interacción humana con el fenómeno natural se revela como componente necesario para la existencia del riesgo o probabilidad de la catástrofe.
  
- b) El ámbito de potencial incidencia del fenómeno geológico supera casi siempre el de actuación privada o empresarial. Supera incluso el de las autoridades públicas locales y regionales. En muchos casos el riesgo catastrófico puede actualizarse en cualquier punto de la Tierra, cual es el caso del terremoto, con máxima intensidad en sus efectos destructivos y afectando a muchos centenares de Km<sup>2</sup>.
  
- c) Cualquier intento prevencionista sobre los riesgos naturales debe venir precedido de estudios científicos y técnicos capaces (ya que no siempre para conocer sus causas y predecir su actualización) de tipificar y clasificar sus efectos, diseñar protecciones, señalarlas cartográficamente o imponer restricciones en la exposición humana a los mismos. Estas son funciones que han de afrontar las Administraciones públicas pero su aplicación concreta afecta a todos, esencialmente a planificadores -- del territorio, y sus usos, ingenieros o arquitectos proyectistas y constructores, gerentes de riesgo, etc.

Junto a estas características de los riesgos geológicos, estimo conveniente aludir al contenido económico de los daños que producen, al objeto de tener una rápida impresión sobre la dimensión -- del tema que nos ocupa. Ciertamente es que no son frecuentes los estudios fiables en esta materia y que los existentes no dejan de estar sesgados en sus cálculos, en función de características territoriales o riesgos dominantes en cada zona.

Citaré sólo cuatro referencias que considero de elevado interés y significación:

- En los Estados Unidos, Robinson y Spiker (1978) calcularon las pérdidas producidas por riesgos geológicos acaecidos en 1975 en -- 4.900 millones de dólares de aquél año, llevando su proyección a -- los siguientes 30 años para concluir en pérdidas esperables de -- unos 63 billones de pesetas de 1986, con un detrimento de un 0,46% de la renta nacional y una media de cien vidas perdidas por año.

- El Master Plan of California, de 1973, utilizó una metodología similar para llegar a una estimación global en el periodo 1972- - 2002, de 55.000 millones de dólares de 1972 en pérdidas (un ter-- cio de todas las esperadas en los Estados Unidos y sólo para el - Estado de California), equivalentes a unos 30 billones de pesetas de 1986, y a casi un 2% de la renta nacional de aquél país. Parece evidente la incidencia esperable de los terremotos y de otros- fenómenos concretos de dinámica litoral en California.

- En Italia, los estudios de Coteccia (1986) incluyeron el cálculo real de pérdidas sufridas por causa de los terremotos, cifrándose- en 70.000 millones de dólares de 1984 (diez billones de pesetas co rrientes) en el periodo de 1954 a 1984, es decir, de 5.800 pesetas pérdidas por persona y año, esto es, un 0,33% de la renta nacional. Se produjeron, además, unos 5.000 muertos y más de 500.000 damni ficados.

La estimación de daños por todos los riesgos geológicos as cendió para este mismo período 1954-1984, a 24 billones de pesetas corrientes (14.500 por persona y año, es decir, casi el 0,6% de la renta nacional italiana).

- En España los estudios de este tipo no son abundantes y los que- existen muestran un cierto sesgo en función de la motivación cien- tífico-técnica predominante. En cualquier caso, el Instituto Geoló- gico y Mínero de España ha realizado un estudio sobre el "Impacto- económico y social de los riesgos geológicos en España" (1987) ba- sado en dos hipótesis de efectos, que denomina medios y máximos, -

por regiones o comunidades autónomas y por diferentes tipos de riesgos, hasta llegar a estimaciones bastante realistas de unos nueve - billones de pesetas perdidas entre 1986 y 2.016 con la combinación de "efectos máximos" en ese periodo. En el caso de excluir del cálculo la presencia de un terremoto de alta intensidad, dicha cantidad se vería reducida, aproximadamente, a un 60% de la anterior. -- Esas estimaciones nos llevan a detrimentos de la renta nacional entre el 1,2 y el 0,7%, es decir, a cantidades variables entre las -- 7.500 y las 4.500 por persona y año.

No cabe duda de que el problema global de los riesgos geológicos, en su faceta económica, posee dimensión suficiente como para interesar a todos y, entre todos, de forma esencial a los poderes públicos, al sector asegurador y, en general, a las empresas afectadas potencialmente.

#### EL RIESGO SISMICO.

Un terremoto es un movimiento vibratorio de la corteza terrestre que se traduce en violentas y repentinas sacudidas del terreno, producidas por el paso de ondas elásticas (ondas sísmicas) - originadas en un punto de la corteza o del manto superior de la Tierra (hipocentro).

El paso de las ondas sísmicas suele producir daños importantes en las construcciones humanas y transformaciones en el terreno, con grave incidencia sobre las personas. Sus efectos catastróficos han sido tradicionalmente considerados como los más destructivos de cuantos producen los riesgos naturales, produciendo tal impacto psicológico sobre las sociedades antiguas que el fenómeno sísmico se ha incorporado con frecuencia a los relatos legendarios o religiosos.

Las noticias más antiguas sobre terremotos son las recogidas en los registros históricos de China, remontándose más allá de los 5.000 años. La Biblia alude a terremotos de la región mediterránea oriental y los filósofos griegos recogen diversos terremotos, - intentando enfoques racionales para su estudio y comprensión.



La magnitud de los daños que producen los grandes terremotos y, sobre todo, su carácter rápido e impredecible, confieren al fenómeno sísmico un aspecto dramático, de peligro irremediable, temido, pero nunca esperado.

Los intervalos de tiempo entre terremotos catastróficos en cualquier zona del planeta son muy variables. En pura teoría probabilística, en cualquier zona puede producirse un terremoto de la máxima intensidad (calificación por sus efectos destructivos), aunque no de la máxima magnitud (calificación por la energía liberada). Además, los efectos destructivos de un terremoto se pueden extender a zonas de superficie muy variable, desde algunos centenares de  $\text{Km}^2$  hasta --centenas de miles de  $\text{km}^2$ , mientras que sus vibraciones pueden llegar a sentirse en áreas de diez a veinte veces superiores.

Los tiempos durante los que las oscilaciones de los terremotos sobre terreno y estructuras son perceptibles varían desde algunos segundos hasta más de dos minutos, sometiendo a prueba a todas las construcciones de la zona y, dentro de cada una de ellas, a todas sus partes y elementos. Cualquier fallo de proyecto o construcción puede ser causa de su colapso o ruina. Sobre la naturaleza, las transformaciones por terremotos de gran magnitud pueden ser muy importantes, produciendo levantamientos o subsidencias del terreno, desarrollo de fracturas y plegamientos, así como deslizamientos, licuefacciones y densificación de suelos, coladas de barro, etc. que pueden agravar los daños y aumentar las pérdidas o dificultar considerablemente los trabajos de salvamento. Con todo, los daños más visibles e importantes son los que se producen sobre las construcciones humanas por colapso de las estructuras y otros fenómenos inducidos, como incendios u otros, con probables grandes pérdidas de vidas humanas, destrucción de bienes, arrasamiento de ciudades, cambios ecológicos e incluso alteraciones sociales. Hace ya dos mil años, Lucio Anneo Séneca definía ya los terremotos como "capaces de arrasar naciones y hasta grandes regiones, sin dejar huella alguna de lo que fueron".

Con independencia de sus características y gravísimos efectos, los terremotos son fenómenos naturales de enorme complejidad, tanto en su mecanismo causal, como en la propagación de la energía liberada (las ondas se reflejan, refractan, se suman y se modifican en función de los terrenos por los que se propagan), así como en los fenómenos dinámicos que inducen en las estructuras, que han de absorber y disipar la energía que reciben, pero sin superar deformaciones y tensiones compatibles con su estabilidad.

El fenómeno sísmico y su mecanismo causal han sido desconocidos hasta épocas muy recientes. Basta recordar que los primeros sismógrafos fueron construidos a finales del siglo XIX (Milne y Calcani), aunque no pueda hablarse de registros eficientes hasta 1950. La Sismología inicia su andadura a principios del presente siglo; Reid formula su "teoría del rebote elástico" en 1910, tras su estudio del terremoto de San Francisco, en 1906; pero no puede hablarse de ciencia sismológica hasta 1920, tras la publicación del primer Sumario sismológico internacional en 1918. La ingeniería sísmica es aún más reciente, ya que sólo se desarrolla y se aplican sus métodos a partir de 1950, mientras que la asociación internacional se funda en 1960, años en los que se amplía y perfecciona la red mundial de detección, aún en desarrollo.

La causa de la vibración sísmica, en la mayoría de los casos, estriba en la evolución de fallas activas, por la acción de esfuerzos tectónicos, explicados actualmente a través de la Teoría de la Tectónica de Placas. De manera un tanto simplista, puede resumirse esta teoría en que la corteza terrestre está formada por placas que "flotan" sobre los materiales semifluidos, más profundos, de la estenosfera. Dichas placas forman una especie de mosaico cuyas partes se encuentran en movimiento, arrastradas por corrientes de convección, transportando sobre la superficie a las tierras emergidas (explicación de la "deriva continental") y chocando entre sí, o separándose, en su recorrido. Cuando las placas chocan generan tensiones, bien cuando una placa desaparece bajo otra (subducción) y se producen fricciones en que se acumula la energía potencial (que se liberará en forma de terremotos periódicos), bien en las zonas donde las placas se separan (acreción) produciéndose un aporte de materiales del manto hacia la corteza, regenerándose las placas y dando

lugar a las "dorsales oceánicas", que son zonas de vulcanismo y fenómenos sísmicos. Los bordes de las placas son, pues, los que definen zonas sísmicamente activas.

Puede, no obstante, hablarse también de terremotos debidos a movimientos del magma, asociados a fenómenos de vulcanismo, y también de movimientos sísmicos inducidos por la acción humana, como los producidos a causa de labores mineras que dan lugar a golpes de techo y hundimientos súbitos del terreno, o como los inducidos por las variaciones del nivel de agua en el llenado de embalses, o por las explosiones, o por inyecciones fluidas en el subsuelo.

La profundidad del hipocentro o foco sísmico clasifica a los terremotos en profundos (más de 300 km), intermedios (entre 70 y 300 km) y superficiales (menos de 70 km), variable de gran influencia sobre los efectos de los sismos, ya que los de foco superficial actúan sobre áreas reducidas, pero no hay lugar a la amortiguación de sus ondas, por lo que los efectos son grandes. Por el contrario, los terremotos de foco más profundo afectan a zonas más extensas, pero sus efectos suelen ser más leves, ya que se produce una amortiguación debida a la mayor distancia recorrida por las ondas, si bien éstas llegan a reflejarse en un complicado esquema que, a la postre, puede producir efectos mucho más graves.

En general, la expresión de las características de un terremoto se logra mediante los conceptos de intensidad y de magnitud.

La magnitud de un terremoto es una medida instrumental absoluta que depende de la energía sísmica liberada y se mide a partir de los registros sismográficos.

La escala de magnitudes actualmente utilizada se debe a Richter, comprende diez grados (del 0 al 9) y cada uno de ellos produce un movimiento máximo en los sismógrafos diez veces superior al anterior. Se trata, pues, de una escala logarítmica.

La intensidad, por otra parte, es una medida subjetiva, que se relaciona con los efectos de los terremotos, con los daños ocasionados.

nados por los mismos que se evalúan en términos de escalas arbitrarias, la más extendida de las cuales es la ideada por Mercalli y modificada por Wood, Newmann y Richter. Esta escala comprende doce grados (del 3 al 12, en intervalos finitos de 1,5). igual que la utilizada hoy en España, la M.S.K., sensiblemente igual a la de Mercalli modificada.

No cabe duda, en teoría, de que existe una correlación entre magnitud e intensidad, si bien en la producción de daños influyen de manera definitiva diversos factores no controlables, como son los de densidad de población de la zona, el tipo de construcciones afectadas, las condiciones geológicas locales y otras. En general, las intensidades sentidas en un terremoto son máximas en el epicentro (proyección vertical del foco sobre la superficie) y se atenúan con la distancia al mismo según leyes exponenciales propias de cada región litosférica en el globo.

España es un país en el que puede hablarse de una actividad sísmica moderada, aunque zonas localizadas en el Pirineo y, sobre todo, en el sureste peninsular, presentan un riesgo elevado. Esta actividad se produce por la influencia de la gran falla, "Gloria", que separa las placas euro-asiáticas (que empuja hacia el Sur y tiende hacia el este) y africana (que se mueve hacia el norte y secundariamente hacia el oeste, tendiendo a entrar bajo la anterior). Dicha falla recorre el Mediterráneo, cruza por el borde costero del norte de Argelia y Marruecos y pasa al Atlántico hacia las Azores. De esta falla principal derivan numerosas secundarias-transversales a ella, siendo las más importantes por su actividad las del Atlas y las de Nazaret en el centro de Portugal, la norpirenaica y las de Alicante-Cádiz, Carboneras y las Alpujarras.

Los terremotos históricos más importantes en España son el de Olot Campodrón (Gerona, 2.2.1428), que destruyó varias poblaciones y causó unos 500 muertos, intensidad IX; el de Carmona (Sevilla, 5.4.1504), con daños en varias poblaciones ("más de 7,5 millones de maravedíes") y más de 100 muertos; el de Almería (22.9.1522)

con numerosos muertos y gran destrucción de la ciudad; el de Málaga-Sur (9.10.1680) que produjo la destrucción de más del 10% de la ciudad y muy numerosos muertos; el de Torrevieja (Alicante, 21.3.-1829), de intensidad X, con muy grandes daños (8,5 millones de -- reales de vellón) y gran número de víctimas; y el de Arenas del -- Rey (el famoso de Andalucía, 25.12.1884) de intensidad X y magnitud calculada de 6,7, que destruyó mas de dos mil edificaciones, - daños por más de 10 millones de pesetas de la época y más de 900 - muertos. A ello habría que añadir los graves terremotos del norte- de Africa, de Portugal y del oeste del Cabo de San Vicente, en los que no voy a entrar.

Por su importancia y proximidad en el tiempo, el terremoto de Andalucía, de 1884, ha sido el más estudiado en España, constituyendo el "terremoto tipo" para la estimación de daños del riesgo sísmico en la región. Afectó a un área de  $120 \times 70 \text{ Km}^2$ , en las provincias de Granada y Málaga, produciendo unos 900 muertos y unos - dos mil heridos (cifras muy notables si se tiene en cuenta la dispersión de los núcleos urbanos y la escasa población de la zona en esa época), Los daños materiales fueron muy cuantiosos, habiéndose debido reedificar un millar de viviendas y reparar unas 14.000 en - más de 100 núcleos de población, invirtiéndose unos diez millones- de pesetas de entonces (inferiores, sin embargo, a las pérdidas reales producidas sin duda). La violencia del terremoto produjo, ade- mas, fuertes alteraciones sobre el terreno de complicado relieve - topográfico del área epicentral, con numerosos y notables desprendi- mientos (particularmente los del Tajo de Alhama, en que se despren- dieron grandes bloques que arrastraron las casas que se apoyaban - en ellos, siendo ésta la p principal causa de víctimas y daños en este pueblo, con unos 500 muertos y unas 1.000 casas destruidas, en - total, deslizamientos de gran extensión (como en Albuñuelas, en que deslizaron estratos, con más de 100 muertos y casi 500 casas des- - truidas), hundimientos (como el que destruyó completamente la aldea- de Guaro), muy numerosas grietas en el terreno, de hasta 7 kilome- - tros de longitud, fenómenos de licuefacción, alteraciones en el ré- gimen de las aguas (niveles modificados, nuevas lagunas, subidas --

considerables de temperaturas en manantiales, etc.). Remito a los interesados a estudios monográficos editados por el IGN.

Globalmente considerado, el riesgo sísmico es, en España como en otras muchas naciones, el de efectos destructivos y pérdidas - más importantes, aunque uno de los de más incierta probabilidad. Por ello, en la prospección de daños esperables por dicho riesgo, aún para periodos considerables (como el de 30 años empleado con frecuencia) es necesario manejar hipótesis de riesgos "medio" y "máximo", con resultados muy diferentes en cada caso. Así, la hipótesis de riesgo medio (que supone una probabilidad teórica del orden de 1/500 de que se produzca en dicho periodo un suceso máximo), arrojaría -- unas pérdidas de unos 85.000 millones de pesetas, de 1986 al 2.016; -- mientras que la hipótesis de riesgo máximo (consideración de un único suceso con el grado de máxima peligrosidad establecido en cada región, con probabilidad teórica de 1/1.000), arrojaría pérdidas de -- cerca de 3 billones de pesetas en ese periodo, convirtiéndose en el riesgo de mayor incidencia posible de cuantos hemos agrupado como -- riesgos geológicos o naturales, calculándose sus pérdidas en un 40% del total esperado para el conjunto de ellos.

Estas magnitudes de pérdidas son coherentes con las deducidas, ya empírica, ya probabilísticamente en otros países. Así, en Italia -- las pérdidas reales sufridas por los terremotos que tuvieron lugar -- entre 1954 y 1984 ascendieron a los 70.000 millones de dólares de -- 1984, esto es, unos 10 billones de pesetas de 1986, contabilizándose 5.000 muertos y unos 500.000 damnificados.

A nivel mundial, Montadon estimó que entre 1926 y 1950 las -- víctimas mortales ocasionadas por los terremotos ascendieron a -- 351.914, es decir, a más de 15.000 muertes anuales. Grases, en 1986 -- deduce que entre 1960 y 1983 las víctimas mortales ascendieron a -- 770.000, con media anual superior a las 32.000. El mismo autor calcula las pérdidas económicas en esos 24 años en 30.000 millones de dólares, ascendiendo al 47% del total debido a catástrofes naturales -- en todo el mundo.

Si extrapolamos esos cálculos, llegaríamos a cifras de muertos por terremoto en lo que va transcurrido de siglo XX, muy próximas al millón y medio. Los cálculos, sin embargo, son muy difíciles. Generalmente basados en cifras oficiales, hay que pensar que la realidad las supera con cierta amplitud. Existe siempre un cierto sentido de culpabilidad y un deseo de ocultación del impacto económico, de cara al complejo mundo crediticio internacional.

En todo caso, es lógico pensar que el número de víctimas y la magnitud de los daños aumenta con el tiempo, ya que aumenta la población y, sobre todo, la concentración urbanística, industrial y de infraestructura.

Una posible fórmula para la adecuada estimación de pérdidas económicas, propuesta por García Yague en 1985, es:

$$D = R.T.P.$$

Donde las pérdidas económicas equivaldrían al producto de la renta "per capita" por el número de habitantes de la zona donde se han producido destrucciones (intensidad superior a VII-VIII) y por un coeficiente T variable entre 0,5 y 1,5 en función de la concentración industrial y tecnología relativa en la zona.

A la vista de las cifras apuntadas, parecen obviadas las justificaciones para continuar el esfuerzo que se viene realizando en sismología e ingeniería sísmica desde hace no demasiados años.

En cualquier ámbito de la seguridad, pero especialmente en el del riesgo natural y en el sísmico, conviene distinguir los conceptos de previsión (anticipación del conocimiento sobre lo que ha de acontecer), predicción (anuncio de lo que ha de suceder) y prevención (disposición con anticipación, preparación ante lo que ha de ocurrir).

En el campo de la previsión, pueden definirse con cierta exactitud, en lo posible, las intensidades, frecuencias y duracio--

nes de las oscilaciones sísmicas en un determinado territorio. Con la predicción habrían de llegar a definirse las coordenadas hipocentrales, el momento de su producción y la magnitud de un próximo terremoto. Finalmente, la prevención ha de permitir tomar las medidas necesarias para mitigar o eliminar los efectos nocivos de los terremotos. Estas medidas serán tanto más coherentes con los efectos a resistir o mitigar cuanto más certera sea la previsión y, en su caso, la predicción, aunque este último concepto está aún lejos de plasmarse en posibilidad real frente al riesgo sísmico.

En líneas de prevención (siempre basada racionalmente en la experiencia vivida), parece claro que el hombre reconstruiría, en zonas de frecuentes terremotos, repitiendo las formas que hubieran resistido a los mismos, tal y como se considera que se consolidó el estilo bizantino (masivos muros y fuertes bóvedas), como consecuencia de los intensos terremotos que azotaron el Mediterráneo-oriental en el siglo V. La prevención constructiva en zonas agotadas se incorporaría a la práctica artesanal, incluso olvidándose - su origen.

Las primeras normas o recomendaciones escritas para la construcción en zonas sísmicas aparecen al final del siglo XIX, aunque se hayan encontrado referencias a normas del siglo XVII para su aplicación en Hispanoamérica y Filipinas. Se basaban en el estudio directo de las destrucciones en base a los datos disponibles, y pueden considerarse acertadas, a pesar de la ausencia de conocimientos sobre el origen y el mecanismo del terremoto y sobre los fenómenos dinámicos que se producen por su causa.

Con los terremotos de Andalucía (1884), Messina (1906), San Francisco (también en 1906), Mino Owari (1891) y Kwanto, Yokohama o Tokio, se impulsaron los estudios sismológicos y de ingeniería sísmica en todo el mundo con lo que, junto con la creación de observatorios y la investigación físico-matemática de los registros y el estudio sistemático de los terremotos, se fundamentaron las primeras normas sismorresistentes que, no obstante, no aparecen como tales en el mundo occidental hasta 1950, continuando hoy su revisión y perfeccionamiento.



Puedo decir, por propia experiencia, que confeccionar una norma sismorresistente no es una tarea sencilla. Y no lo es, tanto por la complejidad del fenómeno a analizar, como por razones técnicas y económicas en su redacción, aplicación o trascendencia. La mera traslación de normas de otros países, aún con modificaciones, es tarea difícil y puede resultar muy peligroso por las implicaciones con los métodos constructivos, las formas estructurales y de cimentación, así como por la diferente formación técnica o científica de quienes han de utilizar la norma.

Para que una norma sismorresistente pueda considerarse como tal, ha de contener una zonificación del territorio, con indicación de las características de los sismos máximos a considerar en cada zona, unos métodos de cálculo válidos y aplicables y unas recomendaciones (de uso obligado o no) según zonas y tipos de construcciones. En cualquier caso, la norma ha de basarse en estudios de previsión, para garantizar el necesario realismo de las medidas que ha de prescribir. Aportar los modos de oscilación del terreno tipo por el terremoto a considerar o los espectros de respuesta de osciladores -- simples en ese terreno, establecer métodos que permitan deducir las modificaciones que la diferente naturaleza del terreno impone en el fenómeno vibratorio, desarrollar métodos de cálculo con razonable superposición de cargas y efectos, clasificar las estructuras, rechazar formas no recomendables, diseñar detalles constructivos o refuerzos, no son tareas sencillas cuando no se dispone de garantía absoluta sobre el complejo fenómeno dinámico y cuando se piensa en las múltiples construcciones que, al construirse, no van a contar en su gestión o proyecto con un especialista de ingeniería sísmica. El usuario de la norma no va a tener, en general, formación ni práctica en dinámica, las formas y los métodos constructivos varían y evolucionan continuamente y con motivaciones muy diversas y diferentes de la prevención sísmica. Es, pues, preciso incluir en la norma varios métodos de cálculo, simplificándolos para las construcciones de menor importancia e imponiendo los más complejos y precisos para las verdaderamente importantes, ya por su elevado riesgo, ya por su valor o necesidad tras un terremoto destructivo.

Una nueva dificultad (quizás la mayor) estriba en la necesaria adopción de un coeficiente de riesgo o de seguridad, ya que la seguridad absoluta no existe en este campo y las medidas de prevencción suponen un coste social. La adopción ha de ser coherente con el conjunto global de riesgos y necesidades de la sociedad, -- sin menguar recursos precisos a otros fines, siempre mal definibles y sólo subjetiva o políticamente valorables.

A través del estudio de los registros sismográficos se -- puede definir el foco y la magnitud de los terremotos y se pueden identificar los superficiales, intermedios y profundos en zonas me jor o peor definidas (los superficiales, incluso en franjas dife-- renciadas geoestructuralmente). Se pueden deducir los coeficientes sismogenéticos que permiten identificar los sismos, las réplicas, -- los premonitorios y los artificiales con cierta precisión.

Se pueden definir curvas de atenuación de las aceleraciones con la distancia y se sabe que ésta aumenta los periodos de oscila-- ción y la duración de las oscilaciones perceptibles. Se avanza en el conocimiento de las amplificaciones por reflexiones y refraccio-- nes de las ondas.

Con la historia sísmica de una zona pueden determinarse -- frecuencias de magnitudes y profundidades de focos, llevando a for mulaciones de la probabilidad de ocurrencia de magnitudes elegidas en tiempos prefijados.

Si todas estas labores pudieran completarse, podríamos ob-- tener la sismicidad de una zona y la de zonas próximas, pues la ac ción de un terremoto se extiende a muchos kilómetros del foco.

Pero existen muchas e insalvables dificultades, pues los -- registros fiables difícilmente se extienden más allá de los años -- cincuenta y se hace imposible considerar periodos de retorno supe-- riores a los 200 años. Además, no se conocen las características -- de los terrenos próximos a la superficie, por lo que el movimiento vibratorio transformado es una incógnita, aunque conociéramos las-- características del originado en el foco.

Las dificultades intentan eludirse considerando las intensidades, intentando deducir isosistas y epicentros, curvas de atenuación de las intensidades y asignando a tales intensidades unas aceleraciones máximas en el terreno. El problema es árduo, se dan muchas dispersiones y el margen de inexactitud es bastante alto.

Con todo, llegamos a una aceleración sísmica máxima a tener en cuenta en cualquier punto del territorio, esto es, el documento básico de la norma sismo-resistente. Se trata de una aceleración horizontal que se aplica a las construcciones, transformándose en una fuerza de igual dirección y sentido.

Pero la vibración del suelo es el resultado de un conjunto-complejo de oscilaciones y las estructuras reciben esos impulsos y oscilan con sus períodos propios, amplificando por resonancia y minorizando por amortiguamiento. Se hace necesario obtener los espectros de respuesta que son modelos complejos en gráficos trilogarítmicos para obtener aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos que induciría el terremoto de cálculo para cualquier modo de oscilación de un oscilador simple, asimilándolo al que experimentaría la estructura cuando oscilase con dicho modo o período propio.- El problema es mucho más complicado que las simplificaciones de espectros de respuesta de aceleraciones, que fueron intentados, porque se muestran insuficientes, ya que hay deformaciones importantes en función de la distancia (sismo próximos y lejanos) y de la naturaleza del terreno. Además, son muy pocos los países que disponen de espectros correspondientes a terremotos destructivos registrados.

Llegamos así a la realidad de que el conocimiento de la agitabilidad (conjunto de características dinámicas de los movimientos del terreno que pueden afectar realmente a una estructura en una zona) es un logro imposible por ahora y lo será en un futuro próximo (aunque se pueda considerar resuelto en teoría), por la gran cantidad de datos que requiere. Las normas han de aproximarse al problema, adaptando espectros de respuesta generalizados e introduciendo coeficientes deducibles de la propia experiencia y de las características del área considerada.

Las tensiones generadas por un terremoto en una estructura-

se producen por un conjunto de movimientos oscilatorios del terreno, no regulares y multidireccionales. En general, las componentes horizontales son mayores que las verticales y éstas, además, son las mejor asumidas por las estructuras, normalmente, por ser de esta dirección la mayoría de los esfuerzos que han de resistir. Es lógico, -- pues, que se achaquen a los desplazamientos horizontales las destrucciones de los sismos, prescindiéndose de las verticales.

En esta línea, es también lógico que los efectos sísmicos se asimilen a los del viento, con sus ráfagas e intensidades cambiantes. Pero el viento actúa sobre partes exentas del edificio y las acciones sísmicas se introducen en las estructuras a través de las cimentaciones. La simplificación que constituyen los métodos estáticos -- puede ser válida para estructuras de períodos propios bajos, pero no si éstos son superiores a los 0,1 a 0,2 segundos. Los métodos consideran una fuerza estática horizontal cuya cuantía se deduce de los edificios destruidos e intensidad registrada. Es claro que bastaría reforzar esas estructuras para que resistieran una fuerza horizontal igual a la aceleración máxima por su masa, mediante enlaces de sus partes y refuerzos. Son muchas las normas que, por razones prácticas, aceptan este método simplificado estático para las construcciones -- que se califican de escasa importancia, eludiendo cálculos complejos, aunque introduciendo valores empíricamente deducidos y coeficientes de seguridad poco conocidos y estrictos.

Un paso adelante es el dado con los métodos estáticos equivalentes, que son muy aplicados en las normas sismorresistentes de muchos países. En ellos se considera que los fenómenos tensionales y de inercia que surgen en las estructuras son equivalentes a unas fuerzas estáticas que actúan en cada nivel o planta, deducidas en función de la intensidad del sismo, la rigidez de los elementos de enlace entre las plantas y las masas asociadas a cada planta. Esto supone asimilar la construcción a un oscilador múltiple con masas concentradas en cada planta y enlaces de rigidez suma de las de los soportes o columnas. Para aplicar este método es obligado que la construcción tenga cierta regularidad en planta y alzado, sin cambios en la rigidez de los sucesivos niveles, siendo necesario, en todo caso, obtener los períodos propios de la estructura (problema complejo), para lo que se suelen dar fórmulas sencillas y aproximadas para construcciones de ti

pos corrientes.

Como apuntaba, este método se incluye en todas las normas en vigor, limitando su aplicabilidad a las construcciones más frecuentes y con alturas de hasta 10 plantas, habiéndose comprobado su eficacia a través del comportamiento de las estructuras así calculadas durante terremotos destructivos, experiencias que han venido aportando retoques sucesivos del método, sobre todo en la distribución de fuerzas y en la consideración de tensiones generadas por fenómenos de torsión. El método presenta, no obstante, numerosas dificultades y lagunas o problemas no resueltos todavía, tales como su aplicación a construcciones de formas no regulares (impuestas por solares urbanos o por la creatividad arquitectónica), los cambios en los métodos constructivos y en los materiales de construcción, la aplicación de métodos de cálculo en roturas y otros, como la cuantificación de amortiguamientos (ductilidad de las estructuras), la comprobación a efectos de torsión por distribución no simétrica de las masas y rigideces, las posibles tensiones verticales en elementos singulares etc.

En cuanto a los métodos dinámicos, que las normas de la anterior generación (hace 15 años) permitían o imponían para algunas estructuras, devienen obligados ahora para construcciones de gran importancia o en las que no se acepta el método estático equivalente. Se trata, sin embargo, de métodos dinámicos simplificados ya que, siendo imposible conocer los muy numerosos datos que exige un cálculo completo, de poco sirve afinar en los cálculos cuando se desconocen muchos de aquellos, incluído el terremoto real que actuará.

La Norma Sismorresistente vigente en España es de 1974 (la primera lo fue de 1968), pero trabajamos desde hace ya varios años en la nueva Norma. Se han elaborado nueve borradores sucesivos, extraordinariamente discutidos y, actualmente, se encuentra en fase de encuesta técnica que, en el curso del presente mes, ha de cerrarse en un acuerdo global de la Comisión, para constituir un proyecto reglamentario que ha de aprobar el Consejo de Ministros con rango de Real Decreto, que entrará en vigor este mismo año.

El proyecto de norma se considera amplio y moderno, haciéndose necesario por la limitación técnica de la vigente. Sin cansarles con su descripción, les diré que contemplamos unos objetivos ciertamente preventivos al intentar, no sólo la evitación del colapso de las construcciones ante los máximos sismos esperables, sino también los daños estructurales graves ante sismos moderados que tengan probabilidad nada despreciable de ocurrir durante la vida útil de la obra. La norma tiene por objeto proporcionar los criterios que han de seguirse para la consideración de la acción sísmica en el proyecto, construcción y mantenimiento de edificaciones y obras en general, dentro del territorio español, con el fin de evitar pérdidas de vidas humanas y reducir, en lo posible, daños económicos que pueden ocasionarse por futuros terremotos.

La norma se establece con la obligación de su conocimiento y aplicación a todo facultativo autor del proyecto, director de obra o responsable de la explotación, aunque éstos podrán adoptar criterios, sistemas de cálculo o disposiciones constructivas diferentes de las establecidas en la norma, siempre que lo justifiquen debidamente, y bajo su responsabilidad, aunque respetando siempre los datos sismológicos, las cargas mínimas actuantes y la hipótesis básica de cálculo con acción sísmica que la norma define.

La información sismológica básica se presenta en forma de Mapa sísmico y en una lista de localidades, expresando para cada lugar los valores de la aceleración sísmica básica en unidades de la aceleración de la gravedad, dando dos valores diferentes según se trate de considerar los efectos de terremotos próximos o lejanos (éstos con epicentro al oeste del Cabo de San Vicente), debiendo tenerse en cuenta por separado ambas hipótesis. Esta información la consideramos estrictamente fundamental para esta y para futuras normas, por lo que se ha hecho un esfuerzo importante para disponer de la Red Sísmica Nacional, ya completa y de la Red de acelerógrafos, terminada este mismo año.

En cuanto a las construcciones, se clasifican en relación con el riesgo sísmico, según el uso al que se destinan, en aquellas que se califican de importancia moderada (en las que no existe probabilidad razonable de que su destrucción pueda ocasionar víctimas ni interrumpir

un servicio primario ni ocasionar daños económicos a terceros), en las ordinarias (víctimas probables, pérdidas importantes, pero no servicios imprescindibles ni efectos catastróficos) y de especial importancia (servicios imprescindibles, efectos catastróficos añadidos). Los criterios para la evaluación y el cálculo de la acción sísmica se diversifican para cada una de esas clases de construcciones, de manera que la aceleración sísmica de cálculo es, en cada caso, la deducida del Mapa sísmico, excepto para construcciones de especial importancia en que se mayor a aquélla con un coeficiente de 1,4. En todo caso se excluye de la obligatoriedad de la norma el caso de una aceleración sísmica de cálculo inferior a 0,06 g, por considerar que ésta no tiene por qué ocasionar solicitaciones peores que las de otras hipótesis de carga. También se excluyen de vinculación a la norma las construcciones de importancia moderada cuando la aceleración sísmica resulta ser inferior a 0,16.g. Finalmente, se limitan las estructuras de tapial, adobe y mampostería en seco a las construcciones de importancia moderada, cuando la aceleración sísmica de cálculo es superior a 0,06.g.

En cuanto a las construcciones ordinarias, se limita su altura a cuatro plantas como máximo (si la aceleración sísmica está entre 0,12.g y 0,16.g) y a dos alturas (si la aceleración es igual o superior a 0,16.g) siempre que dichas construcciones estén soportadas por muros de fábrica de ladrillo, bloques de mortero y similares fábricas. De estar soportadas por estructuras de muros o soportes de hormigón armado o acero, sólo será preceptivo el cálculo sísmico de elementos singulares (voladizos y piezas exentas, p.ej.) si la aceleración sísmica es inferior a 0,10.g., siendo preciso el cálculo de toda la estructura para valores superiores.

En construcciones de especial importancia, se prohíben las estructuras de muros de ladrillo o bloques, excepto con aceleración sísmica menor de 0,10.g y en edificios de un máximo de dos alturas y, en todo caso, se promueve el cálculo detallado cuando la aceleración es superior a 0,16.g, desaconsejando el uso de métodos simplificados.

Un problema básico, y difícil, de la norma es la definición del espectro de respuesta elástico para movimientos horizontales (representación del cociente de la aceleración de un oscilador lineal con relación a

la del terreno afectado por el sismo), ya que influyen muchos factores en su determinación, tales como el tipo de terreno de cimentación, la distancia epicentral, el período del oscilador, el amortiguamiento y tipo de terremoto.

El cálculo de la acción sísmica se refiere a las sollicitaciones resultantes de los movimientos diferenciales, horizontales y verticales, que se producen entre los elementos de la estructura a causa de la agitación del suelo como consecuencia del terremoto. La hipótesis sísmica se define en la norma a partir del valor de la aceleración sísmica ( $m_a$ ), afectada por los factores proporcionados por el espectro de respuesta elástico normalizado, con la hipótesis de actuación simultánea de la estructura cargada permanentemente y con una fracción (entre 0,5 para vivienda y 1,0 para almacenes) de las restantes cargas variables o de uso cuando éstas sean desfavorables, previendo su excentricidad desfavorable. Se incluyen en la hipótesis las acciones térmicas, las de retracción y las de pretensado (todas ellas con su valor característico y como simultáneas al sismo), aunque no es preceptiva la consideración simultánea del viento, salvo en los casos de situación topográfica muy expuesta.

La hipótesis sísmica se tomará (salvo si existen normas específicas) como una situación accidental, por lo que las acciones permanentes y las variables desfavorables se ponderan con coeficiente unidad y las variables favorables no se incluyen en la hipótesis. En particular, deben calcularse los desplazamientos que puedan ocasionar choques con estructuras colindantes.

La norma establece las bases del método de cálculo dinámico directo, así como el análisis modal espectral con desplazamientos máximos equivalentes, en que no voy a entrar por su especificidad, aunque señalaré que se establecen los modos de oscilación con sus períodos según estructuras, el espectro de respuesta y los coeficientes de comportamiento estructural, incluida la ductilidad.

Un capítulo importante de la norma (el 4º) es el dedicado a prescripciones constructivas en el diseño (se desaconsejan las plantas asimétricas), en la disposición de masas (ha de procurarse la uniformidad con



cargas fuertes en torno al eje de la construcción y evitarse grandes cargas en niveles últimos), en los elementos estructurales (rigideces simétricas en planta y variación gradual en altura, se desaconsejan plantas diáfanas con las restantes muy compartimentadas), se estudia la interacción con elementos estructurales y no estructurales y los elementos críticos a sismo (huecos verticales, fachadas, marquesinas, juntas entre construcciones, cimentaciones y su atado). De forma general, se definen criterios constructivos y de diseño para estructuras de muros de fábrica, de hormigón (pórticos, vigas, soportes, cuantías, enlaces y nudos, forjados, etc), estructuras de acero y elementos constructivos, como cerramientos, tabiquería, antepechos, escaleras, carpintería exterior, revestimientos e instalaciones y acometidas.

La norma, finalmente, dedica un breve capítulo a las prescripciones administrativas de su cumplimiento y control del mismo, estableciendo la obligatoriedad de tratar específicamente las "Acciones sísmicas" en todo proyecto de obra nueva, de reforma o rehabilitación cuando afecte a su estructura y corresponda al emplazamiento una aceleración sísmica superior a 0,06.g. Se vincula la comprobación a los organismos competentes que entiendan del visado y tramitación legal de dichos proyectos, responsabilizando al facultativo proyectista, de construcción o conservación, en cada caso, de la idoneidad de las medidas adoptadas en cada fase. Por último, la norma establece la necesidad de realizar un informe de consecuencias y medidas a adoptar tras un sismo de intensidad igual o superior a VII (MSK). Dicha obligación se atribuye al técnico encargado de la conservación o explotación de la construcción y, subsidiariamente, a la propiedad.

Un problema importante (al que la norma española que se proyecta presta atención, aunque ello no es frecuente) es el de prevención de daños como consecuencia de los que denominaremos "pequeños terremotos", es decir, de magnitud inferior a la de cálculo. Un terremoto paradigmático en este aspecto es el ocurrido en San Salvador el 10 de octubre de 1986, que ha sido ampliamente estudiado desde la perspectiva de la ingeniería y del seguro. Hay que tener en cuenta que, por cada terremoto de magnitud 8 y superiores, acaecen por término medio unos 19 de magnitud 7 a 8, unos 200 de 6 a 7 y casi 2.000 de 5 a 6. Los numerosos muertos (más de 1.000) y

cuantiosas pérdidas (unos 2.000 millones de dólares) que causó el terremoto de El Salvador, lo fueron por un sismo cuya magnitud 5,5 y de corta duración, aunque de elevadas aceleraciones. Los daños en edificios modernos con resistencia al corte 0,02-0.03.g., variaron entre el 90 y el 95%; en edificios con 0,03 a 0,04.g. daños medios del 48% y hasta daños del 2% en edificios de la mayor categoría (resistencia al corte del 0,07.g.). Algo parecido sucedió en el terremoto de Agadir, del 29 de febrero de 1960, que arrasó la ciudad, aunque no llegó a magnitud 6. Fue un terremoto muy superficial y con epicentro muy próximo a la ciudad, cuyo daño superó el 80% y perecieron casi 15.000 personas de los 16.700 habitantes. Igualmente el 26 de julio de 1963, la localidad yugoslava de Skopje fue sacudida por un sismo de magnitud 6, superficial y de epicentro a 13 Km. de la ciudad. La destrucción superó el 80% del valor de los bienes materiales de toda la ciudad sin contar otros valores culturales o artísticos y se contaron 1.070 muertos y 3.300 heridos.

Volviendo al terremoto de El Salvador, sorprende comprobar las grandes pérdidas y daños; 2.000 millones de dólares y daños asegurados evaluados en 100 millones de dólares (cuando la densidad del seguro no superaba el 5%) y que éstos no fueron consecuencia de una mala calidad de las construcciones, sino que por el contrario, se observaron en edificios de hormigón con armado superior al normal y con estribos de alta densidad, sin los que los daños habrían sido enormemente mayores. En cuanto al diseño, los daños en los edificios de planta no simétrica (L, U o Z) fueron más de tres veces superiores que en los edificios regulares y simétricos, aunque aquéllos eran menos asimétricos de lo que es frecuente ver en otros países. Datos que proporcionan interesantes consideraciones fueron los siguientes: casi ningún hospital funcionó tras el terremoto y muchos de ellos quedaron destruidos, por lo que la atención sanitaria tras la catástrofe fue muy precaria; se cortó el suministro de agua y el de corriente eléctrica, así como las conexiones telefónicas, con graves problemas de interrupción de procesos y de extinción de incendios; volcaron y se desplazaron numerosísimas máquinas e instalaciones técnicas, por insuficiente fijación o anclaje; en establecimientos comerciales el daño de artículos frágiles y líquidos fue enorme (15% de pérdidas de contenido en una cadena de supermercados, p.ej.); el ma-

por número de víctimas se produjo en los modernos y altos edificios (350 muertos en unos modernos almacenes p.ej.) y estos daños podrían haberse triplicado con muy leves modificaciones de las características del sismo o, simplemente, la subida del nivel freático si se hubiera producido en época de lluvias, siempre según apreciaciones de compañías aseguradoras, las que se plantean serias dudas sobre las tasas de daños y tarifas acuñadas, así como sobre las "inseguridades" inherentes a las normas de construcción antisísmica.

De hecho, varios factores hacen razonables estas dudas del sector asegurador. ¿Cómo es posible que construcciones calculadas en base a la misma norma, sobre un suelo igual y no diferentes en cuanto a calidad de construcción, diverjan tanto en la magnitud de los daños por un mismo terremoto? ¿Influye tanto la orientación del eje largo de un edificio o una pequeña asimetría en planta, como para que una casa quede destruida y otra al lado, permanezca sin daños serios tras el sismo, ambas dentro de una misma colonia?

Si vamos un poco más lejos, podríamos llegar a cuestionarnos si es que es lógico (o no) confiar en un cálculo dinámico basado en la segunda Ley de Newton ( $F=m.a$ ) para el cálculo sismorresistente, cuando sabemos que en este cálculo tenemos muchos datos y variables desconocidos o, al menos, disponibles con error considerable y cuando sabemos que un pequeño error puede llevar a sistemas vibratorios con comportamiento final caótico, ya que las aberraciones aumentan exponencialmente.

En la ingeniería sísmica es necesario plantearse seriamente que los edificios no son osciladores sencillos, que las variables geológicas y los suelos no pueden simplificarse en parámetros simples y que su comportamiento nunca es lineal en el ámbito de las acciones sísmicas. En conjunto, el comportamiento vibratorio del subsuelo y del edificio no es previsible determinísticamente, por lo que el "caos" está prácticamente asegurado, como demuestra la experiencia.

Parece, pues, absolutamente necesario emprender el camino ingenieril de los modelos teóricos con gran cantidad de datos empíricos, calcular dispersiones y desviaciones probables. Sobre todo, parece necesario

(y no es tan obvio como parece) construir bien y a partir de un diseño adecuado. El terremoto somete a una dramática e integral prueba a todas las construcciones en la zona epicentral. La dureza de la prueba será variable con la magnitud del sismo, pero, aunque ésta sea pequeña, un elemento, un nudo, una planta, pueden fallar si están construídas insuficientemente.

Con una construcción correcta sería posible, en mi opinión, evitar tantos o más daños sísmicos que con la aplicación y dimensionamiento adicional que (sólo a veces) proporciona la hipótesis de cálculo sísmico y que, no lo olvidemos, solo produce un encarecimiento adicional de la construcción casi siempre mínimo. Un compañero de la Comisión Permanente de las Normas Sismorresistentes de España dice a veces (y yo creo que con mucha razón) que el cálculo sísmico introduce costes adicionales sobre un edificio comparables al de colocar moqueta en una parte de los pisos y en las zonas comunes.

En esta línea de reconocer la buena construcción como la mejor defensa frente al terremoto, resulta evidente la necesidad de introducir materias de estudio de los fenómenos dinámicos en los programas de formación de ingenieros, arquitectos y técnicos, así como de que la sociedad comience a exigir los sobrecostes y las limitaciones que impone la prevención del riesgo sísmico en zonas de mayor sismicidad.

Para finalizar, querría esbozar mi seria preocupación por el problema actual y real del riesgo sísmico en España. Con independencia del parámetro de probabilidad de un terremoto destructivo en nuestro país (en el que, no lo olvidemos han transcurrido 105 años desde el gran terremoto de Andalucía), mi más grave preocupación se relaciona con el factor de daños esperables. Creo que la construcción y la aplicación de criterios y cálculos técnicos en su proyecto, incluyendo la hipótesis sísmica en los mismos para zonas de riesgo, han mejorado muy sustancialmente en España durante los últimos quinquenios. Nos planteamos, además, una nueva Norma Sismorresistente más moderna y realista que las anteriores, disponemos de mejores criterios para el proyecto y el cálculo de estructuras, incluso de normas internacionales como son los Eurocódigos; mejora progresivamente la eficacia del control administrativo y, sobre todo, la exigencia social para que se cumplan los planeamientos y las Normas. Pero, a

pesar de todo ello, corremos con un enorme pasivo frente al riesgo sísmico, constituido por la enorme expansión de las poblaciones, los asentamientos industriales y las infraestructuras correspondientes, procedentes gran parte de ellos de épocas pasadas, entre 20 y 30 años, en las que las condiciones de planificación, control y construcción esmerada no eran, ciertamente, ejemplares. Por si ello fuera poco, la mayoría de aquellos espectaculares crecimientos se ubicaron en las zonas de la Península con mayor actividad sísmica y riesgo esperable.

Pero, como la preocupación personal no basta por sí sola, es preciso plantearse actuaciones de estudio que puedan servir de base a la adopción de medidas preventivas y, ya que no cabe plantearse un programa serio de sustitución de edificios e instalaciones, parece necesario efectuar estimaciones de posibles daños para su aplicación (al menos) a eventuales actividades en el ámbito de la Protección Civil y como dato para la Sociedad y sus agentes en el continuo proceso de construcción y adecuación o sustitución de infraestructuras y de desarrollo industrial y urbano.

Así, aunque sea sólo un paso inicial y meramente aproximativo, me parece oportuno describir, muy someramente, los estudios de daños pre visibles que causaría un terremoto catastrófico. Tales estudios, reitero que solamente incipientes, se han efectuado hasta ahora en relación con el territorio de la Comunidad Autónoma de Andalucía, dentro de un programa preventivo amplio en que intervienen los servicios de protección civil del Estado y de la Comunidad Autónoma, así como el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (con el Instituto Geográfico Nacional), el Instituto Tecnológico Geominero y algunas instituciones universitarias. Los trabajos, comenzados en 1986, vieron su primer resultado con la emisión y publicación del primer informe del Instituto Geográfico Nacional (debido a Antonio Jesús Martín Martín y a Angel García Yagüe), que va siendo ampliado y perfeccionado y que es al que voy a referirme resumidamente para informar sobre esta línea de actuación.

Con las limitaciones propias de un estudio previo sobre un problema complejo como éste, los autores se plantearon el análisis conjunto de los daños esperables por el terremoto tipo (intensidades M.S.K. de VIII y IX) y de la probabilidad asociada al mismo (riesgo sísmico). Los cálculos se realizaron para posibles terremotos con epicentro variable en una retícula que cubre toda la región andaluza. Los valores de sismicidad adoptados fueron los dados por el Mapa del actual proyecto de Norma Sismorresistente, en sus niveles de probabilidad anual 1/500 y 1/1.000, teniendo presente los datos de intensidades máximas sentidas en los últimos seiscientos años en diversas zonas de la región.

El método de evaluación de daños esperables, sucintamente expuesto, consiste en la suposición de un terremoto de epicentro dado (variable a lo largo de la cuadrícula) y cálculo de la población y del número de edificaciones e instalaciones existentes en el interior de las zonas de máxima intensidad y de intensidades de uno y dos grados inferiores. A partir de esos datos (elaborados con el Nomenclator de 1981 y con los radios medios de atenuación del terremoto de 1884), para cada nivel de daño adoptado se determinaron las fórmulas de cálculo de viviendas y edificaciones afectadas, en función de la proporción estudiada de cada tipo de las existentes (tipos A, B y C de la escala M.S.K. para intensidades IX, VIII ó VII de la misma escala). Sin entrar en detalles sobre su obtención, se llega a fórmulas polinómicas que, en función del número de edificios de cada tipo existentes en cada zona de intensidad, dan el número de edificaciones destruidas y dañadas en cada caso. Por ejemplo, el número de edificaciones destruidas sería dado por:

$$N_d = 0'04 V_7^A + 0'35 V_8^A + 0'04 V_8^B + 0'65 V_9^A + 0'35 V_9^B + 0'04 V_9^C$$

En cuanto a la evaluación de víctimas, en función de la población afectada en cada zona de intensidad (grados IX y VIII, que son los que interesan a efectos prácticos), se llega a:

$$M \text{ (n}^\circ \text{ de víctimas mortales)} = 0'007. P \text{ IX} + 0'00005. P \text{ VIII}$$

lo que proporciona resultados congruentes con los datos registrados históricamente en terremotos ocurridos.

Haciendo deslizar el epicentro del hipotético terremoto por la retícula de amplitud un cuarto de grado sexagesimal, el cálculo se efectuó con dos sencillos programas en un ordenador personal y los resultados se obtuvieron en diferentes tablas, tanto para el terremoto tipo como para el esperable originado en la falla Azores-Gibraltar (considerado por sus efectos específicos sobre edificaciones altas de baja frecuencia de oscilación). Para el primero de los supuestos indicados, los efectos o daños rebasan el ámbito geográfico de Andalucía, extendiéndose a las provincias colindantes de Badajoz, Ciudad Real, Albacete y Murcia, que también se analizan.

En diversas tablas y mapas se recogen esas estimaciones de daños, obteniéndose síntesis generalizadas de los mismos en mapas de peligrosidad (ver figuras) o expresión de daños evaluados para terremotos de intensidades VIII y IX (M.S.K.), contemplando la heterogénea distribución del daño esperable en función de la distribución real de la población.

Las conclusiones se las traslado tan someramente como la descripción del estudio:

- a) Los cálculos probabilistas del riesgo sísmico se generalizan en seis zonas de diferente peligrosidad en Andalucía:
  - a-1.- Dos zonas de máxima peligrosidad sísmica (A y B), que engloban la Depresión de Granada y el extremo suroccidental, al oeste de Huelva capital, con probabilidad anual de un terremoto destructor de grado IX superior a 1/5.000 (superior, por ejemplo, al nivel de riesgo adoptado en el proyecto de centrales nucleares, que es 1/10.000).
  - a-2.- Otras dos zonas (C y D) en que la probabilidad anual de un terremoto de grado VIII es superior a 1/10.000.

a-3.- Dos zonas más (E y F) en que no parecen de temerse daños graves a causas de terremotos (Campo de Gibraltar y área septentrional de Andalucía).

Debe hacerse notar que se ha prescindido de la consideración de factores locales de carácter sismotectónico, que deberán estudiarse en estudios más desarrollados.

b) Los valores medios de daño ocasionado directamente por el terremoto tipo (sin considerar, tampoco, factores locales de estacionalidad, ni daños indirectos o inducidos), alcanzan su mayor nivel para terremotos con epicentros próximos a las grandes ciudades o a áreas de gran población en el litoral, lo cual resulta evidente.

b-1.- Daños extraordinarios afectarían a las ocho capitales de provincia, aunque solo Granada se ubica en la zona A de máxima peligrosidad y Huelva, dañada en 1755, en la B. Ciudades como Almería (destruida en 1522) y Málaga (destruida en 1680) se encuentran en la zona C, como Sevilla (gravemente dañada en 1504).

b-2.- Todo el litoral andaluz (extraordinariamente poblado en varias épocas del año) se halla en las zonas de más alta peligrosidad (A, B ó C), excepto el Campo de Gibraltar. Además, aunque no fue objeto del trabajo, todo el Golfo de Cádiz tiene elevado riesgo de maremoto.

c) A título de mero ejemplo, un terremoto semejante al del 25 de diciembre de 1884, con epicentro entre Alhama y Arenas (36°57' N y 3°59' W), produciría hoy, muy probablemente, no mucho mayores daños que hace 105 años, dada la escasa concentración de población en la zona (estimaciones del estudio en unos 600 muertos y 2.500 heridos graves, con unas 20.000 viviendas destruidas y otras 60.000 seriamente dañadas) pues en la zona de máxima intensidad calculada no vivirían más de 13.000 personas y otras 100.000 en el entorno de su intensidad menor.



Si tal terremoto, sin embargo, se desplazara en su epicentro tan solo unos 30 minutos al este, hacia Alfacar y Dilar, los muertos ascenderían ya a unos 2.200 y los heridos a 10.000, con más de 36.000 viviendas destruidas y casi 150.000 dañadas.

- d) En cuanto a las infraestructuras, los daños de un terremoto semejante en zonas sometidas a intensidades superiores a VII (hasta 40 km. del epicentro), el embalse de Beznar (presa bóveda recién construida) quedaría probablemente inutilizado por importantes movimientos de laderas, La Viñuela sufriría daños en la presa con probable pérdida del servicio durante varios meses, en el embalse de Bermejales (a pesar de ser una presa de gravedad de planta curva) la presa resistiría probablemente, aunque su aliviadero lateral sufriría serios daños y se producirían ondas de avenida bastante reducidas, pero se interrumpiría la explotación hidroeléctrica y serían necesarias reparaciones importantes y urgentes.

Por lo que respecta a carreteras, los daños previsibles en la zona en cuestión, afectarían a la CN-321, de Granada a Málaga, en el Puerto de las Pedrizas, entre la Estación de Salinas y el Puerto, en que se producirían cortes por deslizamientos y asientos en terraplenes y taludes, aunque podría encontrarse una alternativa de acceso, si bien reduciendo la capacidad de tráfico en ambos sentidos a unos 500 vehículos/hora al día siguiente y a unos 1.000 vehículos/hora a los dos días del terremoto. En la misma carretera, entre el Puerto y Málaga, se producirían cortes parciales hasta el Embalse de El Limonero. En la CN-323 (E-103), de Granada a Motril, se podría producir un corte total entre Dúrcal e Izbó, en el que el restablecimiento del tráfico normal podría exigir una semana. Finalmente, en la CN-340 (E-103), de Almería a Málaga, los cortes esperables serían de difícil reparación, ya que serían posibles desplomes de edificios en las travesías urbanas de Málaga a Salobreña, así como el hundimiento de algunos puentes en esa zona y movimientos de la-

dera por corrimientos en la zona La Herradura-Salobreña, junto a deslizamientos de ladera entre Monte Sancho y El Palo.

Las carreteras comarcales sufrirían daños mayores, concretamente en la C-340, de Granada-Alhama-Las Ventas-Colmenar, con roturas importantes por inestabilidad de laderas y desplome de edificios en travesías, así como de algún pontón de vaguadas, entre Alhama de Granada y Colmenar; en la carretera local Riofrío-Colmenar-Casabermeja, los cortes más importantes se producirían en el Puerto de los Alazores, por movimiento de laderas, siendo posibles aludes de fango y detritus en la zona, con fluodificación de arcillas y margas, sobre todo si el sismo se produce en época húmeda; otros cortes de importancia en la misma carretera local serían probables entre Alfarnatejo y Colmenar y entre Colmenar y el Puerto del León, tardándose 2 ó 3 días en restablecerse el tráfico. Otros cortes importantes se producirían en la C-345, de Colmenar a Málaga, y en la C-335, de las Ventas a Torre del Mar, con inutilizaciones puntuales frecuentes por movimientos de laderas y caídas de rocas sobre la vía.

En conjunto, las carreteras de toda la zona pleisostática (IX) quedarían cortadas en múltiples puntos, pudiéndose esperar la disposición de desvíos alternativos con capacidad de tráfico no superior al 50%, pero no antes de las 24 horas del hipotético sismo. Los cortes en la carretera de la costa (pese a no estar en zona pleisostática) serían muy sensibles y difíciles de solucionar antes de las 24 horas.

En los ferrocarriles los daños señalados para las carreteras se verían incrementados por encurvamientos importantes de los railes, y eso en centenares de metros de vía, así como la destrucción o avería sería de enclavamientos y de la señalización, solo reparables al cabo de varios días en

zonas de intensidad superior a VII. El tramo de FFCC Granada-Málaga quedaría particularmente dañado en la zona de Estación de Salinas-Bracana, con interrupción total de tráfico durante una semana, al menos.

El Puerto de Málaga podría reducir su capacidad al menos del 50% y los abrigos y puertos pesqueros y deportivos entre Málaga y Motril quedarían no operativos.

Los Aeropuertos de Granada y Málaga exigirían una revisión de instalaciones con interrupciones no superiores a 12 horas, aunque se estima que conservarían su capacidad de tráfico aéreo.

Finalmente, acueductos, depósitos y abastecimientos urbanos quedarían fuera de servicio en toda la zona con intensidad IX exigiendo más de un mes de trabajos intensivos para su reposición. En zonas de intensidad VIII los daños totales afectarían a la mitad de los servicios, aproximadamente, exigiéndose una semana (en promedio) para la reposición de servicios a poblaciones afectadas.

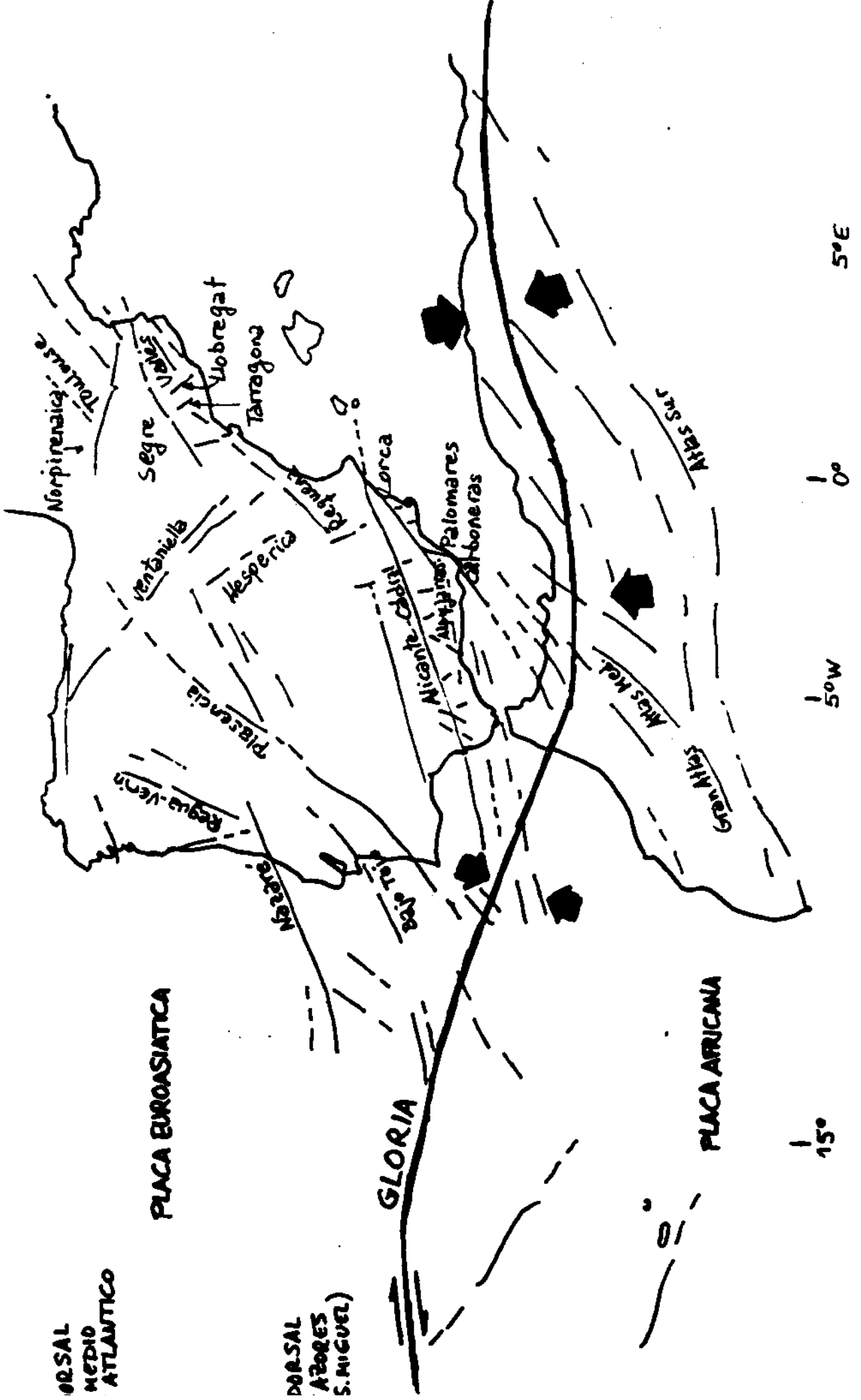
Creo que esta especie de "crónica negra de la Siniestralidad potencial" en una determinada zona de España, aunque incompleta y sólo aproximativa, no deja de ser suficientemente expresiva de los efectos de una catástrofe posible que tiene antecedentes casi inmediatos en nuestra historia y que, desde luego, obliga a una actitud preventiva general. En una problemática como la descrita parece evidente que se superan claramente los límites de la peligrosidad a la que estamos acostumbrados. Pero la prevención integral de riesgos, incluso ante el riesgo sísmico, no sólo es materia pública; se alcanzaría sólo a través de esfuerzos unitarios en muy diversas responsabilidades, públicas y privadas, entre los que aquéllos que tienen por ámbito de aplicación el proyecto, construcción y utilización de los edificios e instalaciones, constituyen casos de singular importancia y trascendencia.

Las conclusiones de esta aportación se encuentran reiteradas en múltiples ocasiones entre las páginas de la misma. Al final sólo cabe una recomendación adicional: el riesgo sísmico no es algo remoto ni ajeno; podría temerse como próximo, incluso, en el plano probabilístico.

Los antecedentes están ahí y sus consecuencias actualizadas serían trágicas para todos, incluidas las empresas que en absoluto estarían indefensas ante sus efectos de contemplar el problema sísmico tan racional y sensatamente como contemplan otros riesgos que parecen más frecuentes e inmediatos.

En mi opinión (que admito deformada por causa de mi responsabilidad actual), puede ser mucho más grave y definitivo construir o explotar una instalación sin adoptar criterios preventivos frente a un terremoto esperable que actuar negligentemente ante el riesgo de incendio, por solo citar un ejemplo típico. En cuanto al sistema asegurador, la subsidiariedad actual del riesgo sísmico respecto de otros, por el procedimiento del reaseguro, me parece muy poco realista y (al menos en determinadas zonas) y, desde luego, muy poco eficaz como potencial contribuidor a una conciencia preventiva necesaria.

ESQUEMA DE LA TECTONICA REGION AZORES - IBERIA-TUNES (UDIAS Y OTROS, 1980-1987).

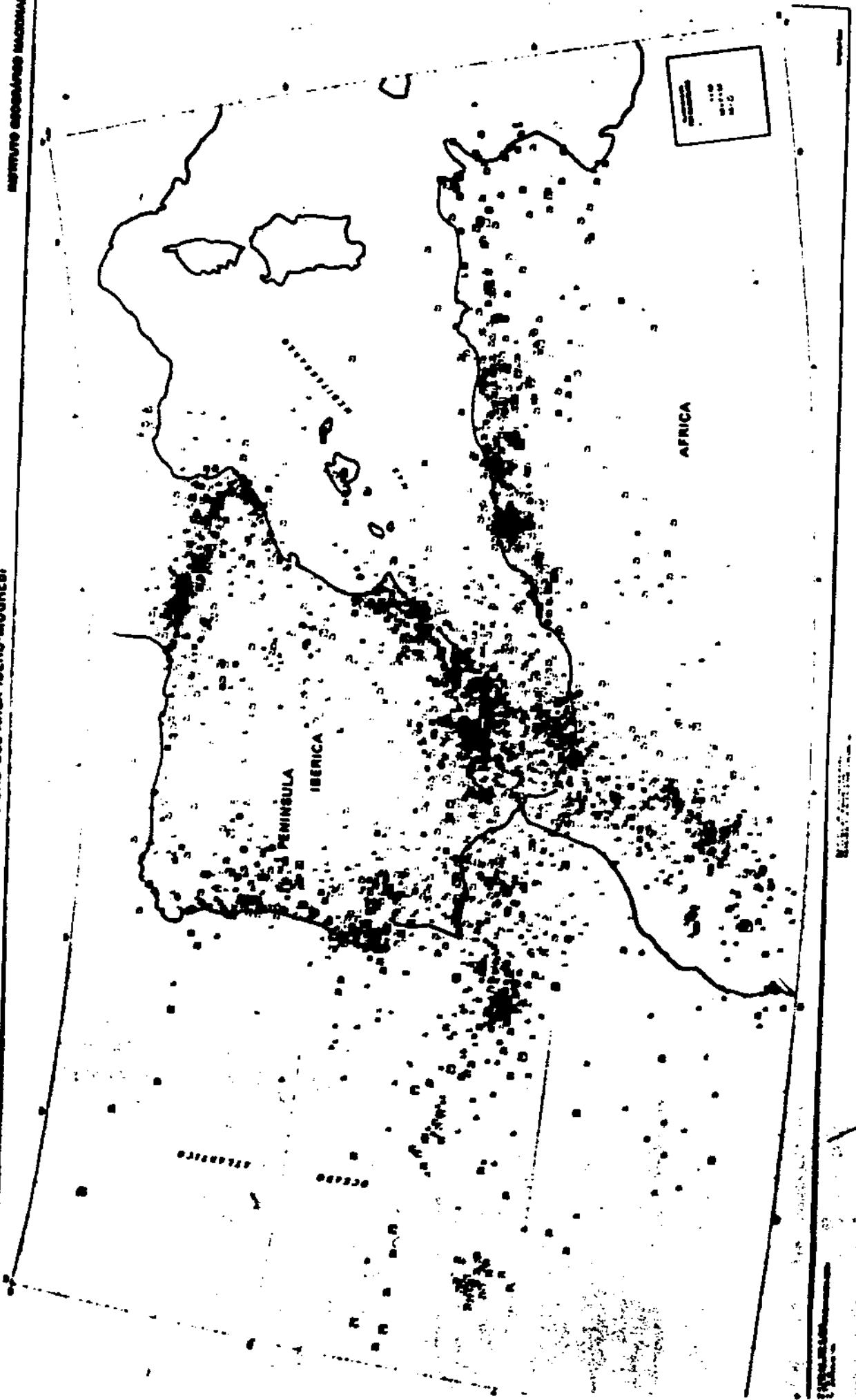


22

ENCUENTRO DE LA CIVILIZACIÓN DEL ÁREA IBERO-MOGRABI

CIVILIZACIÓN DEL ÁREA IBERO-MOGRABI

INSTITUTO ESPAÑOL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



ENCUENTRO DE LA CIVILIZACIÓN DEL ÁREA IBERO-MOGRABI

## TERREMOTOS HISTÓRICOS EN ESPAÑA

- \* 18-12-1.396 EN TABERNES (VALENCIA) - IX
- \* 2-2-1.428 EN OLOT-CAMPODRON (GERONA) - IX -  
(DESTRUCCION VARIAS POBLACIONES, CON UNOS 500 MUERTOS)
- \* 5-4-1.504 EN CARMONA (SEVILLA) -  
(DAÑOS EN VARIAS POBLACIONES, MAS DE 100 MUERTOS)
- \* 9-11-1.518 EN VERA (ALMERIA) - IX
- \* 22-9-1.522 EN ALMERIA - IX - (DESTRUCCION DE LA CIUDAD)
- \* 9-10-1.680 EN MALAGA SUR (DESTRUCCION 10% DE LA CIUDAD)
- \* 13-1-1.804 EN DALIAS (ALMERIA) - VIII
- \* 25-8-1.804 EN DALIAS (ALMERIA) - IX
- \* 21-3-1.829 EN TORREVIEJA-ROJALES-GUARDAMAR - X
- \* 3 y 7-10-1.845 EN TIVISA (TARRAGONA) - VII y VI
- \* 11-11-1.858 EN SETUBAL (PORTUGAL) - IX - X
- \* 25-12-1.884 EN ARENAS DEL REY (GRANADA) - X

# SISMICIDAD EN EL SIGLO XX

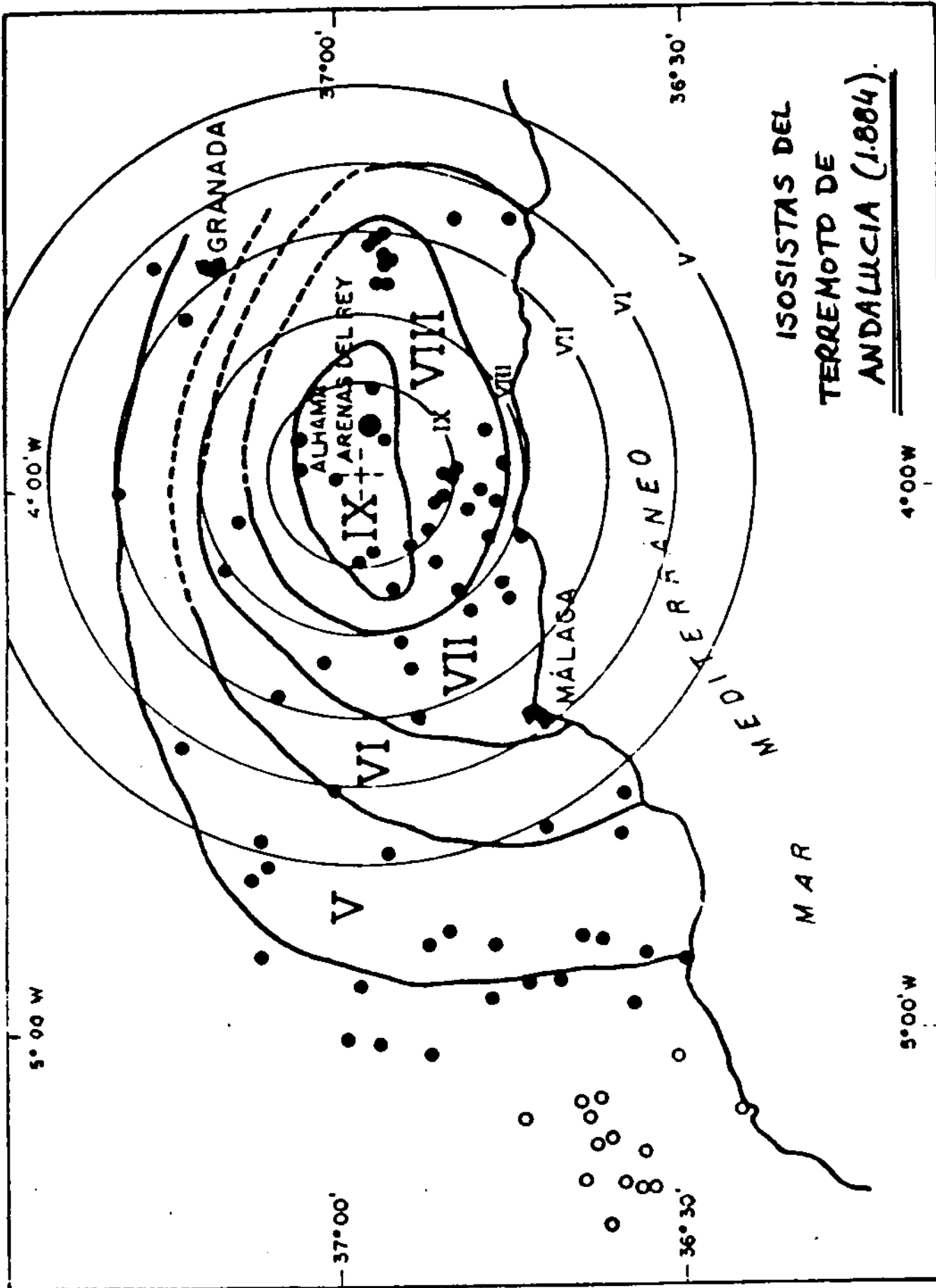
\* MÁS DE 240 TERREMOTOS (I<sub>max</sub> = V) EN LA PENINSULA

## TERREMOTOS "SENTIDOS":

	<u>DE 1900 AL 50</u>	<u>DE 1951 A 1980</u>	<u>DE 1981 A 1988</u>	<u>TOTAL</u>
ZONA PIRINEOS	178	129	32	339
LEVANTE	303	135	27	465
ANDALUCIA ORIENTAL	338	212	51	661
ANDALUCIA OCCIDENTAL	211	83	38	332
	<u>1.030</u>	<u>619</u>	<u>148</u>	<u>1.797</u>

(1.20 POR AÑO)





ISOSISTAS DEL  
 TERREMOTO DE  
 ANDALUCIA (1884).

↑ THIS SIDE UP ↓

↑ FACE SUBERIEUNE ↓

EFFECTOS DEL TERREMOTO DE ANDALUCIA DE 1.884.

SEGUN LOS INFORMES OFICIALES:

PROVINCIA DE GRANADA	690 MUERTOS	1.426 HERIDOS	3.342 EDIF. HUNDIDOS	2.138 ED. T. DESTR.
PROVINCIA DE MÁLAGA	55 MUERTOS	59 HERIDOS	1.057 ED. HUNDIDOS	4.178 ED. RUINA
TOTAL:	745 MUERTOS (2750?)	1.485 HERIDOS (21554?)	4.399 ED. HUNDIDOS	6.316 ED. RUINA

COSTES DE RECONSTRUCCION: 6'5 MILLONES PTAS (OFICIAL) + 3'5 M. PTAS (VARIOS) = 10 MILLONES

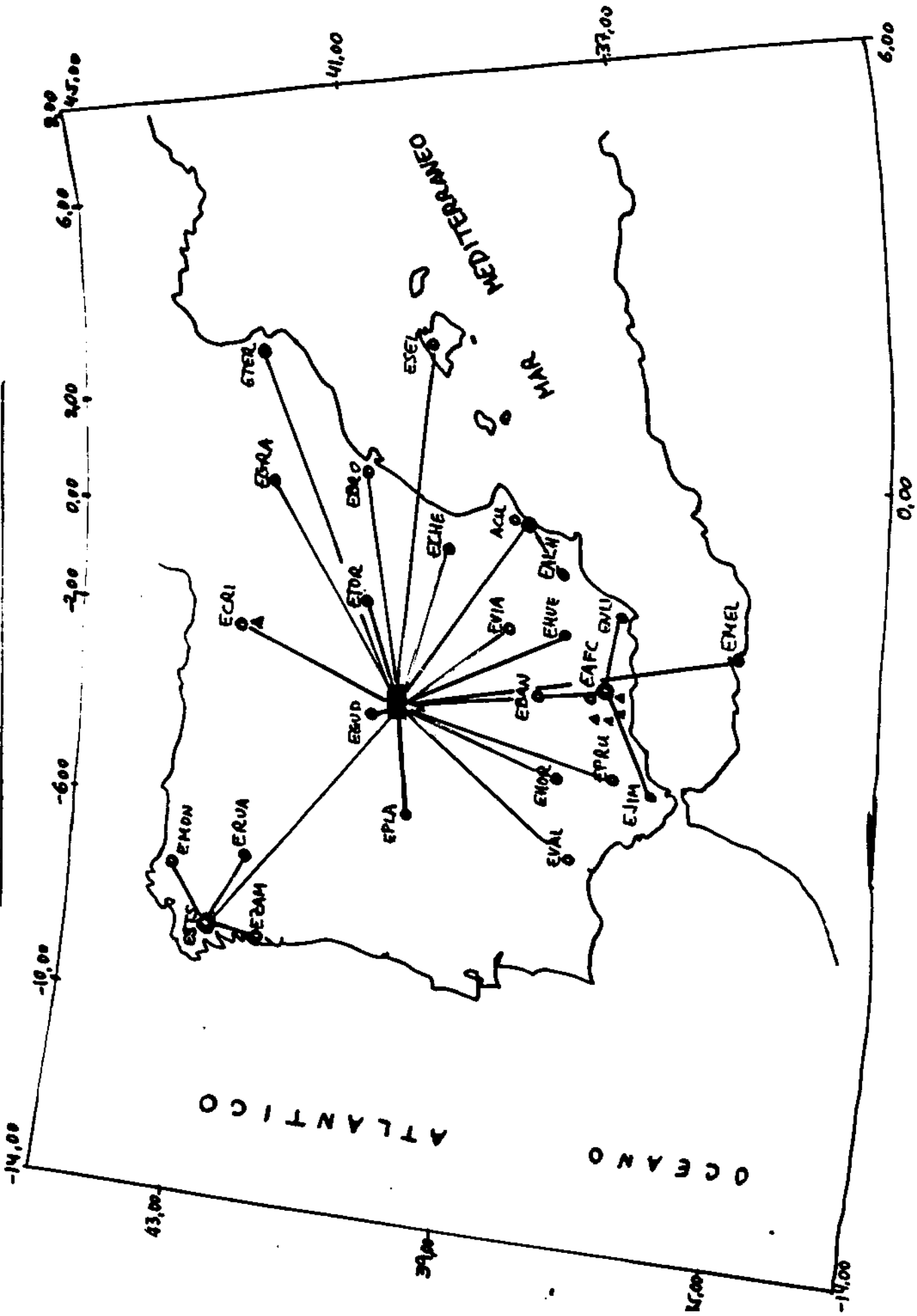
• AYUDAS DEL 75% AL 30% (SEGUN IMPUESTOS PAGADOS), CON LIMITE MAXIMO DE 3.000 PTAS/FINCA

PARA RUINA TOTAL: VALORACION DE 20 PTAS./M<sup>2</sup> DE CONSTRUCCION

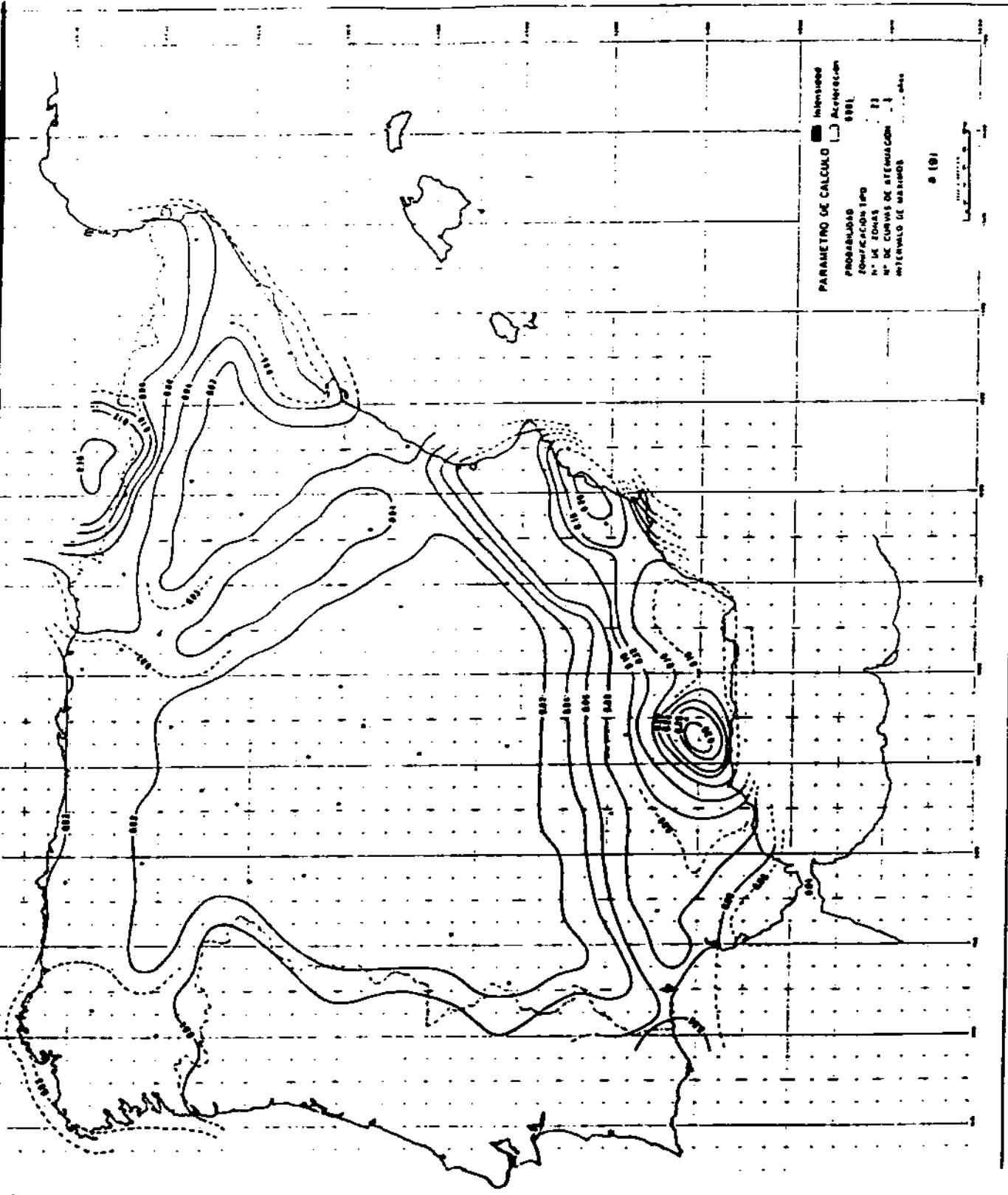
AUXILIO MEDIO POR FINCA: 205'50 PTAS

739 VIVIENDAS CONSTRUIDAS DE NUEVA PLANTA (24 MILLONES) MEDIAS DE 54 M<sup>2</sup> 148 PTAS/M<sup>2</sup>.

# RED SISMICA NACIONAL.



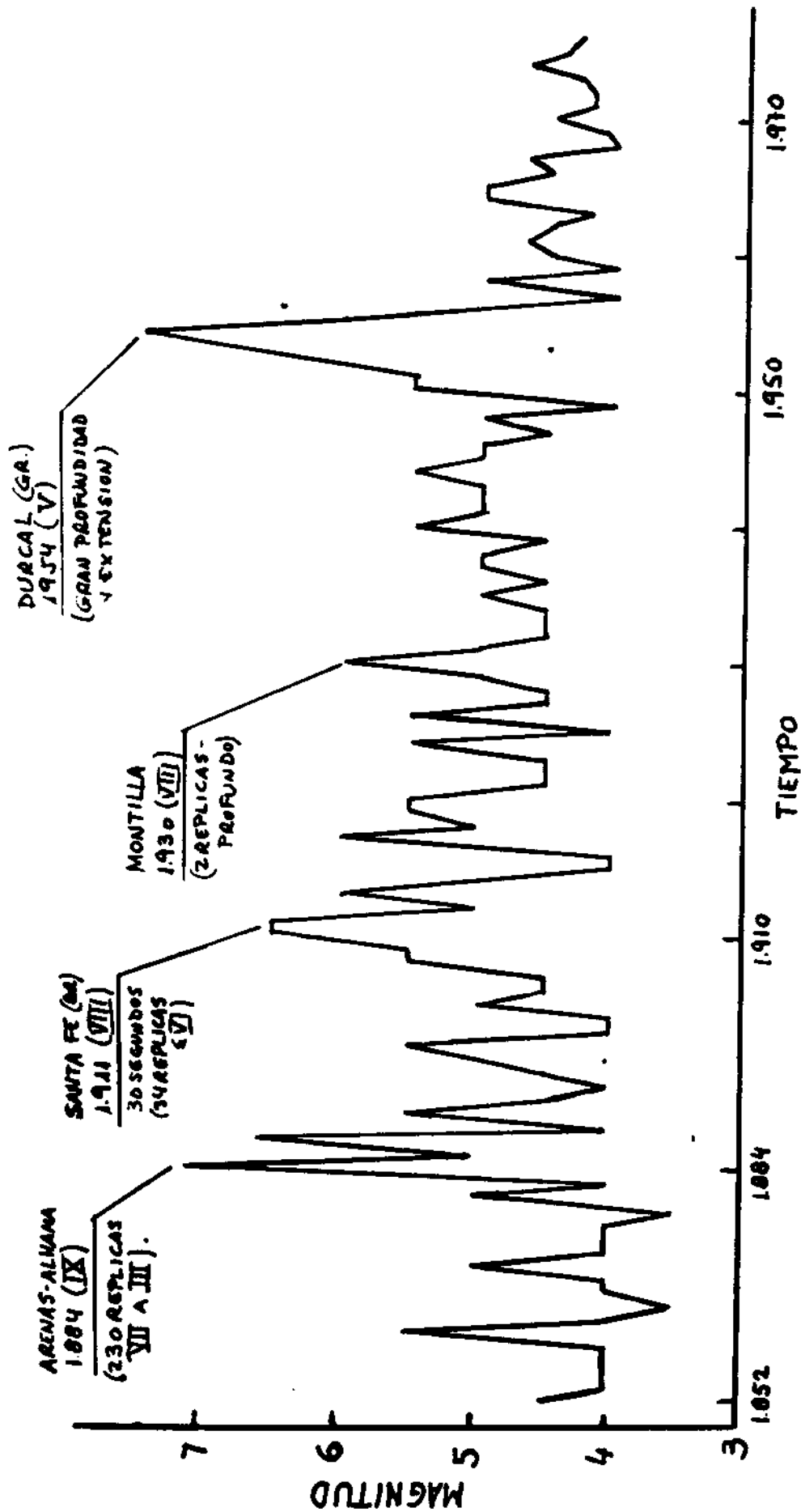
28



3114

MAPA SISMICO (PROYECTO NORMA SISMORRESISTENTE, 1987)

# SISMICIDAD GRANADÁ-MÁLAGA

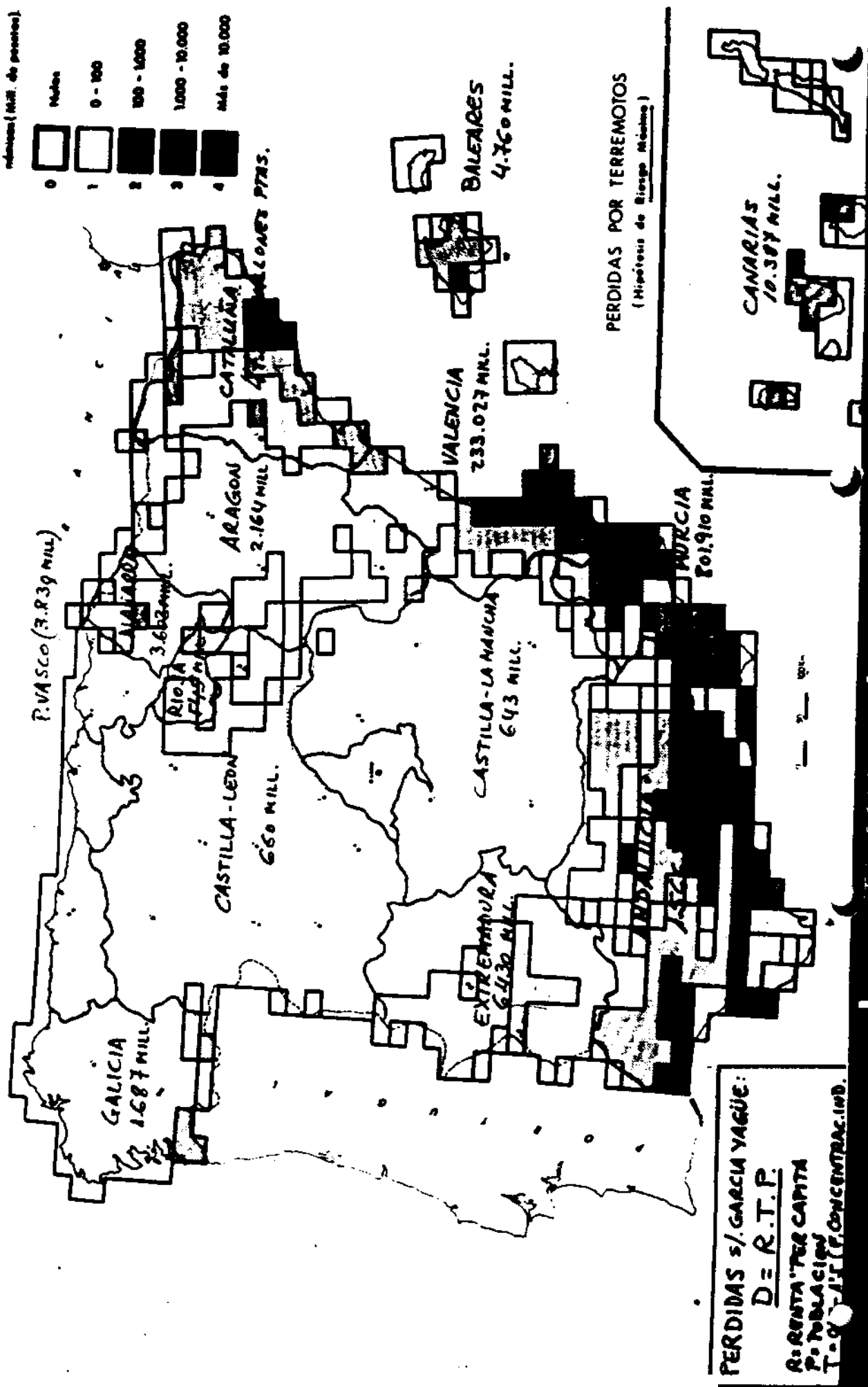
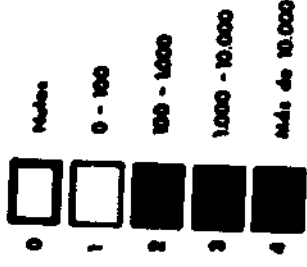


MAGNITUD MÁXIMA ANUAL (DESDE 1.852).

# PERDIDAS POR TERREMOTOS (1986-2016) — 2.684.358 MILLARES P.T.S.

## LEYENDA

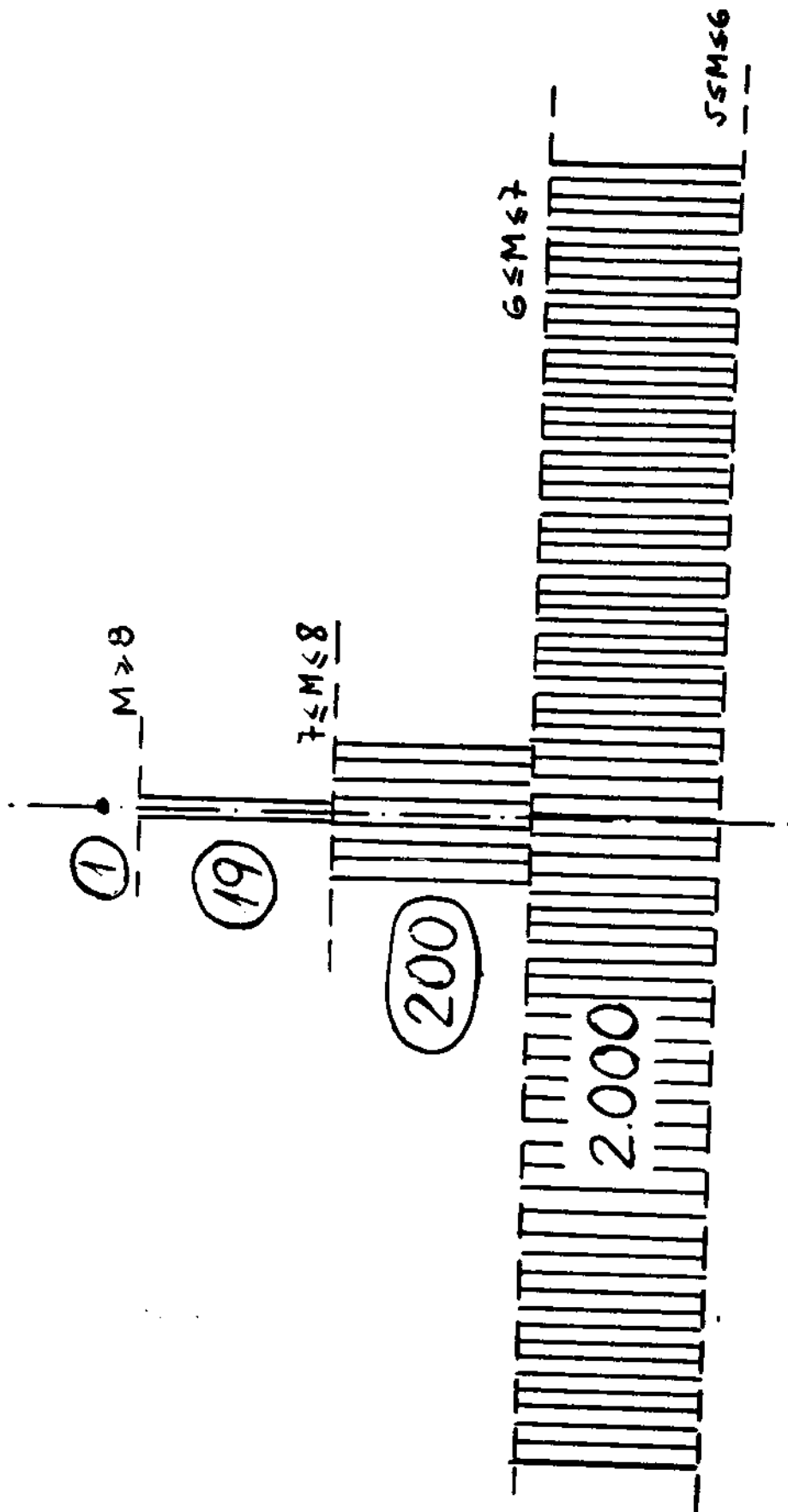
Intervalo de pérdidas económicas (Mill. de pesetas)



PERDIDAS POR TERREMOTOS  
(Miles de Bienes Muebles)

PERDIDAS s/. GARCIA YAGÜE:  
 $D = \frac{R \cdot T \cdot P}{P \cdot T}$   
 R: RENTA "PER CAPITA"  
 P: POBLACION  
 T: O - T (P. CONCENTRACION)

# FRECUENCIA DE SISMOS EN FUNCION DE SU MAGNITUD:



## "PEQUEÑOS TERREMOTOS"

### • SAN SALVADOR (10 DE OCTUBRE DE 1.986)

MAGNITUD = 5.5 ; CORTA DURACION; ELEVADAS ACELERACIONES

MÁS DE 1.000 MUERTOS ; 2.000 MILLONES \$ DE PERDIDAS

90 AL 95% DE DAÑOS EN EDIFICIOS MODERNOS DE BAJA CATEGORÍA (R=0.03g)

48% DE DAÑOS EN EDIFICIOS MEDIOS

2% DE DAÑOS EN EDIFICIOS Y ESTRUCTURAS MODERNAS DE ALTA CATEGORÍA (R=0.07g)

### • AGADIR (29 DE FEBRERO DE 1.960)

MAGNITUD < 6 ; MUY SUPERFICIAL Y EPICENTRO MUY PRÓXIMO

15.000 MUERTOS (DE 16.700 HABITANTES) ; DAÑO > 80% RIQUEZA.

### • SKOPJE (YUGOSLAVIA, 16 DE JULIO DE 1.963)

MAGNITUD = 6 ; SUPERFICIAL ; EPICENTRO A 13 KM.

1.070 MUERTOS ; 3.300 HERIDOS ; DAÑO > 80% VALOR TOTAL.



## FORMULAS DE CALCULO DEL DAÑO PREVISTO:

(A.J. MARTIN, 1986).

$$\text{N}^{\circ} \text{ VIVIENDAS DESTRUÍDAS} = 0,04 V_7^A + 0,35 V_8^A + 0,04 V_8^B + 0,65 V_9^A + 0,35 V_9^B + 0,04 V_9^C$$

$$\text{N}^{\circ} \text{ VIVIENDAS DAÑADAS} = 0,65 V_7^A + 0,35 V_7^B + 0,85 V_8^A + 0,65 V_8^B + 0,35 V_8^C + 0,95 V_9^A + 0,85 V_9^B + 0,65 V_9^C$$

$$\text{N}^{\circ} \text{ MUERTOS} = 0,007 \cdot P_9 + 0,00005 \cdot P_8$$

$$\text{N}^{\circ} \text{ HERIDOS} = 0,03 \cdot P_9 + 0,001 \cdot P_8$$

SIENDO:  $V_i^T = \text{N}^{\circ} \text{ VIVIENDAS TIPO T EN ZONA DE INTENSIDAD I}$

$P_i = \text{POBLACION EN ZONA INTENSIDAD I}$ .



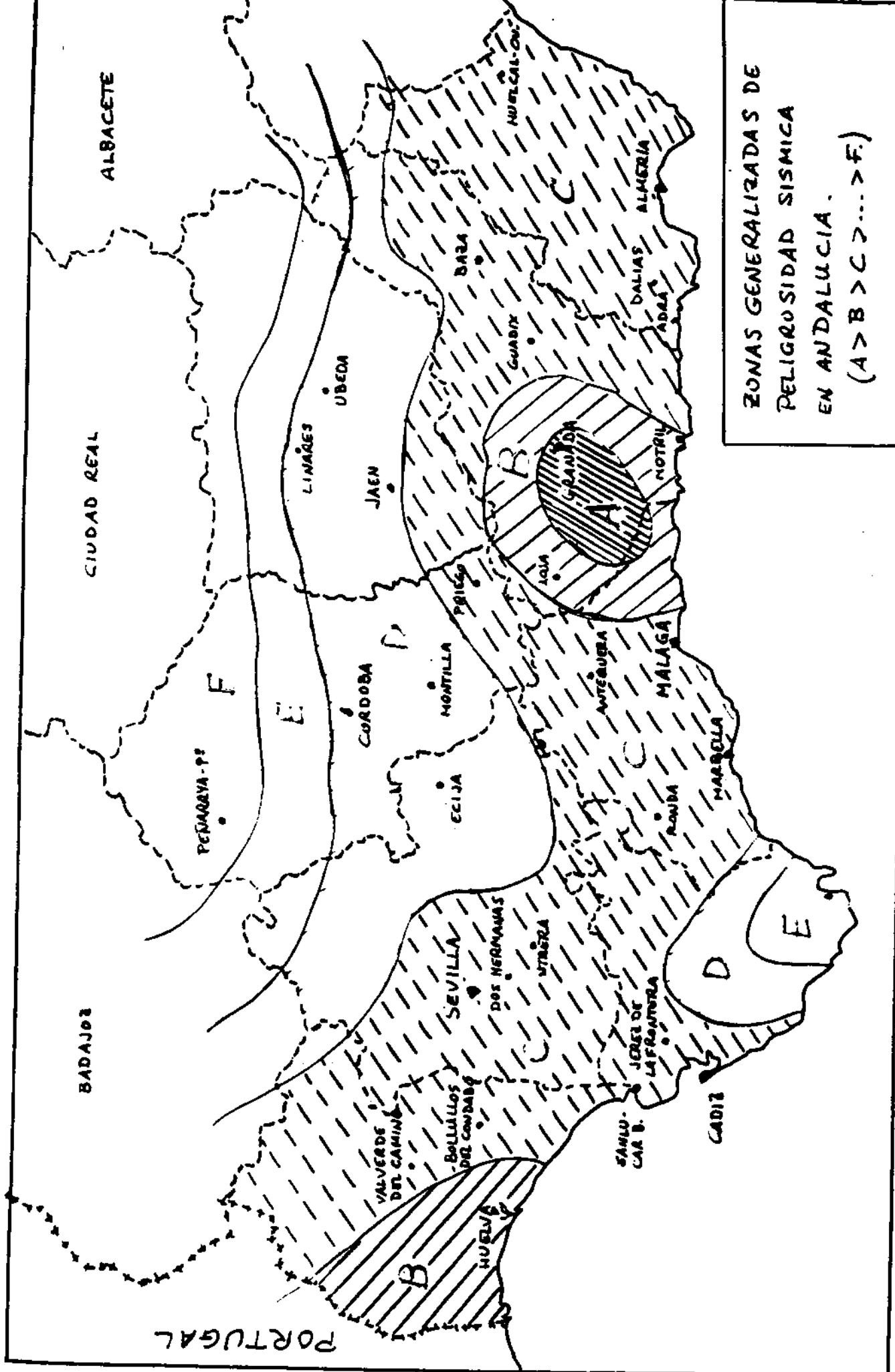
SALIDA TIPO DE LA BASE DE DATOS DE EFECTOS SISMICOS CALCULADOS EN ANDALUCCIA:

COORDENADAS EPICENTRALES		INTENSIDAD MAXIMA DEL SISMO = IX (M.S.K)			
LONG.	LAT.N.	MUERTOS	HERIDOS GRAVES	VIVIENDAS DESTR.	VIVIENDAS DAÑADAS
-6,00	37,00	237	1.056	5.541	52.773
-6,00	37,15	5.457	23.563	50.086	208.431
-6,00	37,30	5.295	22.873	50.291	202.132
-6,00	37,45	10	203	2.704	26.914

CALCULADOS PARA I = IX e I = VIII

HACIENDO DESLIZAR EL EPICENTRO DE 1/4 EN 1/4 DE GRADO DE LONGITUD Y LATITUD

(A.J. MARTIN, 1986).



ZONAS GENERALIZADAS DE  
 PELIGROSIDAD SISMICA  
 EN ANDALUCIA.  
 (A > B > C > ... > F)