

# Estudio Técnico Asegurador de los Riesgos de la Naturaleza en España



## SECCIÓN I. Introducción

1.	Justificación y objetivos del estudio	1
2.	Estructuración	2
3.	Consideraciones actuariales	3
3.1	Métodos de evaluación de los riesgos de la naturaleza	3
3.2	Graduación y evaluación del riesgo en la técnica actual	4
3.3	Información técnica necesaria para el análisis actuarial	5
3.4	Deficiencias derivadas del tipo de información	6
4.	Consideraciones aseguradoras y reaseguradoras	8
4.1	Introducción	8
4.2	Cobertura de terremoto	9
4.3	La pérdida máxima probable (PML)	13
4.4	Ejemplo práctico para terremoto	14
4.5	Otros peligros	20
4.6	Zonificaciones	22
4.7	Control de cúmulos	25
5.	Desarrollo del estudio	26
6.	Conclusiones del estudio	26

## SECCIÓN II. Terremotos

Introducción	31	
1.	Dinámica terrestre	33
1.1	Tectónica global	33
1.2	España en el contexto de la tectónica de placas	34
2.	¿Qué son los terremotos?	39
2.1	Causas de los terremotos	39
2.2	Tipos de terremotos	40
2.2.1	Causas naturales	40
2.2.2	Causas antrópicas	42
2.3	Clasificación de los terremotos según sus características	45
2.4	Las fallas y su relación con los terremotos	46
2.5	Mecanismo de disparo de los terremotos	47
2.6	Profundidad del foco sísmico	47

3.	¿Cómo se observan los terremotos?	53
3.1	Instrumentación	53
3.1.1	Instrumentación con fines sismológicos	53
3.1.2	Instrumentación aplicada a la ingeniería sísmica	54
3.2	Ondas sísmicas	55
3.2.1	Ondas internas	55
3.2.2	Ondas superficiales	56
3.3	¿Cómo se interpreta un sismograma?	56
3.4	Comportamiento de las ondas sísmicas en el subsuelo	56
3.5	Atenuación de las ondas sísmicas	57
3.6	¿Cómo se localiza un terremoto?	58
3.7	Duración de los terremotos	58
4.	Tamaño de los terremotos	63
4.1	Escalas de intensidad	63
4.2	Escalas de magnitud	64
4.3	La energía de los terremotos	65
4.4	Aceleración máxima del terremoto	66
5.	Efectos de los terremotos	69
5.1	Tsunamis	69
5.1.1	Red de alerta de tsunami	71
5.2.2	Seiches	72
5.1.3	Tsunamis en España	72
5.1.4	Recomendaciones de Protección Civil Española en caso de maremoto o tsunami	73
5.2	Deslizamientos y avalanchas	74
5.3	Incendios	74
5.4	Daños en las edificaciones	75
6.	Predicción de los terremotos	81
6.1	Objetivo de la predicción	81
6.2	Métodos de predicción sísmica	81
6.2.1	Predicción temporal	82
6.2.2	Predicción estadística	84
6.2.3	Lagunas sísmicas	85
7.	Prevención de los terremotos	89
7.1	Relación entre los terremotos y la población mundial	89
7.2	Protección Civil como herramienta de prevención	91
7.3	Diseño antisísmico	94

8.	Terremotos en España . . . . .	97
8.1	Regiones sísmicas en la península Ibérica . . . . .	97
8.2	Terremotos destructores en España . . . . .	104
8.3	Sistema de previsión de terremotos en España . . . . .	111
8.4	Escala de intensidades sísmicas usada en España (M.S.K.) . . . . .	116
9.	Zonificaciones . . . . .	133
9.1	Zonificación de niveles de peligrosidad por terremoto . . . . .	133
9.2	Compatibilización del mapa de peligrosidad sísmica con una división territorial . . . . .	135
9.3	Control de acumulación: justificación de la metodología utilizada . . . . .	136
9.4	Mapa de control de acumulación y criterios de realización . . . . .	136
9.5	Futuras opciones de zonificación en consonancia C.R.E.S.T.A	137
10.	El seguro de terremotos . . . . .	139
10.1	La actual cobertura por el Consorcio de Compensación de Seguros . . . . .	139
10.1.1	Modalidad de cobertura . . . . .	139
10.1.2	Exclusiones . . . . .	139
10.1.3	Franquicias . . . . .	140
10.2	La cobertura en México . . . . .	140
10.2.1	Modalidad de cobertura . . . . .	140
10.2.2	Exclusiones . . . . .	140
10.3	La cobertura en Japón . . . . .	141
10.3.1	Modalidad de cobertura . . . . .	141
10.4	La cobertura en Italia . . . . .	142
10.4.1	Modalidad de cobertura . . . . .	142
10.4.2	Exclusiones . . . . .	142
10.4.3	Franquicias . . . . .	143
11.	Riesgo de terremoto. Pautas básicas de evaluación y tarificación . . . . .	145
11.1	Ánálisis de peligrosidad . . . . .	145
11.2	Ánálisis de exposiciones y localización . . . . .	145
11.3	Ánálisis de vulnerabilidad . . . . .	146
11.4	Ánálisis de evaluación y riesgo . . . . .	146
11.5	Criterios de suscripción . . . . .	148

## SECCIÓN III. Inundaciones

Introducción .....	149
1. Geodinámica externa: generalidades .....	151
1.1 El agua en la Tierra .....	151
1.2 El ciclo hidrológico .....	151
1.3 Redes de drenaje y cuencas hidrográficas .....	152
1.4 El perfil longitudinal de un río .....	152
1.5 Interacción hombre-sistema fluvial .....	153
2. Avenidas e inundaciones .....	155
2.1 Definición .....	155
2.2 La llanura de inundación .....	155
2.3 Tipos de avenidas .....	156
2.3.1 Avenidas permanentes, continuas o de desbordamiento ..	156
2.3.2 Avenidas transitorias, momentáneas o discontinuas ..	156
2.4 Causas de las avenidas .....	157
2.4.1 Causas naturales .....	157
2.4.2 Causas antrópicas .....	158
2.5 Efectos geológicos de las avenidas .....	159
2.6 La intervención del hombre .....	159
2.7 Medidas de defensa frente a las inundaciones .....	160
2.7.1 Métodos preventivos estructurales .....	160
2.7.2 Métodos preventivos de gestión .....	161
2.7.3 Procedimientos de emergencia .....	163
3. Las inundaciones en España .....	169
3.1 Influencia del relieve en las inundaciones en España .....	169
3.2 Influencia del clima en las inundaciones en España .....	170
3.2.1 Lluvias de origen frontal .....	170
3.2.2 Tormentas térmicas .....	170
3.2.3 Temporales de Levante y gotas frías .....	171
3.3 Influencia del fenómeno «El Niño» sobre las inundaciones en España .....	172
3.3.1 Definición del fenómeno .....	172
3.3.2 Relación entre el fenómeno de «El Niño» y las inundaciones en Levante .....	173
4. Análisis de las cuencas hidrográficas de España .....	175
4.1 Contenidos .....	175
4.2 Antecedentes de los Planes Hidrológicos del M.O.P.U. 1988 ..	175
4.3 Estructuración del análisis de las cuencas hidrográficas .....	177

Capítulo	4.1	Cuenca norte. Plan Hidrológico I. . . . .	179
"	4.2	Cuenca norte. Plan Hidrológico II. . . . .	187
"	4.3	Cuenca norte. Plan Hidrológico III. . . . .	197
"	4.4	Cuenca del Duero . . . . .	207
"	4.5	Cuenca del Tajo . . . . .	219
"	4.6	Cuenca del Guadiana. Plan Hidrológico I . . .	231
"	4.7	Cuenca del Guadiana. Plan Hidrológico II . . .	241
"	4.8	Cuenca del Guadalquivir . . . . .	247
"	4.9	Cuenca del Guadalete y Barbate . . . . .	265
"	4.10	Cuenca del Júcar . . . . .	271
"	4.11	Cuenca sur . . . . .	287
"	4.12	Cuenca del Ebro . . . . .	291
"	4.13	Cuenca del Segura . . . . .	301
5.	Zonificaciones . . . . .		307
	5.1	Zonificación de niveles de riesgo de inundación . . . . .	307
	5.2	Compatibilización de los niveles de riesgo del M.O.P.U con una división territorial . . . . .	313
	5.3	Control de acumulación: justificación de la metodología utilizada . . . . .	314
	5.4	Mapa de control de acumulación y criterios de realización . . .	314
	5.5	Futuras opciones de zonificación en consonancia con C.R.E.S.T.A . . . . .	315
6.	El seguro de inundaciones . . . . .		319
	6.1	La actual cobertura por el Consorcio de Compensación de Seguros . . . . .	319
	6.1.1	Modalidad de cobertura . . . . .	319
	6.1.2	Exclusiones . . . . .	319
	6.1.3	Franquicias . . . . .	320
	6.2	La cobertura en Francia . . . . .	320
	6.2.1	Modalidad de cobertura . . . . .	320
	6.2.2	Exclusiones . . . . .	321
	6.2.3	Franquicias . . . . .	321
	6.3	La cobertura en Italia . . . . .	321
	6.3.1	Modalidad de cobertura . . . . .	321
	6.3.2	Exclusiones . . . . .	321
	6.3.3	Franquicias . . . . .	322
7.	Riesgo de inundación. Pautas básicas de evaluación y tarificación . . .		323
	7.1	Ánálisis de peligrosidad . . . . .	323
	7.2	Ánálisis de exposiciones y localización . . . . .	323
	7.3	Ánálisis de la vulnerabilidad . . . . .	324
	7.4	Ánálisis de evaluación del riesgo . . . . .	324
	7.5	Criterios de suscripción . . . . .	325

## SECCIÓN IV. Vientos

Introducción	327
1. ¿Qué son los vientos?	329
1.1 Cómo se determina el viento	329
1.2 Fuerzas que producen los vientos	332
1.3 Estructura del viento	333
1.4 Rafagosidad y turbulencia del viento	333
2. Circulación general de la atmósfera	337
2.1 Introducción	337
2.2 Modelos de circulación general de la atmósfera	338
2.3 Vientos locales	339
2.3.1 Brisas marinas y terrestres	340
2.3.2 Brisas de montaña y valle	340
2.4 La corriente en chorro	341
2.5 Centros de presión en el hemisferio norte	342
3. Dinámica atmosférica	345
3.1 Masas de aire	345
3.2 Frentes cálidos y frentes fríos	347
3.3 Ciclogénesis	348
3.4 Centros de acción	349
3.4.1 Depresiones	349
3.4.2 Anticiclones	350
4. Fenómenos atmosféricos excepcionales	353
4.1 Ciclones tropicales	353
4.1.1 Formación	354
4.2 Ciclones extratropicales	355
4.3 Tornados	356
4.3.1 Formación	356
4.3.2 Efectos	357
4.3.3 Localización	358
4.4 Trombas marinas	359
4.4.1 Efectos	359
4.4.2 Localización	359
4.5 Tempestades de polvo	359
4.5.1 Efectos	360
4.5.2 Formación	360
4.5.3 Localización	361

5.	Efectos de los vientos huracanados . . . . .	367
5.1	Construcciones . . . . .	367
5.2	Comunicaciones . . . . .	369
5.3	Agricultura . . . . .	372
6.	La península Ibérica y su relación con los vientos violentos . . . . .	375
6.1	Factores climáticos . . . . .	375
6.2	Masas de aire que afectan a la Península . . . . .	377
6.2.1	Masas de aire frío . . . . .	378
6.2.2	Masas de aire cálido . . . . .	379
6.3	Discontinuidades frontales que afectan a la Península . . . . .	380
6.4	Centros de acción que afectan a la Península . . . . .	381
6.4.1	Anticiclones . . . . .	381
6.4.2	Depresiones . . . . .	382
6.5	Vientos huracanados en España . . . . .	383
6.5.1	Temporales mediterráneos . . . . .	384
6.5.2	Temporales atlánticos . . . . .	386
6.5.3	Torbellinos locales . . . . .	389
6.6	Toponimia de los vientos peninsulares . . . . .	390
6.7	Consejos de Protección Civil en caso de vientos fuertes . . . . .	395
7.	Zonificaciones . . . . .	399
7.1	Zonificación de niveles de riesgo por viento . . . . .	399
7.2	Compatibilización del mapa de riesgo de vientos fuertes con una división territorial . . . . .	403
7.3	Control de acumulación: justificación de la metodología utilizada . . . . .	404
7.4	Mapa de control de acumulación y criterios de realización . . . . .	404
7.5	Futuras opciones de zonificación en consonancia con C.R.E.S.T.A . . . . .	405
8.	El seguro contra el viento . . . . .	407
8.1	La actual cobertura por el Consorcio de Compensación de Seguros . . . . .	407
8.1.1	Modalidad de cobertura . . . . .	407
8.1.2	Exclusiones . . . . .	407
8.1.3	Franquicias . . . . .	407
8.2	La cobertura en el Reino Unido . . . . .	408
8.2.1	Modalidad de cobertura . . . . .	408
8.2.2	Exclusiones . . . . .	408
8.2.3	Franquicias . . . . .	408

8.3	La cobertura en Italia . . . . .	408
8.3.1	Modalidad de cobertura . . . . .	408
8.3.2	Exclusiones . . . . .	409
8.3.3	Franquicias . . . . .	409
9.	Riesgo de vientos. Pautas básicas de evaluación y tarificación . . . . .	411
9.1	Análisis de peligrosidad . . . . .	411
9.2	Análisis de exposiciones y localización (categorías de riesgo) .	411
9.3	Análisis de vulnerabilidad . . . . .	412
9.4	Análisis de evaluación del riesgo . . . . .	412
9.5	Criterios de suscripción . . . . .	413
<b>SECCIÓN V. Apéndice Informático</b>		
1.	Necesidad de diseñar un programa informático . . . . .	415
2.	Objetivos a cubrir por el programa informático . . . . .	416
3.	Entrada de datos: <i>Inputs</i> . . . . .	416
4.	Salida de datos: <i>Outputs</i> . . . . .	420
5.	Información técnica complementaria . . . . .	420
6.	Criterios de suscripción . . . . .	423
7.	Esquema de funcionamiento del programa informático: organigrama .	424
<b>SECCIÓN VI. Glosario . . . . .</b> 427		
<b>SECCIÓN VII. Bibliografía . . . . .</b> 451		

## I. INTRODUCCIÓN

### 1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

La ley 21/1990 de 19 de diciembre, dictada para adaptar el Derecho español a la directiva 88/357/CEE, sobre libertad de servicios en seguros distintos al de vida, y de actualización de la legislación de Seguros Privados, contiene en su artículo 4º un nuevo estatuto legal del Consorcio de Compensación de Seguros.

Este estatuto reconoce al tomador del seguro la facultad de contratar la cobertura de riesgos extraordinarios sobre las personas y los bienes, con entidades aseguradoras que reúnan las condiciones exigidas por la legislación vigente. Dicha cobertura era, hasta ese momento, competencia exclusiva del Consorcio de Compensación de Seguros en régimen de monopolio.

La disposición final segunda de la misma ley, autoriza al Gobierno para que, a propuesta del Ministerio de Economía y Hacienda, dicte las disposiciones necesarias para el desarrollo y ejecución del antes mencionado estatuto legal del Consorcio, facultándole además, para introducir en la normativa vigente de aplicación al Consorcio de Compensación de Seguros, las modificaciones que resulten procedentes en función de las que la propia ley ha introducido.

Todo ello sitúa al sector asegurador español ante la necesidad de realizar los estudios necesarios para afrontar este tipo de cobertura tan especial, en condiciones distintas a una cobertura pública, donde el Estado, en nombre de la sociedad, afronta el riesgo social sobre el fundamento de la solidaridad nacional. Así, los ciudadanos se encuentran amparados por una mutualidad organizada por el Estado que mediante una participación financiera de cada uno de sus miembros, reparte las sumas entre las víctimas de las catástrofes, creando un sistema de compensación en el cuerpo social. El Estado se ve abocado a desempeñar el papel técnico de un asegurador bajo la forma mutualista, donde su principal preocupación es la de mantener el necesario equilibrio entre los ingresos (las primas) y los gastos (los siniestros).

La iniciativa privada, en cambio, se sitúa en la necesidad de incorporar esta cobertura a sus sistemas ordinarios de operación:

- Seguro voluntario.
- Sometimiento a un contrato de adhesión.
- Precio discriminado en función de la exposición real al riesgo.
- Costes de gestión variables.

Sin embargo, la iniciativa privada, dentro de la necesidad de realizar la asunción de estos riesgos dentro de los esquemas técnicos propios de toda operación de seguros, se encuentra con tres dificultades inherentes a la cobertura de riesgos catastróficos:

- Conseguir un número de expuestos al riesgo suficiente y equilibrado.
- Establecer una tarificación basada en técnicas actuariales.
- Controlar los cúmulos y disponer de una capacidad financiera suficiente.

Todo lo anteriormente expuesto lleva a considerar que el sistema más adecuado de tratamiento de estos riesgos universales, es una síntesis de los esfuerzos de los poderes públicos y del sector asegurador privado con el fin de crear un sistema integrado y armonioso de indemnización, por el que se proporcione a los asegurados un verdadero seguro de catástrofes en nombre de la solidaridad nacional y basado en las técnicas aseguradoras.

Por tanto, el objetivo general de este estudio es aportar a este sistema propuesto los elementos técnico-aseguradores necesarios para el tratamiento de los riesgos de la naturaleza, en dos de las tres dificultades que plantea la cobertura privada: la suscripción fundada en criterios técnicos, y el análisis y control de los cúmulos producidos, con respecto, ambos postulados, a los datos proporcionados por la comunidad científica española, convenientemente adaptados y simplificados a las necesidades operativas aseguradoras.

## 2. ESTRUCTURACIÓN

El presente texto queda estructurado en siete bloques que corresponden a:

Sección I	: Introducción
Sección II	: Terremotos
Sección III	: Inundaciones
Sección IV	: Vientos
Sección V	: Aplicaciones informáticas
Sección VI	: Glosario
Sección VII	: Bibliografía

### **3. CONSIDERACIONES ACTUARIALES.**

#### **3.1 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS DE LA NATURALEZA**

Con carácter general, los numerosos estudios existentes sobre evaluación de riesgos de la naturaleza presentan distintas acotaciones, con relación al enfoque y aplicación que sustenta la evaluación. Con frecuencia, esas acotaciones circunscriben el objetivo de la evaluación a hechos y criterios diferenciales, cuyas derivaciones más importantes se refieren a:

##### **Medición del riesgo**

La evaluación puede concretarse en la medición de distintos impactos o efectos acaecidos por la manifestación de un determinado suceso.

Así, en el caso del terremoto, por ejemplo, la evaluación del riesgo sísmico puede extenderse a las pérdidas de vidas humanas, los daños en edificios y propiedades, las pérdidas en obras de infraestructura, cosechas y riqueza natural, etc.

Existe, por tanto, la necesidad primaria de definir el objetivo de la evaluación, amparado en el fin que se persigue con la misma. Tales fines pueden hacer discurrir la evaluación hacia análisis puramente cuantitativos de pérdidas materiales de bienes, estimaciones de necesidades de medios técnicos y humanos para prever planes de evacuación, coste económico y social de las catástrofes potenciales, medida económica de acciones preventivas, etc.

##### **Peligrosidad del riesgo**

En general, en la manifestación de un riesgo de la naturaleza, concurre la asociación simultánea de distintos sucesos, con consecuencias de pérdidas directas debidas al suceso primario, y pérdidas consecuenciales indirectas producidas por sucesos secundarios o peligros inducidos.

En el caso del terremoto, por ejemplo, el peligro primario (sacudida del terreno) está relacionado con situaciones de peligro potencial derivadas de la manifestación de sucesos secundarios, como los tsunamis, la inundación por desvío de los cauces naturales de los ríos, el deslizamiento y corrimiento de tierras por transformación de la orografía, o el incendio y la explosión de los edificios por la destrucción de canalizaciones de gas, electricidad, etc.

En la inundación, el peligro primario (desbordamiento de los cauces naturales de agua) puede estar relacionado con sucesos secundarios, como la avalanchas por rotura de presas, el desbordamiento de canalizaciones y cauces artificiales, la formación súbita de torrentes por precipitaciones de lluvia, el

deslizamiento de tierras o la destrucción de bienes y propiedades por fenómenos de viento y lluvia, simultáneos a la propia inundación.

Resulta preciso, por tanto, acotar y definir la peligrosidad del riesgo en torno a sucesos primarios y secundarios que incidan en la posible evaluación del riesgo.

Ambas consideraciones sitúan convenientemente algunas de las precisiones necesarias que, con carácter básico, deben darse en todo contexto de estudio o análisis actuarial sobre evaluación de riesgos de la naturaleza.

### 3.2 GRADUACIÓN Y EVALUACIÓN DEL RIESGO EN LA TÉCNICA ACTUAL

El uso de la técnica actuarial y su aplicación al seguro, ofrecen, en estos casos, tan sólo una visión particular y restringida de la evaluación de los riesgos de la naturaleza, sujeta a los objetivos y condicionamientos propios de la función aseguradora. Tales objetivos, limitan el análisis actuarial a una especial «graduación y evaluación del riesgo» derivada de los componentes básicos que conforman un programa de cobertura aseguradora. Tales componentes se refieren a:

**Peligrosidad**, distinguiendo entre sucesos primarios y secundarios objeto de cobertura.

**Exposición**, referida al valor de los elementos objeto de cobertura (bienes, propiedades, etc.).

**Localización**, relativa a la situación geográfica y posición de las exposiciones en relación con el suceso o peligro cubierto.

**Vulnerabilidad**, como expresión de la sensibilidad o cuantificación del grado de pérdidas esperadas en las exposiciones, por la ocurrencia e intensidad del suceso cubierto y por la localización geográfica de las exposiciones en relación con la manifestación de tal suceso.

**Medición y evaluación del riesgo**, de acuerdo con las estimaciones de pérdida, media esperada anualmente por elemento asegurado (prima pura de riesgo) y de siniestro máximo esperado (cúmulo potencial por la afectación de muchos elementos asegurados derivada de un mismo evento), en relación todo ello con las condiciones de aseguramiento, tales como la contratación

**P R E F A C I O**

**ESTUDIO TÉCNICO ASEGURADOR  
DE LOS RIESGOS DE LA  
NATURALEZA EN ESPAÑA**



obligatoria y uniforme de cobertura frente a la arbitrariedad de contratación de la misma, la existencia de franquicias o deducibles, la definición de unidad de siniestro (delimitación temporal de las consecuencias de un evento), la existencia de límites de indemnización por suceso, etc.

### 3.3 INFORMACIÓN TÉCNICA NECESARIA PARA EL ANÁLISIS ACTUARIAL

Todos estos componentes derivan en una casuística, que es preciso identificar para satisfacer ciertos requerimientos básicos de información sobre el riesgo y determinación de métodos de evaluación del riesgo, en un análisis actuarial enfocado a coberturas de seguro. Tales requerimientos se refieren principalmente a los aspectos siguientes:

- \* La posibilidad de identificar los factores esenciales y primarios de la manifestación de los fenómenos naturales:
  - Características físicas y geológicas de los sucesos (terremoto, inundación, viento, etc.).
  - Localización de focos o puntos geográficos posibles de manifestación de los sucesos, así como la necesidad de conocer las relaciones o leyes de propagación, y alcance de sus efectos.
  - Condiciones locales geográficas que inciden sobre la mayor o menor intensidad de los sucesos.
  - Circunstancias orográficas y factores físicos de interacción de sucesos simultáneos.
- \* La posibilidad de disponer de registros históricos sobre la manifestación de sucesos, suficientemente amplios en cuanto al período de observación, y homogéneos en el tratamiento de datos, que permitan inferir:
  - La vulnerabilidad de las exposiciones ante sucesos de una intensidad dada.
  - Las características de las exposiciones afectadas por sucesos de una intensidad dada y su vulnerabilidad conforme a factores de

construcción, altura, distancia del origen del suceso, actividad, etc.

Número y distribución espacial de las exposiciones (concentración y dispersión geográfica de los elementos expuestos al riesgo) en las distintas observaciones de sucesos ocurridos.

- \* La necesidad de establecer criterios y métodos de evaluación ajustados a las características de los sucesos.

El empleo de las técnicas actuariales clásicas, basadas en la experiencia pasada de pérdidas en cortos períodos de tiempo para la estimación del riesgo presente y futuro, no parece el método más adecuado, como única metodología de evaluación, para estimar las pérdidas debidas a fenómenos naturales. Se precisan métodos probabilísticos y de simulación, que proyecten hacia el futuro escenarios posibles de la manifestación de estos sucesos.

### **3.4 DEFICIENCIAS DERIVADAS DEL TIPO DE INFORMACIÓN**

Con frecuencia, la información disponible al uso no satisface los requerimientos aludidos, por lo que resulta más bien un ejercicio teórico, a modo de inventario, sobre el avance en el tipo de información mínimamente precisa para efectos de evaluación con fines aseguradores.

Junto a esto, el estado de la técnica actuarial no está exento de limitaciones importantes, debido a la implementación de técnicas y modelos de evaluación sujetos a grandes incertidumbres que han de ser cuantificadas. Tales incertidumbres se refieren principalmente a:

- \* Incertidumbre sobre la ocurrencia de sucesos de diferente intensidad, así como sobre la expansión geográfica de sus efectos.
- \* Incertidumbre sobre la localización de sucesos posibles.
- \* Incertidumbre sobre la vulnerabilidad de las exposiciones (grado de pérdida), en función de la intensidad del suceso y distancia al punto de manifestación.

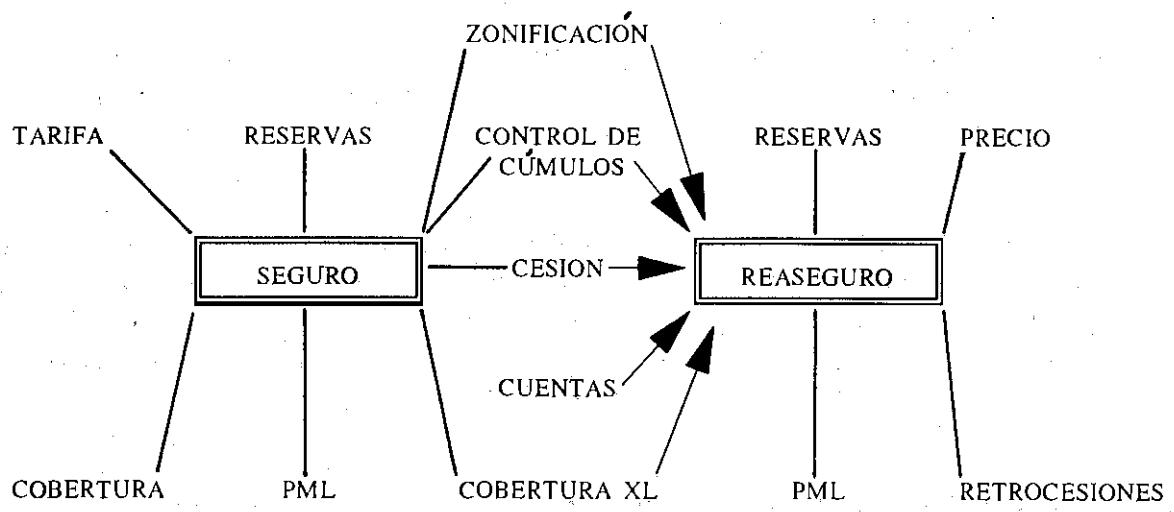


Fig. I.1 Interrelación asegurador-reasegurador. Tomado de Munich Re. 1981.

En torno a estas incertidumbres, el análisis actuarial de los riesgos de la naturaleza requiere un enfoque multidisciplinar, en el que se conjuguen los distintos grados de técnica, conocimiento e información sobre el comportamiento y manifestación de los fenómenos naturales objeto de estudio.

Dichas técnicas deben permitir acotar tales incertidumbres y servir de base a las limitaciones y estimaciones contenidas en todo análisis, con relación a la peligrosidad del riesgo y la vulnerabilidad de las exposiciones. Ambos aspectos constituyen el eje fundamental de la evaluación del riesgo, junto a los otros dos componentes, de consideraciones más prácticas y operativas para el asegurador, como son el valor de las exposiciones y la localización geográfica de las mismas.

Los objetivos básicos de todo análisis actuarial, deben tender a las estimaciones de primas equitativas y suficientes, conforme a las clases de exposiciones y factores de riesgos, así como la estimación de la pérdida máxima esperada, compatible con un cierto nivel de confianza, de acuerdo con los objetivos de solvencia del asegurador.

Dentro de ese contexto, es obvio que el análisis de evaluación del riesgo requiere un modelo de gestión absolutamente dinámico, en el que se conjuguen las informaciones precisas de los cuatro componentes básicos de la evaluación (peligrosidad, vulnerabilidad, exposición y localización), de cara al refinamiento de la tarificación y estimación de la pérdida máxima esperada.

#### 4. CONSIDERACIONES ASEGURADORAS Y REASEGURADORAS

##### 4.1 Introducción

El incremento de la riqueza de los países, la evolución de los riesgos existentes y la aparición de nuevas tecnologías incrementan tanto los valores expuestos a cúmulos catastróficos, que ponen en dificultades, y aun superan, el potencial financiero de los aseguradores y reaseguradores. Todo ello necesita un perfeccionamiento de las bases científicas y técnicas del seguro para lograr un paraguas protector óptimo.

Ello exige, fundamentalmente, que los costes de las exposiciones sean calculados fiable y fielmente, sin que este tipo de riesgos entren en la espiral de feroz competencia desatada en casi todos los ramos del seguro en nuestros días.

Para que este tipo de riesgos catastróficos sigan siendo asegurables, no existe más camino que una política técnica de suscripción que respete los parámetros intervenientes: tarifas, coberturas y reservas.

Un diagrama esquemático de la interrelación asegurador-reasegurador puede representarse según la fig. I.1  
(Tomado de Munich Re., 1991.)

#### 4.2 Cobertura de terremoto

El fenómeno del terremoto es el más ampliamente analizado, ya que aproximadamente desde 1900 se dispone de registros científicos, pero algunas consideraciones de este fenómeno son igualmente válidas para otros eventos.

Esta historia científica permite cuantificar la vulnerabilidad de edificaciones en forma de daños promedio. Las curvas de Shah y Sauter así lo manifiestan (ver figura I.2) o bien, de forma más simplificada como lo muestra la figura I.3.

Conforme a estos datos y a los períodos de recurrencia estimados, es relativamente fácil calcular la prima para una zona y categoría de riesgo dada:

ZONA DE RIESGO SÍSMICO: 2 CATEGORÍA DE RIESGO: EDIFICIOS				
Intensidad (escala MM)	VI	VII	VIII	IX
Período de recurrencia (años)	25	70	200	350
Daño promedio esperado para la categoría de riesgo considerada	0,5%	2,5%	9%	20%
Costo promedio anual de daños	0,5 / 25	2,5 / 70	9 / 200	20 / 350
Prima de riesgo neta anual	$0,1580\% = 1,580\%$			
(sin considerar franquicias, recargos, gastos de adquisición y administración, recargos para fluctuaciones y beneficio)				

Tabla I.4 Cálculo de la prima para una zona y categoría de riesgo.

Si además se quieren incorporar ciertos factores correctores, y eligiendo un período de 50 años como vida útil promedio, puede estimarse, para un país subdividido en zonas, la tarifa siguiente:

Zona 0 = Intensidad máxima probable en MM	$\leq V$
Zona 1 =	$= VI$
Zona 2 =	$" > VII$
Zona 3 =	$" = VIII$
Zona 4 =	$" \geq IX$

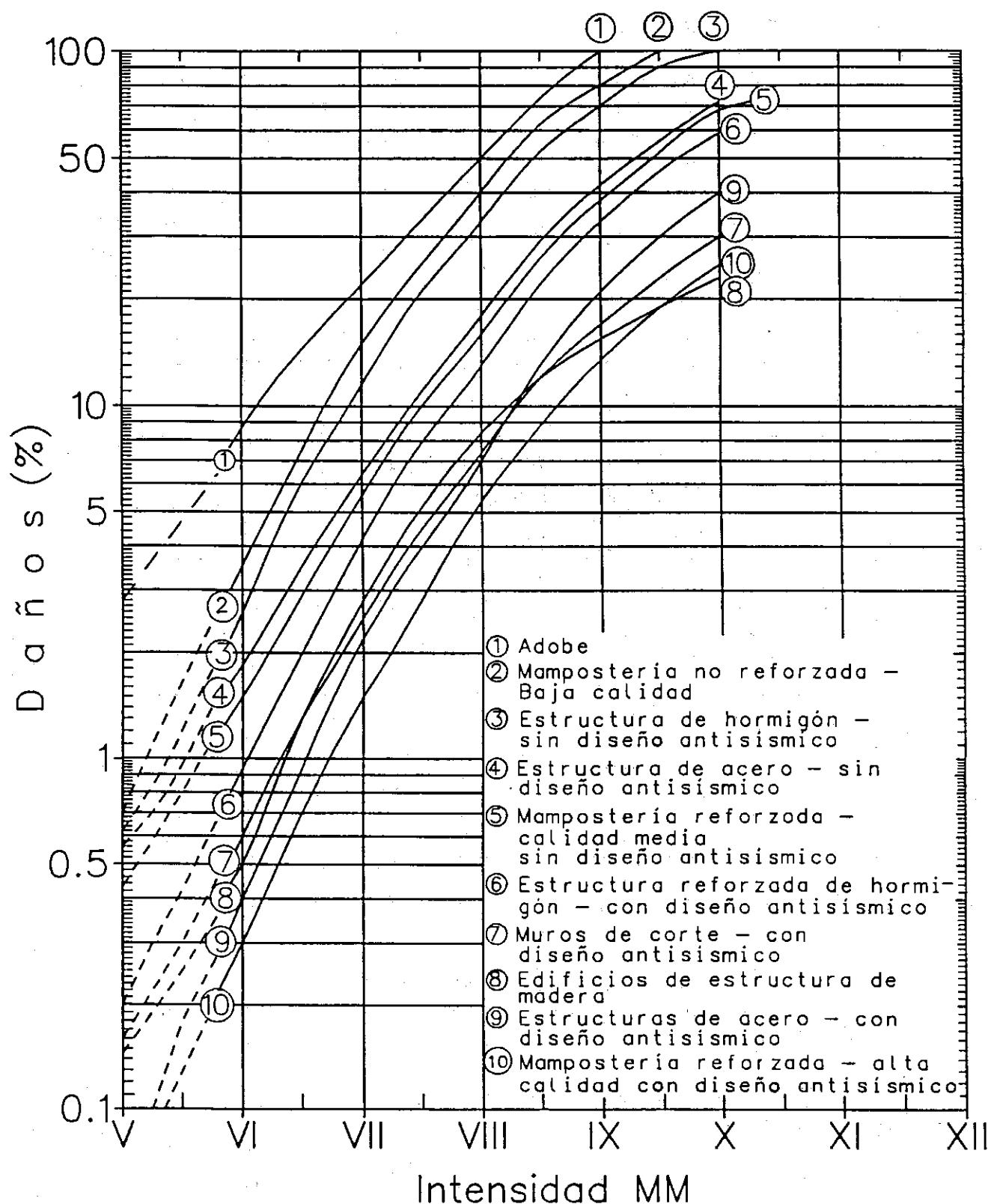
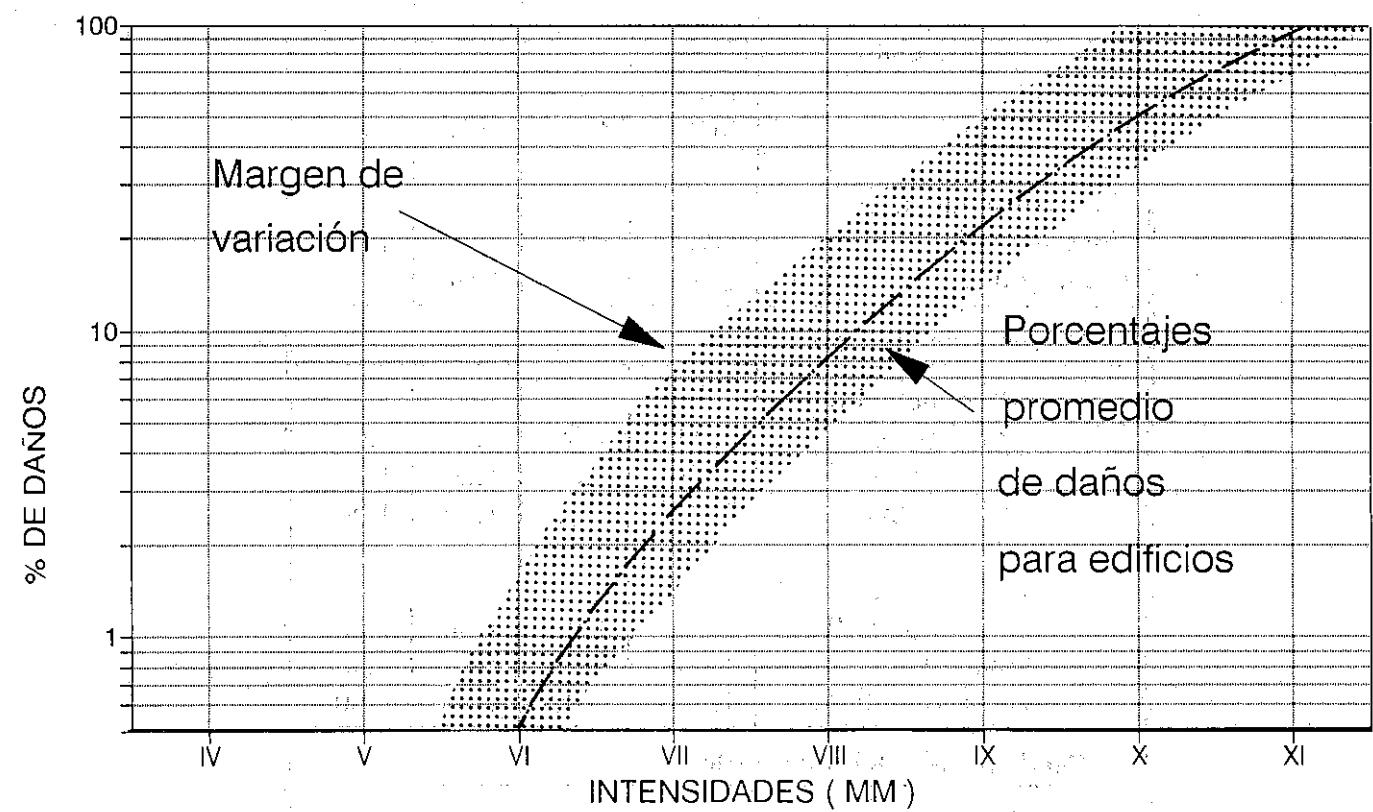


Fig. I.2 Tasas de daño promedio para edificios. Según Shah y Sauter. 1978.



1. Prima de riesgo neta					
Categoría de riesgo	Zonas de riesgo sísmico				
	1	2	3	4	
Viviendas					
Edificios	A %	B %	C %	D %	
Contenido	E %	F %	G %	H %	
Edificios comerciales					
Edificios	I %	J %	K %	L %	
Contenido	M %	N %	O %	P %	
Edificios industriales					
Edificios	Q %	R %	S %	T %	
Contenido	U %	V %	X %	Y %	
2. Factores de recargo					
2.1 Altura del edificio					
1-6 pisos	1,00	1,00	1,00	1,00	
7-14 pisos	1,ab	1,ac	1,ad	1,ae	
15- pisos	1,ba	1,bc	1,bd	1,be	
2.2 Edad del edificio					
anterior a 1950	1,ba	1,bc	1,bd	1,be	
1950-1970	1,ab	1,ac	1,ad	1,ae	
posterior a 1970	1,00	1,00	1,00	1,00	
3. Participación del asegurado					
3.1 Franquicia	x %				
3.2 Coaseguro	y %				

Tabla I.5 Cálculo de tarifa de terremoto.

Llevando las anteriores escalas gráficas a valores numéricos, tomando valores promedio y en función de determinados ajustes específicos, la siguiente tabla puede indicar los porcentajes de daño esperado en función de la intensidad (MM), al margen del tipo de construcción:

Categoría de riesgo	Intensidad (MM)				
	VI	VII	VIII	IX	X
Viviendas y Oficinas					
Edificios	0,4%	1,7%	6%	17%	42%
Contenido	0,05%	0,3%	2%	10%	35%
Comercios					
Edificios	0,8%	3,5%	11%	27%	60%
Contenido	0,4%	2,0%	7%	23%	60%
Industrias					
Edificios	0,1%	0,7%	3%	11%	30%
Contenido	0,1%	0,7%	3%	11%	30%
Pérdida de beneficios	0,5%	2,5%	20%	50%	80%

**Tabla I.6** Procentajes de daño por terremoto en edificaciones en función de la intensidad.

Si el control de cúmulos no es demasiado preciso, puede aplicarse un esquema más simplificado:

Categoría de riesgo	Intensidad (MM)				
	VI	VII	VIII	IX	X
Edificios	0,5%	2,5%	9%	20%	45%
Contenido	0,2%	1,3%	5%	17%	45%
Pérdida de beneficios	0,5%	2,5%	20%	50%	80%

**Tabla I.7** Porcentajes de daño por terremoto en edificaciones en función de la intensidad sin diferenciar edificios y contenidos.

#### 4.3 La pérdida máxima probable (PML)

También conocida como siniestro máximo estimado (SME), puede definirse como la pérdida esperada ante un evento de período de recurrencia determinado.

En primer lugar, el PML de un cúmulo puede ser diferente para cada cartera de seguros, aun ante un mismo evento, pues como se ha visto

anteriormente, es función directa del tipo de riesgo, y la distribución geográfica. La adopción de un PML de «mercado» puede estar sujeta a graves errores.

En general, los factores determinantes son:

- \* La distribución geográfica de los riesgos.
- \* El tipo de riesgo (sencillo, comercial, industrial).
- \* El interés asegurado (edificio, contenido, pérdida de beneficios).
- \* Factores de suscripción: franquicia y coaseguro.
- \* Y por fin lo más importante, decidir qué probabilidad de ocurrencia (período de recurrencia) corresponde a una determinada intensidad.

Los criterios de decisión pueden ser variados:

- \* Con respecto al evento histórico máximo conocido.
- \* Com respecto al evento más severo esperado, según consideraciones científicas.
- \* Con respecto a la probabilidad de ocurrencia determinada, por ejemplo períodos de recurrencia de 100, 500 ó 1.000 años.

Para una cartera concreta, puede determinarse el PML en función de diversos períodos de recurrencia (ver figura I.8).

#### 4.4 Ejemplo práctico para terremoto (Tomado de Swis Re. 1989)

- \* Cartera: pólizas de edificios.
- \* Construcción: hormigón (curva 6 de Shah/Sauter).

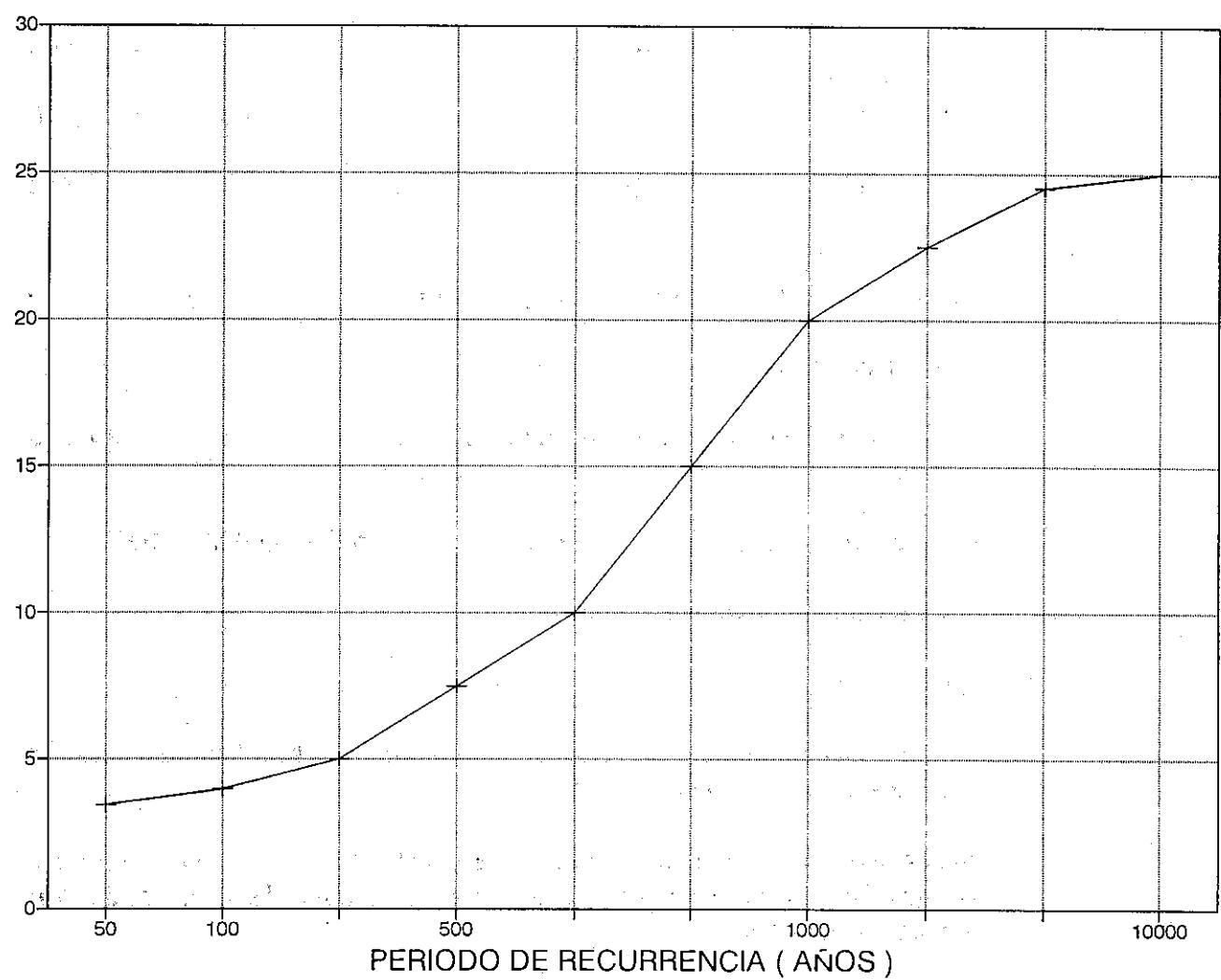


Fig. I.8 Esquema general de la relación entre el período de recurrencia y el PML por terremoto. Tomado de Munich Re. 1991.

<u>Zona</u>	<u>Ciudad</u>	<u>%Distribución</u>	<u>Períodos de recurrencia en años (MM)</u>				
			<u>VI</u>	<u>VII</u>	<u>VIII</u>	<u>IX</u>	<u>X</u>
1	A	15	12	36	110	340	1300
2	B	20	6	20	60	180	650
3	C	40	9	27	80	250	900
4	D	15	8	24	100	300	1100
5	E	10	10	30	90	250	800
<u>Intensidad (MM)</u>		<u>VI</u>	<u>VII</u>	<u>VIII</u>	<u>IX</u>	<u>X</u>	
% de daño promedio		1	4	13	33	60	

Ya se ha determinado la tasa de prima para una zona, por ejemplo para la zona 3:

tasa neta de riesgo:  $1/9 + 4/27 + 13/80 + 33/250 + 60/900 = 0,62\%$

y así igualmente para cada zona.

#### Cálculo del PML

En el cálculo de PML por terremoto, como en todo cálculo de PML, es preciso imaginar un modelo de actuación.

Supongamos un terremoto de intensidad (MM) IX con epicentro en zona 2 (Ciudad B). Afectaría con intensidad VIII a zona 3 (ciudad C) e intensidad VII a zona 1 (ciudad A).

El daño total sería:

<u>Ciudad</u>	<u>Intensidad</u>	<u>%Daño promedio</u>	<u>%Distribución</u>	<u>Total(<math>T_i</math>)</u>
B	IX	33	20	6,6
C	VIII	13	40	5,2
A	VII	4	15	0,6

$$\sum T_i = 12,5$$

Este método puede repetirse cuantas veces se desee, tanto para otros escenarios, como magnitudes y epicentros. Asímismo, se puede tomar como modelo el peor evento posible (histórico o científico).

Sin embargo, un elemento definitivo y decisivo del cálculo de daños es la curva siniestros - frecuencia, puesto que la variable que no se ha tenido en cuenta en todos los cálculos anteriores es la probabilidad de que ocurra un evento determinado en un momento dado.

Para el ejemplo anterior y para total país, se tiene:

Probabilidad (H) de que ocurra un evento de intensidad X

$$1/1300 + 1/650 + 1/900 + 1/1100 + 1/800 = H = 0,00125$$

Probabilidad (I) de que ocurra un evento con intensidad IX

$$H + 1/340 + 1/180 + 1/250 + 1/300 + 1/250 = I = 0,00400$$

Probabilidad (J) de que ocurra un evento con intensidad VIII

$$I + 1/110 + 1/60 + 1/80 + 1/100 + 1/90 = J = 0,0111$$

Probabilidad (K) de que ocurra un evento con intensidad VII

$$J + 1/36 + 1/20 + 1/27 + 1/24 + 1/30 = K = 0,0333$$

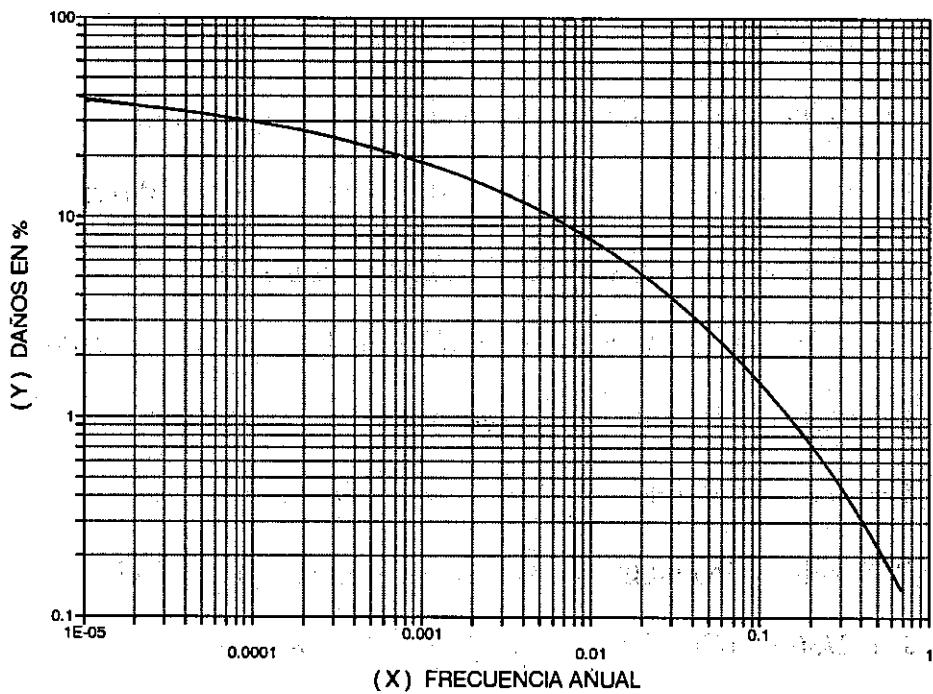
Representando en un diagrama de escala logarítmica estas probabilidades (frecuencias), y los daños esperados para una correspondiente intensidad (MM), se puede obtener la figura I.9.

Si por siniestro medio se elige aquél que se puede esperar cada 100 años (intensidad MM VIII), resultaría una tasa de daños del 7%, pero con una probabilidad del 0.01 de que en el curso de un año pudiese producirse un evento de mayores proporciones.

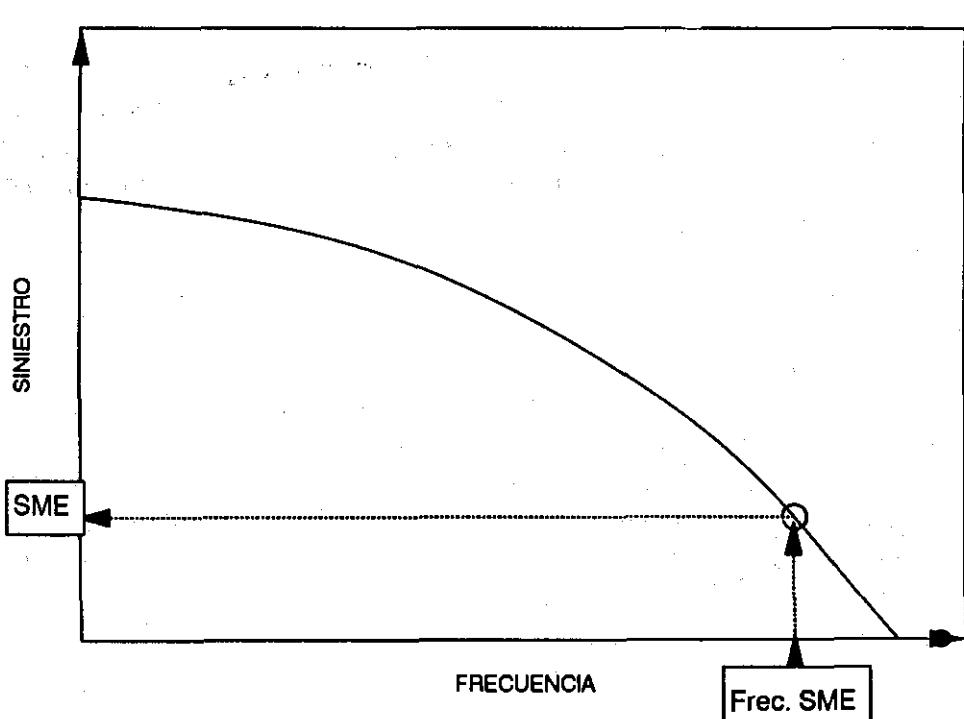
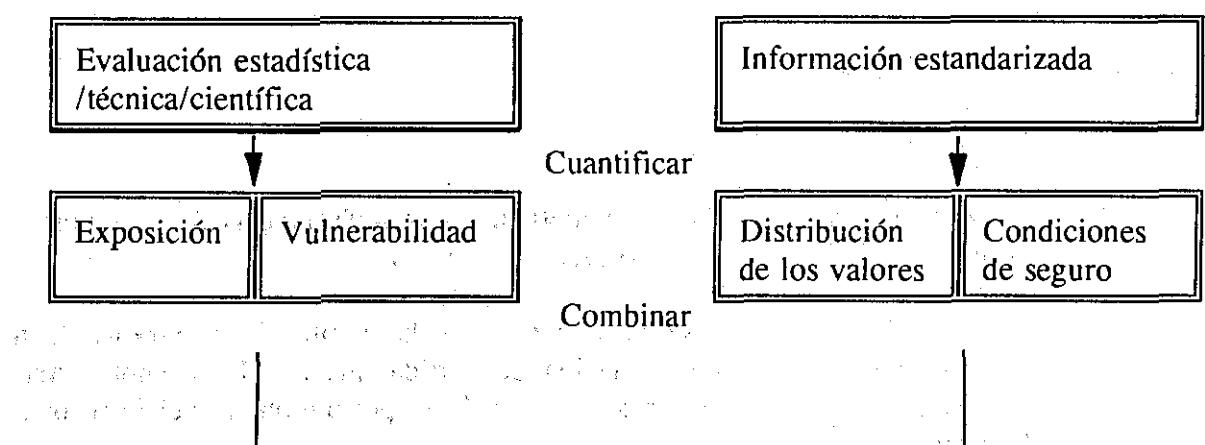
Tal como se observa, no existen puntos de vista «correctos» o «incorrectos» sino decisiones empresariales «prudentes» o «arriesgadas». Si en lugar de 0.01 se elige una frecuencia menor (intensidad mayor), por ejemplo 0.002, es decir una vez cada 500 años, el daño medio resultará del 13%, por lo que se necesitará más protección y el costo será mayor.

Este concepto, definido para el peligro de terremoto, es igualmente aplicable a otros peligros de la naturaleza.

En resumen, el concepto de daño medio (PML o SME) puede venir configurado por el esquema de la figura I.10.



**Fig. I.9 Curva de siniestros-frecuencia para el ejemplo del texto.**  
 x = Frecuencia anual para alcanzar un determinado importe siniestral.  
 y = Daños en % de los valores totales asegurados.



Fijación de la frecuencia SME como decisión empresarial

Determinación del correspondiente SME y en base a él:

- \* Consideraciones de suscripción
- \* Protección de reaseguro

Fig. I.10 Representación esquemática del concepto de Siniestro Máximo Esperado para peligros de la Naturaleza.  
Tomado de Suiza de Reaseguros. 1989.

#### 4.5 Otros peligros

##### **Huracanes**

Por sus características, las tempestades de viento (huracanes) se comportan de manera similar al terremoto (ver figura I.11).

En la medida en que se pueda determinar la distribución geográfica de la cartera se tiene la misma situación de partida que en el terremoto. Así, mediante la curva de siniestros - frecuencia es posible obtener el SME para huracanes.

##### **Inundaciones**

También para el peligro de inundación, puede aplicarse el mismo método, si bien al examinar más detenidamente los cuatro parámetros de partida, se tropieza con obstáculos aún mayores que en el caso de peligro de tempestad. El problema es muy complejo, por lo que aquí se mencionarán sólo algunos aspectos:

##### Exposición:

Las inundaciones pueden originarse de muy diversas formas, por ejemplo por crecidas de ríos por lluvias intensas y por embates de las olas en lagos y en el mar. De igual forma, se presenta también muy complicado el problema de la estimación de la exposición. Para el caso de avenidas de ríos por ejemplo, pueden determinarse períodos de recurrencia de alturas de crecidas o de grandes precipitaciones. La modificación por la intervención del hombre en el curso del tiempo es sin embargo, un factor de gran importancia difícil de captar.

##### Vulnerabilidad:

Para un riesgo individual, puede estimarse la vulnerabilidad en función de su utilización, materiales de construcción, aberturas en el edificio, particularidades del subsuelo sobre el que éste descansa, situación, contenido, etc. También para toda la cartera, pueden reunirse todas estas informaciones y clasificarse en ciertas categorías, aunque ello sería muy oneroso.

##### Distribución de los valores:

Según las condiciones locales, la exposición puede ser muy diferente en un reducido espacio, por lo que las informaciones sobre la cartera asegurada deberán estimarse de forma detallada.

### Condiciones de seguro:

Si el seguro no es obligatorio, la antiselección desempeña un importante papel, con los efectos correspondientes en el importe de las primas de riesgo y en el potencial siniestral de un evento.

Si a pesar de estas dificultades se quiere estimar los daños de un evento siniestral, puede procederse del siguiente modo:

- \* Limitar una cuenca posiblemente afectada por una crecida de aguas.
- \* Estimar la vulnerabilidad de los intereses asegurados, a ser posible por categorías de riesgos.
- \* Evaluar datos y distribución de la cartera conforme a estas categorías.
- \* Calcular, con este material, los daños correspondientes de un evento siniestral.
- \* En caso de ser posible, estimar una frecuencia para la crecida en cuestión.

### **Perspectivas**

Como resumen, se plantean las siguientes preguntas: ¿Cómo puede estimarse el potencial siniestral de los peligros de la naturaleza? ¿Cómo puede definirse y determinarse el PML o SME de un evento de la naturaleza?

Como se ha visto, para responder a estas cuestiones, se ha de reducir a cifras los cuatro elementos principales: exposición, vulnerabilidad, distribución de valores y condiciones de seguro, para poder combinarlos entre sí. En el caso ideal, se obtiene una relación que determina con qué frecuencia se habrá de contar con un evento siniestral de una cierta cuantía. Un valor SME derivado de esta base será una medida muy significativa, gracias a la clara situación de partida y a la frecuencia de ocurrencia determinada.

Para el peligro de terremoto, puede aplicarse muy bien este concepto. De todos modos, la calidad de los resultados de estos cálculos dependerá de la calidad de los datos de partida. En muchos mercados, las cifras de cúmulos de peligro de terremoto se estiman bastante inexactamente o de una forma incompleta; los períodos de recurrencia y las tasas de daño se basan, en parte, en informaciones o en experiencias insuficientes, y las condiciones de seguro en cuanto al peligro de terremoto, son a menudo poco claras, pues apenas han sido sometidas a prueba en un «caso real». Por esta razón, para estimar aún mejor la exposición a terremoto en el futuro, se procurará, dentro del concepto descrito, dotar de mayor solidez a las bases de partida.

En comparación con el peligro de terremoto, la estimación de los peligros de tempestad y de inundación está un paso más atrás. Los elementos de partida son menos calculables que en el caso del terremoto, y además, algunos factores adicionales como las variaciones transitorias de la exposición, desempeñan un papel esencial. La vinculación de los daños de eventos siniestrales a las frecuencias de suceso, es sólo posible en una medida limitada. Así, también en este campo existen muchas posibilidades para futuros trabajos de desarrollo.

#### 4.6 Zonificaciones

En la práctica, suelen surgir errores de interpretación, por lo que es preciso diferenciar perfectamente los siguientes conceptos:

\* **Zonas de riesgo / zonas de tarificación.**

Son zonas de igual peligrosidad, para las cuales básicamente rigen las mismas primas de riesgo.

\* **Zonas de cúmulo por evento.**

Área geográfica que se supone, es afectada con daños por un evento hipotético y que se emplea para cálculos específicos de PML y acumulaciones.

\* **Zonas de control de cúmulos.**

Son zonas de pequeña extensión dentro de un país, empleadas para el registro y control de las responsabilidades acumuladas.

\* **Zonas de límite de cesión.**

Son zonas para las cuales rigen los límites acordados en los contratos de reaseguro proporcional.

#### **Zonas de riesgo / zonas de tarificación**

Mediante la división de un territorio en zonas de riesgo, se identifica la probabilidad de daños a largo plazo (períodos de recurrencia, intensidad, etc.). La zona de riesgo constituye un instrumento esencial para la tarificación.

En la práctica, las zonas de tarificación suelen diferir ligeramente de las

zonas de riesgo científicamente determinadas, dado que las primeras deben ajustarse también a las estructuras organizativas de los aseguradores. Tales desviaciones pueden aceptarse si se trata de diferencias mínimas.

### **Zonas de cúmulo por evento**

Estas zonas corresponden a las regiones dañadas por posibles eventos. Su extensión se orienta conforme a datos concretos de eventos anteriores y criterios científicos.

Para ello, se toman en cuenta, sobre todo, las condiciones fenomenológicas dentro de una región determinada, así como los datos históricos.

En circunstancias favorables, es posible establecer zonas de cúmulo por evento claramente definidas, ya sea con relación a las condiciones existentes o por la concentración de valores asegurados en determinadas regiones.

En otros casos, habrá que partir de diversos escenarios que, eventualmente, pueden producir zonas de cúmulo por evento que se intersecten entre sí.

De lo anterior, pueden surgir evaluaciones muy diversas. Las evaluaciones se orientarán en cada caso por la composición de la cartera (distribución geográfica, tipo de riesgos, efectos sobre objetos determinados, por ejemplo, el efecto sobre edificios de gran altura) y por la política, más o menos prudente, de suscripción del asegurador.

En la selección de las zonas de cúmulo, el asegurador deberá prever suficiente flexibilidad para poder adaptarse a los cambios estructurales y de concentración de valores que puedan presentarse con el devenir del tiempo.

### **Zona de control de cúmulos**

Para poder controlar las responsabilidades dentro de las distintas zonas de cúmulo por evento, es necesario determinarlas por pequeñas regiones perfectamente delimitadas (zonas de control de cúmulos). Sólo la información así obtenida y actualizada periódicamente, permite al asegurador calcular con exactitud la responsabilidad asumida dentro de la zona de cúmulo por evento por él definida, y ajustar su política de suscripción a las realidades existentes.

Es muy importante que la división de un país en zonas de control de cúmulos sea lo más detallada posible, sobre todo en regiones con una elevada concentración de valores y responsabilidades. Para este fin, pueden resultar

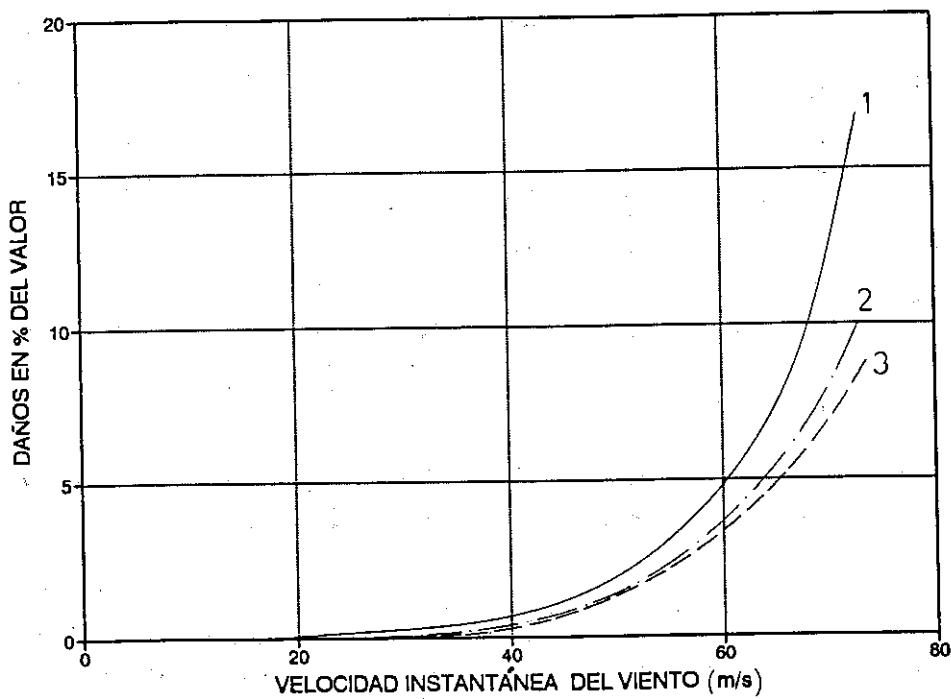


Fig. I.11 Vulnerabilidad a huracanes. Friedman 1984.

1 = casas unifamiliares.

2 = otras viviendas.

3 = otros edificios.

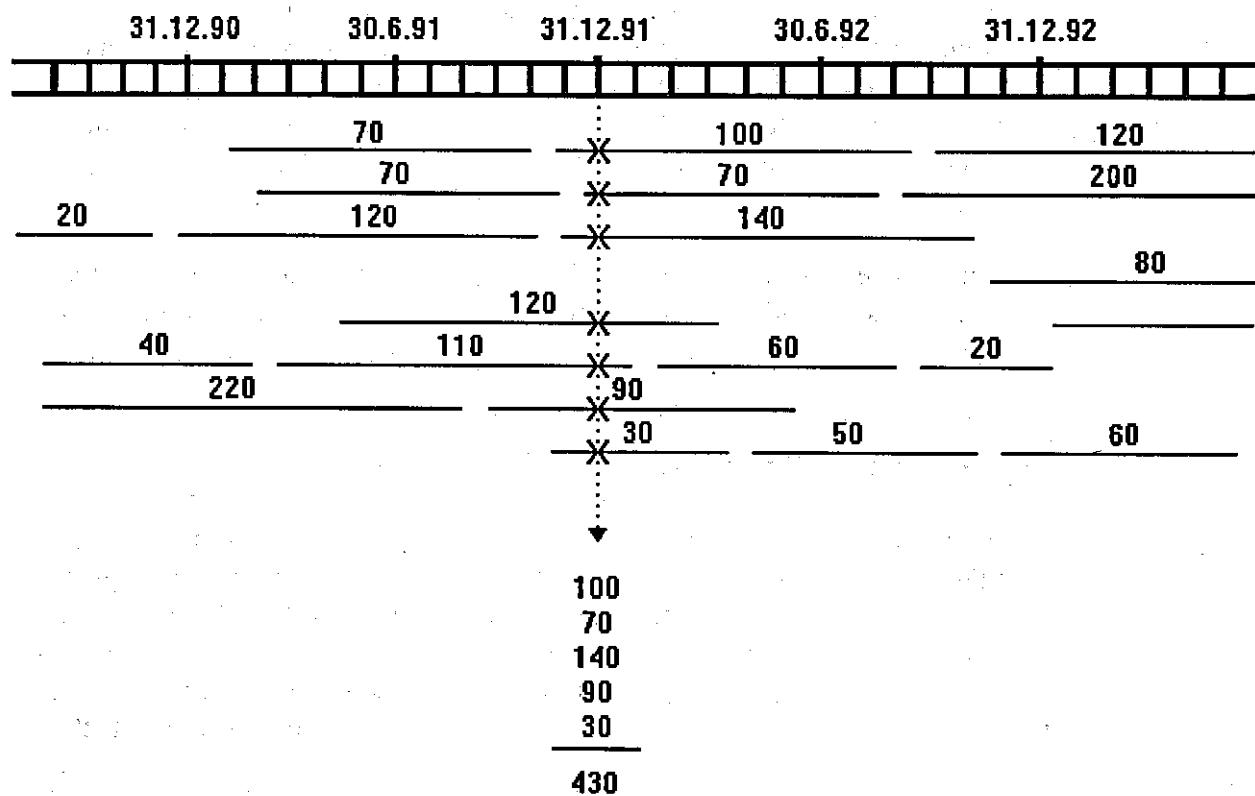


Fig. I.12 Ejemplo de control de cúmulos.

útiles las divisiones políticas o administrativas del país o incluso sus códigos postales.

La subdivisión de un país en zonas de control de cúmulos, permite formar cualquier zona de cúmulo por evento mediante la composición selectiva de tales zonas de control.

La elección de zonas pequeñas de control de cúmulos, tienen la siguiente ventaja: en la estimación de la pérdida máxima probable correspondiente a una zona de cúmulo por evento, es factible llegar a una diferenciación del PML, teniendo en cuenta la distribución geográfica de los valores. Ello se obtiene en función de la supuesta distribución de intensidades de daño.

Un sistema unificado de zonificación cuya aplicación sea obligatoria a nivel general, constituye la condición previa para el control de cúmulos en un mercado determinado. Su importancia es igualmente grande tanto para el asegurador directo, como para el reasegurador.

### **Zonas de límite de cesión**

Siempre que en el reaseguro proporcional esté previsto un límite de cesión, habrá que definir exactamente la región a la cual se refiere dicho límite.

Frecuentemente, un país entero es considerado como una sola zona de límite de cesión. En países particularmente grandes o expuestos, en cambio, se practica una distribución en varias zonas: ello resulta de diferencias regionales en cuanto a la exposición, o bien de alguna concentración especial de valores.

Las zonas de límite de cesión no coincidirán necesariamente con las zonas de cúmulo por evento.

### **4.7 Control de cúmulos**

De los diversos sistemas posibles: cartera a la fecha de costes, cartera a una fecha más nueva producción menos anulaciones, ídem más suplementos, el sistema más correcto es el de cartera a la fecha de costes, tal como se indica en el ejemplo (Munich Re., 1991).

## 5. DESARROLLO DEL ESTUDIO

El Estudio comenzó a desarrollarse a partir del 1 de enero de 1991. La primera fase consistió en la búsqueda de fuentes de documentación y de bibliografía. A continuación, se planificó la forma de adaptar la información científica a los objetivos y necesidades que plantea el seguro y el reaseguro. Seguidamente, se comenzó a proyectar gráficamente en forma de mapas, las primeras aproximaciones a la solución de los problemas. Las fórmulas aseguradoras y las aplicaciones informáticas son consecuencia de las soluciones y decisiones adoptadas.

Durante la primavera, se hicieron presentaciones del estudio a nivel interno para comprobar que la trayectoria escogida seguía las líneas de trabajo del sector asegurador y reasegurador. En el período estival, se realizaron sendas presentaciones ante el Comité Técnico de Corporación Mapfre, el plenario de la Unidad Reaseguro de Corporación Mapfre y el Grupo de Trabajo sobre el Proyecto del Nuevo Reglamento del Consorcio de Compensación de Seguros, con comentarios, en general positivos. En las jornadas del ENTRE 91 celebradas por el INESE, Luis de Mingo expuso las líneas generales del estudio como una forma de planificación y control de los riesgos de la naturaleza en España.

El día 9 de octubre de 1991, coincidiendo con el Día Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales, se hace público el estudio a la sociedad española, personificada en los agentes científicos y económicos, con el fin de que sea objeto de análisis, pauta, reflexión y punto de partida de cualquier camino o conclusión que se pretenda elegir para la resolución de los gravísimos problemas que plantean, y plantearán, los riesgos de la naturaleza en España.

El próximo objetivo alcanza los niveles internacionales, y será la aportación al MEETING CRESTA 92 en forma de comunicación, para que las propuestas que se hacen en el estudio, sean avaladas por la comunidad internacional de reaseguro.

## 6. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

Las principales conclusiones de tipo TÉCNICO a las que se ha llegado tras la realización de este estudio, son:

1. Existe gran cantidad de información dispersa y heterogénea sobre los peligros de la naturaleza, que ha sido necesario recopilar, analizar y adaptar a los objetivos del estudio.
2. El estudio se centra en el análisis de los peligros de terremoto, inundación y viento, escogidos tras decidir cuáles tienen mayor impacto económico y social en nuestro país.

3. La fuente principal de **información técnica sobre terremotos** en el territorio español, es el Instituto Geográfico Nacional, a cuyo cargo está la vigilancia de la Red Sísmica Nacional, y que posee todos los datos disponibles sobre movimientos sísmicos en la península Ibérica, islas Baleares, islas Canarias, Norte de África y Sur de Francia.
4. La fuente principal de **información técnica sobre inundaciones** en la península Ibérica, es la documentación que acompaña los Planes Hidrológicos elaborados por la Dirección General de Obras Hidráulicas a través de sus Confederaciones Hidrográficas.
5. La fuente principal de **información técnica sobre vientos** en el territorio español, es la base de datos del Instituto Meteorológico Nacional y del Instituto de Energías Renovables del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
6. A la vista de la información disponible, la máxima intensidad de terremoto (M.S.K.) que se puede registrarse en España, oscila entre IX y X, y se localiza sobre la ciudad de Granada y parte de su provincia. Existe la posibilidad de que factores negativos locales (por ejemplo subsuelo) puedan agravar, en algunas zonas, las consecuencias de terremotos de las características citadas. Para un período de retorno de 100 años, la máxima intensidad esperable para esta misma zona, está entre VII y VIII. Existen además otras regiones que, aunque están dentro de la sismicidad moderada que caracteriza a todo el territorio español, pueden sufrir los efectos de terremotos de entre V y VIII, como es gran parte de Andalucía, Murcia y parte del Pirineo.
7. A la vista de los registros de inundaciones históricas, es evidente que tras la puesta en marcha de planes de prevención y construcción de grandes obras de infraestructura, los efectos de las inundaciones han sido sensiblemente reducidos. No obstante, el progreso ha introducido nuevos factores de riesgo, materializados principalmente en las nuevas vías de comunicación, ya que en algunos casos cruzan las vías naturales de evacuación, y es precisamente en estos puntos donde normalmente surgen problemas. Existen además, cuencas fluviales que, por sus características morfológicas y algún factor añadido (condiciones meteorológicas locales, asentamientos poblacionales, etc) resultan prácticamente irregulables por medio de presas, embalses o diques (por ejemplo la cuenca del río Guadalentín, afluente del Segura).
8. Los datos de velocidades de viento obtenidos, permiten afirmar que no hay ninguna provincia en el territorio nacional exenta de riesgo de rachas de viento superiores a los 96 km/h. En cuanto a los observatorios **continentales del interior**, las máximas de viento se presentan en verano, asociadas a fuertes turbonadas y rachas que acompañan a las nubes tormentosas. En los observatorios cercanos a la **costa Cantábrica**, los máximos suelen presentarse en invierno, mientras que en las zonas **costeras del Mediterráneo**, los máximos se registran en primavera y/o otoño.

9. Las limitaciones de la calidad de la información, vienen dadas por las características de la información recogida. El estudio ha aportado nuevas metodologías de trabajo y de tratamiento de datos útiles para las empresas aseguradoras y reaseguradoras.

Las principales conclusiones de tipo **ACTUARIAL** a las que se ha llegado hasta este momento, son:

1. A los efectos de análisis y evaluación de riesgos, es necesario un enfoque **interdisciplinario** que cubra las siguientes áreas de estudio:
  - \* Análisis de riesgos y evaluación
  - \* Condiciones de cobertura y tarificación
  - \* Control de pérdidas potenciales y acumulaciones
  - \* Evaluación de siniestros, prevención de pérdidas y recuperación rápida de actividades
  - \* Acciones preventivas
2. Con carácter general, los principales **factores ambientales** que inciden sobre la evaluación de riesgos, una vez conocido el tipo, número y distribución geográfica de los objetos o personas expuestos al riesgo, son:
  - \* Características físicas de los sucesos (terremoto, inundación, etc)
  - \* Condiciones geográficas locales
  - \* Grado de daño del objeto expuesto al riesgo ante un suceso
3. Los principales **objetivos** de la evaluación del riesgo son:
  - \* La cuantificación de la catástrofe potencial
  - \* La estimación de la pérdida máxima esperada probable
4. Los **requerimientos** principales para poder tarificar son:
  - \* Un período de observación amplio
  - \* Consideración de factores posicionales y estructurales para la evaluación del riesgo
  - \* Determinación de áreas de exposición al evento natural
5. Las **dificultades** principales que se encuentran al tarificar son:
  - \* Ausencia de una información completa y selectiva
  - \* Alteración con el tiempo, del número de expuestos al riesgo e intensidad de los fenómenos

- \* Alteración de las condiciones geográficas
6. Mantener un **modelo dinámico de gestión y evaluación** de los riesgos de la naturaleza, implica las siguientes labores:
- \* Control de acumulación, estimación de pérdidas y alimentación de bases de datos con información fiable y actualizada
  - \* Control sobre suscripción y retenciones
  - \* Conocimiento de la experiencia de la siniestralidad y aplicación de la misma
  - \* Evitar infratarificaciones durante períodos de bonanza de resultados
  - \* Buen cálculo y gestión de la reserva de primas y siniestros
  - \* Facilitar la información y explotación de datos con fines internos.



«Cuentan que en una ocasión dos ingleses estaban durmiendo al raso cuando se produjo un violento temblor, pero ellos, sabedores de que no había peligro, no se levantaron, lo que provocó la indignación de la gente, la cual empezó a gritar: «Mirad a esos herejes: ni siquiera se levantan de la cama.»  
VIAJE DE UN NATURALISTA (1840-1846)  
CHARLES R. DARWIN.

## TERREMOTOS

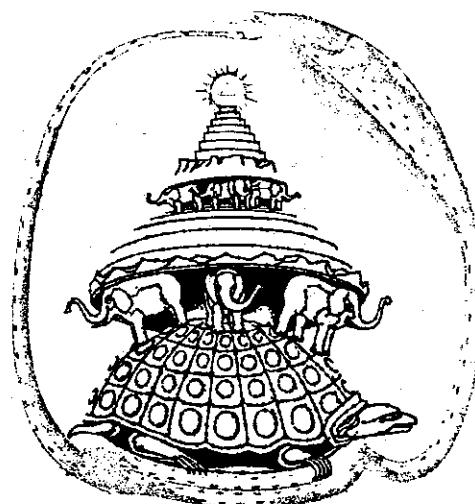
### INTRODUCCIÓN

Los terremotos han sido desde la más remota antigüedad, uno de los mayores azotes del hombre. En el mundo antiguo, los terremotos eran considerados como manifestaciones de la «ira de los dioses», que era necesario aplacar mediante sacrificios, rezos y plegarias. Muy a menudo, se consideraba que el Ser responsable de los terremotos vivía en las profundidades o era el que sostenía la Tierra. Según la mitología griega, Poseidón era el dios de las tempestades marinas que sacudían la Tierra. Para el filósofo griego Aristóteles, la explicación del origen de los terremotos es que estos eran provocados por los vientos retenidos en el interior de la Tierra. Ciertas creencias chinas concebían los terremotos como el balance de fuerzas entre el «Ying» y el «Yang». Los sismos eran provocados cuando el Yang era vencido por el Ying. En las islas Célibes, creían que un inmenso cerdo ocasionaba los terremotos cuando se rascaba contra una gigantesca palmera, mientras que los lamas de Mongolia creían que la Tierra descansaba en las espaldas de una gigantesca rana, y los terremotos se producían cuando ésta se movía. En Japón, se creía que los movimientos de la Tierra eran debidos a un gigantesco barbo llamado «Namazu». Algunas tribus hindúes creían que la Tierra estaba sostenida por elefantes que se apoyaban sobre una tortuga, encarnación del dios Vishnú, el cual descansaba sobre una cobra, símbolo del agua y los terremotos se producían cuando los elefantes perdían el apoyo (ver figura 1.)

Sea cual fuese, todas las civilizaciones han buscado una u otra explicación para justificar la inestabilidad del suelo que se hallaba bajo sus pies. Hoy en día se cree en la inmovilidad y estabilidad pétreas del suelo, y sería impensable que al producirse un terremoto, el suelo empezase a temblar y quebrarse con todo lo que sustenta, destruyendo la concepción subconsciente estable del mundo. En breves instantes, crearía un sentimiento de inseguridad que horas de reflexión no podrían producir. El hombre se siente débil e indefenso ante esta impresionante demostración de fuerza de la naturaleza. La destrucción que se produce en una sociedad puede llegar a ser total, ya que se sabe que desde tiempos históricos, millones de personas han muerto no sólo por el terremoto en sí, sino además por sus efectos secundarios: tsunamis, incendios, epidemias y hambre que suelen seguir a la catástrofe.

En nuestros días, gracias a los avances de los sistemas de información, radio y televisión, son bien conocidos los efectos que sienten las poblaciones afectadas por tales catástrofes y la colaboración internacional que se les ofrece. Hoy en día se sabe, por las investigaciones científicas que se realizan, que existen zonas en nuestro planeta en las que el riesgo de que

se produzca un terremoto es elevado, siendo habitualmente zonas con grandes concentraciones humanas y de bienes materiales. Un terremoto intenso puede llegar a arruinar la economía de algunos países en breves instantes; por ello, son necesarios más y mejores estudios sobre este tema para intentar reducir el número de víctimas y daños materiales que se producirán en el futuro.



**Fig. 1** Concepción de la Tierra según una tribu hindú.

# TERREMOTOS

## CAPÍTULO 1. DINÁMICA TERRESTRE

### 1.1. TECTÓNICA GLOBAL

La Tierra no es un cuerpo frío e inerte como el satélite terrestre, la Luna. La Tierra es un sistema activo que sufre deformaciones bajo la acción de las fuerzas que actúan sobre él. Constituye por sí mismo, un sistema complejo que no cabe reducir a un esquema simplista de fuerzas elementales y grandes masas. Algunos científicos se sienten tentados a considerar la Tierra como un organismo vivo. En ella, se ofrece una rica diversidad, tanto por aquello que se puede observar en la superficie del planeta, como por lo que se intuye en su interior.

El modelo que intenta globalizar en la actualidad las teorías más recientes en Geología, se denomina «Tectónica Global» y abarca los conceptos de expansión de los fondos oceánicos, deriva continental y tectónica de placas. Esta hipótesis es muy reciente ya que no tiene más de treinta años, pero la idea es antigua pues el filósofo inglés Francis Bacon en 1620, hizo una de las primeras observaciones entre la gran similitud que existía a lo largo de los contornos de la costa este del continente sudamericano y la del oeste del continente africano. Estas observaciones, en su tiempo, no pasaron de ser meras curiosidades (ver figura 1.1).

La teoría que precedió a la actual teoría de la tectónica global, fue propuesta en 1912 por un científico alemán, Alfred Wegener. Su teoría decía que los continentes se habían desplazado sobre la superficie de la Tierra hasta encontrarse en sus posiciones actuales. En palabras del propio Wegener: «.... *la primera idea del desplazamiento de los continentes se me ocurrió .... cuando, al estudiar el mapa de la Tierra, me impresionó la perfecta congruencia de las costas de ambos lados del Atlántico*» (A. Wegener, 1924).

Wegener propuso que hace 180 millones de años, durante el período Jurásico, existía un único continente, «Pangea» (en griego significa «todas las tierras»), rodeado de un único océano: el «Pantalassa». El ancestro del Mediterráneo era el Thetys; formaba entonces una gran bahía que separaba parcialmente África de Eurasia. Mediante un mecanismo que denominó deriva continental, Wegener explicaba cómo los continentes se desplazaron sobre la superficie del planeta hasta sus posiciones actuales (ver figuras 1.2, 1.2 y 1.4).

En 1930, en su cuarta expedición a Groenlandia, Wegener desapareció y con ello sus ideas cayeron en el olvido.

Tuvieron que pasar otros treinta años para que, en la década de los 60, la idea de la deriva continental renaciera y cobrara fuerza con los últimos descubrimientos en geología. La teoría de tectónica de placas propone un modelo dinámico, según el cual la capa más externa de la Tierra (litosfera) está formada por una docena de placas que están en continuo movimiento unas con respecto a otras, y en los límites de las placas se localiza la mayor parte de la actividad sísmica, tectónica y magmática del planeta (ver figura 1.5).

La litosfera «flota» sobre otra capa: la astenosfera. La **litosfera**, o capa dura, comprende la corteza y parte del manto superior. Tiene un espesor variable que depende de lo que se llama «equilibrio isostático», es decir, el nivel en el cual el peso de la litosfera está equilibrado con la presión del manto. Este espesor es variable, ya que va desde los 5 kilómetros bajo los océanos, y alrededor de 100 kilómetros bajo los continentes.

La **astenosfera**, o capa blanda, es una capa de algunos centenares de kilómetros de espesor y es mucho más viscosa que la litosfera, pero parece ser que las propiedades de la astenosfera no son homogéneas y es preciso distinguir varias «capas» de propiedades ligeramente diferentes. De cualquier forma, el componente de la astenosfera reacciona de diferente forma que la litosfera, ya que en ella no se producen roturas por su comportamiento dúctil.

La tectónica de placas establece que el movimiento de las placas es consecuencia del movimiento del manto, ya que se supone que existen en él corrientes convectivas que se encargan de la regeneración del manto. Los actuales estudios sísmicos proporcionan pruebas importantes a favor de la existencia de estos flujos.

Por muy académico que pueda parecer, no se debe despreciar la importancia del estudio de los movimientos de las placas corticales, ya que sirven para dar una visión esclarecedora del por qué de los terremotos y su distribución sobre el planeta.

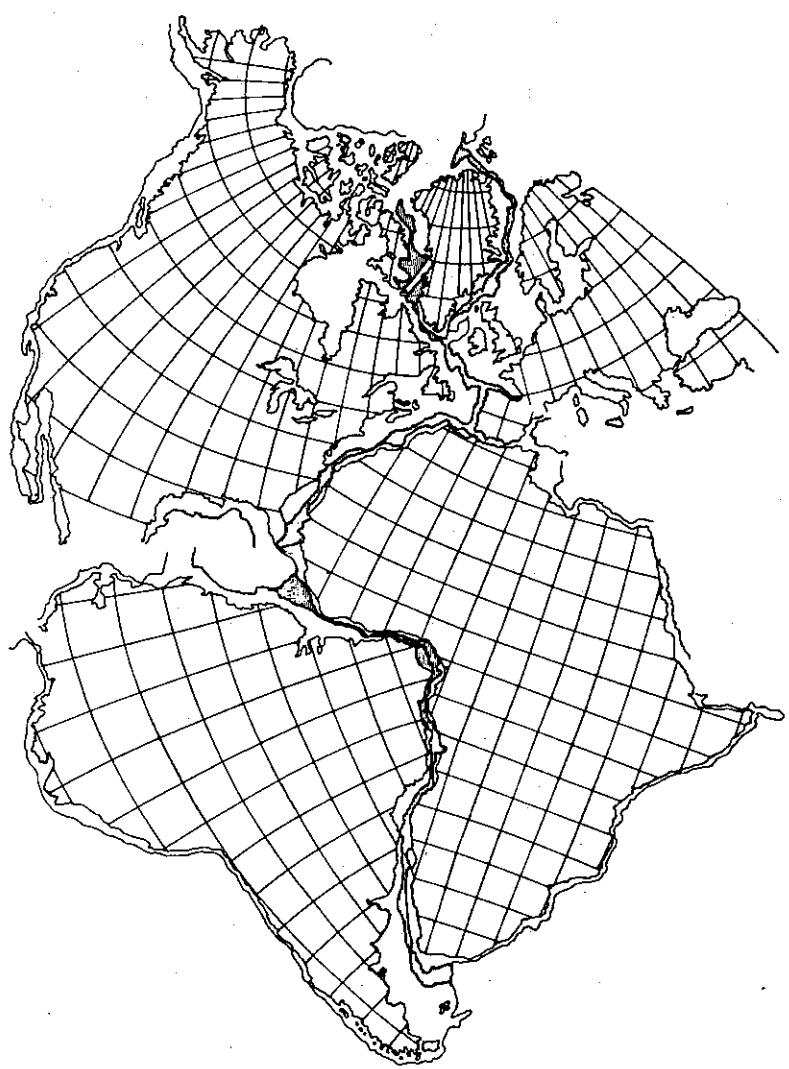
Los terremotos no se encuentran al azar, sino que se localizan en zonas muy concretas: **bordes de placas** (cinturón Pacífico y dorsal centrooceánica), **zonas de colisión intercontinental** (Himalaya) y **zonas intraplaca** (China). Es, por tanto, necesaria la confección de mapas sísmicos fiables que contribuyan al conocimiento de nuestro planeta.

## 1.2. ESPAÑA EN EL CONTEXTO DE LA TECTÓNICA DE PLACAS

La península Ibérica se encuentra en la parte más occidental del continente Euroasiático. Por ello, la dinámica de la Península está afectada por los movimientos relativos de tres placas: la americana, la euroasiática y la africana.

Entre la placa euroasiática y la placa africana, existe una zona lineal de compresión desde Gibraltar a Sicilia, resultado del movimiento convergente entre ellas. Por lo tanto, España se puede englobar en un área de nivel moderado de sismicidad (Udías, 1983). La Península es una zona de peligro de terremotos importantes, aunque sin llegar a alcanzar el nivel de otras zonas de Europa tales como Italia o Grecia. En España, los terremotos destructores con intensidades mayores que VII no son muy frecuentes, siendo los más numerosos los de intensidad baja y media (III a IV).

La actividad sísmica en la península Ibérica se concentra principalmente en el sur, en los Pirineos y la región catalana. También se han registrado terremotos en otras zonas, con menor frecuencia e intensidad. Se ampliará más información en el capítulo referente a la sismicidad en España.



**Fig. 1.1** Ajuste de los continentes antes de la apertura del Atlántico, según Bullard.

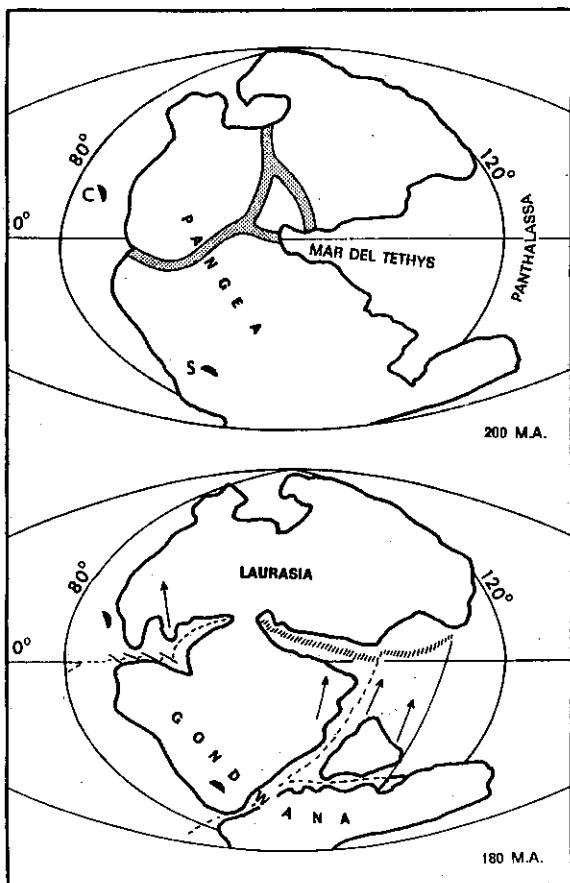


Fig. 1.2

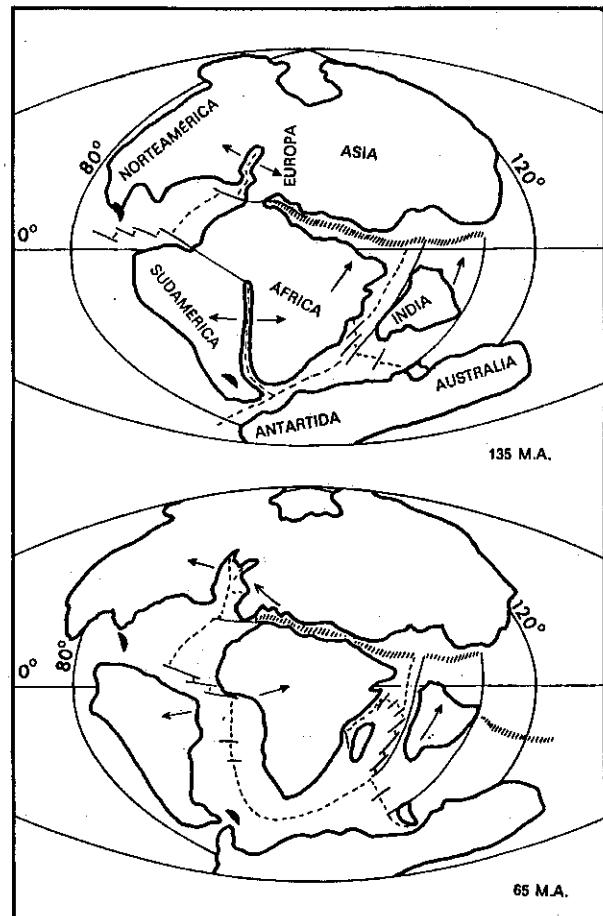


Fig. 1.3

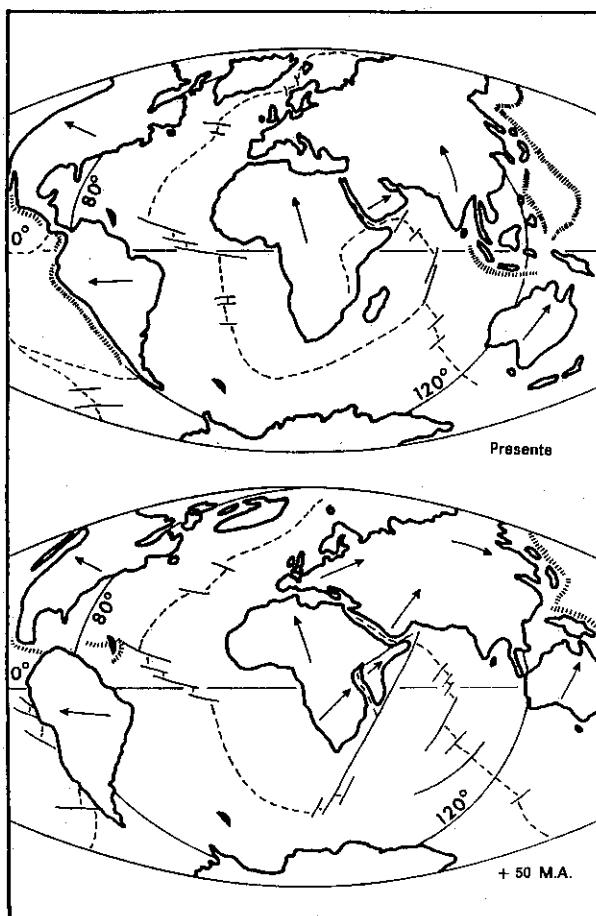


Fig. 1.4.

Diagrama representativo del desmembramiento del supercontinente Pangea hace 200 millones de años. C = Arco del Caribe, S = Arco de Escocia. Un primitivo *rifting* a lo largo de la proto-dorsal medio-atlántica partió el Pangea en dos, Laurasia al norte y Gondwana al sur, hace 180 millones de años. Los actuales bloques continentales ya eran identificables hace 135 millones de años; en ese momento, África y Sudamérica empezaron a separarse y la India ya se había desgajado de la parte meridional de Gondwana y había iniciado su migración hacia el norte. 65 millones de años atrás, la mayoría de los continentes ya se habían separado; Norteamérica y Eurasia aún permanecían unidas, pero un *rifting* incipiente ya empezaba a separarlas. La India colisionó entonces con Asia, dando lugar a la formación del Himalaya; en la región mediterránea, unas colisiones sismicas dieron lugar a la formación de los Alpes. En el Caribe, las manifestaciones volcánicas provocaron la unión de Norteamérica y Sudamérica, mientras que el océano Atlántico continuaba ensanchándose a expensas del Pacífico.

Asumiendo que los continentes sigan desplazándose según sus direcciones actuales y a las mismas velocidades con que lo hacen hoy en día, se pueden calcular sus posiciones aproximadas en diferentes momentos del futuro. Dentro de 50 millones de años, Norteamérica y Sudamérica se habrán separado, mientras que Australia habrá chocado con Nueva Guinea. La progresión del *rifting* a lo largo del valle del Rift africano hará que grandes segmentos de ese continente se desgajen del mismo; el desplazamiento continuado de África hacia Europa hará que España y Portugal sean empujados hacia el norte hasta colisionar con el sur de Inglaterra; este hecho irá acompañado por terremotos y vulcanismo en el mar de Irlanda. (M.A. = millones de años.)

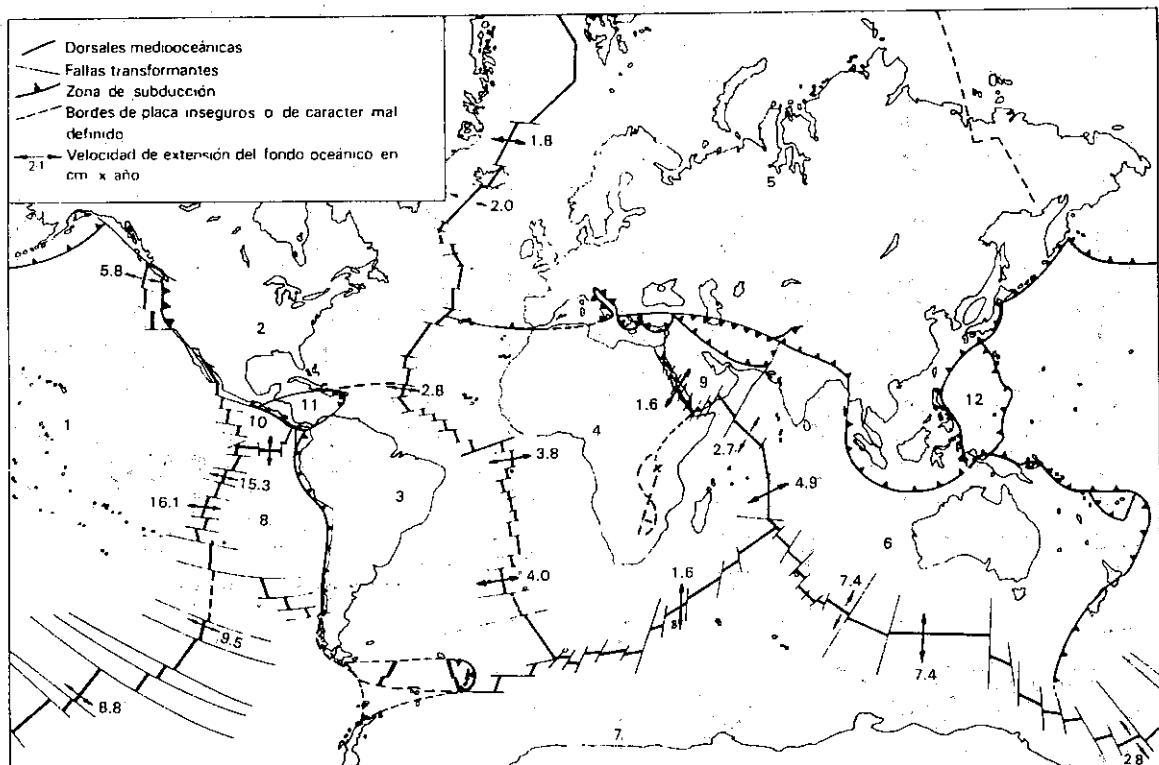


Fig. 1.5 Principales placas litosféricas: 1, Pacífica. 2, Norteamericana. 3, Sudamericana. 4, Africana. 5, Euroasiática. 6, Australoíndica. 7, Antártica. 8, de Nazca. 10, de Cocos. 11, Caribe. 12, Filipina. Los principales problemas son el contacto entre las placas norteamericana y euroasiática en Siberia, y la posible existencia de una placa de Scotia entre la sudamericana y la antártica.

# TERREMOTOS

## CAPÍTULO 2. ¿QUÉ SON LOS TERREMOTOS?

### 2.1. CAUSAS DE LOS TERREMOTOS

Las rocas de la corteza terrestre están permanentemente sometidas a fuerzas o perturbaciones que tienden a deformarlas.

La concepción más reciente de un **terremoto**, consiste en una brusca sacudida del suelo, producida por una ruptura o desplazamiento en profundidad, que se propaga en todas las direcciones en forma de ondas sísmicas.

La teoría más aceptada para explicar el origen de los terremotos, fue propuesta en 1906, por Harry F. Reid. Estudiando los datos geodésicos tomados antes y después del terremoto de San Francisco de 1906, observó que a lo largo de varios kilómetros de la falla de San Andrés, las carreteras y vallas que cruzaban la falla habían sufrido desplazamientos máximos de seis metros.

La teoría de Reid conocida como "teoría del rebote elástico" (ver figura 2.1), compara el comportamiento de las rocas, con el de un muelle comprimido en el cual se puede acumular energía mecánica. Cuando el esfuerzo acumulado a lo largo del tiempo es mayor que la resistencia de la falla a la fricción, se rompe el equilibrio en el punto más débil y se produce la rotura. El esfuerzo acumulado es liberado en una fracción de segundo, y comienza de nuevo la acumulación de esfuerzos. Tal comportamiento se denomina *strike - slip* o saltos bruscos.

El punto localizado bajo la superficie donde se produce la rotura, se conoce como «hipocentro» o foco sísmico. La proyección de este punto sobre la superficie terrestre, se denomina «epicentro» (ver figura 2.2).

La energía mecánica acumulada en las rocas, se libera en forma de ondas sísmicas y de energía calorífica. La propagación de las ondas sísmicas constituye el terremoto en sí.

Un ejemplo bastante ilustrativo de este proceso, es el propuesto por Bruce A. Bolt, (1976):

«.... Hagamos un modelo de corteza elástica de gelatina, consistente en un molde poco profundo. Tiremos de los bordes de la gelatina en sentidos opuestos y hagamos un corte pequeño en la superficie de la jalea. La ruptura se extenderá a lo largo de un plano en la gelatina y los bordes de la gelatina retrocederán hasta que cese la ruptura. Mientras que la ruptura va rasgando de parte a parte la gelatina, ésta temblará con ondas elásticas que se propagarán a través de ella ...».

## 2.2. TIPOS DE TERREMOTOS

Los terremotos pueden ser debidos a dos causas básicas: aquéllos que tienen su origen en causas naturales por la acción de la dinámica terrestre o extraterrestre y aquéllos provocados o inducidos por el hombre (causas antrópicas).

### 2.2.1 Causas naturales

**TECTÓNICA.** La gran mayoría de los terremotos que se producen en el planeta, son debidos a causas de tipo tectónico. Tienen su origen en los procesos de rotura, colisión y reajuste de las placas continentales. Generan enormes cantidades de energía mecánica que producen tensiones en las rocas, y van acumulándose poco a poco hasta que se alcanza el límite de rotura. En este momento, se libera la energía acumulada en forma de sacudidas, es decir, los terremotos. Cuanto más largo sea el período de tiempo entre dos sacudidas, peores consecuencias ocasionará, ya que la energía acumulada será mayor.

**POR COLAPSO.** Son terremotos pequeños que ocurren en regiones kársticas por el **colapso de cavidades subterráneas** o bien, por el **hundimiento de galerías de minas** (ver figura 2.3). Estos terremotos ocurren cuando se produce un fallo estructural de la bóveda en un vacío subterráneo. En la figura 5, se pueden observar las trayectorias de los esfuerzos en cavidades subterráneas. En España en 1688, en la localidad de Alcalá la Real, se produjo un terremoto con intensidad VIII que fue provocado por el hundimiento de un monte donde se encontraba la fortaleza de la Mota.

Otro tipo interesante de terremotos de colapso, son los relacionados con **deslizamientos** de tierra de millones de metros cúbicos de suelo y rocas. La energía gravitacional de esta masa se libera en forma brusca por el rápido movimiento a que es sometida, y se transforma en ondas sísmicas que serían equivalentes a terremotos de intensidad pequeña o media.

En España, este tipo de deslizamientos son relativamente frecuentes. En 1783, un fuerte deslizamiento se produjo en las cercanías de Alcira (Valencia) provocado por unas fuertes lluvias y la crecida del río Júcar (López Marinas, 1976).

Otro deslizamiento que produjo un terremoto, ocurrió en el municipio de Torre de Ribera (Huesca), en el día 22 de octubre de 1907. Según Munuera (1963), alcanzó una magnitud de 5,4 y una intensidad de grado VI.

**VOLCÁNICOS.** Aquí cabría distinguir dos tipos de terremotos volcánicos: aquéllos debidos al **movimiento del magma en la cámara magmática** y los provocados por **erupciones violentas**. Los primeros sirven como sistema de predicción de una posible entrada en erupción del volcán (ver figura 2.4). El número de sismos diarios con sus respectivas magnitudes, nos indica la tasa de liberación de energía y nos sirve para determinar la cantidad de magma que está haciendo presión sobre las fracturas, en su camino hacia la superficie. Casi todas las erupciones están precedidas de un incremento de la actividad sísmica (especialmente las violentas). Por ello, es necesario mantener por lo menos un sismógrafo operando continuamente en cada volcán potencialmente peligroso. Si los registros son detallados y abarcan un largo período de tiempo, las posibilidades de hacer pronósticos fiables de una entrada en erupción de un volcán, son elevadas.

Los terremotos provocados por una erupción volcánica, son consecuencia de la erupción en sí. Son precedidos de explosiones dentro del cráter, y detectados por los sismógrafos. En el caso de la erupción del Monte Santa Elena (estado de Washington, U.S.A.), 0,6 km<sup>3</sup> de magma fueron expulsados y dejó un cráter de 2 kilómetros de diámetro. En el momento de producirse la explosión, se registró un terremoto de magnitud 5,1.

**CAUSAS EXTRATERRESTRES.** Son los menos frecuentes. Estos terremotos estarían provocados por el impacto de cuerpos extraterrestres, tales como meteoritos y cometas, contra la superficie terrestre. Se han reconocido unas 200 estructuras de impacto sobre la superficie de la Tierra. El hecho de que se aprecien pocos cráteres sobre nuestro planeta, a diferencia de los demás cuerpos del Sistema Solar, es porque en la Tierra la erosión ha borrado todos los cráteres con edad mayor de 4.000 millones de años, y solamente se pueden apreciar unos pocos fuertemente erosionados, con edad menor de 1.000 millones de años. El impacto catastrófico más reciente del cual se tiene noticia, se produjo el 30 de julio de 1908, a orillas del río Tuguska en Siberia. El impacto meteorítico (posiblemente un cometa) provocó una explosión equivalente a una bomba atómica de 30 megatones. La explosión fue oída a 1000 km de distancia, los microbarógrafos y los sismógrafos localizados en Inglaterra, registraron este impacto.

Según Rosenblueth (1971), los sismos por impacto meteorítico no contribuyen significativamente a la sismicidad, para los intervalos usuales de períodos de retorno de 100 a 1.000 años. Pero para períodos de retorno de 10.000 años, su contribución es del mismo orden que los sismos tectónicos.

## 2.2.2

### Causas antrópicas

**PRODUCIDOS POR EXPLOSIONES NUCLEARES.** Algunas explosiones nucleares subterráneas, son lo bastante grandes para producir ondas sísmicas que se propagan por el interior de la Tierra. Suelen tener amplitudes equivalentes a los terremotos de magnitud 7, en la escala de Richter.

En los E.U.A., el 26 de abril de 1968 se detonó un ingenio nuclear subterráneo denominado Boxcar, en el desierto de Nevada. La energía liberada por la explosión fue equivalente a la de un terremoto de magnitud 6, y sus efectos fueron sentidos en la ciudad de Las Vegas a 50 km. de distancia. Su duración fue entre 10 y 12 segundos, no provocó daños de consideración.

Es interesante destacar que durante los años 60, después de la firma del Tratado de Prohibición Parcial de pruebas nucleares del 31 de julio de 1963, las explosiones nucleares pasaron a ser subterráneas por los países que firmaron el acuerdo.

Después de este hecho significativo, la sismología recibió un fuerte apoyo por parte de los gobiernos de las superpotencias, cuando se dieron cuenta de que eran necesarias nuevas y mejores técnicas sísmicas para distinguir entre un terremoto natural y un terremoto ocasionado por un ensayo nuclear. Gracias a todo ello, hoy existe una amplia red de vigilancia sísmica que ha aportado valiosos datos para el conocimiento del interior de nuestro planeta.

**SISMICIDAD INDUCIDA POR EMBALSES.** Los terremotos provocados por el relleno y vaciado de embalses, abarcan una amplia gama de magnitudes que van desde los microterremotos únicamente detectables con sismógrafos muy sensibles, hasta terremotos con magnitudes de 6,5. Es el caso de la presa de Koyna (India), donde el 11 de diciembre de 1967 se produjo un movimiento sísmico que provocó 177 muertos y dañó seriamente la presa. Curiosamente, la zona era considerada como de baja sismicidad. Como puede comprobarse, la energía liberada por este tipo de terremotos puede ser importante.

Los mecanismos más aceptados para explicar el origen de dichos terremotos, se basa en la disminución de la presión efectiva por aumento de la presión intersticial (entre los poros de la roca), y/o la introducción de fluidos en las grietas, hecho que disminuye el coeficiente de rozamiento entre los planos de fracturas y diaclasas.

Localización presa	Altura (m)	Capacidad $m^3 \times 10^9$	Año de entrada en funcionamiento	Año del primer terremoto	Magnitud o intensidad	Efectos
L'Qued Fodda, Argelia	101	0.228	1932	1933		
Hoover, USA	221	38,3	1935	1936	(M=5)	
Talbingo, Australia	162	0.92	1971	1972	(M=<3,5)	
Hsinfengkiang, China	105	11,5	1959		(M=6,1)	
Grandval, Francia	78	0.29	1959	1961	Intensidad 5 en 1963	
Monteynard, Francia	130	0.27	1962	1963	(M=4,9)	
Kariba, Rodesia	128	160.0	1958	1961	(M=5,8)	
Vogorno, Suiza	230	0.08	1964	1965		
Koyna, India	103	2.78	1962	1963	(M=6,5)	177 muertos, cuantiosos daños
Benmore, Nueva Zelanda	110	2.04	1964	1965	(M=5,0)	
Kremasta, Grecia	160	4.75	1965	1965	(M=6,2)	1 muerto, 60 heridos
Nurak Tadzik, USSR	317	10.5	1972	1972	(M=4,5)	
Kurobe, Japón	186	0.199	1960	1961	(M=4,9)	
Oroville, USA	236	4.37	1968	1975	M=5,9	

Tabla 2.I. Presas con sismicidad inducida. Modificado de Bolt *et al.* (1977).

Estos mecanismos actúan como iniciadores de la actividad sísmica y el embalse ejerce el efecto de un «gatillo» (*trigger*). La posibilidad de que ocurran terremotos inducidos por embalses en un futuro es mayor, a medida que pasan los años. Esto radica en la necesidad de construcción de grandes presas para potenciar el desarrollo económico, y una mala planificación territorial, puesto que se localizan núcleos urbanos en las proximidades de dichas obras. Es, por tanto, imprescindible hacer estudios previos para conocer la geología y dotar a tales obras de equipos de vigilancia sísmica, ya que en casi su totalidad, los terremotos principales fueron precedidos por sismos premonitores.

Presa	Año construcción	Altura (m)	Capacidad (hm <sup>3</sup> )	Año del terremoto más fuerte	M	I
Camarillas (Albacete)	1960	36	39,9	1961	4.8	VI
Almendra (Zamora)		202	2475	1972		
El Grado (Huesca)		88	400	1966		III-IV
La Cohilla (Santander)		116	12			
Fuensanta (Santander)	1973	75	230	1973		
Canelles (Lérida- Huesca)	1960	133	716	1962		V
Santa Ana (Lérida- Huesca)		101	237	1962		V
Ordunte		55	22	1966	3.8	VI

Tabla 2.11. Sismicidad inducida por embalses en España. Diversas fuentes.

**INYECCIÓN DE FLUIDOS.** El hombre también puede provocar terremotos inyectando líquidos en pozos profundos. En Denver (Colorado), se inyectaron aguas residuales en un pozo de 3.670 metros y se observó que en esta zona que era considerada de sismicidad baja, se empezaron a producir varios sismos con magnitudes comprendidas entre 0,7 y 4,3. La sismicidad decrecía cuando se suspendía la inyección de fluidos.

El Centro Nacional de Investigación para la prevención de Catástrofes (Japón), realizó en 1970, el experimento «Marsushiru». Consistió en perforar un pozo de 1.800 metros e inyectar agua a una presión entre 19 y 50 bares. Se observó que en un período de tiempo entre 5 y 10 días después de la inyección de fluido, el número de terremotos se incrementó en diez veces por unidad de tiempo.

El U.S. Geological Survey en 1969, realizó un experimento en el campo petrolífero de Rangely, Colorado. Cuando la presión del líquido inyectado llegó a  $1,1 \times 10^4$  pascales, se incrementó la actividad sísmica, pero decrecía al bajar la presión.

En los tres casos, los pozos penetraban en fallas existentes y la corteza había sufrido deformaciones tectónicas.

## 2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS TERREMOTOS SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS

Newmark y Rosenblueth (1971), han dividido los terremotos en cuatro grupos según sean sus características:

- a) **Terremotos de una sola sacudida.** Son producidos en focos a poca profundidad, se producen en terrenos firmes y a distancias epicentrales pequeñas. Ejemplos de este tipo de terremoto son: Agadir (Marruecos) en 1960, con M 5,8 y Skopje (Yugoslavia) en 1963, con M 6,0.
- b) **Terremotos de duración moderada y vibraciones irregulares.** Ocurren en terrenos firmes y las distancias epicentrales son moderadas. Casi todos los terremotos de este tipo ocurren en el cinturón circumpacífico, como los terremotos de la falla de San Andrés.
- c) **Terremotos de larga duración y períodos dominantes.** Están provocados por ondas sísmicas filtradas a través de capas blandas del suelo. El terremoto de México de 1985, fue de este tipo y alcanzó una magnitud de M 8,1.
- d) **Terremotos que producen deformaciones permanentes en el terreno.** Producen cambios en las trayectorias de los ríos, levantamiento de costas, etc. Algunos ejemplos son el terremoto de Anchorage (Alaska) en 1964, con M 8,4, y el terremoto de Niigata (Japón) en 1964, con M 7,5.

La clasificación propuesta por Mogi (1963), está en función de la secuencia de premonitarios, sismos principales y réplicas, dividiendo la misma en tres tipos:

- a) **TIPO I.** No se registran premonitores. Se produce un sismo principal, seguido de otro de menor magnitud, normalmente en materiales homogéneos y la distribución de las tensiones es uniforme. Como buen ejemplo, está el terremoto de México, en 1985, en el que hubo un sismo principal seguido de una serie de réplicas.
- b) **TIPO II.** Se registran premonitores y su número aumenta antes del principal. Ocurre en materiales heterogéneos y la distribución de las tensiones no es uniforme. Posteriormente al sismo principal, se produce una serie de réplicas de menor magnitud. Este tipo de distribución es lo que más se adapta a la sismicidad inducida por embalses.

c) **TIPO III.** Se produce un enjambre de terremotos y no es posible distinguir un sismo principal. Ocurre en materiales muy heterogéneos y se produce una acumulación de fuerzas no uniforme y muy concentrada (ver figura 2.5).

## 2.4. LAS FALLAS Y SU RELACIÓN CON LOS TERREMOTOS

Se denominan **fallas** a unas fracturas en las rocas, resultado de fuerzas que han sobrepasado el límite de elasticidad de los materiales que las integran, provocando un desplazamiento de los bloques resultantes, uno respecto a otro, en una dirección paralela al plano de fractura (ver figura 2.6).

Las fallas no tienen una extensión indefinida, tienen extremos terminales, en los cuales el desplazamiento es nulo.

Existen varios tipos de fallas según sea su desarrollo geométrico. Éstas pueden ser básicamente de dos tipos: de **traslación** y de **rotación**. En la tabla 2.II, se observan los distintos tipos de fallas.

La relación entre fallas y terremotos es que en ellas están localizados los hipocentros o focos de los sismos, pero la formación de una falla no es producto de un único episodio violento y de corta duración.

Las fallas son activas durante largos períodos de tiempo, incluso millones de años. Valga como ejemplo la falla alpina de Nueva Zelanda con edad aproximada de 100 millones de años, y un desplazamiento diferencial a lo largo de falla de 1.200 kilómetros.

Los movimientos se realizan en períodos muy cortos, pero determinan la historia de una falla. El geólogo estudia su comportamiento y desarrollo a lo largo del tiempo, con un trabajo parecido al de un detective que investiga los pormenores de un complicado crimen. Las fallas dejan su huella en la topografía, cursos de ríos, etc.

Mediante estudios detallados, se puede determinar la historia de una falla y sus desplazamientos a lo largo del tiempo. Con el auxilio de modernas técnicas geofísicas, se puede cartografiar la falla en profundidad y localizar las que están ocultas en superficie.

Cuando se produce un terremoto, aparte de los daños provocados por el movimiento del terreno, el movimiento de la falla mismo puede provocar serios daños en las edificaciones y obras que se asientan sobre ella o en sus proximidades. Estos daños se podrían reducir evitando la construcción en las proximidades de una falla activa que esté cartografiada en superficie, o se sepa de su existencia en el subsuelo mediante estudios geofísicos. Tales áreas deberían de ser sometidas a estudios de ordenación del territorio para impedir las obras que supongan algún riesgo, así se evitarían daños a la población y pérdidas económicas cuantiosas.

## 2.5. MECANISMO DE DISPARO DE LOS TERREMOTOS

Actualmente no existe una teoría precisa acerca de la génesis de los terremotos, es decir, el **mecanismo de disparo** que desencadena un sismo. Aunque se vienen haciendo múltiples investigaciones, no hay nada concluyente de las causas que los originan. Y sólo existen ciertas teorías, aún no totalmente probadas. Algunas teorías son: la influencia de los astros (Luna, Sol y los planetas), la atracción gravitacional de la Luna y el Sol sobre la Tierra, dando como resultado deformaciones o mareas terrestres que afectan a todo el planeta; otra teoría se basa en la fluctuación del eje de la Tierra. En otros casos, se estudia la influencia de las condiciones atmosféricas, como por ejemplo la presión atmosférica.

Todas estas fuerzas solas, o en conjunto, podrían ayudar a liberar la energía acumulada en las rocas en forma de terremoto, pero por el momento, se encuentran sujetas a estudios y comprobaciones, y no hay nada concluyente del mecanismo desencadenante.

También se están realizando investigaciones acerca de la presión intersticial sobre la formación de los sismos. Se ha observado una correlación entre la tasa de inyección de fluidos y la frecuencia de los terremotos (Evans, 1966; Headly *et al*, 1968); la presión intersticial es una variable que puede ser controlada, hasta cierto punto, por el hombre. Se consigue inyectando fluidos en pozos profundos (se han realizado experiencias en Denver, Colorado y consecuentemente disminuye la resistencia a la cizalla de las rocas si éstas están sometidas a esfuerzos. El agua actúa como un **lubricante** y facilita el movimiento de los bloques de las fallas, en forma de pequeños sismos. Se está investigando la forma de controlar la formación de un terremoto catastrófico, produciendo pequeños terremotos que irían liberando poco a poco, la energía acumulada en las rocas. Lo que no está claro es cuál será el resultado.

## 2.6. PROFUNDIDAD DEL FOCO SÍSMICO

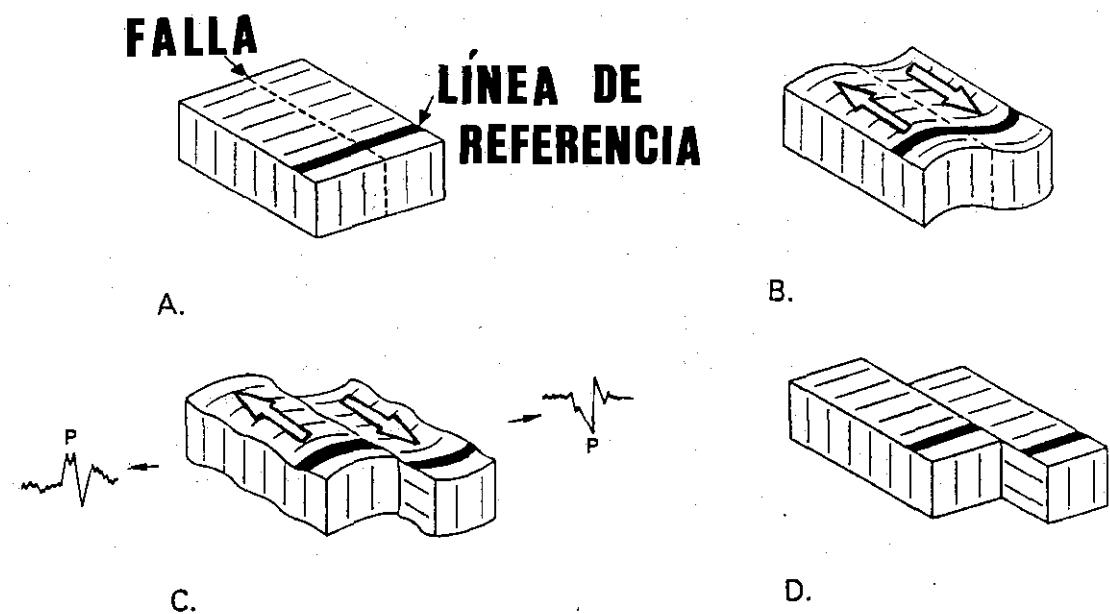
El **hipocentro** o foco sísmico, es aquel punto en el interior de la Tierra en el cual se origina el terremoto. Los terremotos según sea la profundidad del hipocentro, pueden ser superficiales, intermedios o profundos:

Terremotos superficiales: Se producen en los primeros 70 km de profundidad. Liberan una mayor cantidad de energía, ya que se encuentran en el dominio frágil de la corteza, y la posibilidad que tienen las rocas de acumular energía mecánica, es mayor. Son los terremotos que originan un mayor daño.

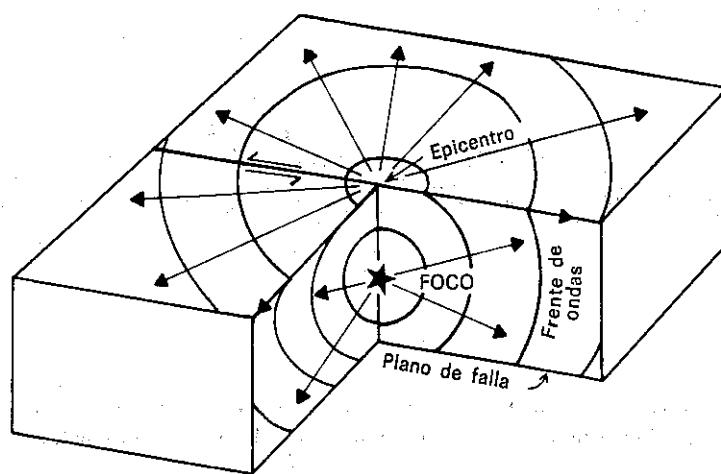
Terremotos intermedios: Son aquéllos que se originan entre los 70 y 300 kilómetros de profundidad.

**Terremotos profundos:** Se originan a partir de los 300 kilómetros de profundidad hasta los 700 km, aunque se ha localizado un epicentro a una profundidad de 783 Km.

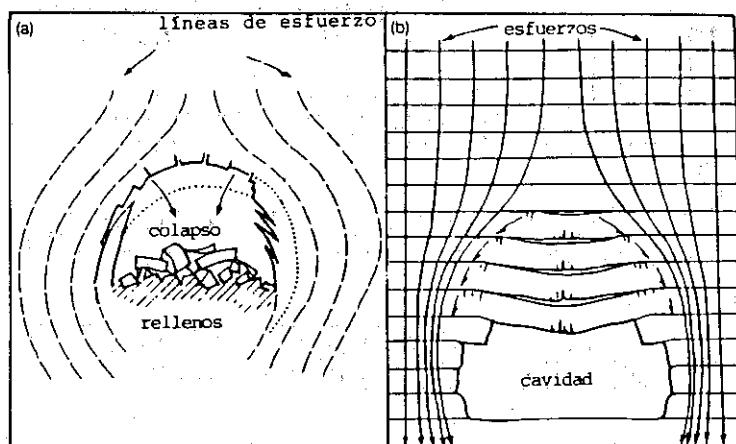
En un pueblo de Granada, Dúrcal, se registró el 23 de marzo de 1954, el terremoto más profundo conocido en Europa. Según el Instituto Geográfico Nacional, el epicentro estaba localizado a 657 km de profundidad; aunque el terremoto alcanzó en superficie una intensidad V (M.S.K.) (ver figura 2.7).



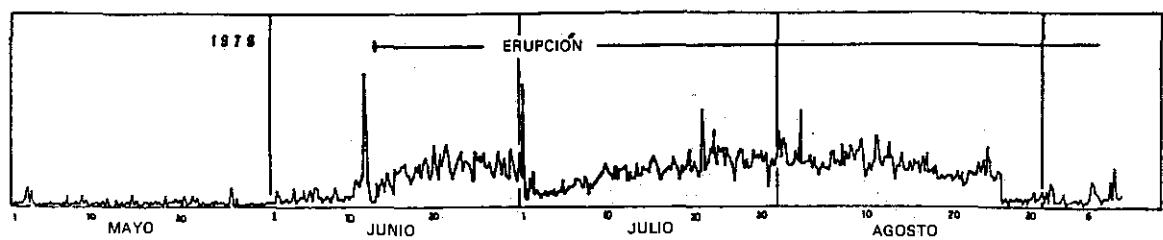
**Fig 2.1** Teoría del rebote elástico propuesta por Reid: A. Estado inicial; B. Acumulación de esfuerzos; C. Rotura del terreno (terremoto); D. Estado final.



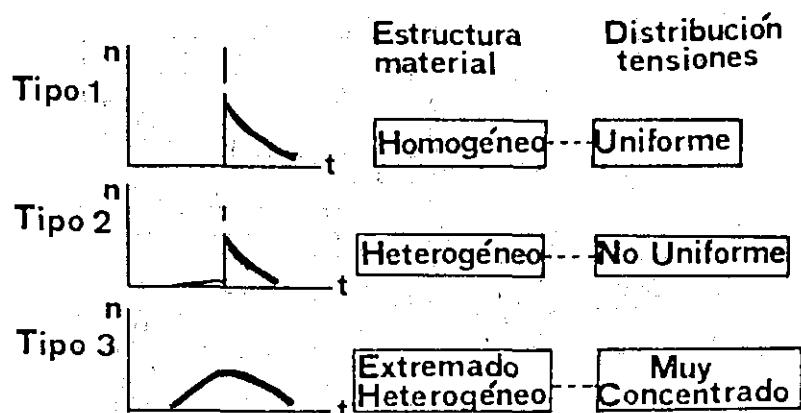
**Fig 2.2** Esquema de un terremoto. Los movimientos corticales ejercen grandes esfuerzos sobre las rocas. Cuando alcanzan un determinado límite, los bloques se rompen a partir de un foco o hipocentro y se desplazan a lo largo de los planos de falla. Este desplazamiento libera la energía acumulada. La proyección del foco o hipocentro sobre la superficie se denomina epicentro. Se irradian ondas sísmicas que son responsables de los daños a edificaciones.



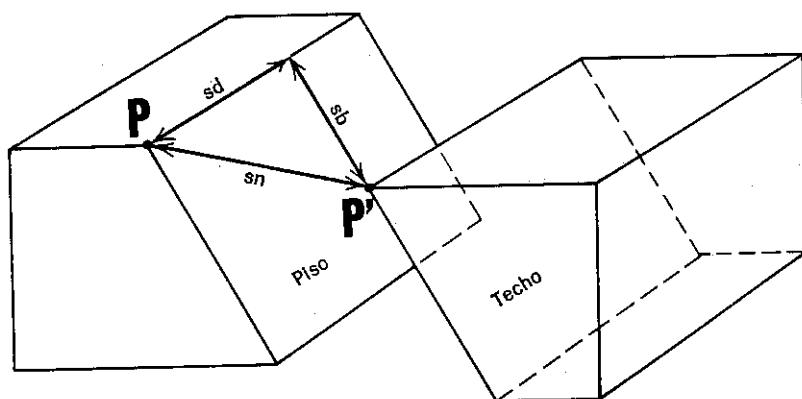
**Fig 2.3** Comportamiento geomecánico del esfuerzo en secciones de cavidades cársticas. (A). Bajo alta presión litostática en profundidad, según Trimmel (1968). (B). En una cavidad superficial, según Davies (1951). (En Jennings, 1985).



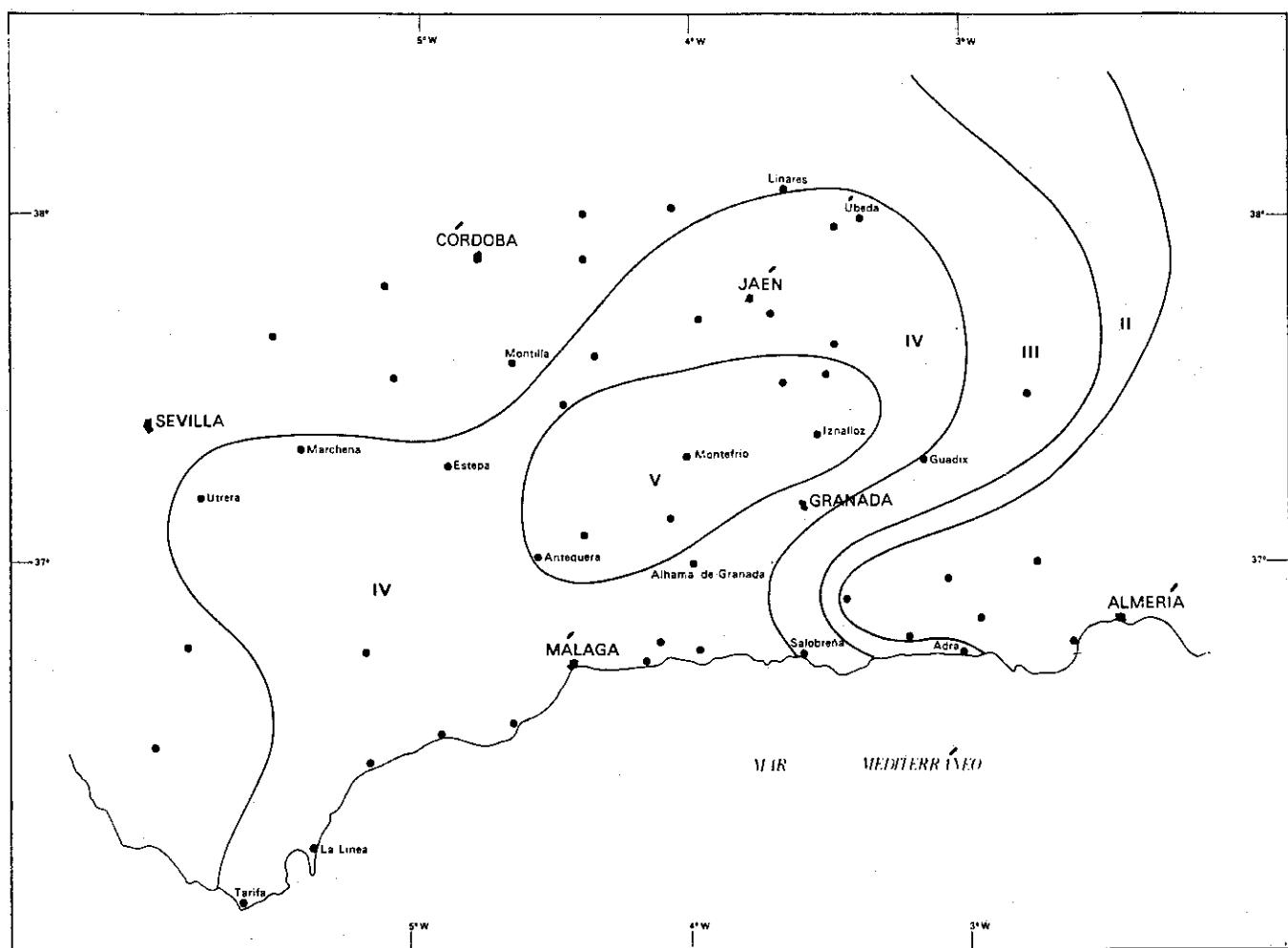
**Fig 2.4** Sismicidad relacionada con la erupción de 1979 del volcán Aso. Obsérvese cómo la amplitud de los términos fué máxima inmediatamente antes de la erupción, y se mantuvo a un nivel anómalo durante todo su desarrollo. Según Komiya (1979).



**Fig 2.5** Clasificación de las series de premonitorios y réplicas, según Mogi (1963).



**Fig 2.6** Terminología de saltos de falla. Salto neto (sn), salto según la dirección (sd), salto según el buzamiento (sb). Ésta es una falla de salto oblicuo, con componentes normal y siniestra el salto según el buzamiento y salto según la dirección, respectivamente. Antes de que se produjera la falla, los puntos P y P' coincidían. Según Hoobs (1981).



**Fig 2.7** Terremoto Dúrcal (Granada) del 29 de marzo de 1954, según el Catálogo Nacional de Isosistemas. I.G.N.(1982).



# TERREMOTOS

## CAPÍTULO 3. ¿CÓMO SE OBSERVAN LOS TERREMOTOS?

### 3.1 INSTRUMENTACIÓN

Para determinar el movimiento del suelo cuando ocurre un terremoto, se han diseñado diversos instrumentos que registran las ondas sísmicas. El primer instrumento del cual se tiene noticia, fue inventado en China en el año 132 d.C., por el sabio chino Chang-Heng. Este instrumento rudimentario era un sismoscopio y solamente registraba la dirección del primer impulso.

El primer instrumento para medir con precisión las ondas sísmicas, fue inventado en 1897, por el sismólogo inglés John Milne. Consistía en un péndulo suspendido por un marco apoyado en el suelo.

Cuando ocurre un terremoto, el marco se mueve y el péndulo se queda estacionario por inercia de su masa. Este movimiento relativo es registrado por una plumilla (que está instalada en el péndulo), en una cinta de papel enrollado a un tambor que gira a una determinada velocidad. En la actualidad, estos sismógrafos son electrónicos, el movimiento relativo entre el péndulo y el marco produce una señal eléctrica que se amplifica electrónicamente cientos de veces, para ser registrada en unas bandas de papel o en una cinta magnética.

Actualmente, los instrumentos sísmicos se pueden dividir en dos grandes grupos: con fines sismológicos y con aplicación a la ingeniería sísmica.

Instrumentación con fines sismológicos	Sismógrafo convencional o de Wood Neuman
	Sismógrafo registrador de eventos
Instrumentación aplicada a la Ingeniería sísmica	Acclerógrafo
	Sismoscopio
	Registrador de máximos de aceleración
	Interruptor sísmico

Tabla 3.I. Esquema simplista de instrumentación sísmica

#### 3.1.1 Instrumentación con fines sismológicos:

Son aquellos instrumentos destinados a medir la sismicidad en general y sirven para determinar los parámetros focales del terremoto (tiempo, origen, magnitud, coordenadas hipocentrales, momento sísmico, etc. ...). Dentro de este grupo existen:

- a) Sismógrafo convencional o de Wood-Neuman (descrito anteriormente). Este instrumento mide de forma continua bien el desplazamiento, bien la velocidad del movimiento del suelo. El registro se efectúa sobre un tambor móvil en el cual va instalada una cinta de papel que registra las señales, también puede realizarse sobre una cinta magnética.
- b) Sismógrafo registrador de eventos. Es un instrumento electrónico digital que puede seguir de modo muy sencillo, la evolución en el tiempo del nivel de sismicidad de un emplazamiento dado. Al ser los datos digitales, se pueden procesar con mayor facilidad que los datos analógicos convencionales.

Básicamente, una estación sismológica consta básicamente de tres sismógrafos, uno montado verticalmente y los otros dos horizontalmente, en ángulo recto con respecto al primero (en las direcciones N-S y E-O).

### 3.1.2 Instrumentación aplicada a la ingeniería sísmica:

Además del instrumental convencional, una estación sismológica puede tener otros instrumentos para detectar los movimientos del suelo en el campo cercano al terremoto, de forma que pueden ser obtenidos datos de aceleración, velocidad y desplazamiento del suelo. Se conocen como sismógrafos de «movimientos fuertes» o de «campo cercano» los que son utilizados para hacer estudios de ingeniería sísmica. Se usan para caracterizar el movimiento sísmico en el campo intermedio o próximo al epicentro (inferior a 100 km de distancia).

Cuando se realizan obras de ingeniería de cierta envergadura, como presas y centrales nucleares, los datos que aportan los acelerógrafos son de vital importancia a la hora de determinar la peligrosidad sísmica de la zona donde se ubican las obras, de forma que los ingenieros sísmicos y arquitectos utilizan los datos como base para calcular la respuesta espectral (es la respuesta de la obra a los movimientos sísmicos) en los proyectos antisísmicos, contribuyendo así a la reducción del posible daño. A continuación, se describen algunos de los instrumentos más usados en ingeniería sísmica:

- a) Acelerógrafo. Es un instrumento que sirve para registrar la aceleración de un sismo en función del tiempo. Se registran las aceleraciones verticales y las horizontales del movimiento. El aparato tiene dos partes, que son un sensor triaxial y un sistema de discriminación y registro.
- b) Sismoscopio. El primer sismoscopio descrito data del año 132 d.C, se conoce como «Choko» y fue inventado en China. Es básicamente un péndulo compuesto invertido, que puede oscilar en cualquier dirección horizontal, con lo que puede leerse la aceleración en diferentes

- direcciones. Es un instrumento de tipo pasivo (ver figura 3.1).
- c) Registrador de máximos de aceleración (o aceleración pico). Son instrumentos que registran la máxima aceleración que se alcanza en una dirección determinada, sea ésta horizontal, vertical o dispuesta en las tres direcciones. Es un instrumento pasivo de tipo mecánico.
- d) Interruptor sísmico. Tal y como su nombre indica, es un mecanismo que funciona como un interruptor. Si se sobrepasan valores prefijados de aceleración para cada uno de los ejes, se cierra un interruptor que dispara una señal eléctrica de alarma.

## 3.2. ONDAS SÍSMICAS

Cuando se produce un terremoto, la energía acumulada en las rocas se transforma en ondas internas superficiales y en calor. Las capas que constituyen la Tierra tienen ciertas propiedades elásticas, a causa de las cuales pueden transmitir las vibraciones que producen los terremotos.

Las ondas sísmicas pueden dividirse en: ondas **internas** (P, S), o aquéllas que se propagan por el interior de la tierra; y en ondas **superficiales**, que son aquéllas que se propagan por la superficie de la Tierra (Love, Rayleigh), (ver figura 3.2).

### 3.2.1 Ondas Internas

**ONDAS P** (longitudinales o primarias). Son las más rápidas, con una velocidad de propagación entre 8 y 14 km/seg. A medida que viajan, las rocas se contraen y se dilatan en la dirección de propagación, a la vez que modifican su volumen. En las otras direcciones, la roca permanece inalterable. Este tipo de ondas, gracias a sus comportamiento, puede propagarse tanto por líquidos como por los sólidos. Debido a que su movimiento es similar a las ondas sonoras, cuando las ondas P salen a la superficie, una fracción puede transmitirse a la atmósfera en forma de ondas sonoras audibles a partir de los 15 ciclos por segundo.

**ONDAS S** (transversales o secundarias). Llegan después que las ondas P, con una velocidad de 4 a 7 km/seg. Se transmiten por las rocas perpendicularmente a la dirección de propagación del frente de onda. Las ondas no modifican el volumen de la roca, sólo cambian su forma. Este tipo de onda sólo puede transmitirse por sólidos, ya que los líquidos si son deformados lateralmente, no se recuperan inmediatamente (ver figura 3.3).

### 3.2.2 Ondas Superficiales

Son de largo período y se propagan a una velocidad de 4 km/seg. Su movimiento está restringido a la superficie terrestre. Serían similares a las ondas que recorren un lago. Se pueden dividir en dos tipos: las ondas **Love** y las ondas **Rayleigh**.

**ONDAS LOVE:** son más rápidas que las ondas Rayleigh. A su paso, el suelo se mueve de un lado a otro en un plano horizontal paralelo a la superficie de la Tierra, y no tienen movimiento en la vertical. Debido a las características de su movimiento, ejercen el efecto de cizalla y pueden dañar seriamente las construcciones.

**ONDAS RAYLEIGH:** tienen un movimiento vertical y horizontal, según un plano vertical orientado en la dirección en que viajan las ondas. Una porción de roca se mueve según una elipse cuando pasa la onda, y deforma volumétricamente la roca.

### 3.3. ¿CÓMO SE INTERPRETA UN SISMOGRAMA?

La primera impresión que se tiene al observar un sismograma, es la de un complicado conjunto de líneas ondulantes que parecen no tener ningún sentido, y se puede llegar a creer que sólo personas altamente especializadas pueden sacar alguna conclusión clara de todo ello. Sin embargo, como los principios básicos para comprender un sismograma están al alcance de cualquiera, si se examina un sismograma con detalle, se puede encontrar tres tipos de ondas: las primarias P y S y las secundarias.

Cada onda afectará al período del sismógrafo de diferente forma, según sea la frecuencia, velocidad y amplitud con la que llegan las ondas, y tiene su reflejo en el sismograma. La primera onda registrada por el sismógrafo es la P, seguidamente llegan las S y, por último, las ondas secundarias (ver figura 3.4).

### 3.4. COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS SÍSMICAS EN EL SUBSUELO

La propagación de las ondas internas (P y S) depende de las propiedades elásticas de las rocas que atraviesen. Cuando el medio en que se propagan las ondas no es homogéneo, tal y como es el planeta Tierra, se producen una serie de fenómenos tales como refracción, reflexión, difracción y dispersión.

En relación con los resultados obtenidos de la observación de estos fenómenos, se pueden detectar cambios de velocidad de las ondas, que estarían provocados por variaciones en las propiedades de los materiales del interior de la Tierra. Estas variaciones responden a diferentes comportamientos físico/químicos de los materiales en profundidad (ver figura 3.5).

Los límites se conocen con el nombre de «**discontinuidades**». La primera fue detectada por un sismólogo yugoslavo, Mohorovičić cuando en 1909, estudiaba un terremoto en los Balcanes. Tal discontinuidad se conoce hoy en día como discontinuidad de Mohorovičić. La capa que se encuentra por encima, se conoce como corteza y la capa que se encuentra debajo, se denomina manto.

Se observó que, a una profundidad de 3.000 km, las ondas S no podían propagarse. Esto indica que, por lo menos, el comportamiento del núcleo interno es semejante al de un líquido. Las ondas P se propagan a través de sólidos y líquidos, y pueden proporcionar datos acerca del estado físico del núcleo, tales como densidad y presión a que se encuentra. Las propiedades que tienen las ondas sísmicas, han permitido a los científicos conocer aquellas partes más profundas de nuestro planeta que nos son inaccesibles a la observación directa.

### **3.5. ATENUACIÓN DE LAS ONDAS SÍSMICAS**

Cuando se produce un terremoto, es muy importante conocer cómo se atenúa con la distancia la energía liberada por el sismo, ya que así se conoce la peligrosidad sísmica de un lugar determinado según la fuente sismogenética.

La energía liberada en el terremoto, se propaga en forma de ondas esféricas que atraviesan las diferentes capas que constituyen nuestro planeta, y se comportan de diferente forma según los materiales atravesados. A medida que avanzan, se consume parte de la energía liberada en el foco sísmico. Cuando se produce el paso del frente de ondas, se produce una atenuación de las ondas sísmicas.

La atenuación es una función matemática que relaciona ciertos parámetros de los terremotos (intensidad, aceleración del terremoto, etc. ...), con otras variables del medio de propagación.

Las ondas internas (P y S) están caracterizadas por tener frecuencias que oscilan entre los 2 y 10 hertzios. Las ondas superficiales (Love y Rayleigh) tienen frecuencias inferiores a 1 hertzio, por lo tanto se propagan y atenúan más despacio que las ondas internas, y son capaces de dañar edificios altos situados lejos del epicentro del sismo.

### 3.6. ¿CÓMO SE LOCALIZA UN TERREMOTO?

Para conocer con exactitud la localización del foco del terremoto o hipocentro, son necesarios cuatro parámetros: tiempo (T), latitud (X), longitud (Y) y profundidad (Z). Pero estas variables no son suficientes; son necesarias tres o más estaciones sismológicas instaladas en distintos puntos, para que mediante técnicas de triangulación se pueda determinar la latitud y longitud del foco origen.

En cada una de esas estaciones, se determina el intervalo de tiempo que tarda en llegar las ondas P y S desde el origen hasta el sismógrafo. La diferencia entre las ondas P y S sirve de base para evaluar la distancia que han recorrido a partir de la columna de la izquierda del nomograma (Grigas y Gilchrise 1983), (ver figura 3.6). Para determinar la magnitud del terremoto, se toma el valor de la diferencia entre P y S en segundos, y se obtiene la distancia a la cual se encuentra el foco.

Una vez obtenidas, para cada estación, las distancias correspondientes al epicentro desde cada una de ellas, se traza un arco con centro en la estación, y como radio la distancia respectiva. Se necesitan, al menos, tres arcos para determinar con cierta exactitud la localización del epicentro. La intersección de todos ellos es la situación aproximada del epicentro del terremoto (ver figura 3.7).

En la actualidad los datos de llegada de las ondas P y S se registran en varias estaciones y son procesadas por ordenadores que dan la localización exacta del epicentro con un margen de error muy pequeño.

### 3.7. LA DURACIÓN DE LOS TERREMOTOS

La duración de un terremoto es crucial para entender las dimensiones de la fuente, y para estimar su energía, ya que la relación entre daños y efectos originados por el sismo con su duración, es esencial para conocer la intensidad de los daños. La duración depende principalmente de las dimensiones de una falla, ya que en fallas de grandes dimensiones se pueden producir temblores con una duración de 5 a 6 minutos.

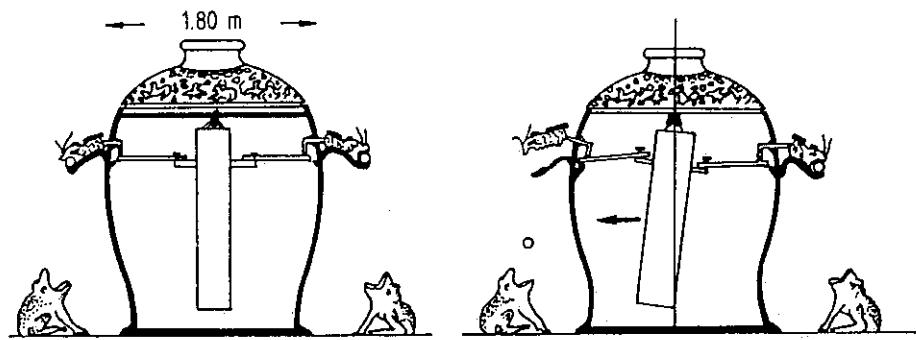


Fig 3.1 Sismoscopio de Chang Heng instalado en China en el año 132 a.C., según Lommitz (1975).

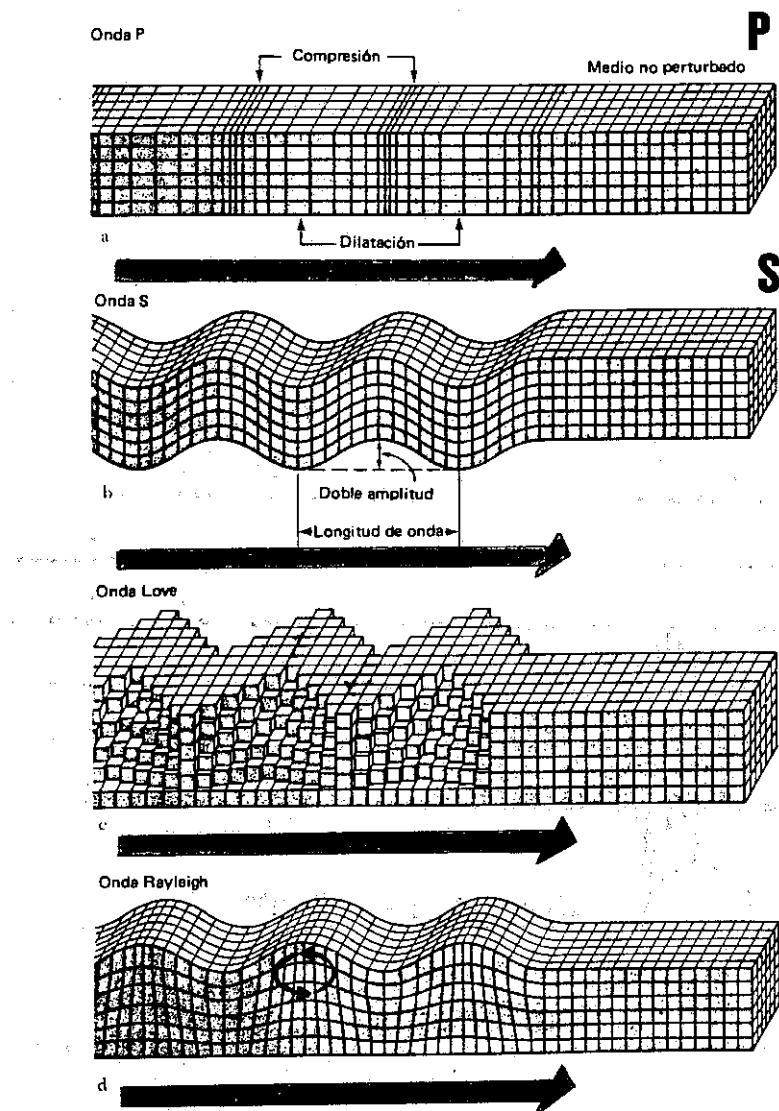


Fig 3.2 Diagrama ilustrativo del movimiento del suelo cerca de la superficie durante un terremoto. Modificado de Bolt *et al.* 1976.

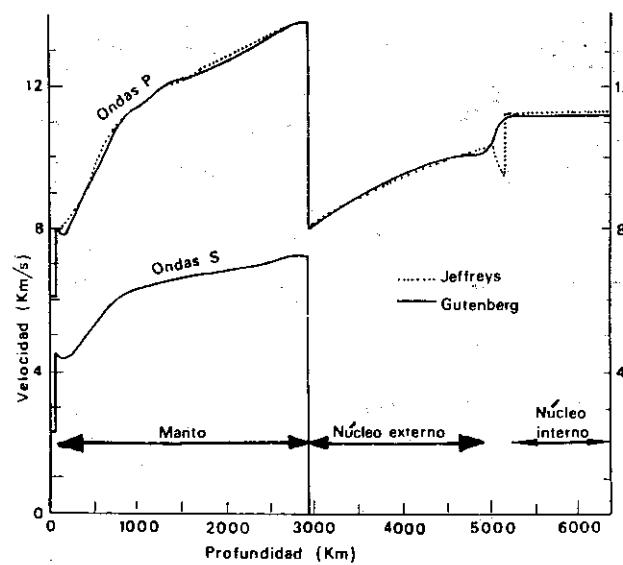


Fig 3.3 Distribución de la velocidad de propagación de las ondas P y S en el interior de la Tierra, según Gutenberg (1959) y Jeffreys (1939).

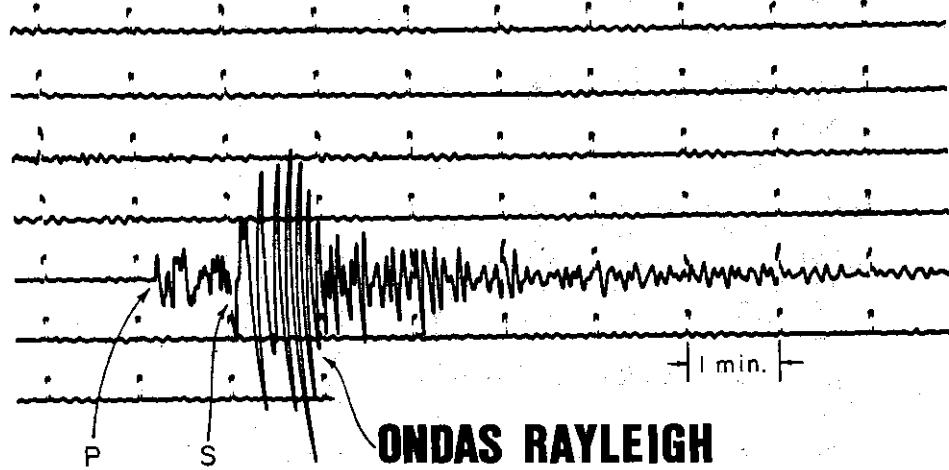


Fig 3.4 Componente vertical de un sismograma de un terremoto registrado en Berkeley en 1960.  $M_L = 5,1$ .

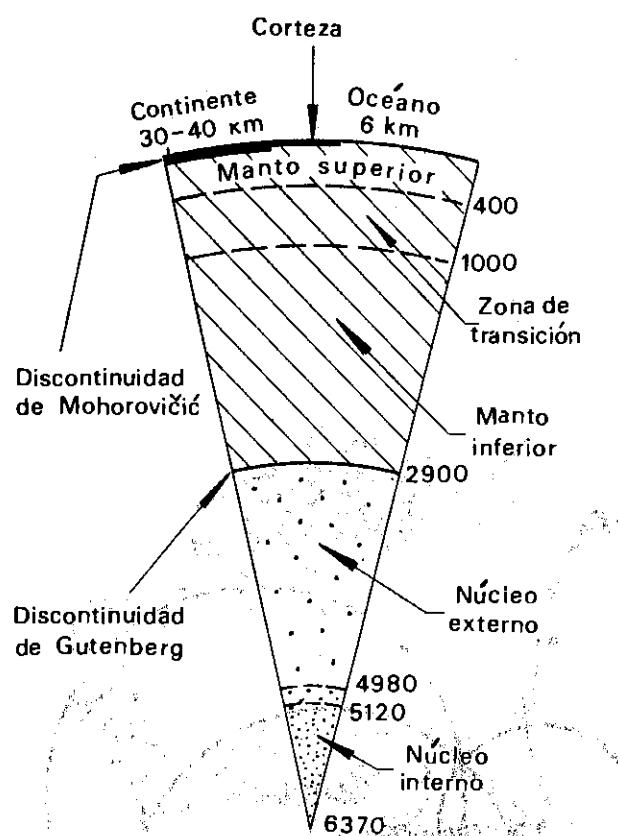


Fig 3.5 Estructura zonal de la Tierra; según Bullen (1963).

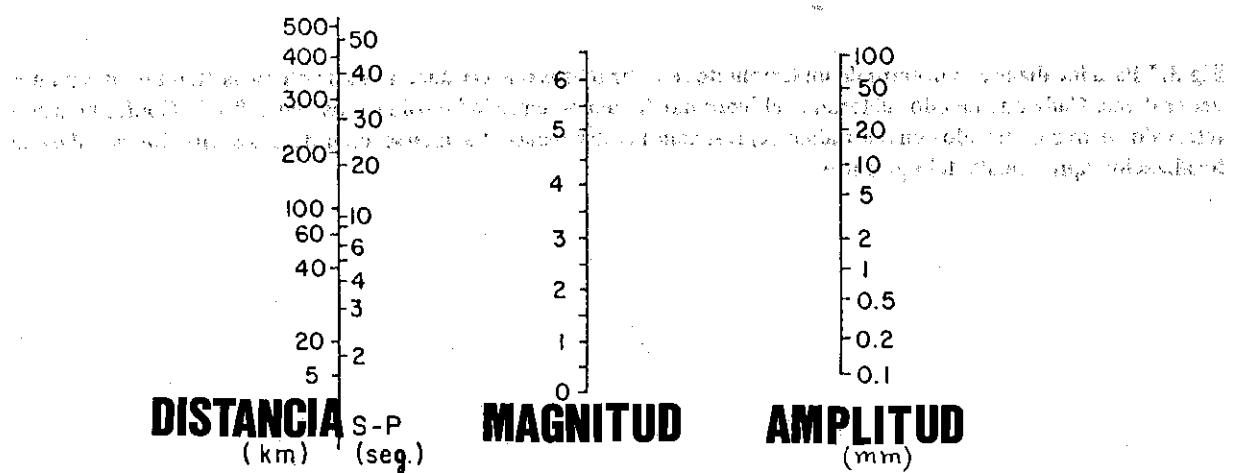
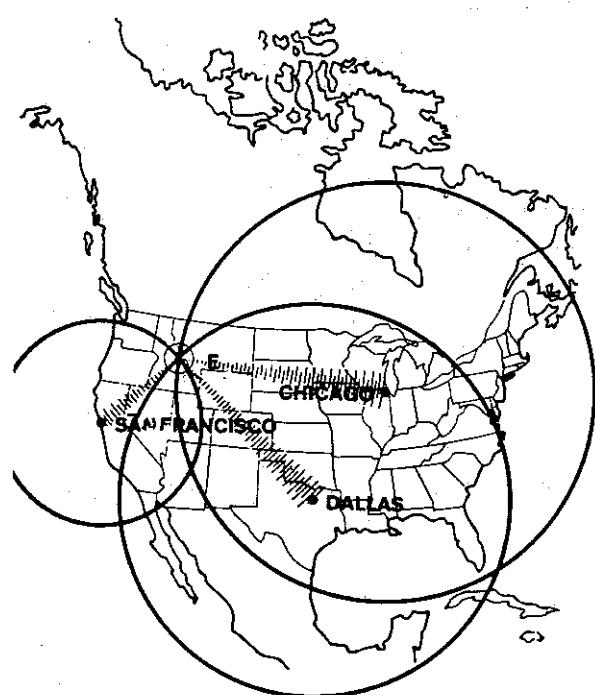


Fig 3.6 Nomograma utilizado para la determinación de la magnitud de un terremoto, según Griggs y Gilchrist, (1983).



**Fig 3.7** Para localizar el epicentro de un terremoto se utilizan tres o más estaciones sismológicas en diferentes puntos geográficos. Cada uno de ellos determina el intervalo de tiempo entre la llegada de las ondas P y S. Conforme a este intervalo se trazan círculos cuyos radios representan las distancias. La intersección de estos círculos nos dará la localización aproximada del epicentro.

# TERREMOTOS

## CAPÍTULO 4. EL TAMAÑO DE LOS TERREMOTOS

A lo largo de la historia, el hombre ha tenido la necesidad de cuantificar los terremotos y los daños que producen. Para conocer la severidad de los daños de los sismos por medios descriptivos, fueron confeccionadas escalas de intensidad basadas en medidas subjetivas de los daños sufridos. Posteriormente, con el desarrollo de la técnica, Charles F. Richter confeccionó en 1935, una escala de magnitud para poder clasificar un sismo de acuerdo con la energía que libera, independientemente del lugar de observación.

### 4.1. ESCALAS DE INTENSIDAD

La **intensidad** es una medida subjetiva de los efectos de los sismos sobre los suelos, personas y estructuras hechas por el hombre.

Se han diseñado diversas escalas de intensidad para medir las sacudidas del terreno no basadas en datos instrumentales, sino en observaciones hechas por el hombre de los efectos que produce el terremoto.

Desde el siglo XVI, con la escala de Gastaldi de 1564, hasta 1964 con la escala MSK, se han desarrollado 51 escalas diferentes, algunas para describir un sólo evento sísmico, y otras para intentar clarificar el grado de destrucción para diferentes terremotos.

La escala de intensidades que precedió a las actuales, fue desarrollada en 1857, por Robert Mallet en un estudio acerca de los efectos de un terremoto destructor en Nápoles (Italia). Su método consistió en una representación detallada sobre un mapa de líneas de igual daño o igual intensidad (isosistas), y una tabulación de los efectos sentidos y daños, a los edificios y a la superficie de la Tierra.

Mallet observó que había una correlación entre los isosistas y los efectos sentidos, comprobando así que los efectos de las sacudidas de un terremoto disminuían con la distancia.

En el año de 1884, fue desarrollada por Rossi y Forel, una escala con intervalos de valores desde el I al X, de menor a mayor intensidad de destrucción. El propósito de esta escala era poder comparar intensidades de terremotos diferentes. En 1902, un sismólogo y vulcanólogo italiano llamado Mercalli, propuso una escala de doce grados. Fue modificada en 1931, por H.O. Wood y Frank Neuman del Instituto Tecnológico de California, para adaptarla a las condiciones de construcción en California.

Se conoce a la escala de Wood - Neuman como **Escala Mercalli Modificada**. Tiene doce grados, y es la escala de intensidades sísmicas con mayor aplicación internacional.

Posteriormente, en 1951, las Agencias Meteorológicas de Japón proponen una escala de siete grados, y abarca desde sismos no percibidos por el hombre, hasta terremotos devastadores. En la actualidad, es la escala vigente en Japón. En la mayoría de los países europeos, se utiliza la escala M.S.K., propuesta en 1964 por S.V. Medveder, S. Sponhever y V. Karnik. Esta escala es la que se utiliza como escala oficial en España, y se describe con mayor detalle en el punto 8.4.

Como norma general, las escalas de intensidad se basan en observaciones de los efectos sentidos como consecuencia de un terremoto. Son útiles para zonas del planeta altamente sísmicas que carecen de sismógrafos, para medir los movimientos del terreno en lugares próximos al sismo. Asimismo, son válidas para cuantificar terremotos históricos.

#### 4.2. ESCALAS DE MAGNITUD

La **magnitud** es una medida instrumental objetiva de la energía de un sismo. La primera escala de magnitud fue ideada en 1935, por el sismólogo norteamericano Charles F. Richter, del Instituto de Tecnología de California, con el fin de clasificar un terremoto independientemente del lugar de observación. Esta magnitud, se conoce como magnitud local ( $M_L$ ), y nos sirve para evaluar la energía liberada en un terremoto a partir de la amplitud máxima registrada en un sismógrafo convencional.

Magnitud es el logaritmo de la máxima amplitud de un sismograma registrada por un instrumento estándar, a una distancia de 100 kilómetros del epicentro. Como la escala es logarítmica, el incremento en una unidad de magnitud equivale a multiplicar la amplitud registrada por diez (Raúl Husid, 1975).

La magnitud local  $M_L$  presentaba ciertos problemas, ya que se evalúa para distancias cortas desde la fuente sísmica, y no especifica el tipo de onda a medir. Cuando se utiliza para distancias telesísmicas, no resulta fiable, por lo que fueron apareciendo otros tipos de escalas de magnitud tales como **mb**, que mide la amplitud de las ondas P y la escala **Ms**, que mide la amplitud de las ondas superficiales desarrolladas por Gutenberg y Richter (ver figura 4.1).

Otro parámetro fue propuesto en 1967, por el japonés Aki: el «Momento Sísmico» ( $M_0$ ). La aportación de este concepto en sismología fue una nueva medida para medir el tamaño de un terremoto, en función de las propiedades de las rocas y las dimensiones del área que sufre la ruptura.

Posteriormente Kanamori (1977), basado en el  $M_0$  de Aki, definió la «Magnitud espectral»  $M_w$ .

El concepto de magnitud, permite clasificar los terremotos según sea su energía:

- Terremotos grandes	$M \geq 7$
- Terremotos moderados	$5 \leq M < 7$
- Terremotos pequeños	$3 \leq M < 5$
- Microterremotos	$M < 3$

#### 4.3. LA ENERGÍA DE LOS TERREMOTOS

Para conocer la magnitud de un terremoto, como medida instrumental objetiva, se suele utilizar la escala Richter. Es una escala logarítmica, lo que significa que en caso de un terremoto de magnitud 8,6 no equivale a dos eventos sísmicos de magnitud 4,3, sino que es un valor mil veces más grande, y la cantidad de energía es del orden de un millón de veces mayor.

Una sencilla relación empírica de Gutemberg y Richter, relacionó la magnitud  $m$  de un terremoto con la energía producida en forma de ondas elásticas  $E_s$  (Udías, 1983), de forma que:

$$\text{Log } E_s = 11,8 + 1,5 M.$$

Donde 11,8 y 1,5 son constantes, y sustituyendo  $M$  por la magnitud de un terremoto dado, se obtiene su energía equivalente en ergios.

Para hacerse con una idea más clara de la energía que libera un terremoto, se podría comparar a la energía liberada por una explosión nuclear.

La primera explosión nuclear de una bomba de hidrógeno, se realizó en el Pacífico en 1940, en el archipiélago de Bikini. La potencia de esta bomba fue de 10 kilotonnes (aproximadamente 1 kiloton equivale a la potencia explosiva de mil toneladas de T.N.T.), y liberó una energía de  $10^{19}$  ergios. Sería equivalente a un terremoto de magnitud 5 en la escala de Richter.

Si se calcula la energía liberada por el terremoto de Arenas del Rey (Granada) en 25.12.1884, con una magnitud aproximada de 6,7 (I.G.N.), se tendría:

$$\text{Log } E = 11,8 + 1,5 (6,7)$$

$$E = 7,07 * 10^{21} \text{ Ergios.}$$

Por lo tanto, la energía liberada sería equivalente a una bomba de 708 kilotonnes o lo que es lo mismo, 707.945 toneladas de T.N.T.

En el mundo, se consume aproximadamente  $10^{26}$  ergios al año y si se calcula la energía liberada en el mundo por todos los terremotos, resulta un valor entre  $10^{25}$  y  $10^{26}$  ergios.

Generalmente sólo ocurre un terremoto superior a magnitud 8 por año, unos 20 eventos sísmicos con magnitudes entre 7,0 y 7,9, unos 150 eventos con una magnitud entre 5,0 y 5,9, alrededor de 7.000 con magnitud entre 4,0 y 4,9 y más de 50.000 con magnitud entre 3,0 y 3,9 (Andrew Maskrey, 1986).

#### **4.4. ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO**

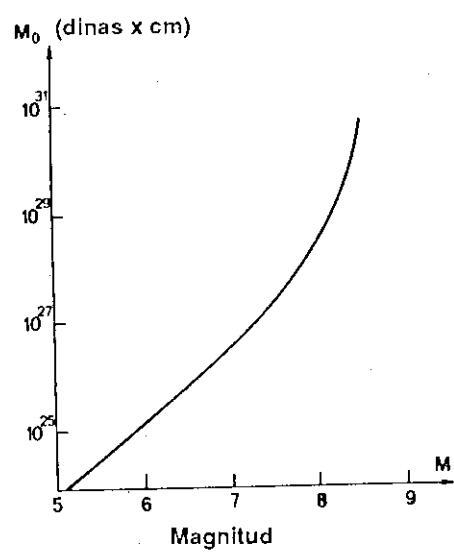
Muchas de las personas que han padecido terremotos, han descrito que algunos de sus efectos se asemejaban a una aceleración o frenazo brusco de un coche, como si hubieran sido lanzados hacia arriba:

Los conceptos de **aceleración, velocidad y desplazamiento** del suelo, se desarrollaron en los años sesenta con la finalidad de aplicar los conocimientos adquiridos en la ingeniería sísmica; por ello, se construyeron unos nuevos sismógrafos que se han llamado **acelerógrafos**. Estos instrumentos están diseñados para conocer el movimiento fuerte del suelo, y sólo se ponen en marcha cuando se produce la sacudida sísmica.

Las aceleraciones pueden ser horizontales o verticales. Normalmente las aceleraciones verticales son menores que las horizontales. Para registrar el movimiento, son necesarios tres acelerógrafos dispuestos en las tres direcciones ortogonales, dos de ellos para registrar las aceleraciones horizontales, y uno dispuesto verticalmente para medir las aceleraciones verticales.

Las aceleraciones verticales fuertes son capaces de lanzar hacia arriba objetos y personas, pero no son tan peligrosas como las aceleraciones horizontales; ya que éstas últimas son capaces de dañar o destruir las edificaciones por ejercer un efecto cizalla en sus estructuras. Para cuantificar las aceleraciones verticales y horizontales, se miden como porcentaje de la gravedad terrestre (% g); siendo  $g = 980 \text{ cm/seg}^2$ .

Es importante que a la hora de proyectar una obra que está localizada en una zona de riesgo potencial de terremotos, el ingeniero o arquitecto disponga de datos precisos de las aceleraciones, fundamentalmente las horizontales, para poder así contrarrestar en el diseño de la obra, las posibles aceleraciones del terreno en el tiempo de vida útil que va a tener la edificación.



**Fig 4.1** Relación entre magnitud y momento sísmico, según Rosenblueth (1975).



# TERREMOTOS

## CAPÍTULO 5.- EFECTOS DE LOS TERREMOTOS

Las consecuencias y efectos de los sismos sobre las personas y las construcciones, dependen de los distintos efectos sísmicos y podrían resumirse en:

- \* Vibración del substrato que afecta a los edificios con diferentes intensidades.
- \* Asentamientos diferenciales del suelo, deslizamientos, licuefacción y avalanchas.
- \* Desplazamiento del suelo a lo largo de las fallas.
- \* Inundaciones, como resultado de la ruptura de presas, canales, modificaciones del curso de los ríos, etc...
- \* Tsunamis.
- \* Incendios.

### 5.1 TSUNAMIS

Cuando se produce un terremoto con epicentro submarino provocado por el movimiento de fallas verticales en el fondo del océano, se ejerce un efecto de émbolo que impulsa la masa de agua circundante, produciéndose así un **maremoto** o **tsunami**. «Tsunami» es una palabra de origen japonés que significa «ola de marea» (ver figura 5.1).

Los terremotos que originan tsunamis se conocen como terremotos tsunamigénicos, pero también pueden producirse maremotos por otras causas tales como deslizamientos en el fondo del mar, erupciones volcánicas, etc...

Los tsunamis son olas de enormes dimensiones con longitud de onda superior a los 100 km y amplitudes en alta mar que no superan el metro. Viajan largas distancias a velocidades que oscilan entre los 700 y 1.000 km/h, cuyo cálculo viene dado por la siguiente fórmula:  $V_t = \sqrt{gL}$ , siendo  $g$  la aceleración de la gravedad,  $L$  la profundidad del agua en la zona estudiada y  $V_t$  la velocidad del tsunami.

El terremoto ocurrido en Arauco (Chile), en 1960, alcanzó una magnitud de 8,5 y causó un tsunami que arrasó varios puertos a ambos lados del Pacífico, como el puerto japonés de Shiogahama, a 16.000 km de Arauco.

A medida que los tsunamis se acercan a la costa, disminuye la profundidad del mar y aumenta el rozamiento de las olas con el fondo marino, así se reduce la distancia entre las crestas de las olas y aumenta su amplitud, que en algunos casos es superior a los 30 metros. La altura que puede llegar a alcanzar localmente un tsunami, depende de la topografía del fondo marino y las condiciones del relieve costero, factores que condicionan la gravedad de los daños. Se sabe que en playas bajas y llanas pueden llegar a alcanzar de 6 a 20 metros de altura, y más de 30 metros en ensenadas en forma de uve.

Un tsunami no consiste en una ola simple, sino que está compuesto por varias olas separadas por intervalos de tiempo de llegada que oscilan entre los 15 y 60 minutos. Generalmente, la primera ola del tsunami no es la más importante y se diferencia muy poco de las olas ordinarias, pero después de la llegada de la primera, se produce un impresionante descenso del nivel del mar que deja varados en la playa miles de peces. El agua es succionada a medida que se acerca el primer gran valle de la ola y llega la primera ola gigantesca, seguida de otras más. El descenso brusco del nivel del mar ha sido la causa de que se hayan producido muchas víctimas mortales pues el falso alivio de que el peligro ha pasado hace que muchas personas vuelvan a sus casas para recuperar sus enseres, o por simple curiosidad.

m años	-1	0	1	2	3	4	Desconocida	Total
500 - 599								1
600 - 699					1			2
700 - 799			1	2	1	1	1	5
800 - 899		1						1
900 - 999	1							1
1000 - 1099			1					1
1100 - 1199								1
1200 - 1299		2						2
1300 - 1399				1	1			2
1400 - 1499		3			1			4
1500 - 1599		2	1					3
1600 - 1649		2	1+(1)	1	1			5
1650 - 1699	1		2	1	1	2		6
1700 - 1749	3			2	1	1		7
1750 - 1799	9	1		1	1			12
1800 - 1849		2	3					5
1850 - 1867				2	1	1		4
1868 - 1899	2	4	2	1		1		10
1900 - 1924	2	4	1	1				8
1925 - 1949	11	1	3	1	3			19
1950 - 1973	8	7	4	4	1	1		25
Total	23	16	36	22	13	7	5	122

Tabla 5.I. Frecuencia de tsunamis clasificados según su magnitud (m=magnitud del tsunami)  
Tomado de Asada *et al.*(1982).

En Japón, país que ha sufrido los efectos de muchos tsunamis (122) desde el siglo VI (tabla 5.I), se ha propuesto adoptar una escala (tabla 5. II.) para medir los tsunamis producidos por terremotos. Es una escala similar a la utilizada para medir magnitudes de terremotos, y se define como el logaritmo de la amplitud de la ola medida en la línea de costa, en una estación de aforo estándar entre unos 10 y 300 km del origen del tsunami, según la ecuación:

$$m = 3,32 \log h$$

siendo «h» la altura máxima de la ola, en metros, medida en la costa.

Magnitud del tsunami M <sup>1</sup>	Energía (erg)	Altura de las ondas tsunami (h)
5	25,6 x 10 <sup>24</sup>	> 32
4,5	12,8	24
4	6,4	16
3,5	3,2	12
3	1,6	8
2,5	0,8	6
2	0,4	4
1,5	0,2	3
1	0,1	2
0,5	0,05	1,5
0	0,025	1
-0,5	0,0125	0,75
-1	0,006	0,50
-1,5	0,003	0,30
-2	0,0015	< 0,30

Tabla 5.II. Magnitud del tsunami, altura y energía máxima de las ondas. Según LIDA (1963).

### 5.1.1 Red de alerta de tsunamis

La red de alerta de tsunamis fue creada en 1946, después del trágico maremoto que arrasó la ciudad de Hilo (Hawai) y varios puertos más del Pacífico (ver figura 5.2). El servicio costero y geodésico de los Estados Unidos, en colaboración con otros países, creó un sistema de alerta para predecir con eficacia los tsunamis, con el fin de disminuir las víctimas y daños que producían (Hawai es afectado por un tsunami catastrófico cada 25 años).

En esta red, están integrados varios países que rodean al océano Pacífico, donde se han instalado estaciones de vigilancia y detectores que avisan la aparición de una ola producida por un sismo. Este instrumento (ver figura 5.3) fue inventado por el comandante C. K. Green, del servicio costero y geodésico, es capaz de distinguir las olas corrientes de las formadas por un terremoto.

El centro de control y proceso de datos de esta red, está localizado en Honolulú (Hawai). Cuando se detecta un terremoto en alguna zona del Pacífico que es capaz de provocar un tsunami, se declara la alarma, y son avisadas todas las autoridades competentes para evacuar las zonas de riesgo potencial. Aunque se ha reducido el número de víctimas mortales, se siguen produciendo desgracias personales por la curiosidad, la ignorancia de las consecuencias y la indiferencia de algunas personas ante los avisos de evacuación, al optar por quedarse en la zona de riesgo para «ver» como llegan las olas, como si de un espectáculo se tratara.

Aunque el sistema de alarma es eficaz, no es suficiente, pues existen áreas densamente pobladas que son muy vulnerables. Deberían confeccionarse normativas que prohíban la edificación en las zonas costeras más amenazadas por el peligro de tsunami.

### 5.1.2 Seiches

El profesor suizo F.A. Forel a finales del siglo pasado, realizó un estudio del movimiento ondulatorio en los lagos suizos y observó que se producía un determinado tipo de oleaje, al cual llamó **seiche**. Anders Kuales (1955) definió el término de «seiche sísmico» para describir las oscilaciones de los niveles de los lagos en Noruega e Inglaterra causadas por el terremoto de Assam (India), en 1950. La primera mención de este fenómeno fue en 1755, en un artículo de la revista *Scot's Magazine*, que informaba sobre seiches en varios lagos escoceses, incluyendo el Lago Ness, que, en teoría, fueron producidos por el terremoto que destruyó Lisboa en 1755.

Se han observado olas de hasta 1,8 metros de altura en la costa del Golfo de México, producidas por un terremoto a más de 4.000 km de distancia.

### 5.1.3 Tsunamis en España

España, aunque pueda parecer lo contrario, es un país susceptible de sufrir los efectos de tsunamis catastróficos, como quedó comprobado en el terremoto de Lisboa en 1755. Varias olas arrasaron muchas poblaciones del golfo de Cádiz, produciendo más de 2.000 víctimas mortales, miles de heridos y cuantiosos daños materiales.

El último tsunami que afectó a las costas españolas, fue provocado por un terremoto con epicentro en el Atlántico el 7.7.1941, que afectó al archipiélago Canario; sus efectos se pueden determinar con este fragmento de la prensa canaria:

« *Poco después del medio día tuvo lugar un fenómeno que produjo gran*

*alarma por lo imprevisto del caso. Tres grandes olas de unos 4 metros de altura batieron con gran ímpetu sobre la entrada de la Avda. de José Antonio y arrancaron un buen trozo de las balaustradas de la misma, siendo lanzadas grandes piedras y cascotes contra el edificio del Cabildo. El agua inundó la explanada y penetró en la Comandancia de Marina alcanzando 1,50 de altura. Hubo varios heridos leves, se arrasó toda la mercancía depositada sobre el muelle, se produjeron grandes desperfectos en la carretera de S. Andrés y en el propio pueblo, en que el agua penetró por las calles» (La Tarde, 7 de julio de 1941).*

#### **5.1.4 Recomendaciones de Protección Civil española en caso de maremoto o tsunami.**

Las recomendaciones siguientes pretenden disminuir los daños que un tsunami puede causar.

- Si vive en la costa y siente un terremoto lo suficientemente fuerte para agrietar muros, es posible que dentro de los veinte minutos siguientes, pueda producirse un maremoto o tsunami.
- Si es alertado de la proximidad de un maremoto o tsunami, sitúese en una zona alta, de por lo menos 30 metros sobre el nivel del mar, en terreno natural.
- La mitad de los tsunamis se presentan primero como un recogimiento del mar, que deja en seco grandes extensiones del fondo marino; corra, no se detenga, aléjese a una zona elevada, el tsunami llegará con una velocidad de más de 100 km/h.
- Si usted se encuentra en una embarcación, diríjase rápidamente mar adentro. Un tsunami es destructivo sólo cerca de la costa. De hecho, a unos 5.600 m. de la costa y a una altura mayor de 150 metros usted puede considerarse seguro.
- Tenga siempre presente que un tsunami puede penetrar, por ríos, ramblas o marismas, varios kilómetros tierra adentro; por lo tanto aléjese de éstos.
- Un tsunami puede tener 10 ó más olas destructivas en 12 horas; procure tener a mano ropa de abrigo, especialmente para los niños.
- Tenga instruida a su familia sobre la ruta de huida y lugar de reunión posterior.
- Procure tener un aparato de radio portátil, que le permita estar informado, y pilas secas de repuesto.

## 5.2 DESLIZAMIENTOS Y AVALANCHAS

Los movimientos sísmicos pueden provocar, por las vibraciones del terreno, deslizamientos y desprendimientos en regiones sísmicas; estos fenómenos pueden afectar a pueblos y ciudades enteras.

En 1971, un terremoto provocó en los Andes peruanos un desprendimiento en el glaciar del Nevado de Huascarán, una montaña de 6.655 metros de altura. Se produjo un flujo de hielo, rocas y agua que se deslizó vertiente abajo, a gran velocidad, arrasando todo a su paso. Según descripción de un testigo presencial:

*«La superficie de la ola estaba curvada como si se tratase de una enorme ola marina rompiente; media al menos 80 metros de alto. En Yungay, centenares de personas corrían alocadas, presas del pánico; algunos intentaban alcanzar la seguridad que ofrecía la colina del cementerio. El ensordecedor rugido era realmente terrorífico. Yo llegué a la cima de la colina justo a tiempo, en el momento en que la avalancha de derrubios chocó contra el pie de la misma. Tanto mis amigos como yo tuvimos que salvar nuestras propias vidas en tan sólo 10 segundos».*

Esta terrible avalancha causó la destrucción de dos ciudades y la muerte de cerca de 20.000 personas.

En España, también se han registrado desprendimientos y deslizamientos como consecuencia de movimientos sísmicos. El último terremoto destructor que afectó a España en 1884, desencadenó numerosos desprendimientos en varios pueblos, siendo el más grave el ocurrido en la localidad de Tajo de Alhama, que arrastró por un precipicio a varias casas, siendo la causa principal de daños y los 307 muertos registrados en este pueblo. También ocurrieron deslizamientos que arrastraron pueblos enteros, como Guevesar y Guajar Alto, asentados sobre terrenos margosos.

## 5.3 INCENDIOS

Los incendios a consecuencia de terremotos, han causado en algunas ocasiones una enorme destrucción en ciudades afectadas por sismos, llegando incluso a producir un mayor daño que el sismo en sí. Los terremotos de Lisboa (1755), San Francisco (1906) y Tokio (1923) provocaron incendios de impresionantes dimensiones que arrasaron a estas ciudades. En el caso de San Francisco, el incendio se prolongó durante tres días destruyendo 508 manzanas de la ciudad. Murieron 700 personas, y los daños oscilan entre los 350 y 1.000 millones de dólares americanos de la época.

En Tokio, las consecuencias fueron más desastrosas: la destrucción casi completa de la ciudad, 156.693 víctimas y ninguna edificación escapó sin daño al terremoto o al incendio.

En las actuales urbes, los incendios producidos por terremotos son un riesgo potencial que puede agravar de forma notable los efectos de un terremoto. Las

concentraciones de industrias químicas, refinerías e instalaciones de gas, pueden verse afectadas por la rotura de las conducciones o tanques de almacenaje, con el consecuente riesgo de explosión e incendio.

#### 5.4 DAÑOS EN LAS EDIFICACIONES

Con el fin de determinar los daños que pueden producir los futuros terremotos, es necesario conocer los distintos tipos de estructuras y su comportamiento ante los diferentes movimientos del suelo. Con relación a los datos obtenidos, se podrán mejorar los tipos constructivos y hacer más estrictos los controles de calidad en obras de reciente construcción.

La utilización de diseños antisísmicos en obras, aumenta considerablemente el coste de construcción, y por ello en muchos casos, se evita su aplicación. El respeto de la normativa sismorresistente deberá ser riguroso para evitar daños mayores. Cuando se produce un terremoto, los daños en las construcciones están relacionados con los tipos de los elementos constructivos, materiales empleados, modo de ejecución, subsuelo, topografía, etc...

Según F. Sauter (1988), las características sísmicas de una región y el tipo de construcción base, son la causa principal de los daños producidos por los sismos, pero existen otros factores que pueden agravar estos daños. Algunos de estos factores que influyen en la cuantía de los daños son:

- \* Simetría geométrica y regularidad en la distribución de rigideces y masas. La experiencia ha demostrado que los edificios de forma regular y simétrica se comportan mejor que aquéllos con formas arquitectónicas caprichosas; la irregularidad en la disposición arquitectónica y en la distribución de masas, y de rigideces de los elementos resistentes, incrementa el efecto de torsión y en consecuencia, los desplazamientos y los daños debidos al sismo.
- \* Flexibilidad del sistema resistente. Los daños a una obra son proporcionales a las deformaciones, y no necesariamente son función de la resistencia.
- \* Paredes de mampostería. Dentro de los daños secundarios, los ocasionados a paredes de cerramiento y divisiones internas de mampostería, suelen ser los más frecuentes y más significativos. En sismos de intensidad moderada, las reclamaciones e indemnizaciones por fisuras, grietas y desprendimientos de paredes de mampostería, son los más numerosos y los de mayor cuantía.

Existe una fórmula estimativa propuesta por García Yagüe (1985), que sirve como aproximación al problema de los daños. Se ha deducido a partir de los efectos de los sismos recientes y los daños observados. Esta expresión permite estimar el daño producido por un sismo, a partir de la zona en donde se han registrado los efectos destructivos.

$$D = R * T * P$$

siendo:

D = Daños materiales.

R = Renta per cápita.

T = Coeficiente variable entre 0,5 y 1,5 en función de la concentración de industrias en la zona y de su tecnología en coste relativo.

P = Número de habitantes de la zona en la que se han producido destrucciones. (Intensidad no inferior a VIII si predominan las estructuras de hormigón o acero, y no inferior a VII si predominan las de ladrillo o mampostería no reforzada.) En las zonas turísticas, debe considerarse la población con un índice de ocupación del 80%.

Los daños más fuertes provocados por los terremotos en las edificaciones, dependen de los componentes estructurales y de los componentes no estructurales de la obra; según Oñate y Canete (1980), estos daños se podrían resumir en:

- Agrietamientos de acabados y muros (estructurales y no estructurales).
- Formación de zonas plásticas en pilares.
- Agrietamientos en vigas.
- Rotura parcial o total de los componentes estructurales y no estructurales.
- Pérdidas de anclajes de pretensado.
- Desperfectos en recubrimientos, fachadas, etc.
- Rotura de tuberías, chimeneas, etc.
- Rotura de falsos techos, escaleras, etc.
- Colisión contra construcciones vecinas por exceso de flexibilidad en la estructura.

### Condiciones del subsuelo

Buena parte de los daños producidos por los sismos, van a venir condicionados por las características geotécnicas del subsuelo.

Se pueden producir fenómenos de **licuefacción**, proceso en el que la tierra y arena, durante un sismo, se comportan como un fluido denso. El suelo pierde así la consistencia y se dañan las construcciones situadas sobre el mismo.

Un violento terremoto de magnitud 8,6 en el sur de Alaska en 1964, provocó un espectacular fenómeno de licuefacción en las arcillas y arenas de los cerros de Turnagain.

En la localidad de Anchorage (Alaska), se produjo un movimiento de tierra que penetró 300 metros en el mar a lo largo de 2.800 metros de costa, arrastrando consigo todo lo que estaba edificado.

Según Kuribajashi y Tatsouka (1975), a partir del grado de intensidad V (M.S.K.)

se pueden observar efectos de licuefacción en las proximidades del epicentro. Existe una relación que indica qué distancia puede ser afectada por fenómenos de licuefacción y la intensidad sísmica del epicentro.

$$D(\text{km}) = 10N^5$$

D es la distancia afectada por fenómenos de licuefacción.

N es el grado sísmico en el epicentro.

La licuefacción de los suelos viene condicionada por el nivel freático. Se ha observado que este fenómeno ocurre cuando el nivel freático se encuentra a menos de 5 metros de la superficie y 10 metros como máximo, comprobándose así que cuanto mayor sea la intensidad de los terremotos, más se ablanda el terreno perdiendo su consistencia.

En áreas geográficas muy pequeñas, como puede ser el caso de una ciudad, se pueden observar varios grados de diferentes intensidades; este hecho tiene que ver con la diferente distribución y origen del subsuelo. En el terremoto de Niigata (Japón) de 1964, se pudieron observar estas diferencias de intensidad (M.S.K.) en función de los terrenos, así:

Tipos de terreno	Intensidad sentido (M.S.K.)
Terreno terciario	V
Aluvial y arena de duna	V
Arena y grava aluvial	V
Aluvial arenoso (espesor de 60 m)	VI-VII
Rellenos	VIII

### Efecto de la topografía

La topografía desempeña un papel muy importante a la hora de considerar el emplazamiento de una obra en zonas sísmicas, ya que, según las características fisiográficas de cada zona, las ondas sísmicas variarán su comportamiento.

**Superficie libre plana:** Las ondas S se duplican, no existen variaciones locales causadas por la superficie.

**Cordilleras:** Se produce una amplificación de las ondas en las cimas.

**Valle:** Se produce una deamplificación de las ondas sísmicas.

**Cañones:** Se produce, según Serma (1985), una amplificación en el margen del cañón y una deamplificación en su base.

**Cuencas sedimentarias:** Se producen fenómenos de resonancia en la dirección lateral, se incrementan la amplitud y la duración del movimiento.

Las ondas sísmicas afectan a las estructuras en función de :

- \* Ondas de baja frecuencia y períodos largos hacen que los edificios altos entren en resonancia, no afectando a los bajos.
- \* Ondas de alta frecuencia y períodos cortos afectan a las casas bajas y no a las grandes estructuras.
- \* Período de resonancia del terremoto.
- \* Período fundamental de la estructura.
- \* El mayor daño se produce en terreno llano, y menos en terreno duro.
- \* Los edificios altos sufren más daños que los bajos en suelos blandos y profundos.





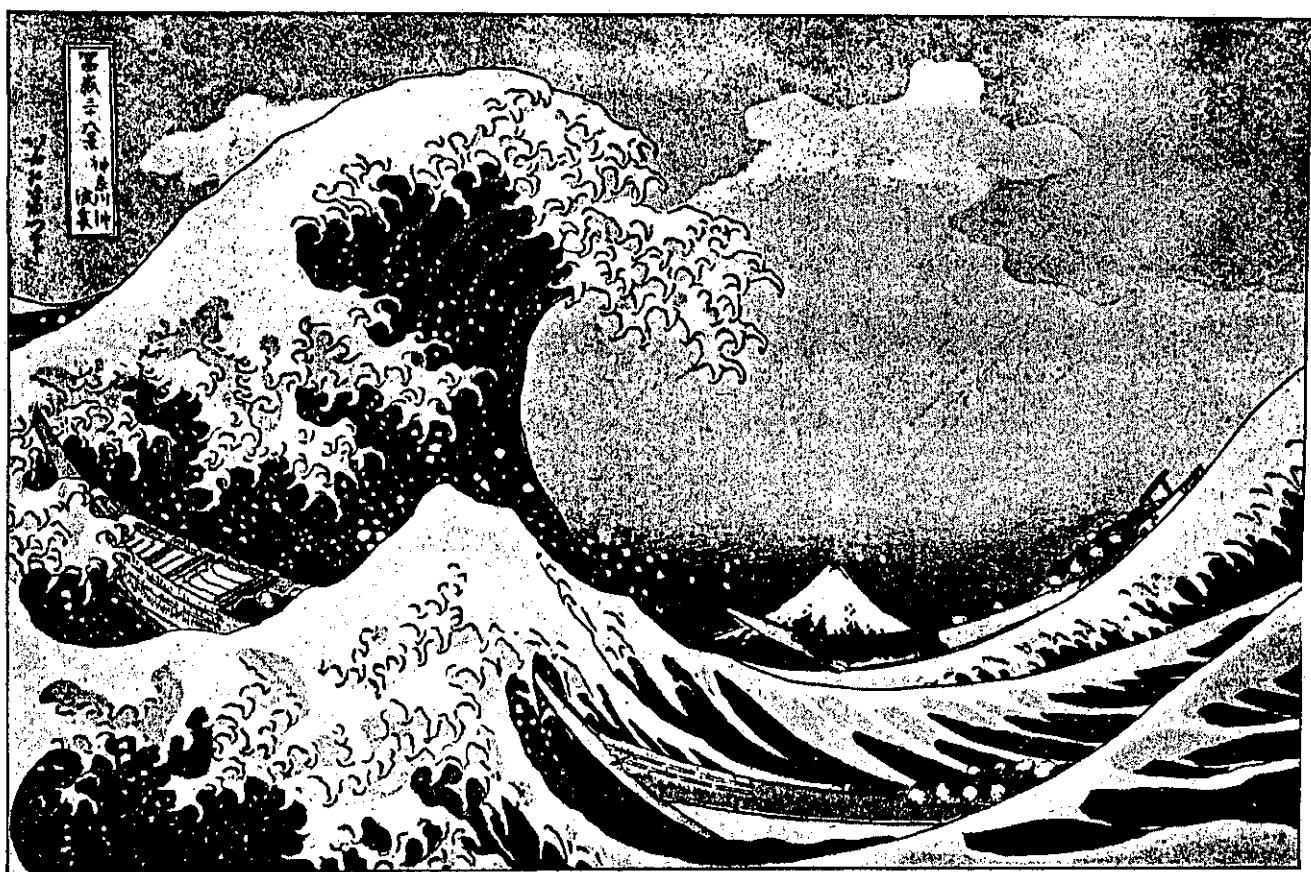


Fig. 5.1 Grabado de un tsunami cerca de la costa de Japón, dibujado por Hokusai, pintor japonés del siglo XIX. El título (ángulo superior izquierdo) viene a decir: *La cresta de la gran ola de Kanagawa*. Al fondo, el cono nevado del Fujiyama.

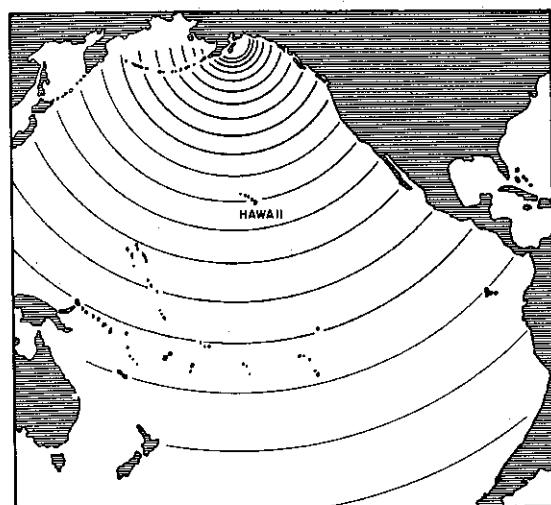
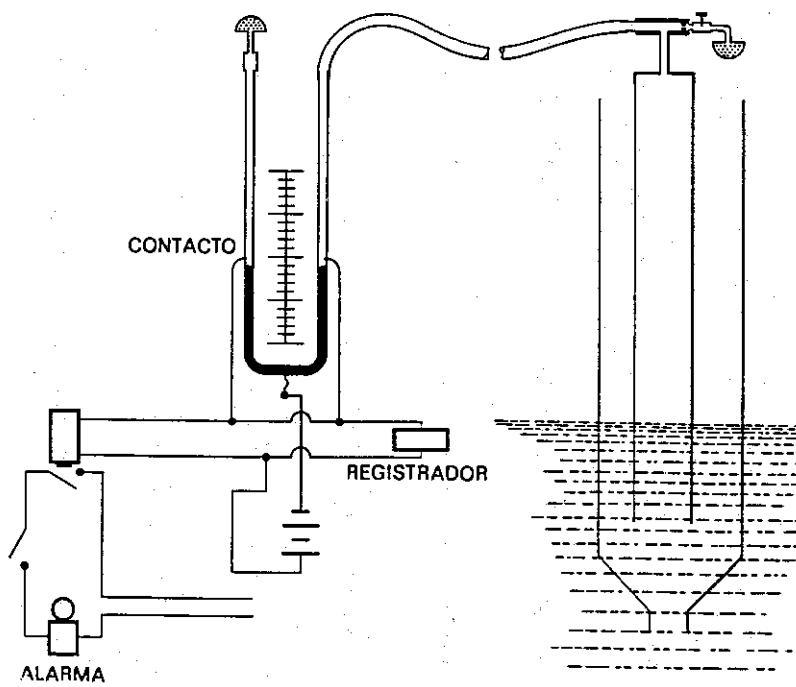


Fig. 5.2 En 1946, un tsunami causado por un sismo submarino en las costas de Alaska atravesó el Pacífico a una velocidad de 900 km/h, alcanzando Hawaii en sólo 4 horas, donde causó 173 víctimas, según Agueda *et al.* (1978).



**Fig. 5.3** Detector de llegada de olas producidas por un sismo. Una columna de aire en el interior del tubo, a la derecha, se eleva y desciende con la marea. Una ola de magnitud suficiente aumenta la presión del aire del interior del tubo, que hace mover el mercurio, para cerrar el circuito y hacer sonar la alarma, según Bernstein (1954).

# TERREMOTOS

## CAPÍTULO 6. PREDICCIÓN DE LOS TERREMOTOS

### 6.1. OBJETIVO DE LA PREDICCIÓN

Como se ha visto en el capítulo 1, existen ciertas zonas de nuestro planeta que están muy expuestas a sufrir terremotos. Al ser algunas de estas zonas lugares con elevadas concentraciones humanas, las consecuencias pueden ser desastrosas. Por ello, ciertos países que vienen padeciendo desde tiempos históricos los efectos de los sismos, están investigando la forma de predecirlos. Japón, U.R.S.S, China y los Estados Unidos están a la cabeza en la investigación para determinar la forma de predecir, con cierta antelación, un terremoto destructor y poder así mitigar parte de sus consecuencias.

Los primitivos métodos de predicción eran muy variados. Aristóteles asociaba los días sofocantes y sin viento a días precedentes a un sismo. También se creía que el paso de un cometa era un aviso de un futuro terremoto (o cualquier otra catástrofe). Séneca, en el año 60 de nuestra era, asoció el paso de un cometa con la destrucción de varias ciudades de Acaya y Macedonia (Grecia) por un sismo.

También se creía y se cree, que los animales pueden predecir un terremoto, y actualmente se efectúan estudios de su comportamiento antes de una de estas catástrofes.

Últimamente se han desarrollado numerosas técnicas instrumentales que pueden medir pequeñas variaciones en las condiciones físicas de las rocas, sirviendo de base para poder determinar si se producirá o no un terremoto.

### 6.2. MÉTODOS DE PREDICCIÓN SÍSMICA

Desde mediados de este siglo, se viene realizando un notable esfuerzo científico en materia de predicción sísmica, y se han desarrollado técnicas y estudios que en un futuro podrán llegar a predecir de forma segura los terremotos (ver figura 6.1).

Se pueden distinguir dos tipos de predicción: predicción **temporal**, que daría el momento y punto exacto en el cual se producirá un terremoto, y la predicción **estadística**, que utiliza datos históricos y técnicos estadísticos para predecir las intensidades máximas posibles, aceleraciones, etc.

<b>Predicción temporal</b>	Métodos instrumentales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modificaciones del nivel del suelo.</li> <li>- Resistividad eléctrica y magnética de las rocas.</li> <li>- Cambio de velocidad de las ondas sísmicas.</li> <li>- Emisión de radón.</li> <li>- N° de terremotos.</li> </ul>
	Métodos alternativos	
<b>Predicción estadística</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Método determinista.</li> <li>Método probabilista.</li> <li>Método de valores extremos.</li> </ul>
<b>Lagunas sísmicas</b>		

**Tabla 6.1.** Métodos de predicción sísmicos más conocidos.

### **6.2.1. Predicción Temporal**

#### Métodos instrumentales

Existen en la actualidad varios métodos que pueden valer para predecir futuros terremotos. Son métodos que necesitan un instrumental muy sofisticado y el apoyo logístico de muchos científicos. En realidad, resultan caros y son necesarios altos presupuestos durante años, para llegar a algo positivo. Los métodos más aceptados son:

**Modificación del nivel del suelo.** Se mide el grado de deformación del suelo mediante niveles y teodolitos. También se pueden medir cambios en la inclinación del suelo mediante inclinómetros.

**Resistividad eléctrica y magnética de las rocas.** Se observan modificaciones en la sensitividad eléctrica de las rocas, ya que ésta disminuye bajo altas presiones, antes de que las rocas se fracturen (ver figura 6.2).

**Cambio de velocidad de las ondas P Y S.** Se ha comprobado con sismógrafos, que la velocidad de las ondas P disminuye antes de un terremoto.

**Emisión de Radón.** Los escintilómetros detectan cambios en la concentración de radón disuelto en aguas subterráneas. La concentración aumenta antes de que se produzca un terremoto.

**Número de terremotos.** Se ha observado que se produce una modificación en la sismicidad de la zona con anterioridad a una sacudida fuerte (ver figura 6.3).

Desde 1965 en Japón, se vienen acumulando numerosos datos de

precursores sísmicos en un programa de predicción sísmica. Rikitake (1988), ha determinado la distancia media en la cual los precursores sísmicos son válidos para una magnitud dada (ver tabla 6. II).

	D <sub>MAX</sub> (Km)						
	M≈5.0	M≈5.5	M≈6.0	M≈6.5	M≈7.0	M≈7.5	M≈8.0
Observación geodésica	10	17	27	46	69	117	190
Microterremotos	69	81	93	112	138	166	204
Inclinómetro (péndulo)	37	60	93	144	234	363	501
Inclinómetro (nível de burbuja)	43	60	85	131	182	257	363
Esfuerzos (extensómetro)	102	138	190	282	398	589	813
Esfuerzos (deformómetro)	89	126	174	257	398	589	813
Campos geomagnéticos	4,6	8,7	25	30	55	100	182
Corrientes terrestres	25	39	60	98	144	234	346
Resistividad (variómetro)	158	245	380	562	912	1380	2040
Resistividad (electrodos de larga distancia)	4,4	7,6	13	22	37	63	107
Radiación electromagnética	60	58	132	182	269	398	616
Radón y otros elementos geoquímicos	117	174	257	380	562	812	1150
Aguas subterráneas/manantiales de agua caliente	21	39	72	151	282	589	1050

Tabla 6. II. Distancia de la detención de precursores para varias disciplinas (D<sub>max</sub>) según Rikitake, T. (1988).

### Métodos alternativos

Aparte de los métodos instrumentales de predicción sísmica, se están investigando otros métodos basados en el comportamiento de distintos animales antes de los terremotos. Parece ser que las rocas cuando están sometidas a esfuerzos, liberan ondas sonoras de altas frecuencias que están más allá del nivel de audición humana. Los animales poseen un oído más sensible que los humanos, y quizás sean capaces de percibirlas. La República Popular China es pionera en este tipo de estudios. En Japón, la creencia de que los barbos son capaces de detectar un sismo con anterioridad, ha llevado a científicos a realizar investigaciones al respecto, y han descubierto que estos peces son muy sensibles a perturbaciones del suelo y se agitan ante tales estímulos.

### 6.2.2 Predicción estadística.

Utilizando datos estadísticos e históricos de la sismicidad, se pueden predecir con cierta probabilidad parámetros tales como intensidad, aceleración máxima, o períodos de retorno, entre otros. Tales informaciones son muy útiles en ingeniería sísmica, ya que proporcionan datos con vistas al diseño de estructuras sismorresistentes.

Se pueden confeccionar mapas de peligrosidad sísmica para una región, según cálculos estadísticos y probabilísticos de la sismicidad histórica. Para obtener estos datos, se suele recurrir a los bancos de datos de sismicidad histórica que existen en cada país. En España, el organismo encargado de recopilar y administrar esta información es el Instituto Geográfico Nacional, perteneciente al Ministerio de Obras Públicas y Transportes (M.O.P.T.).

Algunos de los métodos de confección de mapas son:

#### Método determinista

Los métodos deterministas están basados en la premisa de que la sismicidad futura de una zona será igual a la del pasado. Los primeros métodos se desarrollaron en la U.R.S.S. (GORSHKOV, 1941), y en los Estados Unidos (RICHTER, 1959). El inconveniente de estos métodos es que supone que la sismicidad es estacionaria en el tiempo, y que no van a producirse en el futuro terremotos mayores que los observados. Hay que tener en cuenta que los registros históricos sólo son precisos a partir de el siglo actual.

#### Método probabilista

Son métodos que están basados en cálculos probabilistas. Y requieren la utilización de teorías estadísticas de los datos. Se basan en el conocimiento de la sismicidad histórica, para establecer a continuación las leyes probabilistas que rigen los fenómenos sísmicos. Presentan ciertas ventajas si se comparan con los deterministas, como es el poder obtener la distribución de probabilidades asociadas a cada nivel de riesgo. También considera que la sismicidad se distribuye uniformemente dentro de cada fuente, por lo que no es necesario conocer con exactitud las localizaciones de los epicentros. Con este método, se pueden obtener períodos de retorno y la probabilidad anual de que se produzca un sismo con una intensidad dada.

El período de retorno de un sismo fue definido por Gumbel, y lo definió como, el inverso de la probabilidad anual que se obtiene de la función para un período de  $n$  años.

$$\text{Probabilidad en } n \text{ años} = 1 - (1 - \text{prob. anual})^n$$

Por ejemplo, para un nivel de intensidad dado, si su período de retorno es de 100 años, hay un 65% de probabilidad de que ocurra.

### Método de valores extremos

Este método fue desarrollado por Gumbel en 1954, y consiste en dividir una muestra original en  $n$  intervalos de tiempo y tomar el máximo sismo de cada intervalo. El inconveniente de este método es que al tomar los valores extremos, se puede perder información de los mismos con intensidades o magnitudes moderadas.

#### 6.2.3 Lagunas sísmicas

Un nuevo enfoque de predicción sísmica basado en datos históricos, es el concepto de «lagunas sísmicas» o «seismic gaps». La idea fue desarrollada por Kerr (1979), y consiste básicamente en determinar las zonas incluidas en una región sísmica que no han experimentado terremotos importantes en un período de tiempo mayor que el intervalo histórico medido entre dos sismos, son zonas con una alta probabilidad que se produzcan terremotos (ver figura 6.4).

Se han obtenido hasta el momento, siete resultados positivos, el más espectacular fue en Oaxaca (Méjico), donde se predijo un sismo con magnitud  $7,5 \pm 0,25$ , y se produjo un terremoto de 7,7 con el epicentro a tan sólo 50 kilómetros del epicentro probable.

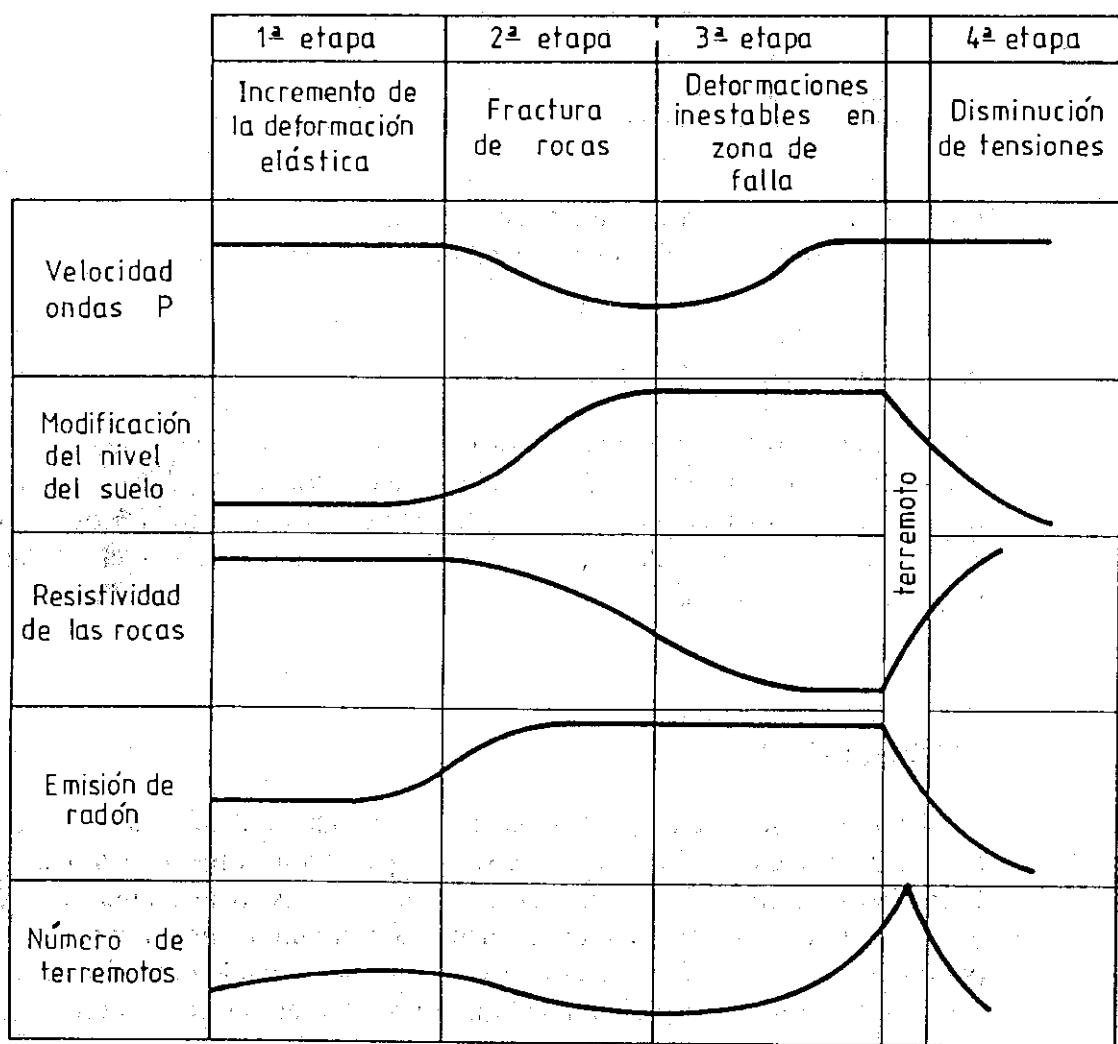


Fig. 6.1 Parámetros sísmicos más utilizados en la predicción sísmica, según Bolt (1975).

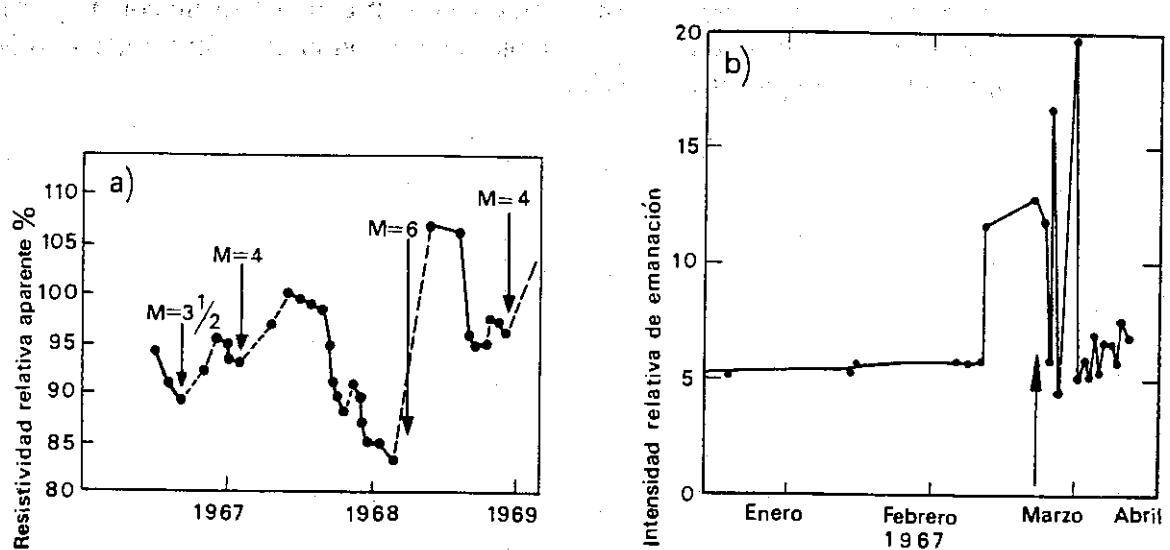
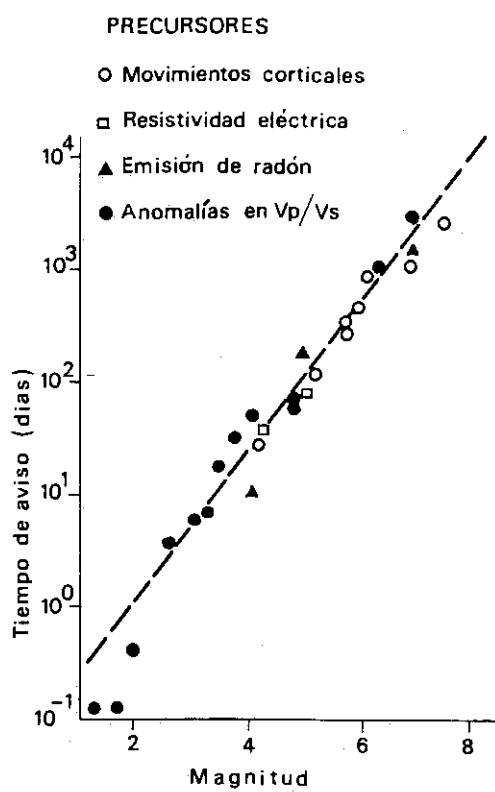
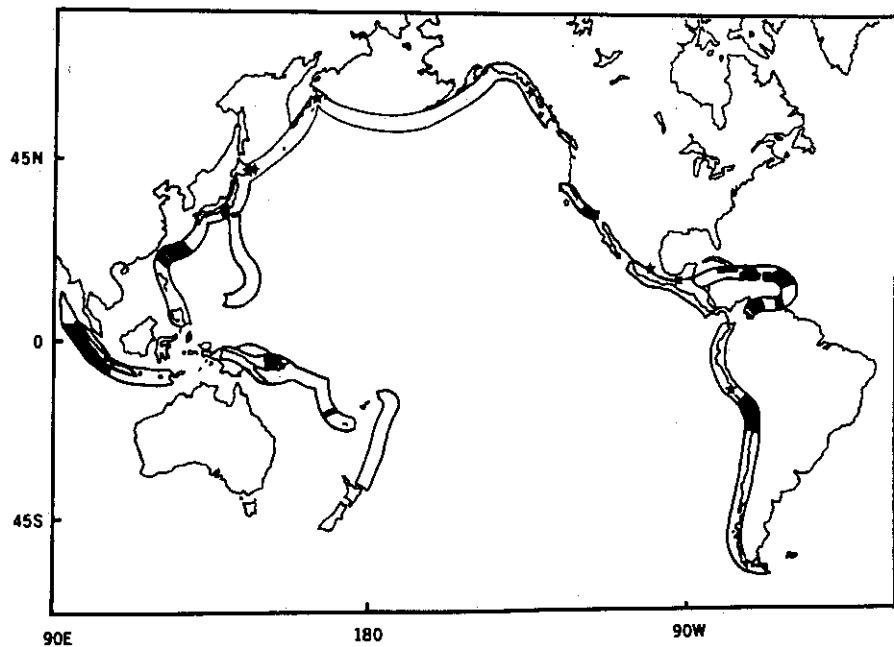


Fig. 6.2 a) Descensos de la resistividad eléctrica anterior a cuatro sismos registrados entre 1967 y 1969 en Garm (URSS). b) Elevación de la cantidad de radón en un pozo profundo cercano al epicentro del sismo de Tashkent (URSS) en 1967, según Scholz *et al.* (1973).



**Fig. 6.3** Tiempo de aviso de distintos precursores sísmicos en función de la magnitud del terremoto subsiguiente. Los grandes sismos son predichos con varios meses de antelación, según Scholz *et al.* (1973).



**Fig. 6.4** Principales lagunas sísmicas (en negro) en el cinturón circumpacífico y Caribe. Las estrellas marcan los lugares en los que hubo una predicción sísmica acertada, según Kerr (1979).

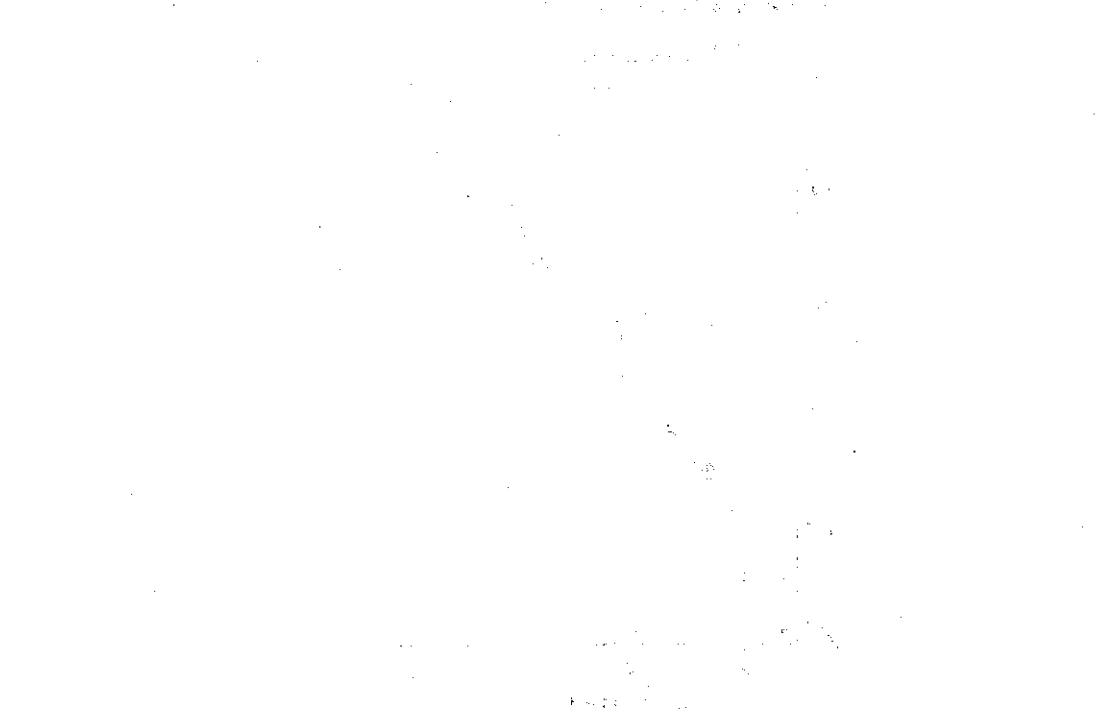


Fig. 1. The relationship between the number of species ( $S$ ) and the number of individuals ( $N$ ) for three different sampling methods: Random, Stratified, and Systematic.

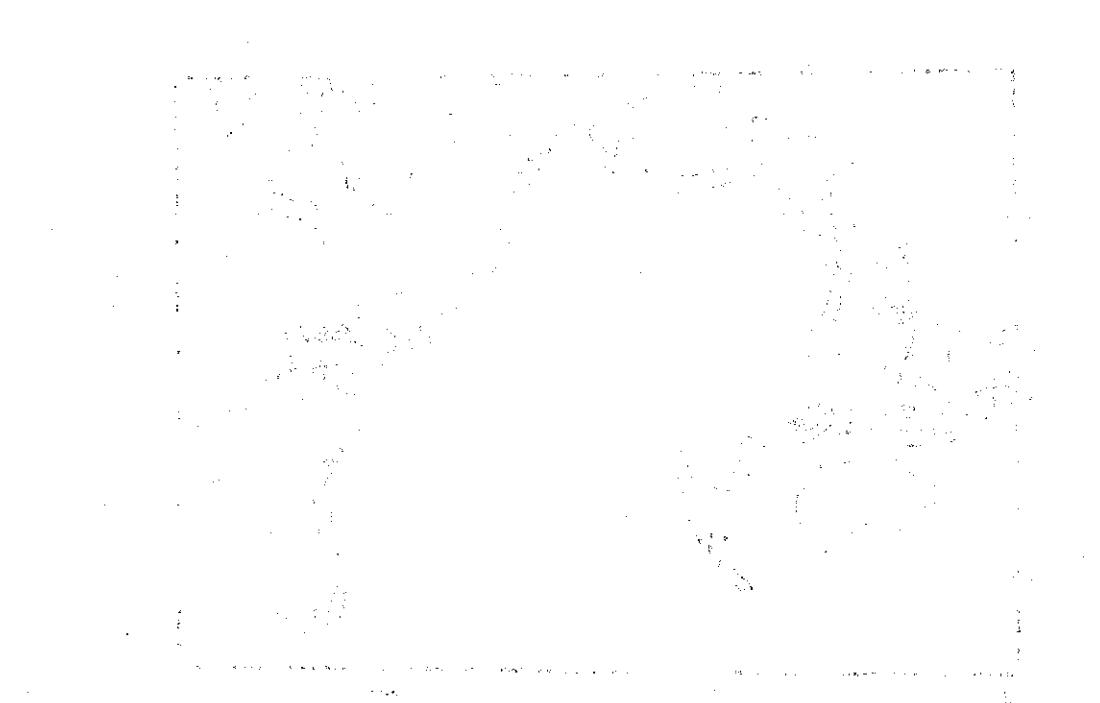


Fig. 2. The relationship between the number of species ( $S$ ) and the number of individuals ( $N$ ) for three different sampling methods: Random, Stratified, and Systematic.

# TERREMOTOS

## CAPÍTULO 7. PREVENCIÓN DE LOS TERREMOTOS

### 7.1 RELACIÓN ENTRE LOS TERREMOTOS Y LA POBLACIÓN MUNDIAL

Ya en 1798, Thomas Maltus en su obra *Ensayo sobre el principio y sus efectos en el futuro perfeccionamiento de la sociedad*, aseguraba que la población de la Tierra acabaría por exceder la capacidad mundial de producción de alimentos. Verdaderamente, se ha producido un notable incremento de la población mundial, hoy cercana a los 5.000 millones de habitantes. La población del planeta en 1950 era aproximadamente 2.500 millones de habitantes y pasará a más de 6.000 millones para el año 2.000.

Como se ha visto en capítulos anteriores, existen zonas de nuestro planeta en las que la probabilidad de que ocurran terremotos es muy elevada, como por ejemplo el cinturón de Fuego del Pacífico. Además, se está registrando un incremento de la población mundial en zonas de alto riesgo, como en San Francisco, Tokio y Los Angeles (ver mapa distribución terremotos en el capítulo. 1) con el consiguiente aumento de riesgo. Según Lechat (1980), se estima que a lo largo de la historia de la humanidad han perecido un total de víctimas que oscila entre los 10 y 15 millones de habitantes, siendo que en este último siglo, aún sin finalizar, se supera ya el millón de muertos.

Según un informe de la UNDRO (Oficina de las Naciones Unidas para ayuda en caso de catástrofe de 1983, el número de víctimas mortales provocadas por catástrofes naturales fue cuatro veces superior en la década de los 70 que en la de los 60. En el caso de los terremotos, se han producido 781.893 víctimas mortales, y unas pérdidas económicas superiores a los 20.000 millones de dólares.

Se viene observando desde la antigüedad, que el número medio de víctimas mortales a consecuencia de terremotos aumenta de década en década. Esto no es debido a que se produzcan más terremotos en la actualidad que en el pasado, ya que incluso durante los años 70, el número de terremotos con magnitudes elevadas fue inferior al esperado; lo que ocurre es que, por el incremento de la población y asentamientos poblacionales en estas zonas de alta peligrosidad, han pasado a ser zonas de elevado riesgo potencial. A modo de ejemplo, según un estudio del Tokai Bank Limited de Japón, un terremoto catastrófico que afectase en los próximos años a Tokio y Yokohama (en 1923 se produjeron 143.000 víctimas mortales provocadas por un terremoto de magnitud 8,2), causaría daños económicos de al menos 600.000 millones de dólares E.E.U.U., y la reconstrucción del área afectada podría costar cerca

de 900.000 millones de dólares E.E.U.U. por evento. La actual civilización, con todas sus sofisticadas tecnologías, es muy vulnerable a un terremoto catastrófico.

En 1980, la UNESCO propuso una expresión para relacionar todos los aspectos del problema:

$$\boxed{\text{RIESGO} = \text{Peligrosidad} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Valor económico.}}$$

La única salida posible un amplio plan de prevención ante tales catástrofes, una correcta planificación territorial identificando el tipo de riesgo (intensidades máximas posibles, fallas, tipo de terrenos) en mapas de zonificación y microzonificación, en zonas de alto riesgo; la obligatoriedad de construir siguiendo las normas sismorresistentes en zonas de riesgo, y una educación a la población (objetiva) de los riesgos a que están expuestos, informando y enseñando medidas a tomar, en caso de que se produjera un sismo.

Los elementos más importantes a la hora de hacer estudios de prevención, serían:

- 1) Elaboración de mapas de riesgo con relación a datos históricos de terremotos, confeccionando mapas de zonificación en todo el territorio y microzonificaciones sísmicas en zonas densamente pobladas y con altas concentraciones de bienes materiales.
- 2) Elaboración de códigos de construcción adaptados a zonas con una alta sismicidad.
- 3) Diseño de redes de vigilancia y alerta (estudiar los posibles precursores de un sismo).
- 4) Estudio de vulnerabilidad de la población y sus recursos, observar en qué medida una población puede hacer frente a las catástrofes con los medios de que dispone. En las comunidades pobres, esta vulnerabilidad nunca se podría reducir permanentemente.
- 5) Elaboración de planes de emergencia.
- 6) Educación de la población. Son necesarios programas de información y formación, con el fin de proporcionar las medidas a tomar antes, durante y después del terremoto.

## 7.2 PROTECCIÓN CIVIL COMO HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN

En España, la Dirección General de Protección Civil, dependiente del Ministerio del Interior, es la encargada de la preparación y gestión en caso de catástrofes incluyendo aquéllas producidas por los terremotos.

La ley 2/85 sobre protección civil, ha configurado un sistema integrado en planes territoriales totalmente descentralizado, y en el ámbito de Comunidad Autónoma, para hacer que la ayuda en caso de catástrofe esté más agilizada.

Se dispone que tanto los planes territoriales, como especiales, establecerán los siguientes requisitos mínimos:

- a) Inventario de riesgos potenciales.
- b) Catálogo de recursos movilizables en caso de emergencia.
- c) Criterios sobre movilización y coordinación de recursos públicos y privados.
- d) Las directrices de funcionamiento de los distintos servicios que deben dedicarse a Protección Civil.
- e) La estructura operativa de los servicios que hayan de intervenir en cada emergencia, con expresión del mando único de las operaciones.

Protección Civil de acuerdo con estos puntos, ha confeccionado para aquellas provincias de un alto riesgo sísmico, planes de emergencia sísmica. A este efecto, se han constituido diversos grupos de trabajo para formar una estructura operativa en caso de catástrofe sísmica (ver esquema del Plan Nacional de Emergencia Sísmica).

Se han realizado estudios de las consecuencias de grandes terremotos y se ha observado que el número de heridos suele superar el de víctimas mortales en una proporción 3:1. Esto indica que es necesario que los planes de emergencia sísmica contemplen medidas de socorro a personas heridas y desabrigadas. Por ello, los hospitales y demás centros necesarios para actuar en caso de catástrofe, edificios de bomberos, policía, etc..., deben estar construidos según la normativa sismorresistente para soportar un terremoto destructor, ya que son obras cuya destrucción puede agravar notablemente los servicios de auxilio a la población afectada.

Protección Civil ha redactado una serie de recomendaciones en caso de terremotos que se describen a continuación:

## ANTES:

1. En primer lugar, revise detalladamente los posibles riesgos que pueden existir en su casa si acontece el terremoto, en el salón-estar, cocina, comedor, dormitorio y demás dependencias de su vivienda.
2. Aseguren al suelo, mediante soportes y otros artefactos, las conducciones y bombonas de gas, pues la avería o rotura de una conexión puede originar un incendio.
3. Coloque los objetos de gran tamaño y peso en el suelo y los cuadros a la menor altura posible de éste.
4. Asegúrense debidamente las estanterías a las paredes.
5. Plantéese como reaccionaría usted y su familia en caso de un terremoto, de día o de noche, de acuerdo con las características de su hogar.
6. Enseñe a todos sus familiares cómo cortar la electricidad, el agua y el gas.
7. Tenga a mano una linterna y un transistor, y pilas de repuesto para ambos.
8. Mantenga al día la vacunación de todos los miembros de su familia.
9. Sostenga conversaciones familiares en forma tranquila y serena, acerca de los temblores y otros posibles desastres.
10. Piense lo que debe hacer cuando se encuentre en casa de unos amigos, en el trabajo o en una sala de espectáculos, etc.
11. Almacene agua en recipientes de plástico y alimentos duraderos.
12. Prepare ropa y mantas, sobre todo en tiempo frío.
13. Tenga a mano algo para cubrir su cabeza; casco, gorro acolchado, etc..

### **DURANTE:**

1. La primera y primordial recomendación es la de mantener la calma y extenderla a los demás.
2. Si está bajo techo, tenga cuidado con la caída de ladrillos, artefactos de luz y otros objetos.
3. Manténgase alejado de ventanas, espejos y chimeneas.
4. En caso de peligro, protéjase debajo de una mesa, escritorio o cama; cualquier protección es mejor que ninguna.
5. Si está en un gran edificio, no se precipite hacia las salidas, ya que las escaleras pueden estar congestionadas de gente.
6. No salga por donde se están produciendo los desprendimientos.
7. Si está afuera, manténgase alejado de los edificios altos, postes de energía eléctrica y otros objetos que le puedan caer encima.
8. No utilice los ascensores, la fuerza motriz puede interrumpirse.
9. No deambule por las calles y diríjase a un lugar abierto, pero siempre con calma y serenidad.
10. Si va conduciendo, pare, no olvide que el terremoto sólo dura unos segundos

### **DESPUÉS:**

1. No trate indebidamente de mover a los heridos con fracturas, a no ser que haya peligro de incendio, inundación, etc.
2. Si hay pérdidas de agua o gas, cierre las llaves de paso y comuníquelo a la compañía correspondiente.
3. No encienda fósforos, mecheros o artefactos de llama abierta, en previsión de que pueda haber escapes de gas.
4. Limpie urgentemente el derrame de medicinas, pinturas y otros materiales peligrosos.
5. No ande por donde haya vidrios rotos, cables de luz, ni toque objetos metálicos que estén en contacto con ellos.
6. No beba agua de recipientes abiertos sin haberla examinado y

pasado por coladores o filtros correspondientes.

7. Compruebe si las condiciones de desagüe están en perfecto estado y permiten la descarga de agua en los inodoros.
8. No utilice el teléfono, ya que se bloquearían las líneas y sería imposible comunicarse para casos realmente urgentes.
9. No ponga en circulación simples rumores, ya que pueden ocasionar muchos daños después de un desastre, a causa del pánico.
10. No ande ni circule por los caminos y carreteras paralelas a la playa, ya que después de un terremoto pueden producirse maremotos.
11. Esté preparado para recibir sacudidas, que suelen producirse después del terremoto principal.
12. Infunda la más absoluta confianza y calma a todas cuantas personas tenga alrededor.
13. Corresponda a las llamadas de ayuda de la Policía, Bomberos, Protección Civil, etc...
14. Sepa que no hay reglas fijas que puedan eliminar todos los peligros que pueda originar un terremoto, pero los daños pueden reducirse considerablemente, si se siguen estas normas y las que pueda recibir directamente de las autoridades.

### 7.3 DISEÑO ANTISÍSMICO

A lo largo de la historia, en aquellas zonas del planeta sujetas a sufrir terremotos, el hombre ha ido construyendo mediante un mecanismo de selección natural, edificios más resistentes a los sismos y desecharando aquéllos cuyas estructuras no habían resistido.

La elaboración de normas sismorresistentes de obligado cumplimiento para obras en zonas de alto riesgo sísmico, son propuestas en 1958, por C. Richter en su tratado *«Elementary Seismology»*, ya que una medida preventiva para reducir el número de víctimas provocadas por un terremoto, es hacer que los edificios puedan resistir los sismos sin derrumbarse sobre las personas que albergan en su interior.

Las normas sismorresistentes, debido a la complejidad del fenómeno sísmico, no dan una garantía absoluta de que el edificio no vaya a ser afectado

por el sismo, pero sirven para evitar daños mayores tales como el colapso total. En un terremoto destructor, la edificación puede ser un éxito de diseño y resistir sin derrumbarse, sin causar víctimas. Después del sismo, el edificio podría estar tan dañado que habría que derribarlo. Como se puede ver, la función primordial del diseño sismorresistente es proteger a las personas.

La vulnerabilidad de un edificio a sufrir daños producidos en un sismo, va a depender de la respuesta estructural del diseño resistente, del sistema constructivo, de los materiales y del comportamiento sísmico de la obra (F. Sauter 1988).

Es bien cierto que, al incorporar un diseño antisísmico a una edificación encarecerá sus costes, pero evitará que se produzcan víctimas mortales, que no tienen precio.

La elaboración de una norma sismorresistente es bastante complicada y requiere una revisión periódica, con objeto de proponer las modificaciones necesarias de acuerdo con la experiencia adquirida. En la confección de la norma, hay que considerar múltiples variables, el comportamiento del subsuelo y su relación con las estructuras vienen determinados por distintos parámetros. Se ha observado que en una misma ciudad, en función del terreno se han producido diferencias de hasta tres grados de intensidad para un mismo terremoto, y como es obvio, es muy distinto construir un edificio capaz de resistir intensidades de grado VI, a uno capaz de resistir el grado IX.

Por todo esto, la aplicación de la norma va a estar determinada por una clasificación del territorio en función de las intensidades máximas posibles.

En España, la elaboración de normativas sismorresistentes data de 1969 y se han venido modificando con el paso de los años, adaptándolas a los nuevos conocimientos adquiridos en sismología e ingeniería. En el capítulo 8, se puede consultar la norma actual vigente en España.



# TERREMOTOS

## CAPÍTULO 8. TERREMOTOS EN ESPAÑA

### 8.1 REGIONES SÍSMICAS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Conforme a una tesis doctoral realizada por Antonio J. Martín Martín en 1984, titulada «Riesgo sísmico en la Península Ibérica» se ha realizado una síntesis de las regiones de la península Ibérica con sus principales características sísmicas y tectónicas. (ver figura 8.1).

#### CADENA PIRENAICA

Corresponde a una de las áreas sísmicas más activas de la Península, y comprende toda la cordillera Pirenaica. Geológicamente, está formada por tres unidades tectónicas diferenciadas entre sí, que son: la zona Norpirenaica o septentrional, la zona Axial y la zona Surpirenaica o meridional.

Según Gruishiani *et al.* (1987), las características que tienen en común los Alpes y los Pirineos que condicionan la localización de los terremotos son: importantes contrastes topográficos relacionados con conocimientos verticales, grandes heterogeneidades en profundidad y un alto grado de fracturación tectónica.

Los sismos se concentran principalmente en dos regiones: una al oeste y otra al este; ambas regiones tienen sismicidad histórica y actual. En los Pirineos occidentales, alrededor del epicentro del terremoto de Arette y relacionado con la falla Nord-pirenaica, la sismicidad está concentrada en una franja de 10 km de ancho por 20 km de profundidad. El último terremoto destructor registrado durante el siglo actual ocurrió el 13.8.1967 en la localidad de Arette (Francia), que alcanzó una intensidad de VIII y una magnitud de 5,5 (tabla 8.I).

La zona sísmica de los Pirineos orientales es la región de Olot, donde se registraron los máximos episodios sísmicos durante el período de 1427 - 1428, que se conoce como «serie olotina». Se registraron terremotos con intensidades mayores de X, que produjeron la destrucción de amplias zonas, desde Puigcerdá hasta Gerona.

N	FECHA	LATITUD	LONGITUD	MAGNITUD	INTENSIDAD
1	2.03.1427	42.2 N	2.5 E		X
2	2.02.1428	42.4 N	2.2 E		X
3	21.06.1660	43.1 N	0.1 E		VIII-IX
4	24.05.1750	43.1 N	0.0 E		VIII-IX
5	20.07.1854	43.0 N	0.1 O		VIII-IX
6	13.07.1904	42.8 N	0.0 E		VIII
7	24.07.1911	43.2 N	0.2 O	5,0	VII
8	19.11.1923	42.8 N	0.8 E	5,4	VIII
9	22.01.1924	43.2 N	0.7 O	5,3	VIII
10	13.08.1967	43.2 N	0.7 O	5,3	VIII
11	29.02.1980	43.1 N	0.4 O	5,1	VII

**Tabla 8.I.** Principales terremotos ocurridos en la zona de los Pirineos. Datos I.G.N.

En total, en la cadena Pirenaica se han producido desde el siglo XV, 17 eventos sísmicos con intensidades mayores que VIII y cuatro superiores a IX. La sismicidad de la región Pirenaica es moderada y los hipocentros se localizan en la corteza (Gruishiani *et al.*, 1989).

## **CORDILLERAS BÉTICAS**

Se pueden distinguir dentro de esta área, dos grandes conjuntos de unidades geológicas: las zonas internas y las zonas externas. La primera unidad está constituida por las unidades del Campo de Gibraltar y la zona Bética, mientras las zonas externas se encuentran formadas por la zona Penibética y la Subbética.

El Sistema Bético constituye una de las áreas de mayor sismicidad de la Península (tabla 8.II). Según el análisis de los datos sísmicos, se pudieron distinguir algunas alineaciones de epicentros que están relacionados con la estructura geológica del área, cuya interpretación resulta bastante compleja.

Algunos de los terremotos históricos importantes ocurridos en la Península, se han localizado en esta área, como los de Vera (1518), Almería (1522), Torrevieja (1829) y Arenas del Rey (1884). Todos ellos con intensidades superiores a IX.

Fecha	Hora origen	Latitud N	Longitud O	I <sub>o</sub>
1431, 24 abril		37.2	3.6	VIII Granada
1494, enero		36.7	4.4	VIII Málaga
1680, 9 octubre	07	36.7	4.4	IX Málaga
1804, 13 enero	17	36.7	3.5	VIII Motril
1806, 27 octubre	12	37.2	3.7	IX Santa Fe
1884, 25 diciembre	21: 08	36.9	4.0	IX Arenas del Rey
1911, 31 mayo	15: 13	37.2	3.7	VIII Santa Fe
1930, 5 julio	23: 11: 52	37.6	4.6	VIII Montilla
1951, 19 mayo	15: 54: 19	37.6	4.1	VII Alcaudete
1954, 29 marzo	06: 17: 05	37.0	3.7	V Dúrcal (profundo)
1956, 19 abril	18: 38: 50	37.2	3.7	VII Atarfe

**Tabla 8.II.** Terremotos más importantes ocurridos en la zona de las cordilleras Béticas. Datos de I.G.N.

### DEPRESIÓN DEL GUADALQUIVIR

Corresponde a un área de sismicidad moderada, aunque se han producido algunos terremotos como el de Carmona (Sevilla) en 1504, en que se registró uno de los mayores terremotos de todos los ocurridos en la Península. Se cree que existen fallas que son susceptibles de producir terremotos de elevada magnitud, aunque parece ser que transcurren largos períodos asísmicos entre un terremoto y otro.

La proximidad de la depresión del Guadalquivir a otras zonas de elevada sismicidad como la zona de la falla de Azores, Gibraltar y Sistema Bético, hace que sea afectada por los grandes terremotos que se generan en el área circundante, como el terremoto de Lisboa de 1755.

### REGIÓN SUROCCIDENTAL DE LA PENÍNSULA

Abarca todo el cuadrante suroccidental de la península Ibérica, y está formado por el Algarve, zona Sudportuguesa, zona de Sierra Morena, cuenca del bajo Tajo y Sado, el batolito de Pedroches y la Orla occidental. La sismicidad de esta área está distribuida en forma desigual, mientras que en la zona de Algarve, cuenca del bajo Tajo y Sado y Orla occidental, se han registrado varios terremotos de importancia con intensidades superiores a IX, como de Vilafranca (1531), Tavira (1722), Setúbal (1858) y Benavente (1909). Las demás zonas son bastante asísmicas, aunque se han registrado algunos terremotos de escasa importancia. Puede verse afectada por terremotos importantes ocurridos en otras regiones, como el terremoto de Lisboa en 1755.

## SISTEMA CENTRAL Y ZONA ASTURLEONESA

Incluye las zonas norte y noroccidental de la Península además, del Sistema Central. Toda la zona es de muy baja sismicidad, aunque se han registrado algunos sismos de mediana intensidad VII (M.S.K). En Septiembre de 1866, se registró un sismo de intensidad VII, en La Coruña. En 1981, Johnson *et al.*, confeccionarían mapas de riesgo sísmico de Galicia (tabla 8.III), que representaban el 10% de probabilidad de que las intensidades fueran superadas en 50 años. Esto equivale a un período de retorno de 475, años y los resultados obtenidos para las distintas capitales gallegas fueron:

			La Coruña	Lugo	Orense	Pontevedra
JOHNSON <i>ET AL.</i> (1981)			VI	V	VI	VII
PERÍODO DE RETORNO 500 AÑOS	FRECUENCIA	1380-1980	V	IV	V	V
		1915-1980	V	V	V	V
	GUMBEL I	1405-1980	IV	III	IV	IV
		1750-1980	IV	IV	IV	IV
		1800-1980	IV	IV	V	V
		1915-1980	IV	III	IV	IV
		1380-1980	V	V	VI	VI
	GUMBEL I	1915-1980	V	V	V	V
		1405-1980	IV	IV	IV	IV
		1750-1980	V	IV	V	V
		1800-1980	V	IV	V	V
		1915-1980	IV	IV	V	IV

Tabla 8. III. Resultados obtenidos para distintos períodos de retorno, para las capitales de provincias gallegas, según Johnson *et al.* (1976).

## CADENA COSTERO-CATALANA Y DEPRESIÓN DEL EBRO

Se ha delimitado una banda de máxima actividad sísmica de unos 20 km. de anchura, que se alinea con la dirección de la cordillera Costero-Catalana, desde Gerona hasta Tarragona. En general, es una zona de baja actividad sísmica.

Localidad	Roca <i>et al.</i>	Método no zonificado 1915-1980		
		1000 años	500 años	100 años
Gerona	V	IV	IV	III
Barcelona	VII	VI	V-VI	IV-V
Zaragoza	VI	III	III	III

Tabla 8.IV Períodos de recurrencia de terremotos para distintas ciudades. Segundo Roca y Udiá (1976).

## CUENCA DEL DUERO, FOSA DEL TAJO Y CAMPO DE MONTIEL

Son las áreas sísmicamente menos peligrosas de la península Ibérica, y se han registrado algunos terremotos de escasa importancia en la zona de contacto con el Macizo Ibérico. Las máximas intensidades sentidas han sido entre IV y V (M.S.K.), y coinciden con las isosistas del terremoto de Lisboa (1755).

## ZONAS MARINAS

Los terremotos con epicentro marino son los movimientos más fuertes que afectan a la Península (tabla 8.V). Se pueden diferenciar tres zonas sismogenéticas con características muy definidas:

1. La primera zona comprende desde la dorsal Atlántica, hasta las proximidades de las islas Azores. Se producen frecuentes terremotos superficiales de pequeña magnitud que, generalmente, no afectan a la Península.
2. La zona comprendida entre las islas Azores hasta los 12°O de latitud. En esta zona, se generan terremotos de elevadas magnitudes que afectan a la Península, como el famoso terremoto de 1755.
3. Zona del golfo de Cádiz. La distribución de los epicentros de los terremotos es irregular, y son de menor magnitud que en la zona anterior. En general, la sismicidad de la región del Estrecho de Gibraltar es bastante baja.

Fecha	Tiempo origen	Lat. (°N)	Long. (°O)	M
5 Abril 1504	-----	37.0	5.0	-----
26 Enero 1531	-----	37.0	12.5	-----
9 Octubre 1680	-----	36.0	4.0	-----
1 Noviembre 1755	-----	37.0	10.0	(8,9)
31 Marzo 1761	-----	37.0	13.0	-----
21 Marzo 1829	-----	38.0	1.0	-----
25 Diciembre 1884	-----	37.0	4.0	-----
20 Mayo 1931	02.22.56	37.4	15.9	7,1
8 Mayo 1939	01.46.48	37.0	23.9	7,1
25 Noviembre 1941	18.03.54	37.4	19.0	8,1/4
29 Marzo 1954	06.17.05	37.0	3.3	7,0
28 Febrero 1969	02.40.32.5	36.1	10.6	8,0

Tabla 8.V. Relación de los terremotos más importantes durante el período 1500-1972, con epicentro marino. Según Udías *et al* (1976).

## ZONA DEL MAR DE ALBORÁN

Es una zona con una tectónica muy complicada, donde se producen numerosos terremotos de baja magnitud. Existen dos teorías para explicar su baja sismicidad. Por un parte, se dice que existe una subplaca entre la placa Europea y la placa Africana que está ampliamente fracturada. La otra teoría afirma que corresponde a una zona de transición entre las dos grandes placas circundantes. No existen conclusiones definitivas al respecto.

A continuación, se describen los resultados obtenidos en intensidades por Martín Martín (1984), para el método zonificado (tabla 8.VI y 8.VII) para algunas ciudades y zonas de la península Ibérica.

LOCALIDAD O ZONA	PERÍODO DE DATOS			
	1405-1980	1750-1980	1800-1980	1915-1980
ALGARVE	VIII	XI	IX	IX
LISBOA	VIII	X	VIII	IX
GRANADA	VIII	IX	IX	IX
MURCIA	VII	VII	VIII	IX
PIRINEOS CENTRALES	VI	VII	VII	VIII
SEVILLA	VII	VII	VII	VII
MÁLAGA	VII	VII	VIII	VIII
ALMERÍA	VII	VII	VIII	IX

Tabla 8.VI. Período de retorno: 1.000 años. Según Martín Martín, (1984).

LOCALIDAD O ZONA	PERÍODO DE DATOS			
	1405-1980	1750-1980	1800-1980	1915-1980
ALGARVE	VIII	IX	VIII	IX
LISBOA	VIII	VIII	VIII	VIII
GRANADA	VIII	VIII	IX	IX
MURCIA	VII	VII	VIII	VIII
PIRINEOS CENTRALES	VI	VII	VII	VII
SEVILLA	VII	VII	VII	VI
MÁLAGA	VII	VII	VII	VIII
ALMERÍA	VII	VII	VIII	VIII

Tabla 8.VII Período de retorno: 500 años. Según Martín Martín, (1984).

Resultados obtenidos para el método no zonificado, para algunas ciudades y zonas de la península Ibérica. Según Martín, 1984. (Tabla 8.VIII y 8.IX).

LOCALIDAD O ZONA	PERÍODO DE DATOS			
	1380-1980	1750-1980	1800-1980	1915-1980
ALGARVE	IX	XI	VIII	VII
LISBOA	VIII	XI	IX	VII
GRANADA	VIII	IX	X	X
TORREVIEJA O MURCIA	VIII	VIII	IX	VIII
PIRINEOS CENTRALES	VIII	IX	IX	IX
OLOT	VII	VII	VI	V
SEVILLA	VII	IX	VI	V
ALMERÍA	VIII	VII	VII	VII
MÁLAGA	VII	VIII	VII	VII

Tabla 8.VIII Período de retorno: 1.000 años.

Según Martín Martín, (1984)

LOCALIDAD O ZONA	PERÍODO DE DATOS			
	1380-1980	1750-1980	1800-1980	1915-1980
ALGARVE	VIII	X	VII	VI
LISBOA	VIII	X	VIII	V
GRANADA	VIII	VIII	X	IX
TORREVIEJA O MURCIA	VIII	VIII	IX	VIII
PIRINEOS CENTRALES	VII	VIII	VII	IX
OLOT	VI	VI	V	IV
SEVILLA	VII	VIII	V	V
ALMERÍA	VI	VI	VII	VII
MÁLAGA	VII	VII	VII	VI

Tabla 8.IX. Período de retorno: 500 años. Según Martín Martín, (1984).

## 8.2 TERREMOTOS DESTRUCTORES EN ESPAÑA

España se puede considerar como un país con sismicidad moderada, aunque se han producido varios terremotos con intensidades mayores que VIII (M.S.K.) que han producido miles de víctimas y la destrucción de muchos pueblos y ciudades. Una estimación general aproximada del período de retorno de los sismos destructores que pueden afectar a la Península, oscila entre los 100 a 150 años.

El origen de estos terremotos según Udías (1981), es que la Península se comporta como un bloque independiente con respecto a la placa Euroasiática. Las tensiones acumuladas por los movimientos del bloque, son las responsables de los sismos en sus bordes, en especial en la región de las cordilleras Béticas y Pirenaica (ver figura 8.2).

Para evaluar el riesgo sísmico de una región, es necesario recopilar abundante información científica. Datos de la geología tectónica, geofísica y la recopilación de información sísmica, tanto instrumental como histórica, son muy importantes para la determinación de las diferentes zonas sismogenéticas que componen la Península. Los datos instrumentales sísmicos son relativamente recientes, ya que los primeros se empezaron a obtener a finales del siglo pasado, y no de forma continua.

Para realizar estudios de sismicidad, es necesario acudir a catálogos de terremotos históricos, basados en recopilaciones de documentos y crónicas de los sucesos de la época.

Los registros de sismicidad instrumental en España, se empezaron a obtener a finales del siglo pasado. El primer observatorio sismológico se instaló en 1898, en San Fernando (Cádiz). Posteriormente, el Instituto Geográfico Nacional (I.G.N.) y otras instituciones instalaron observatorios por toda la geografía nacional.

Se han realizado diversas listas y catálogos de sismos históricos peninsulares, anteriores a la época instrumental, confeccionados conforme a documentos y crónicas oficiales de los sucesos. Una de las listas más antiguas fue la realizada por J. Moreira de Mendoça en 1788, en su obra *Historia Universal dos terremotos*. Además de las muchas otras obras de recopilación que salieron a la luz en 1932, se publicó el *Catálogo Oficial de Sismos Españoles* de Galbis, que se revisó en 1940. Bonelli (1961) y Muneras (1963) actualizaron el catálogo de Galbis, contabilizando 10.704 sismos desde el año 400 a.C.

La última y más reciente recopilación corresponde al catálogo de la *Sismicidad del Área Ibero-Mogrebí* de 1983, realizado por J. Mezcúa y J. M. Martínez Solares del Instituto Geográfico Nacional.

En la península Ibérica y sur de Francia, se han registrado hasta 79 terremotos con intensidades superiores a VIII; en la tabla 8.X se pueden observar los terremotos por siglos e intensidades.

Intensidad Siglo	VIII	XI	X	TOTAL
XIV	5	3	2	8
XV	5	3		8
XVI	6	3	2	11
XVII	6	4		10
XVIII	11	5	2	18
XIX	7	2	3	12
XX	20	1	1	22

**Tabla 8.X Terremotos destructores en la península Ibérica y sur de Francia desde el siglo XIV al XX, con intensidades  $\geq$  III.**

A continuación, se describen algunos de estos terremotos históricos que han afectado a la Península con consecuencias desastrosas.

#### Terremoto del 24 de agosto de 1356

Fue un terremoto que afectó gravemente a numerosas localidades del sur de España. Provocó daños en Sevilla y produjo numerosas muertes. El epicentro se localizaría en la falla Azores-Gibraltar al SO del cabo de San Vicente. Una traducción de la descripción del sismo realizada por el portugués Moreira Mendoza, en su *Historia Universal dos terremotos* de 1758, describe su gravedad.

«*Fueron grandes los terremotos, que hubo en las tierras marítimas de España. El miércoles 24 de Agosto tembló la tierra en todo Portugal por espacio de un cuarto de hora, tan fuertemente, que las campanas tocaron solas. Se abrió la Capilla Mayor de Lisboa y cayeron muchas casas, mientras que otras poblaciones de España padecieron mucho. Fue general en todo el mundo. Este gran terremoto fue muy similar al que después padeció Portugal en 1531, y al que experimentamos en 1755.*»

#### Terremoto del 2 de febrero de 1428

En el municipio de Camprodón (Girona), se produjo un violento terremoto de intensidad IX, que arrasó totalmente las poblaciones de Camprodón, Puigcerdá y

Queralls, donde murieron casi todos sus habitantes (ver figura 8.3). También afectó a Olot, destruyendo totalmente esta población, que había sido reconstruida después de un terremoto de intensidad IX que la afectó el año anterior. En Prats de Mollo y Barcelona, la intensidad fue VIII. En Barcelona, cayó la cúpula de la iglesia de Santa María del Mar produciendo 22 muertos. Era el día de la Candelaria y se realizaba una misa en su interior.

En total, se contabilizaron más de 500 muertos y centenares de heridos. La intensidad máxima registrada fue IX (M.S.K.) y su epicentro se estima en:  $42^{\circ} 18'N$  y  $2^{\circ} 23'E$ .

#### Terremoto del 22 de septiembre de 1522

Este terremoto destruyó Almería, Almanzora y Alhama de Almería (ver figura 8.4). Casi todos los edificios de Almería quedaron destruidos. Según datos del Instituto Geográfico Nacional, su epicentro se sitúa a  $36^{\circ}55'N$  de latitud y  $2^{\circ} 30'W$  de longitud. Según el testimonio del historiador Pedro Medina en su obra de 1549 *Libro de Grandezas y cosas memorables de España* cita el siguiente párrafo:

*"En el año del Señor de 1522, hubo en esta ciudad (de Almería) un terremoto tan grande que cayeron muchas casas y otros edificios y mataron mucha gente. Moviose de su lugar gran parte de la Sierra, y cayó en el río que pasa junto a esta ciudad, por lo cual el río salió de su curso y reventó por todas partes de su misma madre".*

Esta descripción indica que el sismo provocó un deslizamiento de tierras que bloqueó el río Andarax, haciendo que éste saliera de su curso y provocara inundaciones.

#### Terremoto de Málaga de 9 de septiembre de 1680

Este terremoto causó grandes daños en el sur de España, afectando principalmente a la provincia de Málaga. El epicentro se situó en el mar Mediterráneo a  $6^{\circ} 30'N$  y  $4^{\circ} 24'W$ , alcanzando una intensidad de X.

En Málaga, los daños a los edificios pueden cifrarse en el 20% de las casas destruidas, el 30% inhabitable y el 30% con graves daños. En el barrio de Percheles, se concentraron buena parte de los daños y se registraron numerosas víctimas, también se derrumbaron las murallas que rodean los castillos de Alcazaba y Gibralfaro. En poblaciones próximas a Málaga, se arruinaron la mayoría de los edificios. En Granada y Córdoba, también se sintió este sismo.

Se pudieron contabilizar 70 víctimas mortales y cientos de heridos. Como efectos indirectos provocados por el sismo, se produjeron desprendimientos en los montes de Colmenar y Santa María de Mitjar. Además, se produjo un tsunami que afectó a las costas de Málaga.

## Terremoto de 1 de noviembre de 1755

Este terremoto se consideró como el más destructivo que azotó a la Península hasta entonces. Se produjeron varios temblores a las 9h:50 min, 10h y 12h del día 1 de noviembre de 1755, día de Todos los Santos. Este violento temblor tuvo su epicentro en la falla Azores-Gibraltar, a 37°N y 10°O (ver figura 8.5). Afectó duramente Portugal y el sur de España (VIII), (ver mapa de isosistas). Su duración fue de 120 segundos y se alcanzó una intensidad máxima de X. Sus efectos fueron desastrosos, aparte del terremoto en sí, que destruyó la mayoría de los edificios en Lisboa (ver mapa), se produjo un devastador incendio que arrasó Lisboa y un tsunami que azotó las costas portuguesas y zona del golfo de Cádiz.

En Lisboa, se contabilizaron 50.000 víctimas mortales de una población estimada en 235.000 personas.

En España, se produjeron cuantiosos daños. En Sevilla, se destruyó el 6,5% de las viviendas y dañó el 89%. La Giralda se vio muy afectada, y se produjeron 9 víctimas. En Madrid, se alcanzó una intensidad de V y, aparte de algunos daños, cayó una cruz del Colegio Imperial y otra de la fachada del Buen Suceso, ocasionando la muerte de dos niños.

Pero lo que verdaderamente causó numerosas víctimas en nuestro territorio, fue el tremendo tsunami que barrió las costas peninsulares y africanas, según una descripción del *Catálogo Nacional de Riesgos Geológicos I.T.G.E* (1988), los efectos del tsunami fueron en las costas españolas y portuguesas:

En España:

«En Cádiz, después de pasado el terremoto a las 11 h, el mar rompió los lienzos de las murallas desplazando piezas de sillería de 8 a 10 toneladas alrededor de 40 a 50 yardas, e invadió la población hasta 3 veces con intervalos de 6 minutos dejando en seco cerca de media legua de playa y ocasionó numerosas víctimas. También se produjeron daños en el muelle y el hundimiento de un barco. El Gobernador de Cádiz ordenó el cierre de las murallas salvando la vida a miles de personas. En los pueblos de la provincia se sintió el terremoto en análoga manera. Conil, Sanlúcar de Barrameda, Puerto de Santa María, Jerez de la Frontera, etc., todos ellos sufrieron desperfectos en los edificios y víctimas. Sólo en la Isla de León (hoy San Fernando) aparecieron en sus alrededores 26 muertos. Por ejemplo, Conil quedó completamente destruido. En Ayamonte, únicamente, hubo más de 1.000 muertos».

En Portugal:

«En Lisboa se produjeron más de 4.000 muertos. En San Vicente se retiró el mar media legua subiendo el nivel a continuación 60 m. En Sagres también el mar se retiró media legua produciendo una subida de 30 m a continuación. En Motinhal y Lagos el mar avanzó hasta media legua arrasando murallas, arrasando cultivos y haciendo naufragar pequeñas embarcaciones. En Portimao, alejada 2,5 km del mar la ría que por ella pasa, se llevó 12 m de muralla y destruyó un convento».

### Terremoto del 25 de agosto de 1804

En la mañana del día 25, a las 8h y 30 min., se produjo un violento terremoto de intensidad IX con un epicentro estimado en  $36^{\circ} 48'N$  y  $2^{\circ} 49'O$  que afectó a varias localidades de la provincia de Almería, Berja y Dalias que quedaron totalmente arrasadas, según el alcalde de Dalias de entonces «...Han quedado reducidas a dos montañas de escombros y ruinas, siendo ya hoy útiles para dar una idea más viva de la calamidad y miseria» (ver figura 8.6).

El número de víctimas alcanzó la cifra de 312 muertos, además de cientos de heridos. Se pudieron observar desprendimientos y roturas superficiales del terreno.

### Terremoto del 21 de marzo de 1829

Este fuerte terremoto destruyó la ciudad de Torrevieja, donde se alcanzó la intensidad de X (M.S.K.), (ver figura 8.7). Destruyó 10 iglesias parroquiales, 57 ermitas, 4 puentes, 96 molinos, además de 2.965 casas, y dañando gravemente otras 2.396 viviendas. Hubo 839 muertos, cientos de heridos, las pérdidas económicas ascendieron a 8,5 millones de reales de vellón (moneda de la época). Fue necesario reedificar Torrevieja, Guardamar del Segura, Almoradi y otros muchos pueblos. En Murcia capital, la aceleración vertical fue tal que lanzó hacia arriba como un proyectil, una bola que servía de cabeza de una cruz que había en la portada de la catedral. Se observaron numerosas grietas en el suelo, de las que emanaba un agua pestilente y según los cronistas de la época, aseguraban que los peces que se acercaban a la desembocadura del río Segura morían.

El epicentro se situó en las coordenadas  $0^{\circ}42'O$  y  $38^{\circ}06'N$ . Después del sismo principal, se contabilizaron 24 réplicas que oscilaban sus intensidades entre los V y VII (M.S.K.).

### Terremoto del 25 de diciembre de 1884

A este terremoto se le conoce como el «Terremoto de Andalucía» y fue el último gran terremoto destructor que afectó a España (ver figura 8.8).

El día de Navidad de 1884, a las 21h: 08 min, se desató un violento sismo en la zona norte de la sierra de Teyuela, asociado a una serie de fracturas en un área geológicamente complicada. El epicentro se localizó a  $36^{\circ} 57'N$  y  $3^{\circ} 59'O$ , a una profundidad entre 10 y 20 kilómetros. Afectó a un área de 8.400 km<sup>2</sup> de las provincias de Granada y Málaga, produjo la destrucción total del pueblo de Arenas del Rey y otros pueblos más, y desprendimientos en las sierras próximas, que afectaron al pueblo de Tajo de Alhama, en donde se registraron más de trescientos muertos y quinientos heridos. En Güevejar y Abunar, también se registraron deslizamientos, y en numerosas localidades se pudieron observar fenómenos de licuefacción, grietas etc.. En la tabla 8.XI se puede observar un resumen de víctimas y daños de las localidades afectadas.

Núcleo	Población Término municipal	Víctimas		Edificios existentes						Daños a edificaciones	
		Gobernador		Núcleo			Término Municipal			Comisión Española	
		Muertos	Heridos	1 Planta	2	3	1 Planta	2	3	Destruídas	dañadas
Albuñuelas	1640	102	500	56	303	7	116	308	7	463	26
Alhama	7758	307	502	8	478	793	248	488	793	1084	560
Almendral	Anejo de Ventas			17	25						
Arenas	1366	135	253	14	319	14	30	343	15	397	
Cacín - El Turro	728			8	124		9	137		21	72
Fornes	746			6	114	6	6	117	6		
Granada	76.005										
Güejévar	586			2	117	3	2	124	3		
Jatar	1.163			3	239	12	6	243	12	37	220
Jayena	1.213	17	5	62	228	14	66	230	14	95	218
Murchas	362	9	13	5	92		5	93		95	
Santa Cruz	708	13	8	10	182	7	11	215	7	162	44
Ventas	934	73	7	22	50		53	98		119	20
Zafarraya	2700	25	86	47	150		74	203		200	171
Total Granada		690	1426							3332	2438
Alcaucín	2019	4		90	237	8	175	311	8	150	600
C. del Aceituno	3231	5	5	75	500	10	343	590	10	92	382
Málaga	94732			751	3846	2644	1839	4443	2644		
Periana	4060	40	18	176	225	5	378	314	5	158	146
Vélez-Málaga	24332	6	16	806	1201	261	3171	1389	261		
Total Málaga		55	59							1057	10641

Tabla 8.XI. Cuadro resumen de víctimas y daños. Datos I.G.N.

El importe de la reconstrucción de los pueblos y las indemnizaciones a las víctimas afectadas, alcanzó aproximadamente los 10 millones de pesetas de la época. Para obtener el equivalente en la actualidad, habría que multiplicar por un índice próximo a 200, con lo que se obtendría una cifra cercana a los 2.000 millones de pesetas.

A continuación, se puede ver en la tabla 8.XII la relación de las poblaciones que fueron auxiliadas por el Comisario Regio con los fondos de la suscripción nacional para la reedificación o reparación de sus casas. (I.G.N.)

PROVINCIA DE GRANADA			PROVINCIA DE MÁLAGA		
Municipio	Pesetas	Municipio	Pesetas	Municipio	Pesetas
Acequias	8.449,09	Játar	21.729,92	Alcaucín	8.251,00
Agrón	2.255,00	Jayena	128.508,53	Alfarachejo	5.040,25
Albuñuelas	346.923,15	Jete	13.125,92	Algarrobo	10.085,57
Alhama	1.541.127,70	Lanjarón	917,00	Almogía	10.157,37
Almuñécar	38.884,65	Lentegí	11.563,43	Antequera	50.318,20
Arenas del Rey	1.033.765,98	Loja	82.863,46	Archez	22.172,22
Bayacas	9.953,90	Malá (La)	117,00	Archidona	1.481,00
Béznar	75.752,85	Medina Fondales	3.674,45	Arenas de Daimalos	14.041,40
Cacín y su anejo Turro	9.421,69	Melegís	64.924,38	Benagalbón	1.425,48
Cájar	591,05	Molvízar	23.066,54	Benamorraca	8.493,75
Cañar	24.760,39	Mondújar	37.573,95	Borge	9.035,50
Capileira	2.274,50	Moraleda	6.322,25	Canillas de Alba	37.501,99
Cenes	2.967,00	Motril	37.482,56	Casabermeja	18.641,00
Cóñchar	31.870,62	Murchas	20.000,00	Colmenar	3.307,50
Cozvijar	5.965,20	Níjar	72.261,25	Cómpeta	79.725,00
Chauchina	1.713,00	Nívar	981,00	Cútar	35.926,25
Chimeneas	15.220,51	Ojijares	150,00	Frigiliana	11.023,85
Chite y su anejo Talará	34.354,48	Orgiva	2.995,88	Iznate	3.463,67
Churriana	1.424,50	Otívar	51.864,57	Málaga	146.885,54
Dílar	9.998,50	Padul	15.522,00	Moalínejo	11.110,22
Dúdar	6.352,22	Pinos Genil	13.586,01	Nerja	14.274,25
Dúreal	13.062,75	Pinos del Rey	20.121,68	Oriá	7.567,50
Fomes	30.882,58	Quéntar	8.217,17	Periana	300.587,30
Gábia la Grande	1.050,00	Restábal	27.100,37	Rigordo	647,00
Gábia la Chica	5.025,75	Salar	9.789,57	Salares	29.835,50
Gójar	2.591,10	Saleres	36.200,11	Sayalonga y Corumbela	23.167,98
Granada	109.892,50	Salobreña	42,00	Sedella	19.215,21
Guájar alto	11.988,30	Sopetújar	2.942,75	Torrox	21.624,44
Guájar Faragüit	3.163,50	Vélez de Benállada	10.005,45	Vélez-Málaga	110.36,35
Guájar Fondón	1.673,75	Ventas de Huelma	17.781,77	Villanueva del Trabuco	975,00
Güejar Sierra	543,07	Ventas de Zafarraya	7.112,45	Viñuela	617,00

Güejévar	527.113,05	Villanueva de Mesía	122.421,45
Huétor Tajar	12.165,34	Zafarraya	122.421,45
Illora	15.077,62	Zubia (La)	1049,05
Itrabo	7.492,92		
Izboer y su anejo Tablate	15.704,01		

**Tabla 8.XII. Indemnizaciones concedidas por el Comisario Regio para la reedificación o reparación de las casas. Datos I.G.N.**

Se sintieron numerosas réplicas durante un año, la mayor de todas fue el 27 de febrero de 1885, con una intensidad que osciló entre VII- VIII.

Como efectos indirectos del sismo, en el verano de 1885 se registró una epidemia de cólera sobre la zona.

### **8.3 SISTEMA DE PREVISIÓN DE TERREMOTOS EN ESPAÑA**

Desde tiempos históricos, se han venido registrando decenas de terremotos destructores con intensidades superiores a VIII (M.S.K.) en la Península. Algunos de estos sismos arrasaron aldeas, villas, pueblos y ciudades, viviendo sus habitantes escenas inenarrables de temor, angustia y miedo.

El valorar los efectos que puede causar un terremoto destructor en el futuro, no es tarea fácil. Se pueden hacer modelos de estimaciones basados en cálculos probabilísticos, que son una mera aproximación al problema, ya que se deben tener en cuenta numerosas variables, como la fecha y la hora del siniestro.

De cualquier manera, es necesario realizar modelos de simulación cada vez más precisos para elaborar los planes de actuación correspondientes, y mitigar las consecuencias de la catástrofe.

Desde 1985, se realizan en España modelos de simulación de daños, y se han reflejado en un estudio de A. J. Martín Martín, para la provincia de Córdoba. Posteriormente, en 1986 y con la colaboración de García Yagüe, realizaron un amplio estudio para la estimación de los daños que un terremoto catástrofico occasionaría en Andalucía, desarrollando una metodología que básicamente consta de los siguientes puntos:

- 1) Supuesto un terremoto en un epicentro dado, cálculo de la población y del número de viviendas existentes en el interior de las zonas de intensidad máxima, y de intensidad uno y dos grados inferiores a la intensidad máxima.

- 2) Determinación para los niveles de daño adoptados, de las fórmulas de cálculo del número de viviendas afectadas en función de la intensidad máxima del sismo y de la proporción de viviendas existentes de cada tipo.
- 3) Determinación del número de muertos y heridos de consideración, que ocasionaría un terremoto de intensidad máxima VIII - IX (M.S.K.), (que son los únicos grados de intensidad que interesan a efectos prácticos, en este trabajo).
- 4) Determinación para cada uno de los núcleos de población, del número de viviendas existentes de cada uno de los tipos A, B y C.
- 5) Cálculo por las fórmulas del apartado (2), del número de viviendas destruidas y dañadas, supuesta la ocurrencia de un terremoto de intensidad máxima VIII - IX (M.S.K.)
- 6) Cálculo mecanizado. Para ello, se han elaborado programas de cálculo para un ordenador. La mecanización del cálculo implica además de la rapidez de ejecución, una serie de ventajas. Entre ellas:
  - Adaptabilidad a cálculos similares en otras regiones.
  - Posibilidad de cálculo inmediato de una estimación de los daños que ocasionaría un terremoto con cualquier epicentro, de gran utilidad en el caso de que ocurra realmente.

	POBLACIÓN AFECTADA		VIVIENDAS AFECTADAS					
	ZONA I=VIII	ZONA I=VII	ZONA I=VIII			ZONA I=VII		
			TIPO A	TIPO B	TIPO C	TIPO A	TIPO B	TIPO C
HUELVA	208.333	190.678	10.054	41.461	21.267	14.844	62.517	781
SEVILLA	1.002.174	468.046	21.860	144.448	174.252	25.707	118.872	3.995
CÁDIZ		646.497				24.976	107.862	71.302
CÓRDOBA		576.485				26.148	104.652	56.287
JAÉN		16.860				1.186	4.995	64
MÁLAGA		7.574				398	1.674	22
TOTAL	1.210.507	1.906.140	31.914	185.909	195.519	93.259	400.572	132.451

Tabla 8. XIII. Daños estimados para un sismo análogo al del 1 de noviembre de 1755, según Martín Martín y García Yagüe, (1986).

Actualmente, se disponen de datos para toda España y se ha confeccionado un Sistema Automático de Vigilancia Sísmica (SAVS), desarrollado por el I.G.N., capaz de determinar la localización de un terremoto, magnitud y una estimación de la intensidad máxima sentida, que además puede dar una valoración aproximada de los

daños producidos. En la tabla 8.XIV, se puede observar un ejemplo de salida del sistema SAVS para el «terremoto de Andalucía» del 25 de diciembre de 1884 (ver figura 8.9).

<table border="1"> <tr> <td>Fecha:</td><td>25-12-1884</td></tr> <tr> <td>Hora origen:</td><td>21h 08m 32,35s</td></tr> <tr> <td>Latitud:</td><td>37° 24,71'N</td></tr> <tr> <td>Longitud:</td><td>04° 37,85'W</td></tr> <tr> <td>Profundidad:</td><td>18 kms</td></tr> <tr> <td>Magnitud:</td><td>6.4</td></tr> <tr> <td>Num. Estaciones:</td><td>25</td></tr> </table> <p>INTENSIDAD MÁXIMA ESTIMADA: IX</p>								Fecha:	25-12-1884	Hora origen:	21h 08m 32,35s	Latitud:	37° 24,71'N	Longitud:	04° 37,85'W	Profundidad:	18 kms	Magnitud:	6.4	Num. Estaciones:	25
Fecha:	25-12-1884																				
Hora origen:	21h 08m 32,35s																				
Latitud:	37° 24,71'N																				
Longitud:	04° 37,85'W																				
Profundidad:	18 kms																				
Magnitud:	6.4																				
Num. Estaciones:	25																				
DAÑOS ESTIMADOS																					
EDIFICIOS																					
INTEN.	RADIO.	SUPER.	POBLA.	GRAVES	LEVES	MUERTOS	HERIDOS														
IX	15	707	5.500	820	2.145	841	1.503														
VIII	26	1.417	17.000	210	3.114	9	179														
VII	40	2.902	148.000	2	94		12														
VI	55	4.477	719.000				1														
V	70	5.891	250.000																		
IV	100	16.022	256.000																		
III	150	39.270	290.000																		

Tabla 8.XIV. Ejemplo de salida de datos del Sistema SAVS, (I.G.N.).

En 1987, se publicó un trabajo realizado por el Instituto Tecnológico Geominero de España (I.T.G.E), basado en la metodología de trabajo del Master Plan for California 1973, que valoraba los efectos que tendrían sobre el territorio español los riesgos geológicos (tabla 8.XV, 8.XVI, 8.XVII)

RIESGO MÁXIMO		
COMUNIDADES AUTÓNOMAS	PTAS.	CRECIMIENTO ECONÓMICO REAL 2%/30 AÑOS
ANDALUCÍA	1.158.666.924.933	1.566.829.719.391
MURCIA	593.010.228.942	801.909.531.216
VALENCIA	172.323.147.503	233.027.303.220
CATALUÑA	35.408.400.539	47.881.693.251
CANARIAS	7.680.916.766	10.386.667.991
EXTREMADURA	4.755.010.851	6.430.055.227
BALEARES	3.519.778.005	4.759.687.759
PAÍS VASCO	2.833.978.005	3.832.301.472
NAVARRA	2.664.205.617	3.601.723.482
ARAGÓN	1.600.169.420	2.163.859.992
GALICIA	1.247.189.195	1.686.535.668
CASTILLA LEÓN	487.890.070	659.758.767
CASTILLA LA MANCHA	475.679.604	643.246.929
RIOJA	403.133.427	545.144.960
ASTURIAS	0	0
CANTABRIA	0	0
MADRID	0	0
TOTAL	1.985.076.652.873	2.684.358.229.335

**Tabla 8.XV.** Pérdidas económicas que ocasionaría un terremoto en España para un riesgo máximo.  
Según datos del I.T.G.E (1987).

RIESGO MEDIO		
COMUNIDADES AUTÓNOMAS	PTAS.	CRECIMIENTO ECONÓMICO REAL 2%/30 AÑOS
ANDALUCÍA	38.418.599.183	51.952.292.485
VALENCIA	18.641.685.407	25.208.579.003
MURCIA	5.637.599.470	7.623.552.727
ARAGÓN	0	0
ASTURIAS	0	0
BALEARES	0	0
CANARIAS	0	0
CANTABRIA	0	0
CASTILLA LA MANCHA	0	0
CASTILLA LEÓN	0	0

CATALUÑA	0	0
EXTREMADURA	0	0
GALICIA	0	0
MADRID	0	0
NAVARRA	0	0
PAÍS VASCO	0	0
RIOJA	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>62.697.884.060</b>	<b>84.784.424.216</b>

**Tabla 8.XVI.** Pérdidas económicas que ocasionaría un terremoto en España para un riesgo medio.  
Según datos de I.T.G.E.(1987).

COMUNIDAD AUTÓNOMA	POSIBLES INTERVALOS	
	HIPÓTESIS MAXIMA	HIPÓTESIS MEDIA
ANDALUCIA	5.000 a 20.000	< 10
MURCIA	1.000 a 10.000	< 10
VALENCIA	100 a 1.000	0
CATALUÑA	0 a 100	0
ARAGÓN	0	0
ASTURIAS	0	0
BALEARES	0	0
CANARIAS	0	0
CANTABRIA	0	0
CASTILLA LA MANCHA	0	0
CASTILLA LEÓN	0	0
EXTREMADURA	0	0
GALICIA	0	0
MADRID	0	0
NAVARRA	0	0
PAÍS VASCO	0	0
RIOJA	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>&lt; 30.000</b>	<b>&lt; 20</b>

**Tabla 8.XVII.** Pérdidas potenciales humanas que ocasionaría un terremoto para un período de 30 años, para las comunidades autónomas. Según datos del I.T.G.E.(1987).

En el caso del riesgo sísmico, se realizó un estudio en función de dos hipótesis de riesgo para un período de tiempo de 30 años, máximo y medio. Para este período de tiempo, y aceptando la hipótesis más pesimista o riesgo máximo, los terremotos representan el segundo mayor riesgo en pérdidas económicas, con 2,6 billones de pesetas de 1987

## 8.4 ESCALA DE INTENSIDAD SÍSMICA UTILIZADA EN ESPAÑA (M.S.K.)

Quizás, durante el reinado de Felipe II, se confeccionó en España la primera norma sismorresistente del mundo, aunque no estaba destinada a nuestro país, sino a las colonias españolas en América.

En la década de los 60, debido al aumento de interés en los temas sísmicos en el mundo, se empezaron a confeccionar en España normativas sismorresistentes. La primera norma la construcción se publicó en 1962, conocida como norma «M.V. 101-1962». Posteriormente, en 1969, tras varios años de estudio, se confeccionó la primera norma sismorresistente propiamente dicha, y en 1974, se publicó modificada como «Norma Sismorresistente P. D. S.-1 (1974)». Junto con la creación de la norma, se formó una Comisión Permanente de Normas Sismorresistentes, constituida por diversos representantes de distintos ministerios, y su función es:

- \* El estudio de las nuevas técnicas sismorresistentes.
- \* Promover estudios de ingeniería sísmica, riesgo sísmico y sismicidad.
- \* Revisar la norma sismorresistente cada cinco años para proponer las modificaciones necesarias, de acuerdo con la experiencia adquirida.

El territorio nacional se ha dividido en tres zonas según el grado de intensidad y, puede decirse que no existe sismicidad nula en todo el territorio.

### **Zona primera:**

De baja sismicidad, son aquellas zonas del territorio donde no son previsibles sismos de intensidad superior a grado VI.

### **Zona segunda:**

De sismicidad media. Comprende parte del territorio donde son previsibles sismos de intensidad igual o superior al grado VI e inferior al grado VIII.

### **Zona tercera:**

De sismicidad alta, comprende todas aquellas partes del territorio donde son previsibles terremotos de intensidad VII y superiores.

En España, la escala oficial macrosísmica utilizada en la norma sismorresistente es la M.S.K. A continuación se detalla esta escala:

## 1. DEFINICIÓN DE LA ESCALA DE INTENSIDAD DE M.S.K.

### 1.1 Efectos que definen los grados de intensidad M.S.K.

Los grados de intensidad de la escala M.S.K. se definen por:

- a) Los fenómenos sentidos por las personas y percibidos en su medio ambiente.
- b) Los daños producidos en las construcciones según sus diversos tipos.
- c) Los cambios advertidos en la naturaleza.

### 1.2 Tipos de construcciones

Para la estimación de los daños, se consideran las construcciones no proyectadas para resistir acciones sísmicas, y se clasifican en tres tipos:

**Tipo A:** Con muros de mampostería en seco o con barro, de adobes, de tapial.

**Tipo B:** Con muros de fábrica de ladrillo, de bloques de mortero, de mampostería con mortero, de sillarejo, de sillería, entramados de madera.

**Tipo C:** Con estructura metálica o de hormigón armado.

### 1.3 Términos de cantidad

Los términos de cantidad utilizados en la definición de los grados de intensidad corresponden aproximadamente a los siguientes porcentajes:

Algunos..... 5 por 100

Muchos..... 50 por 100

La mayoría..... 75 por 100

### 1.4. Clasificación de los daños en las construcciones

Los daños producidos en una construcción se clasifican como sigue:

**Clase 1. Daños ligeros**

Fisuras en los revestimientos, caída de pequeños trozos de revestimiento.

**Clase 2. Daños moderados**

Fisuras en los muros, caídas de grandes trozos de revestimiento, caída de tejas, caída de pretilés, grietas en las chimeneas e incluso derrumbamientos parciales en las mismas.

**Clase 3. Daños graves**

Grietas en los muros, caída de chimeneas de fábrica o de otros elementos.

**Clase 4. Destrucción**

Brechas en los muros resistentes, derrumbamiento parcial, pérdida de enlace entre distintas partes de la construcción, destrucción de tabiques y muros de cerramiento.

**Clase 5. Colapso**

Ruina completa de la destrucción.

NIVEL DE DAÑOS		INTENSIDAD VII			INTENSIDAD VIII			INTENSIDAD IX		
CLASE	TIPO	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	LIGEROS			5						
2	MODERADOS		50				50			
3	GRAVES	50	50			50	5			50
4	DESTRUCCIÓN	5			50	5			50	5
5	COLAPSO				5			50	5	

Tabla 8. XVIII. Porcentajes del daño a los diferentes tipos de viviendas según la escala MSK.

**2. DESCRIPCIÓN DE LOS GRADOS DE INTENSIDAD M.S.K.**

**Grado I.**

La sacudida no es percibida por los sentidos humanos, siendo detectada y registrada solamente por los sismógrafos.

## **Grado II.**

La sacudida es perceptible solamente por algunas personas en reposo, en particular en los pisos superiores de los edificios.

## **Grado III.**

La sacudida es percibida por algunas personas en el interior de los edificios y sólo en circunstancias muy favorables en el exterior de los mismos. La vibración percibida es semejante a la causada por el paso de un camión ligero. Observadores muy atentos pueden notar ligeros balanceos de objetos colgados, más acentuados en los pisos altos de los edificios.

## **Grado IV.**

El sismo es percibido por muchas personas en el interior de los edificios, y por algunas en el exterior. Algunas personas que duermen se despiertan, pero nadie se atemoriza. La vibración es comparable a la producida por el paso de un camión pesado con carga. Las ventanas, puertas y vajillas vibran. Los pisos y muros producen chasquidos. El mobiliario comienza a moverse. Los líquidos contenidos en recipientes abiertos se agitan ligeramente. Los objetos colgados se balancean ligeramente.

## **Grado V.**

- a) El sismo es percibido en el interior de los edificios por la mayoría de las personas, y por muchas en el exterior. Muchas personas que duermen se despiertan y algunos huyen. Los animales se ponen nerviosos. Las construcciones se agitan con una vibración general. Los objetos colgados se balancean ampliamente. Los cuadros golpean sobre los muros o son lanzados fuera de su emplazamiento. En algunos casos, los relojes de péndulo se paran. Los objetos ligeros se desplazan o vuelcan. Las puertas o ventanas abiertas batén con violencia. Se vierten en pequeña cantidad los líquidos contenidos en recipientes abiertos y llenos. La vibración se siente en la construcción como la producida por un objeto pesado arrastrándose.
- b) En las construcciones de tipo A, son posibles ligeros daños (clase 1).
- c) En ciertos casos, se modifica el caudal de los manantiales.

## **Grado VI.**

- a) Lo sienten la mayoría de las personas, tanto dentro como fuera de los edificios. Muchas personas salen a la calle atemorizadas. Algunas personas llegan a perder el equilibrio. Los animales domésticos huyen de los establos. En algunas ocasiones,

la vajilla y la cristalería se rompen, los libros caen de sus estantes, los cuadros se mueven y los objetos inestables vuelcan. Los muebles pesados pueden llegar a moverse. Las campanas pequeñas de torres y campanarios pueden sonar.

- b) Se producen daños moderados (clase 2) en algunas construcciones de tipo A. Se producen daños ligeros (clase 1) en algunas construcciones de tipo B y en muchas de tipo A.
- c) En ciertos casos, pueden abrirse grietas de hasta un centímetro de ancho en suelos húmedos. Pueden producirse deslizamientos en las montañas. Se observan cambios en el caudal de los manantiales y en el nivel de agua de los pozos.

### **Grado VII.**

- a) La mayoría de las personas se aterroriza y corre a la calle. Muchas tienen dificultad para mantenerse en pie. Las vibraciones son sentidas por personas que conducen automóviles. Suenan las campanas grandes.
- b) Muchas construcciones del tipo A sufren daños graves (clase 3) y algunas, incluso destrucción (clase 4).

Muchas construcciones del tipo B sufren daños moderados (clase 2).

Algunas construcciones del tipo C experimentan daños ligeros (clase 1).

- c) En algunos casos, se producen deslizamientos en las carreteras que transcurren sobre laderas con pendientes acusadas; se producen daños en las juntas de las canalizaciones y aparecen fisuras en muros de piedra.

Se aprecia oleaje en las lagunas y el agua se enturbia por remoción del fango. Cambia el nivel del agua de los pozos y el caudal de los manantiales que estaban secos, y se secan otros que manaban. En ciertos casos, se producen derrames en taludes de arena o grava.

### **Grado VIII.**

- a) Miedo y pánico general, incluso en las personas que conducen automóviles. En algunos casos, se desgajan las ramas de los árboles. Los muebles, incluso pesados, se desplazan o vuelcan. Las lámparas colgadas sufren daños parciales.
- b) Muchas construcciones de tipo A sufren destrucción (clase 4) y algunas colapso (clase 5).

Muchas construcciones de tipo B sufren daños graves (clase 3) y algunas destrucción (clase 4).

Muchas construcciones de tipo C sufren daños moderados (clase 2) y algunas graves (clase 3).

En ocasiones, se produce la rotura de algunas juntas de canalizaciones. Las estatuas y monumentos se mueven y giran. Se derrumban muros de piedra.

- c) Pequeños deslizamientos en las laderas de los barrancos, y en las trincheras y terraplenes con pendientes pronunciadas. Grietas en el suelo de varios centímetros de ancho. Se enturbia el agua de los lagos. Aparecen nuevos manantiales. Vuelven a tener agua pozos secos y se secan pozos existentes. En muchos casos, cambian el caudal y el nivel de agua de los manantiales y pozos.

#### **Grado IX.**

- a) Pánico general. Daños considerables en el mobiliario. Los animales corren confusamente y emiten sus sonidos peculiares.
- b) Muchas construcciones del tipo A sufren colapso (clase 5). Muchas construcciones del tipo B sufren destrucción (clase 4) y algunas colapso (clase 5).

Muchas construcciones del tipo C sufren daños graves (clase 3) y algunas destrucción (clase 4).

Caen monumentos y columnas. Daños considerables en depósitos de líquidos. Se rompen parcialmente las canalizaciones subterráneas. En algunos casos, los carriles del ferrocarril se curvan y las carreteras quedan fuera de servicio.

- c) Se observa, con frecuencia, que se producen extrusiones de agua, arena y fango en los terrenos saturados. Se abren grietas en el terreno de hasta 20 centímetros de ancho, de más de 10 centímetros en las laderas y en las márgenes de los ríos. Aparecen, además, numerosas grietas pequeñas en el suelo. Desprendimientos de rocas y aludes. Muchos deslizamientos de tierras. Grandes olas en lagos y embalses. Se renuevan pozos secos y se secan otros existentes.

#### **Grado X.**

- b) La mayoría de las construcciones del tipo A sufren colapso (clase 5). Muchas construcciones de tipo C sufren destrucción (clase 4) y algunas colapso (clase 5). Daños peligrosos en presas; daños serios en puentes. Los carriles de las vías férreas se desvían y a veces se ondulan. Las canalizaciones subterráneas son retorcidas o rotas. El pavimento de las calles y el asfalto forman grandes ondulaciones.
- c) Grietas en el suelo de algunos decímetros de ancho, que pueden llegar a un metro. Se producen anchas grietas paralelamente a los cursos de agua. Deslizamientos de tierras sueltas en las laderas con fuertes pendientes. En los ribazos de los ríos y en las laderas escarpadas se producen considerables deslizamientos. Desplazamientos

de arenas y fangos en las zonas litorales. Cambio de nivel de agua en los pozos. El agua de canales y ríos es lanzada fuera de su cauce normal. Se forman nuevos lagos.

### Grado XI.

- b) Daños importantes en construcciones, incluso en las bien realizadas, en puentes, presas y líneas de ferrocarril. Las carreteras importantes quedan fuera de servicio. Las canalizaciones subterráneas quedan destruidas.
- c) El terreno queda considerablemente deformado tanto por desplazamientos horizontales como verticales, y con anchas grietas. Muchos deslizamientos de terrenos y caídas de rocas.

Para determinar la intensidad de las sacudidas sísmicas, se precisan investigaciones especiales.

### Grado XII.

- b) Prácticamente se destruyen o quedan gravemente dañadas todas las estructuras, incluso las subterráneas.
- c) La topografía cambia. Grandes grietas en el terreno con importantes desplazamientos horizontales y verticales. Caídas de rocas y hundimientos en los escarpes de los valles producidos en vastas extensiones. Se cierran valles y se transforman en lagos. Aparecen cascadas y se desvían los ríos.

Nº	Localización	Coordinadas	Intensidad	Magnitud	Fecha	Víctimas	Efectos indirectos	Efectos
1	SO Cabo de S. Vicente	Long: 10°40' O Lat: 16°N	X		9/12/1320	Tsunami		
2	Benavente (Portugal)	Long: 8° 48O Lat: 38° 54'N	IX		1344		Se registraron víctimas y cuantiosos daños	
3	SW Cabo de S. Vicente	Long: 10°42' O Lat: 36°N	X		24/8/1356		Se registraron víctimas y daños en la Giralda de Sevilla. Tsunami	
4	Ribagorza (Huesca)	Long: 00°48O Lat: 42°24'N	IX		2/2/1372			
5	Tabernes (Valencia)	Long: 00°15' O Lat: 39° 19'N	IX		18/12/1396		Se registraron víctimas con alteración del régimen hídrico con cuantiosos daños.	
6	Olot (Gerona)	Long: 2°30'E Lat: 42°12'N	IX		15/5/1427		500 muertos y numerosos heridos con destrucción parcial de Olot y varias poblaciones más.	
7	Camprondón (Gerona)	Long: 3°40'N Lat: 42°18'N	IX		2/2/1428		500 muertos, numerosos heridos. Destrucción total de Puigcerdá y Camprodón.	
8	Atarfe (Granada)	Long: 3°40'N Lat: 37°24'N	IX		24/4/1431		Varios heridos. Destrucción de muchas casas.	
9	Carmona (Sevilla)	Long: 01°52' O Lat: 37° 24'N	X		5/4/1504		Más de 100 muertos, deslizamientos y destrucción parcial de Carmona y Sevilla.	

10	V e r a (Almería)	Long: 1° 52'O Lat 37°13'N	IX		9/11/1518	Numerosas víctimas y destrucción completa de Vera.
11	A l m e r í a (Almería)	Long: 2°30'N Lat: 37°24'N	IX		22/9/1522	Numerosas víctimas y alteración del régimen hídrico. Destrucción de Almería.
12	V i l a f r a n c a (Portugal)	Long: 9°00'O Lat: 38° 57'N	X		26/1/1531	1500 casas destruidas, gran número de víctimas mortales, hundimiento de barcos y numerosas réplicas.
13	L o u l e (Portugal)	Long: 8°00'N Lat: 37°08'N	IX		/11/1587	Destrucción de Loule, murieron 150 personas.
14	A l c o y (Alicante)	Long: 00°27'O Lat: 38° 42'N	IX		1645	Destrucción de varios pueblos. Se observó humear el barranco del Azufre.
15	A l a y o r (Menorca)	Long: 4°06'E Lat: 40°00'N	IX		20/10/1654	Destrucción de muchas casas.
16	B a g n e r e s d e B i g o r r e (Francia)	Long: 00°10'E Lat: 40°00'N	IX		21/6/1660	
17	M a l a g a (en el mar) (Málaga)	Long: 00°10'E Lat: 36°30'N	IX		19/9/1680	70 muertos, 250 heridos. Deprendimientos Tsunami. 20% de las casas de Málaga destruidas, 30% inhabitables, 30% con graves daños.
18	P r o t i m a o (Portugal)	Long: 4°24'O Lat: 37°08'N	IX		6/3/1719	Daños materiales en la torre de una iglesia y parte elevada de las casas. Duración entre 3 y 4 minutos.
19	T a v i r a (Portugal)	Long: 7°35'O Lat: 37°10'N	X		27/12/1722	Destrucción de gran número de casas. Muchas muertes.
20	E n g u e r a (Valencia)	Long: 00°39'N Lat: 39°00'N	IX		23/3/1748	Destrucción de Játiva y Enguera. Más de 50 muertos, varios heridos.
21	J u n c a l a s (Francia)	Long: 00°01'E Lat: 43° 04'N	IX		24/5/1750	
22	W. del Cabo de S. Vicente	Long: 10°00'O Lat: 37°00'N	X	8.9	1/11/1755	Destrucción de Lisboa, daños en Cádiz, Conil destruido. Más de 40.000 muertos, 2.000 en España, miles de heridos. Tsunami, incendios.
23	W. del Cabo de S. Vicente	Long: 10°00'O Lat: 37°00'N	IX	7	31/6/1761	Tres muertos. Duración de 3 minutos. Tsunami
24	A r u d y (Francia)	Long: 00° 24'O Lat: 43°06'N	IX		/10/1772	
25	D a l i a s (Almería)	Long: 2°48'O Lat: 35°00'N	IX		25/8/1804	312 muertos, cientos de heridos. Destrucción de Berja y Dalvés.
26	A t l á n t i c o	Long: 10°00'O Lat: 35°00'N	IX	7	2/2/1816	Fuerte pero sin daños, 1 minuto y medio de duración. Tsunami.
27	T o r r e v i e j a (Alicante)	Long: 00°42'N Lat: 38°06'N	X		21/3/1829	Destrucción de Torrevieja, Orihuela, Almoradí y Rojales. 839 muertos 375 heridos.
28	S e t ú b a l (Portugal)	Long: 9°00'O Lat: 38°12'N	X	8	11/11/1858	Setúbal quedó muy dañificada, 50 casas destruidas en Lisboa, 6 muertos y numerosos heridos.
29	A r e n a s d e l R e y (Granada)	Long: 9°00'O Lat: 38° 12'N	X	6.7	25/12/1884	Destrucción de Arenas del Rey, Ventas de Zafarraya, Alhama y Játar. 900 muertos y 1485 heridos.
30	B e n a v e n t e (Portugal)	Long: 8°49'O Lat: 38°57'N	X		23/4/1909	Tremor muy violento, provocó muchos daños en Benavente y tuvo numerosas réplicas.
31	A t l á n t i c o	Long: 19°01'O Lat: 37°25'N	X	8.2	25/11/1941	Chimeneas destruidas. Área macrosísmica afectada 3.100.000 km <sup>2</sup> . Tsunami.

Tabla 8. XIX Terremotos con intensidades mayores que IX que han afectado a la península Ibérica.

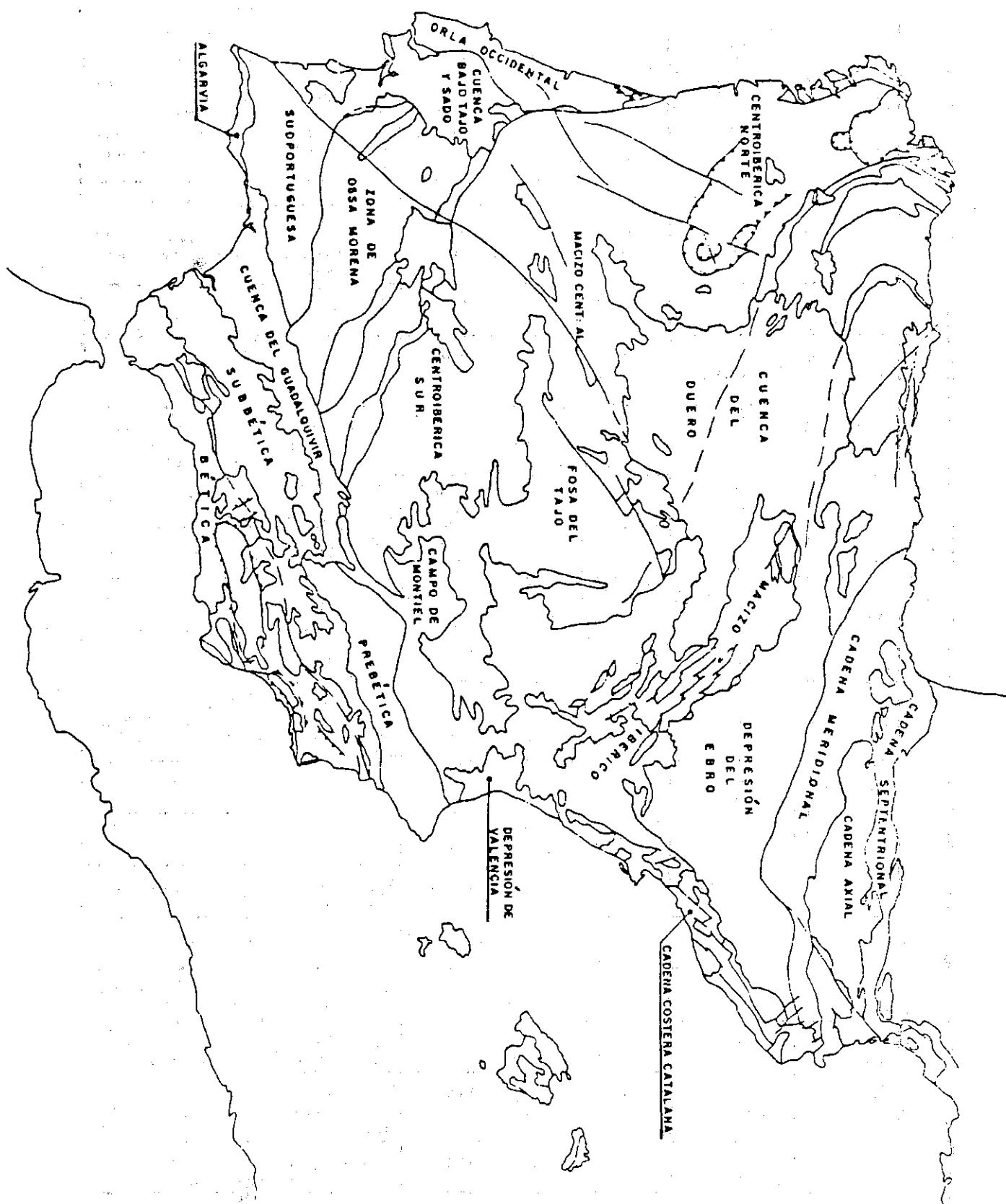
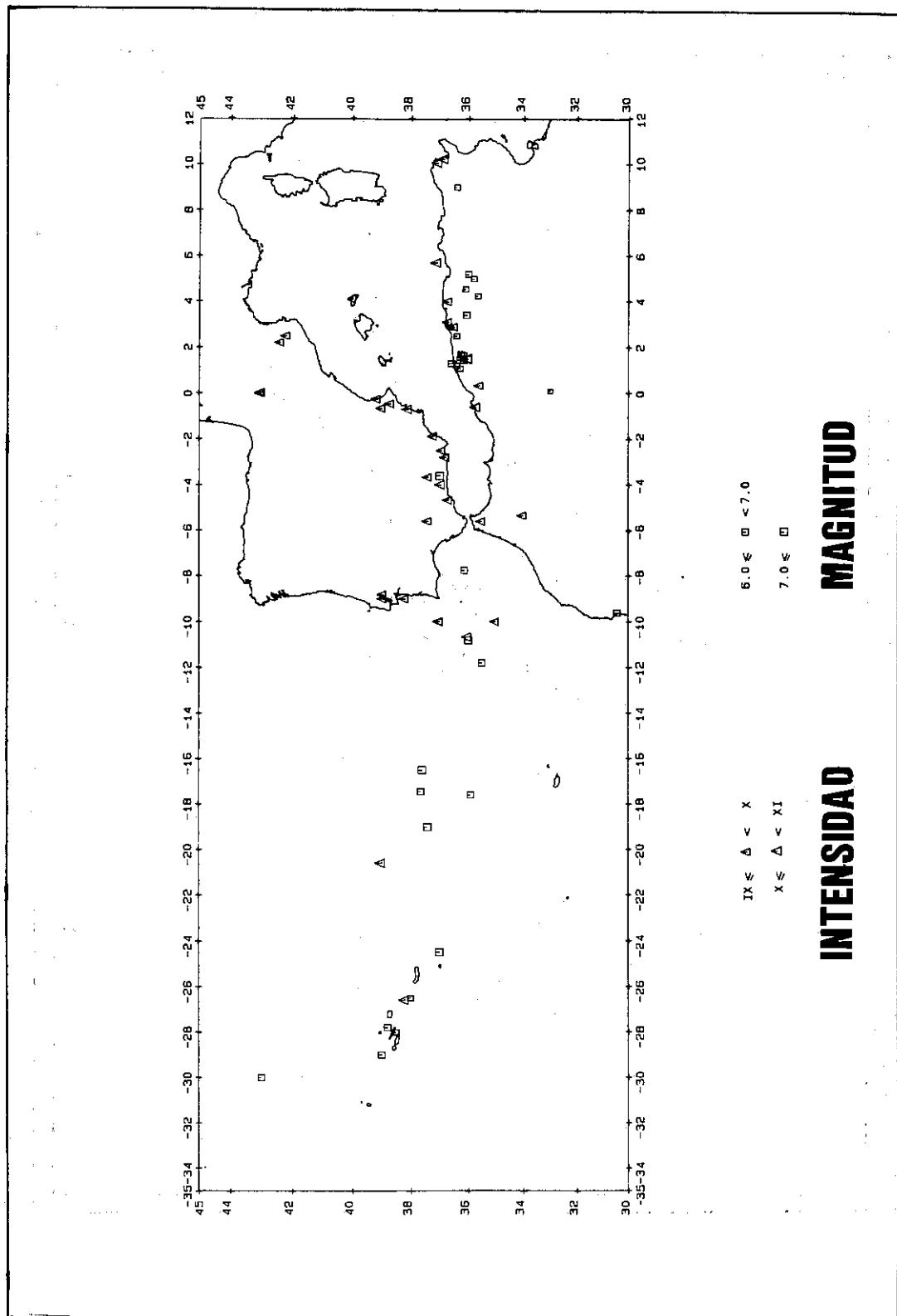


Fig. 8.1 Esquema de unidades tectónicas, según I.G.M.E. 1972.



**Fig. 8.2** Mapa de los terremotos con intensidades mayores que IX o magnitudes mayores que 6, según el I.G.N (1991).

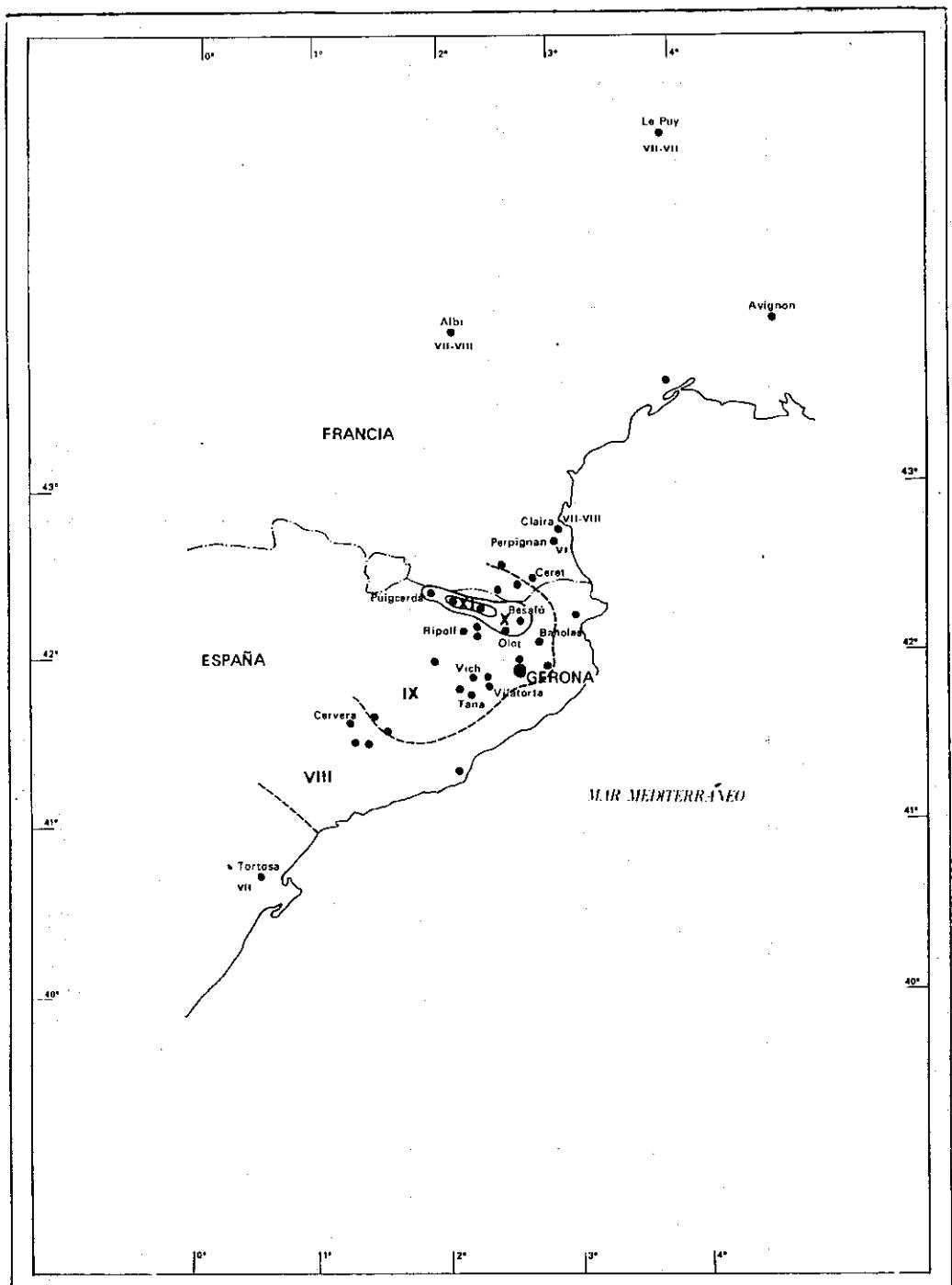


Fig. 8.3 Mapa de isosistas del terremoto del 2 de febrero de 1928, según el Catálogo Nacional de Isosistas (1982).

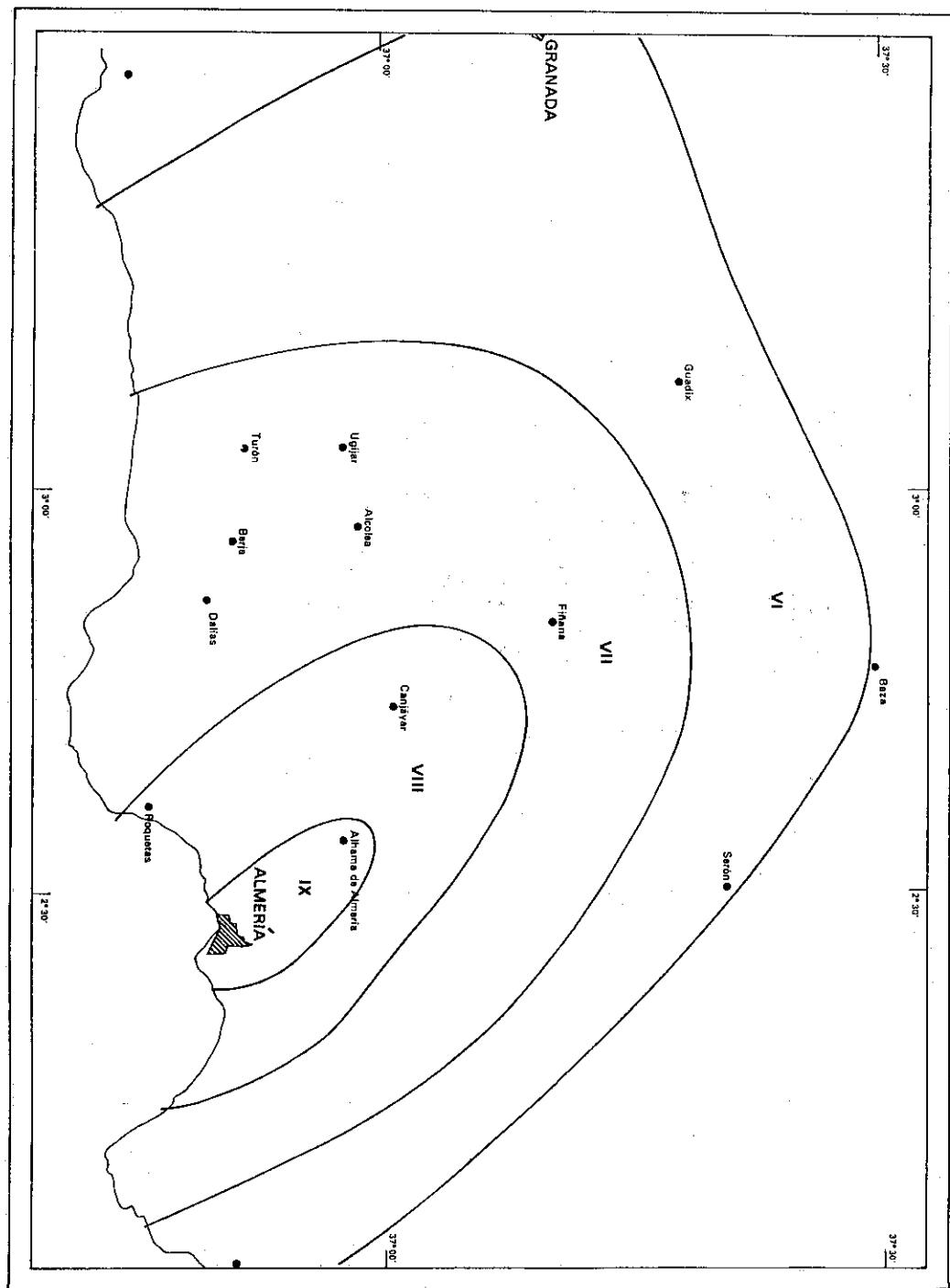
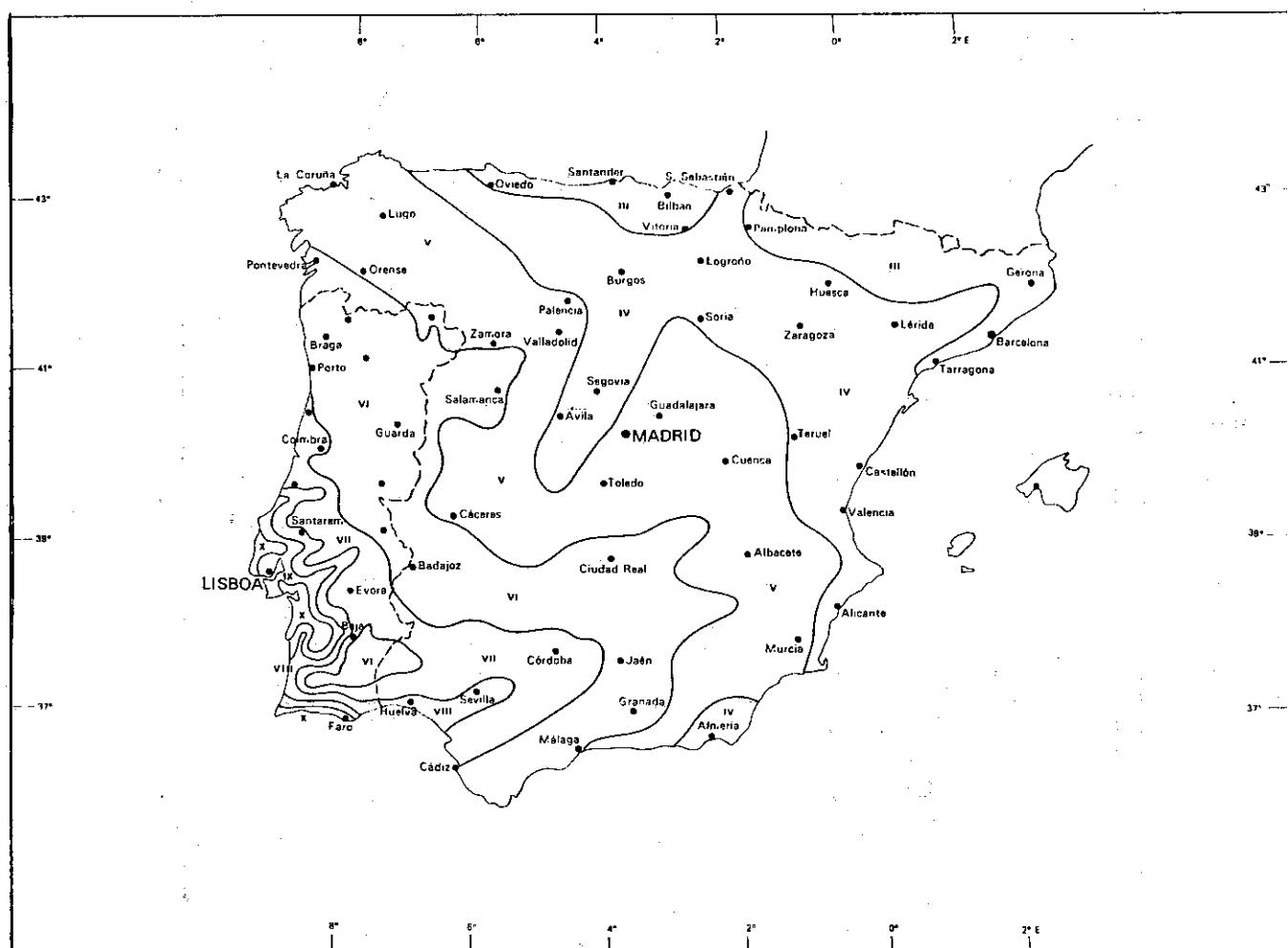


Fig. 8.4 Mapa de isosistas del terremoto del 22 de septiembre de 1522, según el Catálogo Nacional de Isosistas (1982)



**Fig. 8.5** Mapa de isosistemas del terremoto de Lisboa del 1 de noviembre de 1755, según el Catálogo Nacional de Isosistemas. (1982).

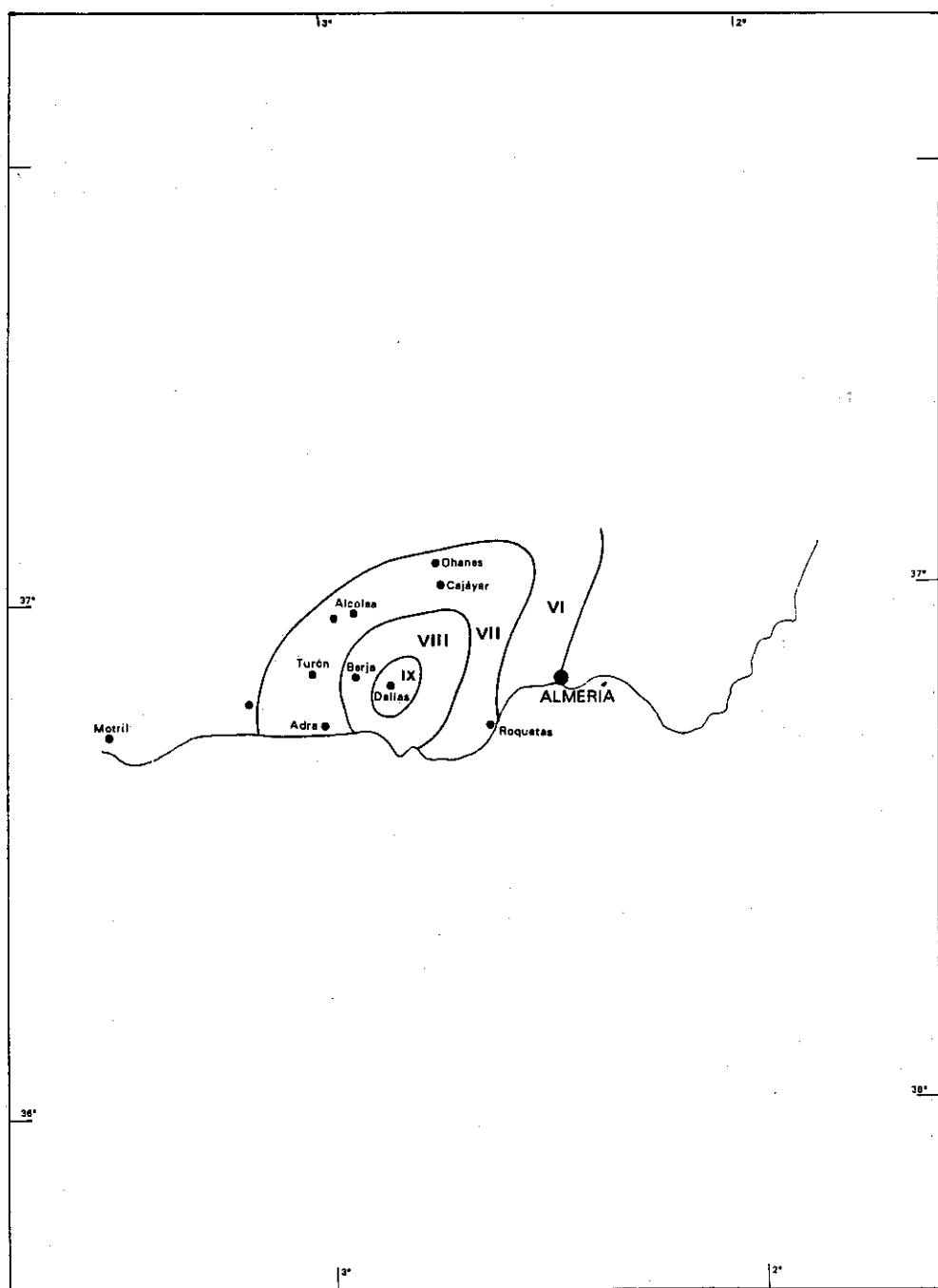


Fig. 8.6 Mapa de isosistas del terremoto del 25 de agosto de 1804, según el Catálogo Nacional de Isosistas (1982).

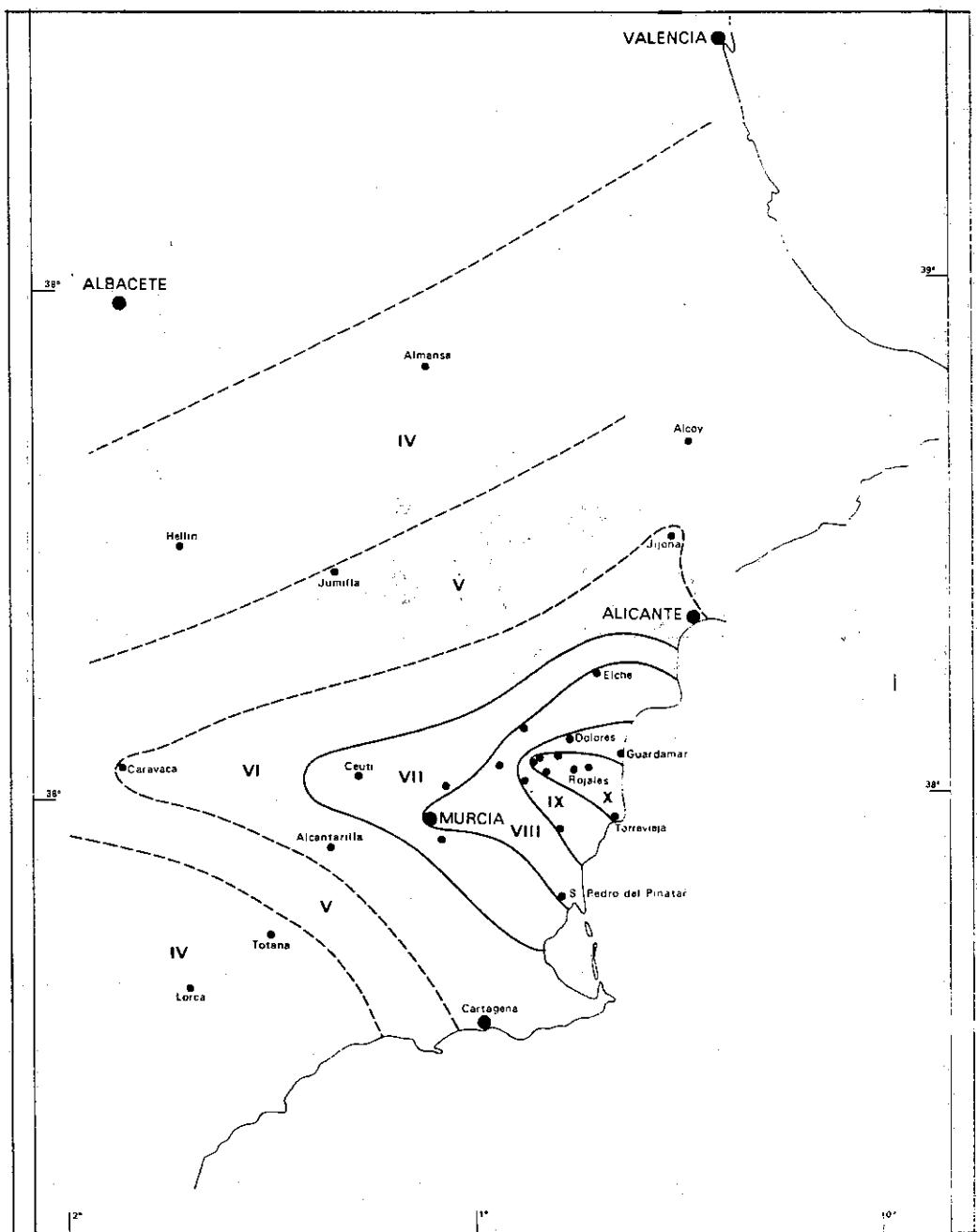
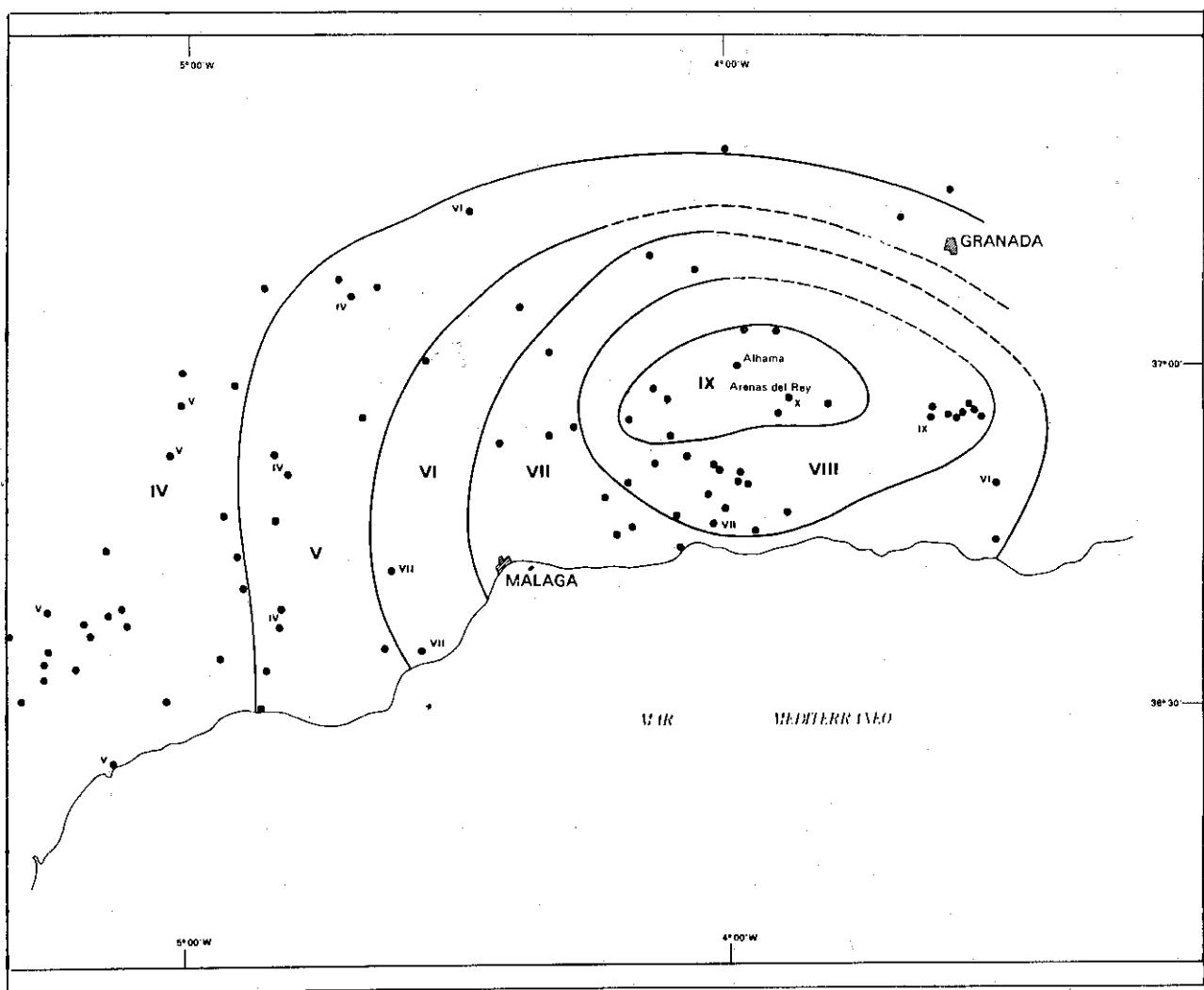


Fig. 8.7 Mapa de isosistas del terremoto del 21 de marzo de 1829, según el Catálogo Nacional de Isosistas. (1982).



**Fig. 8.8** Mapa de isosistas del terremoto del 25 de diciembre de 1884, según el Catálogo Nacional de Isosistas (1982).

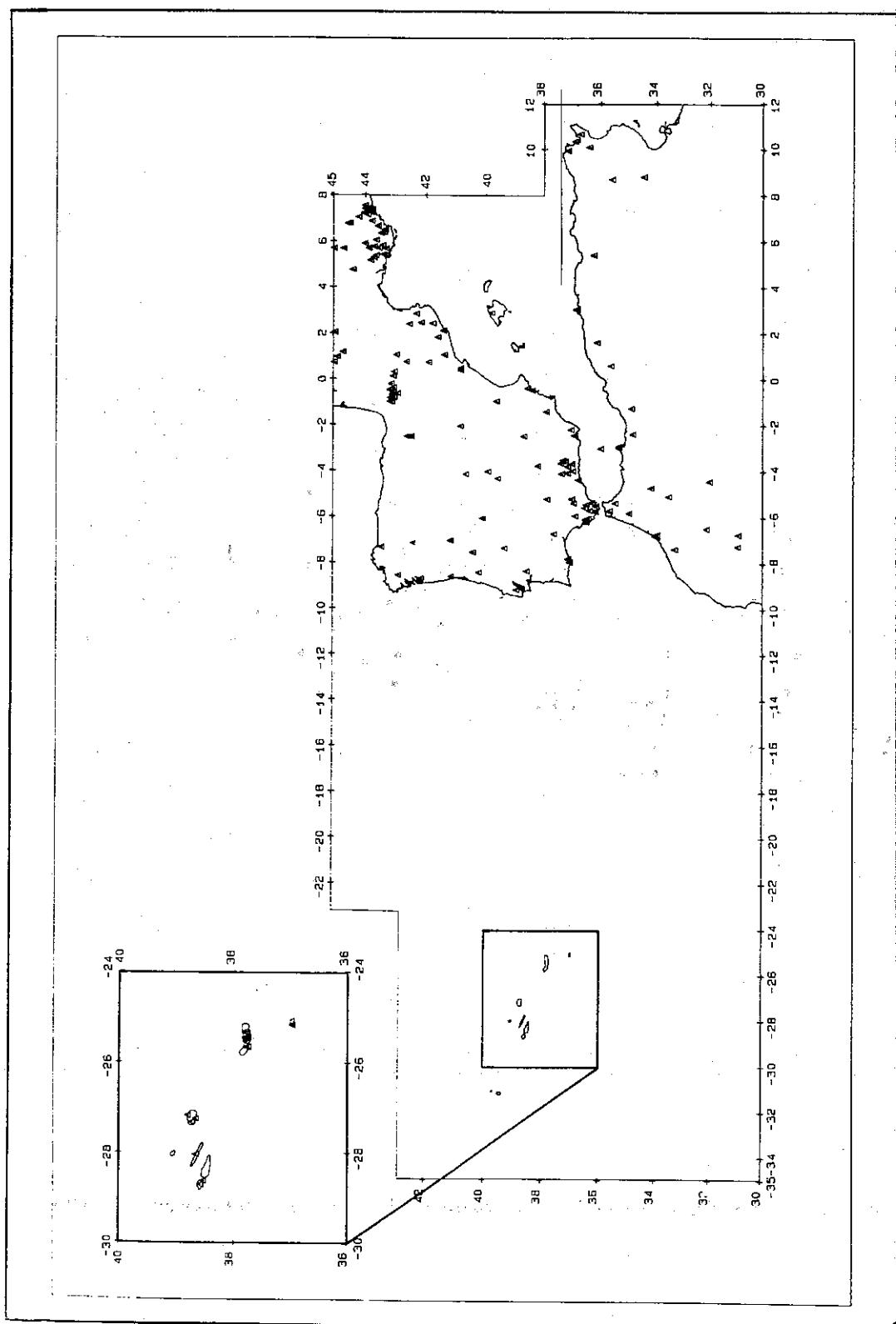


Fig. 8.9 Mapa de las estaciones sísmicas de vigilancia del área Ibero Mogrebí. Datos del I.G.N.(1991).

# TERREMOTOS

## CAPÍTULO 9. ZONIFICACIONES

### 9.1 ZONIFICACIÓN DE NIVELES DE PELIGROSIDAD POR TERREMOTO

La base de la información utilizada es el mapa de peligrosidad sísmica del Instituto Geográfico Nacional, calculada por métodos probabilistas correspondiente a un período de recurrencia de 500 años. Se ha realizado a partir de la división de la Península en veinticinco zonas sismogenéticas, y se han aplicado cuatro curvas de atenuación. La peligrosidad sísmica se expresa en forma de intensidad sísmica (M.S.K.), Carreño (1991).

El método probabilista de evaluación de la peligrosidad sísmica, consiste en el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de distintos niveles de intensidad en un lugar determinado y para un período de tiempo dado, a partir de los datos de sismicidad histórica. A pesar de superar algunas inconveniencias inherentes al método determinista, que plantea que en el futuro no se superará la sismicidad del pasado, el método probabilista cuenta igualmente con el inconveniente de carecer de un catálogo suficientemente amplio y fiable, para poder extrapolar en un futuro amplio, datos procedentes de períodos de tiempo comparables.

El mapa de peligrosidad sísmica con período de recurrencia de 500 años, junto con los mapas de período de recurrencia de 100 y 1.000 años, constituirán la base de la futura norma sismorresistente, que está próxima a publicarse.

El paso de probabilidad de ocurrencia en « $t$ » años de un determinado nivel de intensidad a probabilidad anual, se obtiene en la norma sismorresistente de 1968 para el mapa de riesgo sísmico, mediante la expresión de Gumbel:

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n$$

en la que:

$n$  = número de años para el cual se calcula  $R$  o probabilidad en  $n$  años

$T$  = período de retorno para todos los sismos desde grado VII en adelante, con datos hasta 1965, y para todo el territorio en su conjunto.

En la nueva serie de mapas de peligrosidad sísmica, también se puede aplicar esta fórmula de cálculo de riesgo sísmico de forma que, para un período determinado, sea por

ejemplo 50 años (considerado como la vida media de las edificaciones actuales), se calcula la probabilidad de superar una intensidad asignada a cada mapa correspondiente.

El mapa que se ha escogido para asignar los niveles de riesgo dentro del programa informático, es el mapa de peligrosidad sísmica de período de retorno de 500 años, del cual se infieren los mapas de período de retorno de 100 y 1.000 años.

La escala de intensidades del mapa escogido abarca de III a IX grados de intensidad (M.K.S.). Para trabajar con el mapa, resulta más sencillo subdividir la escala de intensidades y acotarla en niveles de peligrosidad. Para ello, se ha consultado el «mapa preliminar de la máxima intensidad esperable en California 1973», donde se asignan las siguientes intensidades a los correspondientes niveles de peligrosidad (tabla 9.I.):

Niveles de Riesgo	Daños Probables	Máxima Intensidad esperable
Bajo	Despreciables a moderados	VI - VII
Moderado	Moderados	VII - VIII
Alto	Importantes	IX - X

**Tabla 9.I.** Leyenda del mapa preliminar de la máxima intensidad esperable en California (1973).  
Master Plan for California. California Division of Mines and Geology.

En el mapa de peligrosidad sísmica del I.G.N. de período de recurrencia de 500 años, se cubre una escala de intensidades que van desde III a IX. A la vista de la división realizada por la Division of Mines and Geology de California, se han asignado las siguientes intensidades para los niveles de riesgo (tabla 9.II.):

Niveles de Peligrosidad	Intensidad esperable
Bajo	I < V
Medio	VII > I > V
Alto	I > VII

**Tabla 9.II.** Leyenda del mapa de zonas de peligrosidad sísmica para período de recurrencia de 500 años (I.G.N. 1991), utilizado en este estudio.

Los límites de intensidades convenidos para los niveles de peligrosidad sísmica, son inferiores a los utilizados en el mapa de la Division of Mines and Geology, ya que la sismicidad en la península Ibérica no es comparable con la sismicidad de California.

## 9.2 COMPATIBILIZACIÓN DEL MAPA DE PELIGROSIDAD SÍSMICA CON UNA DIVISIÓN TERRITORIAL

Para que el mapa de peligrosidad sísmica sea útil desde el punto de vista asegurador, ha sido necesaria su adaptación a una división territorial. Para decidir a qué unidades básicas de información geográfica se acomodaría el Mapa de Zonas de Riesgo Potencial, se analizó una muestra representativa de los sectores a los que está dirigido el estudio (suscriptores de seguro y reaseguro). Finalmente, es el **código postal** el único código común a todas las pólizas que a la vez sitúa el riesgo, y ha de ser introducido obligatoriamente. Sin embargo, no están disponibles mapas a escala nacional de la distribución de los códigos postales.

A partir del precedente que establece Agroseguro con la utilización de códigos de los términos municipales del Instituto Nacional de Estadística para la localización de los riesgos relacionados con la agricultura, y a la vista de la disponibilidad de mapas a escala nacional con la división de los términos municipales, se decidió adoptar esta división como base de información geográfica para el estudio.

Para dar una idea del alcance de los términos municipales, España está dividida en 52 provincias y éstas a su vez, en unos **8.700 términos municipales**. El término municipal más extenso pertenece a la provincia de Cáceres y tiene 176.849 Ha, mientras que el término municipal de Emperador, perteneciente a la provincia de Valencia, tiene 3 Ha.

Obtenido el mapa de peligrosidad sísmica para un período de recurrencia de 500 años, y delimitadas las zonas de peligrosidad sísmica según los límites convenidos, se ha realizado una superposición del mismo sobre el mapa de división de términos municipales. Siguiendo la hipótesis más pesimista, cuando un término municipal es cruzado por una isosista que separa dos niveles de peligrosidad, se le asigna a todo el término municipal el nivel de peligrosidad más elevado.

En la opinión del equipo que ha realizado el estudio, en esta adaptación del mapa proporcionado por el Instituto Geográfico Nacional a la división de términos municipales, no se cometen errores importantes, dada la diferencia de escalas de ambos mapas y lo impredecible, relativamente, de los efectos de los terremotos en un radio de varios kilómetros. No obstante, se deja abierta la posibilidad de modificar niveles de riesgo una vez se compruebe que resulta más conveniente de otra forma.

Es cierto también, que la extensión de los términos municipales en la mitad norte de España es mucho menor que los términos municipales en la mitad sur. Las razones de estas diferencias son heredadas de las formas de parcelación y cultivo en siglos anteriores. Esta circunstancia deriva en que se cometen menos errores en la mitad norte peninsular que en la mitad sur, donde hay términos de gran extensión.

A medida que salgan a la luz estudios y mapas de microzonación urbana para núcleos de población que sean especialmente vulnerables a los movimientos sísmicos, será posible adaptarlos a la parcelación de códigos postales de las grandes ciudades.

### **9.3 CONTROL DE ACUMULACIÓN: JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA UTILIZADA**

Para diseñar el mapa de control de acumulación por terremoto, se ha tenido en cuenta que en el manual del C.R.E.S.T.A. (Catastrophe Risk Evaluating and Standardizing Target Accumulations) se definen las **Zonas de Exposición a Terremoto** (Earthquake Exposure Zones) como áreas basadas en la actividad sísmica observada o esperada, dentro de un país. Por otra parte, las **Zonas de Distribución de la Acumulación por Terremoto** (Earthquake Accumulation Asssesment Zones) consideran la distribución, dentro de un país de los valores asegurados a partir de límites administrativos o políticos, para facilitar la asignación de un nivel de riesgo. Ambos conceptos resultan muy útiles para las compañías reaseguradoras que necesitan tener una visión global del negocio en un país que no es el suyo, así como la exposición que tienen al fenómeno de terremoto.

### **9.4 MAPA DE CONTROL DE ACUMULACIÓN Y CRITERIOS DE REALIZACIÓN**

El objetivo de esta zonificación ha sido compatibilizar criterios **fisiográficos** y criterios de **división administrativa**. Se ha tenido en cuenta la distribución de las grandes cadenas montañosas, y la distribución de las isosistas en los grandes terremotos históricos. Así, han resultado 13 zonas que abarcan las siguientes provincias:

#### **PROPUESTA DE ZONIFICACIÓN PARA EL CONTROL DE ACUMULACIÓN POR TERREMOTOS**

- ZONA 1:** La Coruña, Lugo, Orense y Pontevedra
- ZONA 2:** Asturias, Cantabria, Vizcaya, Álava
  - Zona 2.1:** Bilbao
- ZONA 3:** Guipúzcoa, Navarra, Huesca, Lérida, Gerona, Tarragona
  - Zona 3.1:** Barcelona
- ZONA 4:** La Rioja, Soria, Zaragoza, Teruel, Castellón
- ZONA 5:** León, Palencia, Burgos, Valladolid, Zamora, Salamanca
- ZONA 6:** Ávila, Segovia, Guadalajara, Toledo, Cuenca, Ciudad Real
  - Zona 6.1:** Madrid
- ZONA 7:** Cáceres, Badajoz, Huelva
- ZONA 8:** Albacete, Alicante, Murcia
  - Zona 8.1:** Valencia
- ZONA 9:** Jaén, Córdoba, Sevilla, Cádiz, Málaga, Granada Almería
- ZONA 10:** Islas Baleares
- ZONA 11:** Islas Canarias
- ZONA 12:** Ceuta y Melilla
- ZONA 13:** Pólizas globales y flotantes

El utilizar como base de control las provincias, sirve para facilitar el control de acumulación. Al igual que con los niveles de peligrosidad, el equipo que ha elaborado el

estudio no considera que se cometan grandes errores en esta división del territorio nacional para el control de la acumulación. Se cuenta además, con el precedente del estudio realizado por el departamento técnico de la Compañía Nacional de Reaseguros titulado «El terremoto en España» (1982), donde se dividió el territorio español en cuatro zonas de riesgo sísmico creciente:

**Zona 1:** Oviedo, Castellón, Teruel, Rioja, Palencia, Ávila, Guadalajara, Cantabria, Ciudad Real, Lugo, Segovia, León, Valladolid, Madrid, Vizcaya, Albacete, Burgos, Cuenca, Zaragoza, Zamora, Toledo, Lérida, Salamanca.

**Zona 2:** La Coruña, Guipúzcoa, Huesca, Pontevedra, Tarragona, Navarra, Cáceres, Álava, Orense, Soria, Barcelona, Baleares.

**Zona 3:** Córdoba, Valencia, Badajoz, Gerona, Canarias.

**Zona 4:** Almería, Cádiz, Alicante, Jaén, Málaga, Sevilla, Murcia, Huelva, Granada, Ceuta, Melilla.

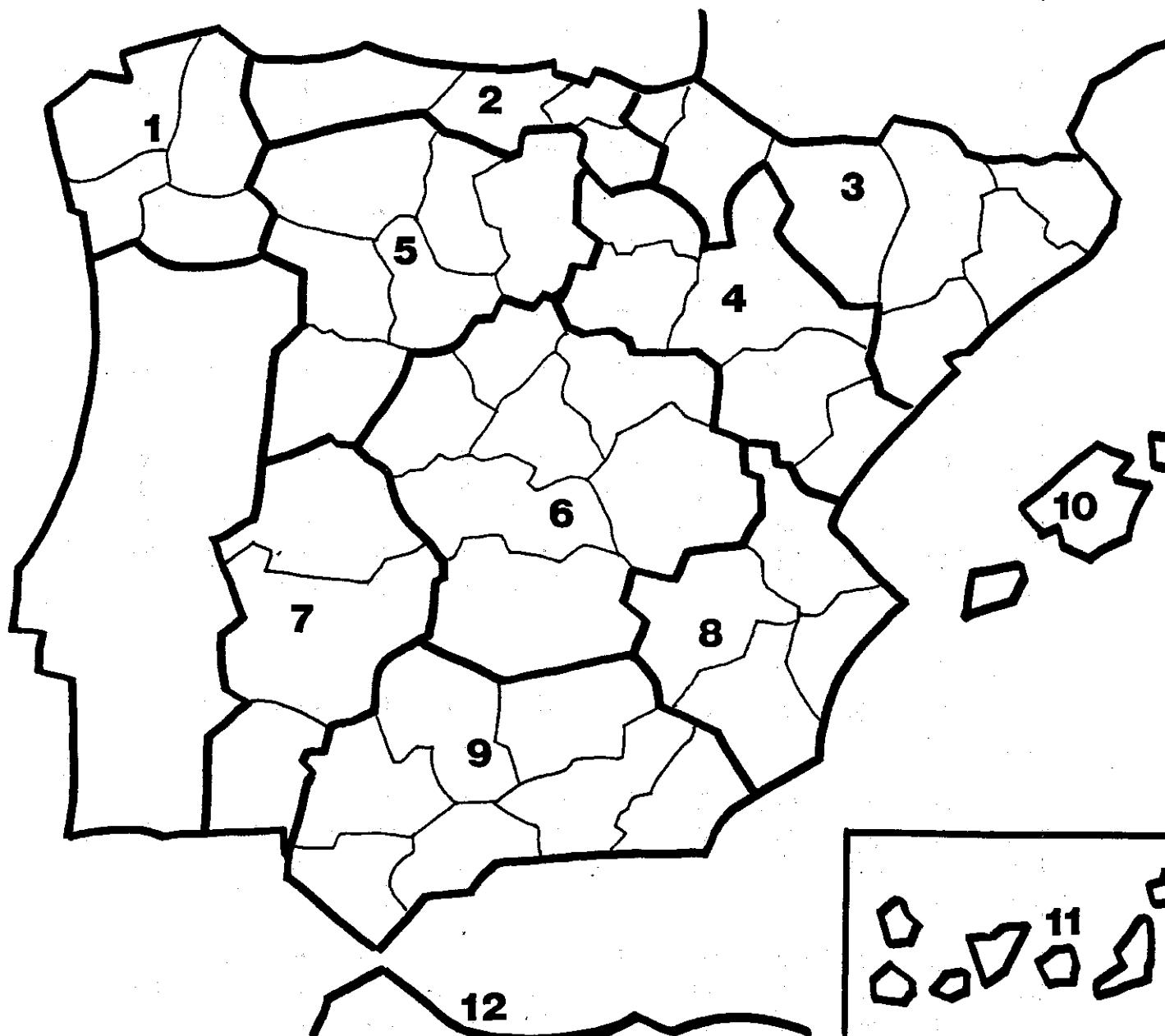
El informe de la Compañía Nacional de Reaseguros realizó esta división territorial para agilizar la tarificación, ya que al no coincidir las provincias sismogenéticas con los límites provinciales, se asignó a cada provincia el valor medio más alto de riesgo dentro de cada una de ellas. En el presente estudio, se ha avanzado más y se ha mejorado el nivel de exactitud de los datos, al tomar como base el término municipal.

## 9.5 FUTURAS OPCIONES DE ZONIFICACIÓN EN CONSONANCIA CON C.R.E.S.T.A.

Si se siguen las pautas del C.R.E.S.T.A. para las nuevas zonificaciones de los países europeos, habrá que mantener una única zonificación para todos los eventos naturales. Esta única zonificación debería realizarse con relación a provincias, y ser aprobada por el C.R.E.S.T.A.

Así, la propuesta de mapa de control de acumulación por terremotos presentada en este estudio, podría pasar a ser útil para hacer simulaciones de «escenarios de siniestro», mientras que la zonificación única permitiría trabajar con la misma base geográfica.

# ZONAS DE CONTROL DE ACUMULACION POR TERREMOTOS



- ZONA 1: La Coruña, Lugo, Orense, Pontevedra  
ZONA 2: Asturias, Cantabria, Vizcaya, Alava  
    Zona 2.1: Bilbao  
ZONA 3: Guipúzcoa, Navarra, Huesca, Lérida, Gerona, Tarragona  
    Zona 3.1: Barcelona  
ZONA 4: La Rioja, Soria, Zaragoza, Teruel, Castellón  
ZONA 5: León, Palencia, Burgos, Valladolid, Zamora, Salamanca  
ZONA 6: Avila, Segovia, Guadalajara, Toledo, Cuenca, Ciudad Real  
    Zona 6.1: Madrid  
ZONA 7: Cáceres, Badajoz, Huelva  
ZONA 8: Albacete, Alicante, Murcia,  
    Zona 8.1: Valencia  
ZONA 9: Jaén, Córdoba, Sevilla, Cádiz, Málaga, Granada, Almería  
ZONA 10: Islas Baleares  
ZONA 11: Islas Canarias  
ZONA 12: Ceuta y Melilla  
ZONA 13: Pólizas globales y flotantes

# TERREMOTOS

## CAPÍTULO 10. EL SEGURO DE TERREMOTO

### 10.1. LA ACTUAL COBERTURA POR EL CONSORCIO DE COMPENSACIÓN DE SEGUROS

#### 10.1.1. Modalidad de cobertura

El Proyecto de Reglamento de cobertura de Riesgos Extraordinarios, pendiente de aprobación por el Consejo de Ministros, modifica la anterior cobertura de este fenómeno, definiéndole como sigue:

Terremoto.- Riesgos Cubiertos.- Daños producidos por las vibraciones del terreno, como consecuencia de la liberación brusca de energía en forma de ondas sísmicas a partir de un foco terrestre.

Asimismo, introduce como novedad la cobertura de maremoto, como sigue:

Maremoto.- Riesgos Cubiertos.- Daños derivados del golpe, arrastre o anegación, que produzcan olas marinas originadas por terremotos de epicentro submarino, deslizamientos submarinos o explosiones volcánicas submarinas.

Es de notar en cuanto a porcentajes de cobertura de la suma asegurada, que éstos siguen a la suma asegurada por el riesgo principal.

Además, incorpora la cláusula horaria de 72 horas para incluir todos los daños producidos por un mismo evento, que tengan como duración esta cifra, a partir de la manifestación del primer daño.

#### 10.1.2. Exclusiones

La cobertura no tiene exclusiones específicas, aunque el Consorcio de Compensación de Seguros podrá recabar información del fenómeno al Instituto Geográfico Nacional, mediante certificación. Sin embargo, no obstante lo anterior, el asegurado podrá demostrar la ocurrencia del siniestro a través de cualquier medio de prueba admitido en derecho.

### 10.1.3. Franquicias

El Consorcio aplica a este fenómeno la franquicia general a todas las coberturas, es decir: 10 por ciento de la cuantía del siniestro, no pudiendo exceder del 1 por ciento de la suma asegurada para los bienes afectados. Para sumas aseguradas superiores a 1.000.000.000 de pesetas, los límites de franquicia se rigen de acuerdo con la siguiente escala:

<u>Tramos</u>	<u>% s/ daños</u>	<u>Límite absoluto</u>
Entre 1.000 y 10.000	11	12
" 10.000 y 25.000	12	15
" 25.000 y 50.000	13	20
" 50.000 y 100.000	14	25
Más de 100.000	15	30

## 10.2. LA COBERTURA EN MÉXICO

### 10.2.1. Modalidad de cobertura

El clausulado de este fenómeno se extiende asimismo para cubrir el de erupción volcánica, indistintamente.

### 10.2.2. Exclusiones

Como exclusiones o limitaciones a la cobertura, pueden indicarse:

- Se excluyen las mejoras (exigidas o no por la autoridad) para dar mayor solidez al edificio afectado, o para dedicarlo a otros fines.
- Se excluye la cimentación, muros de contención, suelos y terreno.
- Se excluyen frescos o murales en el edificio.
- Se excluyen los fenómenos de marejada o inundación, aun producidos por los fenómenos amparados.

## 10.3.. LA COBERTURA EN JAPÓN

### 10.3.1. Modalidad de cobertura

La modalidad en este país, es sumamente compleja y sofisticada, pudiéndose distinguir dos casos totalmente diferentes:

#### - Riesgos industriales:

Se trata de una cobertura privada que incluye los daños por incendio, cuya causa sea un terremoto, pero no así los de inundación o embates de mar en las costas, por el mismo fenómeno.

Presenta una franquicia del 2 por ciento de la suma asegurada, y su límite de indemnización, según zonas de control, puede llegar, como mínimo, al 15 por ciento de la suma asegurada.

#### - Riesgos sencillos:

Se amplía la cobertura a los daños por incendio, inundación o maremoto, cuya causa sea un terremoto o erupción volcánica.

La suma asegurada para esta cobertura, está comprendida entre un límite del 30 al 50 por ciento del capital asegurado por la garantía principal, con un máximo de 10 millones de yenes para el edificio y de 5 millones para el contenido.

Como dato interesante, puede decirse que el límite de indemnización total del país para esta cobertura, se ha establecido (1982) en 1,5 billones de yenes. Si el importe total de las indemnizaciones por siniestro excediera de este límite, las entidades aseguradoras reducirían las indemnizaciones a los asegurados, proporcionalmente.

- Todos los riesgos de terremoto sencillos son cedidos a la Japan Earthquake Reinsurance (JER), reaseguradora creada por todas las entidades aseguradoras no vida de Japón.

- JER se protege de la siguiente manera (1989):

\* Retiene un primer tramo de hasta 40.000 millones de yenes por año.

- \* Toa Re (entidad privada de reaseguro) y las entidades aseguradoras se hacen cargo de un segundo tramo de 15.000 millones en exceso del anterior.
- \* Un tercer tramo de 225.000 millones en exceso de los 55.000 anteriores, es repartido al 50 por ciento para el Estado, y al 50 por ciento para Toa Re y entidades aseguradoras.
- \* Un cuarto tramo de 1,22 billones en exceso de los 280.000 millones anteriores, se reparte así:
  - El 95 por ciento para el Estado.
  - El 1 por ciento para Toa Re y entidades aseguradoras.
  - El 4 por ciento para JER.

Todo ello proporciona los 1,5 billones de límite total país que se indicaba anteriormente. Las primas percibidas por las entidades aseguradoras, están sujetas a limitaciones muy restrictivas en cuanto a inversión y disposición de las mismas.

## 10.4. LA COBERTURA EN ITALIA

### 10.4.1. Modalidad de cobertura

Se amparan los daños materiales y directos, comprendidos los de incendio y explosión, sufridos por los bienes asegurados a consecuencia de terremoto, entendiéndose como tal el movimiento brusco y repentino de la corteza terrestre debido a una causa endógena.

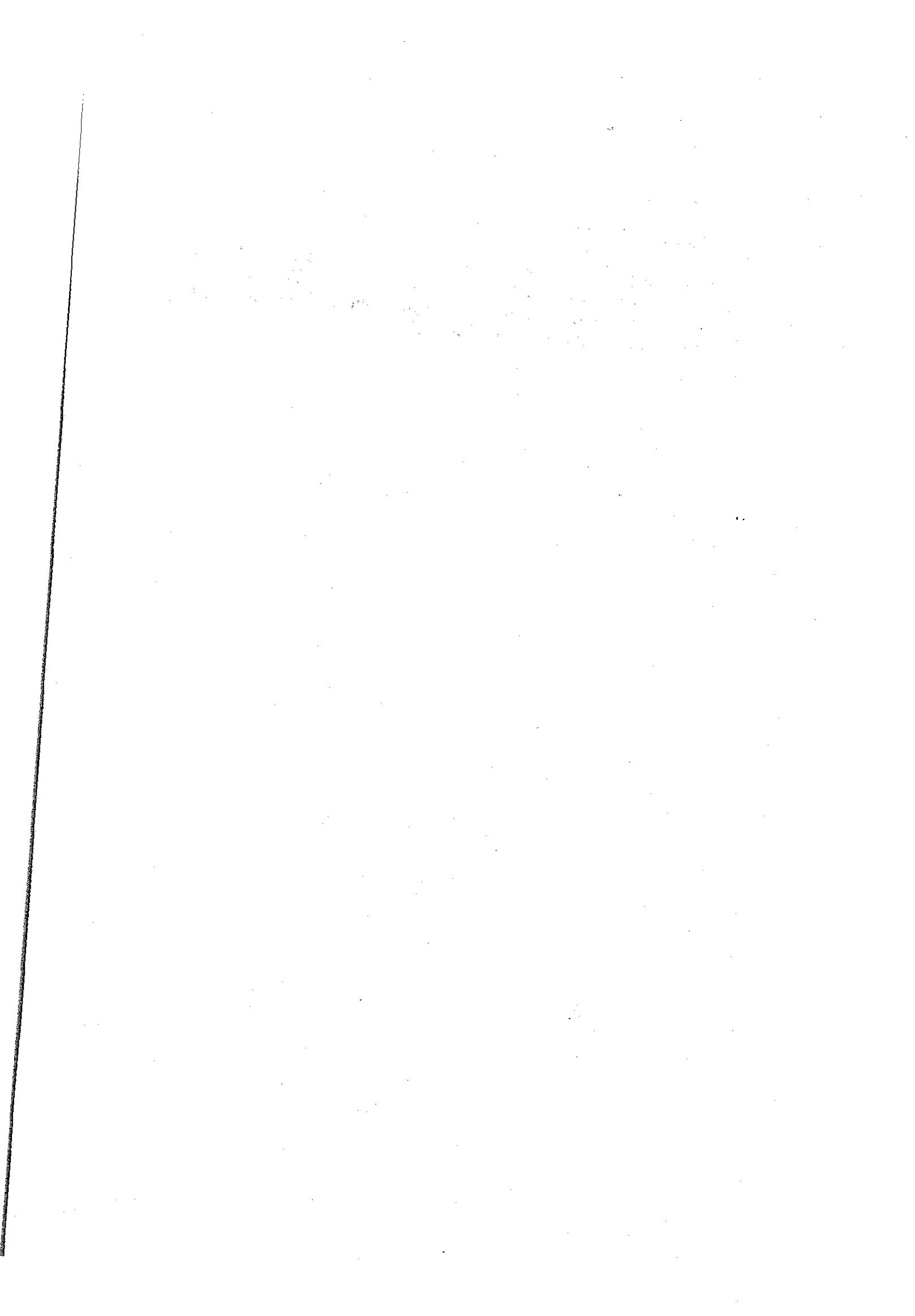
### 10.4.2. Exclusiones

- Erupción volcánica, inundación y maremoto.
- Daños indirectos, tales como cambios en la construcción, pérdida de alquileres, usufructos, rentas comerciales o industriales.

#### 10.4.3. Franquicias

Las franquicias elegidas pueden ser del:

- 1 por ciento de los daños (mínimo 10 millones - máximo 100 millones).
- 2 por ciento de los daños (mínimo 20 millones - máximo 200 millones).
- Y los Límites de Indemnización (en tanto por ciento de la suma asegurada) pueden ser del 10, 20, 30, 40 y 50 por ciento.



## TERREMOTOS

### CAPÍTULO 11. RIESGO DE TERREMOTO. PAUTAS BÁSICAS DE EVALUACIÓN Y TARIFICACIÓN

Los aspectos básicos a considerar en relación con los bloques principales de análisis del riesgo se refieren a:

#### 11.1 ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD.

- Definición precisa del fenómeno. Delimitación entre el peligro primario y los sucesos secundarios o marginales.
- Geología de las regiones sísmicas. Fallas y configuración del suelo.
- Experiencia histórica de sucesos ocurridos. Frecuencia (período de retorno), intensidad, localización de focos y áreas afectadas (propagación y aminoración de efectos).

#### 11.2 ANÁLISIS DE EXPOSICIONES Y LOCALIZACIÓN.

- Características de las exposiciones (Categorías de riesgo).
  - . Tipos de construcción.
  - . Normas de construcción.
  - . Calidad de materiales.
  - . Diseño, altura y ocupación de los edificios.
  - . Contenidos expuestos.
- Localización de las exposiciones.
  - . Concentración-dispersión de las exposiciones en regiones sísmicas.

Posición relativa en cuanto a la dirección y trayectoria de intensidad del suceso.

Distancia al foco de manifestación del suceso.

### 11.3 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD.

- Creación de modelos de estimación de vulnerabilidad basados en observaciones empíricas y proyecciones teóricas, que relacionen la intensidad de un suceso sísmico con el grado de afectación sobre los distintos tipos de exposiciones.
- Estimación de la función de pérdida promedio, por tipo de exposiciones (características constructivas), en relación con la intensidad del fenómeno (escala de grados de intensidad sísmica).
- Estimación de la función de pérdida promedio, para todo tipo de exposiciones, en relación con la intensidad del fenómeno.

### 11.4 ANÁLISIS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO.

- División de las regiones sísmicas en zonas de peligrosidad conforme a criterios de:
  - . Intensidad máxima esperada para un período de retorno determinado (normalmente 50 años, en función de la vida útil de las construcciones), obtenida según la suma de pérdidas por grado de intensidad.
  - . Clases, localización y distribución de las exposiciones.
- Estimación de primas uniformes, según tipos o clases de exposiciones y zonas de peligrosidad, en orden al valor esperado de pérdidas por año:

$$E(P)_{ij,I} = \sum_{i,I} (D/I) \mu_j$$

siendo,

$E(P)_{ij,I}$  = valor esperado de la pérdida anual por clase de exposición i, en la zona de peligrosidad j.

$(D/I)_i$  = pérdida media de la clase de exposición i, para un suceso de intensidad dada I. (Suma de pérdidas por grado de intensidad).

$\mu_{I,j}$  = ocurrencia media del suceso de intensidad I, en zona j. (Período de recurrencia por grado de intensidad).

Las incertidumbres relativas a la variabilidad sobre la ocurrencia de sucesos, y los grados o niveles de pérdida, que limitan la fiabilidad de este análisis, deben estimarse en función del factor corrector multiplicativo, de forma que:

$$E(P)_{ij,I} = \sum_i K_{ij,I} (D/I)_i \mu_{I,j}$$

A su vez, dicha estimación puede depurarse, con la introducción de franquicias o deducibles, incorporando un nuevo factor corrector, de acuerdo con las características del deducible:

- Estimación de la pérdida máxima esperada, según criterios de:
  - Zonas de evaluación de cúmulos de exposiciones, para el peor suceso probable con un período de retorno.

Normalmente, un criterio razonable para esta evaluación se basa en la hipótesis de que el nivel o porcentaje de exposiciones afectadas en la zona, es igual a la suma de las pérdidas de cada exposición.

- Conjunción de diferentes zonas de evaluación de cúmulos de exposiciones, para el suceso más posible con un período de retorno determinado.

## 11.5 CRITERIOS DE SUSCRIPCIÓN

### Información de entrada módulo de tarificación

<u>TERREMOTO</u>				
ZONA DE TARIFACIÓN	1	2	3	4
CATEGORÍA DE RIESGO	A	B	C	
TIPO DE CONSTRUCCIÓN	A	B	C	
ALTURA EDIFICACIÓN	HASTA	HASTA	MAS DE	
ESTANDAR CONSTRUCCIÓN	SI	NO		
NORMA SISMORRESISTENTE				
RIESGOS SECUNDARIOS	SI	NO		
FRANQUICIA (% SOBRE VALOR ASEGURADO)				

«La Tierra es un lugar encantador y más o menos plácido. Las cosas cambian, pero lentamente. Podemos vivir toda una vida y no presenciar personalmente desastres naturales de violencia superior a una simple tormenta. Y de este modo nos volvemos relajados, complacientes, tranquilos. Pero en la historia de la naturaleza los hechos hablan por sí solos».

COSMOS (1980).

CARL SAGAN

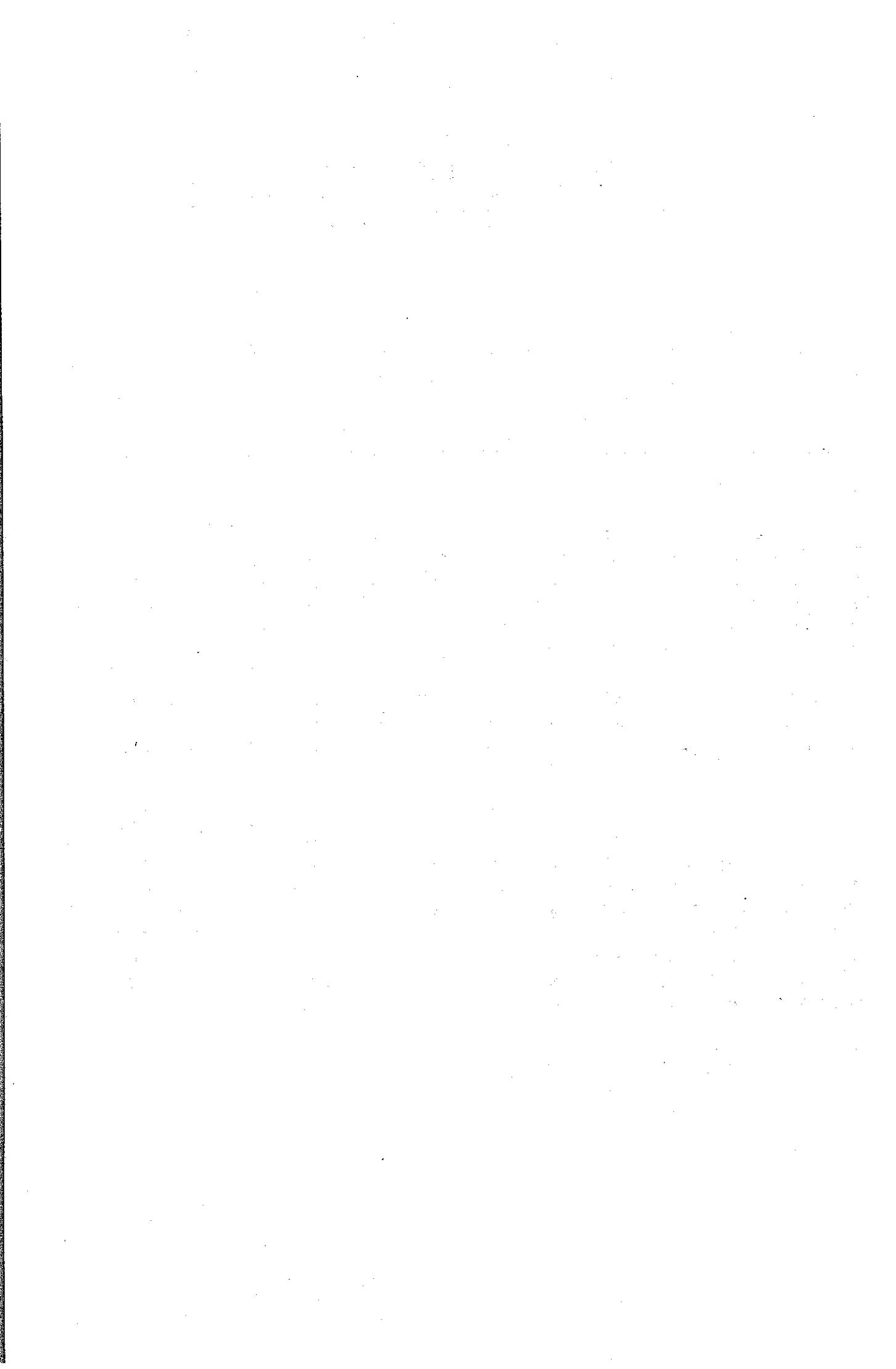
## INUNDACIONES

### INTRODUCCIÓN

Desde su origen, la vida en el planeta Tierra ha estado relacionada con el agua. Cuando el hombre empezó a habitar sobre su superficie, trató de asentarse en entornos naturales que le permitieran un acceso directo a la utilización del agua como recurso, tanto para su propio consumo, como para obtener alimento practicando la pesca. A medida que las civilizaciones se fueron desarrollando, conocieron nuevos métodos de aprovechamiento del agua como riego de cultivos, energía motriz para molinos y navegación, entre otros.

Ha sido la interacción del hombre con el medio natural, el momento de la creación de situaciones de riesgo. La ignorancia del funcionamiento de los sistemas fluviales y el capricho de la meteorología, han impedido y continúan complicando al hombre la coexistencia pacífica con el medio natural.

Existen referencias de inundaciones en España desde hace muchos siglos. Un análisis somero de las mismas, permite aislar una serie de áreas y puntos donde se han repetido año tras año con mayor o menor intensidad. Sin embargo, no se pueden obtener conclusiones definitivas de la información histórica. Por una parte, se han construido en los últimos años importantes obras de infraestructura de prevención, que pretenden mitigar los efectos de las inundaciones. Pero también se han añadido nuevos factores de riesgo, como la construcción de presas, la ampliación de los núcleos urbanos a las llanuras de inundación y las nuevas vías de comunicación. La conjugación de todos los parámetros, permite deducir el nivel de riesgo que representa un cauce fluvial para el hombre, sus actividades y sus ciudades.



# INUNDACIONES

## CAPÍTULO 1. GEODINÁMICA EXTERNA. GENERALIDADES

### 1.1 EL AGUA EN LA TIERRA

La excepcional situación del planeta Tierra dentro del Sistema Solar, permite hallar el agua ( $H_2O$ ) en sus tres fases: sólida, líquida y gaseosa. Este privilegio está determinado únicamente por la **distancia al Sol**. En Mercurio y Venus, es imposible la formación de hielo por las elevadas temperaturas, mientras que en los planetas comprendidos desde Marte a Plutón, es el frío el inhibidor de la formación de vapor de agua. Dentro del Sistema Solar, sólo el planeta Tierra presenta las condiciones necesarias para disfrutar del agua en sus tres estados.

El agua de la Tierra se reparte entre los océanos con un 97,3%, los continentes con un 2,7% y una mínima parte en la atmósfera en forma de vapor de agua, en la biosfera y como componente de los minerales. El **agua continental** forma parte de los glaciares, los lagos, los ríos y las aguas subterráneas.

### 1.2 EL CICLO HIDROLÓGICO

Pero el agua no es un componente sedentario de la Tierra. Realiza un circuito interminable, denominado el **Ciclo Hidrológico**, cuyo motor es la energía procedente de la radiación solar. De forma esquemática, el Ciclo Hidrológico se puede describir partiendo del agua de los océanos y de la superficie terrestre que es calentada por el Sol, se evapora y asciende para formar las nubes. Cuando el vapor de agua precipita en forma líquida o sólida, cae hacia la superficie terrestre, donde puede ser interceptada por la vegetación, ser infiltrada a través del suelo para pasar a ser escorrentía subterránea o convertirse en escorrentía superficial, cuyo destino es el océano.

Una de las formas de definir un río es como «un sistema de eliminación del exceso de escorrentía» (Strahler, 1988), que realiza labores de erosión, transporte y sedimentación; es decir, modela el relieve terrestre. La **erosión** consiste en la socavación del material del fondo y laterales del cauce, para incorporarlo a la masa de agua en movimiento. El **transporte** es la puesta en marcha de los materiales erosionados, arrastrándolos por el fondo o en suspensión en el fluido. La **sedimentación** es el depósito progresivo de las partículas erosionadas y transportadas. Aunque se definen tres procesos completamente diferentes, forman parte del sistema fluvial como una actividad única.

### 1.3 REDES DE DRENAJE Y CUENCAS HIDROGRÁFICAS

A partir de la caída de una gota de agua sobre la superficie terrestre, y su puesta en movimiento por la fuerza de la gravedad, se inicia un proceso de fusión entre hilos de agua, hasta formar arroyos, torrentes, riachuelos y desembocar en un río único de mayor entidad. El trazado de todos ellos se asemeja a un árbol, y se dice que los ríos están jerarquizados en ríos de primer orden, segundo orden, etc, en función de la proximidad al río principal. Se denomina **red de drenaje** al conjunto de todos los cauces, mientras que una **cuenca hidrográfica** comprende un área limitada por las divisorias de aguas, cuyas aguas vierten hacia el mismo río.

A grandes rasgos, en la península Ibérica, se distinguen las siguientes cuencas hidrográficas:

- \* Cuenca Hidrográfica del Norte
- \* Cuenca Hidrográfica del Duero
- \* Cuenca Hidrográfica del Tajo
- \* Cuenca Hidrográfica del Guadiana
- \* Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir
- \* Cuenca Hidrográfica del Sur
- \* Cuenca Hidrográfica del Segura
- \* Cuenca Hidrográfica del Júcar
- \* Cuenca Hidrográfica del Ebro
- \* Cuenca Hidrográfica del Pirineo occidental

Es evidente que esta división no armoniza con las leyes de la naturaleza, ya que responde también a criterios de gestión. Por ejemplo, algunas grandes cuencas, como la Cuenca Norte, pueden subdividirse en subcuencas con entidad propia. En el caso del dominio de la Cuenca del Júcar, se incluyen también otros ríos y ramblas que no dan nombre a la propia cuenca, mientras que la Cuenca Sur está formada por una sucesión espacial de cuencas, con drenaje superficial.

### 1.4 EL PERFIL LONGITUDINAL DE UN RÍO

El estudio de las cuencas hidrográficas, es el estudio de los ríos en planta, mientras que el estudio del **perfil longitudinal de un río**, es el estudio de los ríos en alzado. Casi todos los perfiles son de forma cóncava, con grandes pendientes en cabecera y pendientes bajas cerca de la desembocadura.

El perfil del río se puede dividir en tres tramos: **curso alto**, donde predominan los torrentes, las cascadas, los cañones, los deslizamientos laterales, los valles profundos, las grandes pendientes y la erosión; **curso medio** y **curso bajo**, donde predominan el transporte y la sedimentación, se allanan los valles, se rellenan de aluviones, se crean las **llanuras de inundación**, y la pendiente longitudinal va descendiendo progresivamente. Las llanuras de inundación se caracterizan por ser

terrenos fértils para la agricultura, tanto por la presencia de limos depositados durante las avenidas, como por la proximidad del nivel freático a la superficie. En España, se denominan **vegas**.

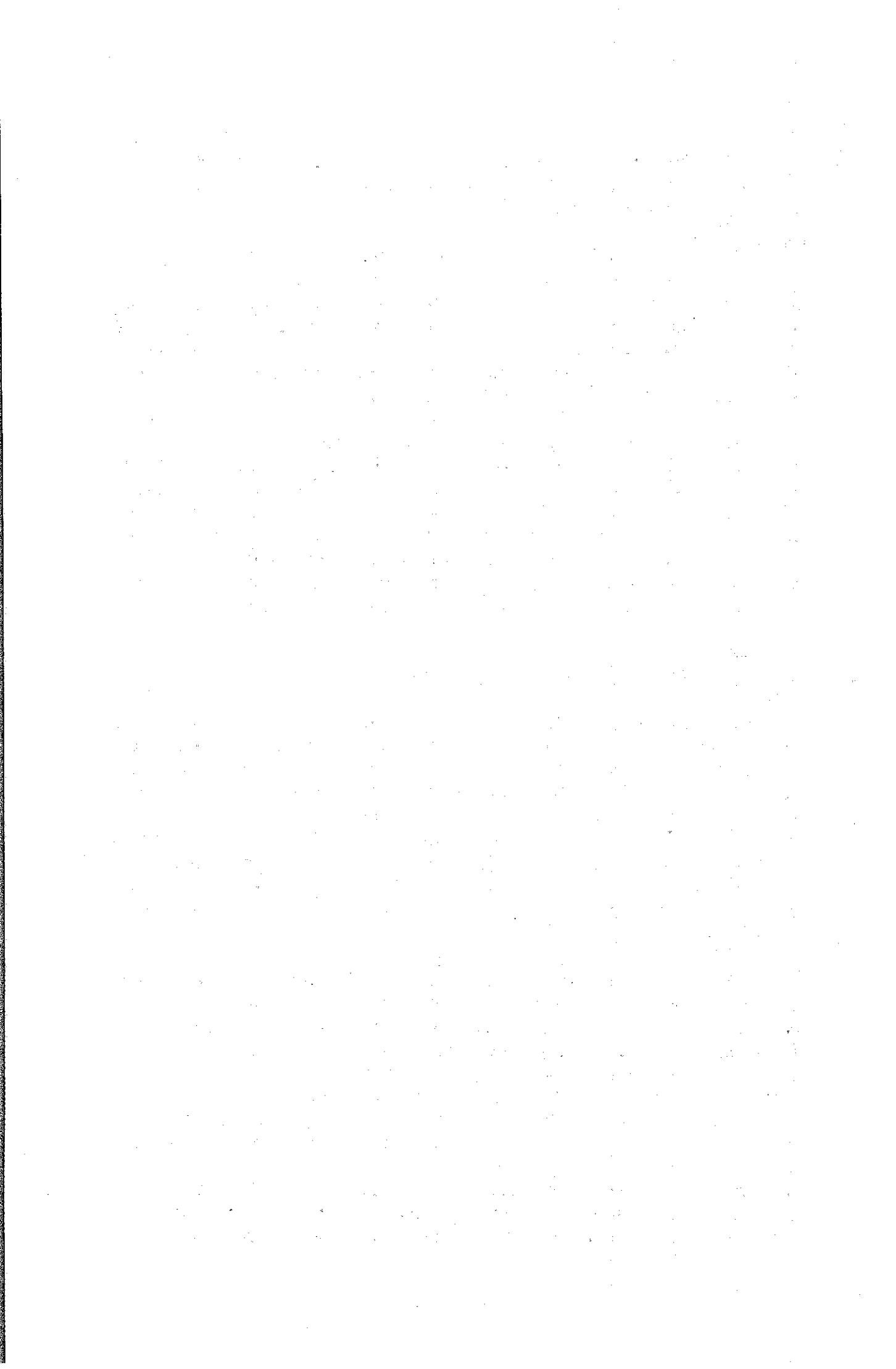
Todos los ríos tienden hacia un estado de equilibrio, pero este **equilibrio es dinámico**. A lo largo de su vida, el río va excavando su cauce y suavizando su gradiente de pendiente. Pero los ríos no tienen un caudal constante a lo largo de todo el año. Durante las épocas de avenidas, el río tiene gran capacidad de transporte y la carga o materiales que transporta es importante, así como su capacidad erosiva. Durante las épocas de sequía o simplemente de menor caudal, el río sedimenta y rellena parcialmente el cauce principal y el cauce de estiaje.

Se ha comprobado que, normalmente, las inundaciones importantes se producen con una periodicidad de varios años, pues la formación de diques laterales de depósitos (natural levees), permite la canalización y amortiguación de algunos episodios de avenidas del río. Cuando los diques se erosionan, el agua rebosa sobre ellos y se produce la inundación (Anguita, 1980). Una vez que el agua ha roto los diques, es muy difícil controlar el caudal, y comienza a correr entre los laterales del valle y de los diques, a ambos lados del lecho principal. No pueden unirse al lecho principal hasta que encuentran un punto de confluencia (Strahler, 1988).

## 1.5 INTERACCIÓN HOMBRE - SISTEMA FLUVIAL

Los intentos del hombre por convivir con los cauces fluviales en sus cursos altos, le han obligado a enfrentarse a problemas de construcción de vías férreas y carreteras. Ya que es prácticamente imposible asentar una vía de comunicación terrestre dentro de un cañón, es preciso realizar barrenados y tallados de paredes que resultan muy costosos, al igual que la conservación de estas obras y reparación de daños por deslizamientos laterales. En algunos casos, un profundo valle es la única vía de paso a través de una cadena de montañas, y es entonces cuando la ingeniería alcanza las mayores cotas de imaginación y costes. No obstante, los cursos altos de los ríos son también una fuente natural de riqueza para el hombre, en forma de energía hidroeléctrica (Strahler, 1988).

Por el contrario, la llanura de inundación ofrece al hombre una serie de ventajas que se tornan en «trampas» cuando el río se desborda de su **lecho menor**, o cauce habitual. Las llanuras de inundación tienen escasa pendiente, lo que facilita el trazado y la posterior circulación rodada sobre carreteras y vías férreas. El desarrollo de la agricultura no sólo resulta mucho más fácil sobre las zonas llanas de la llanura de inundación, que sobre las laderas escarpadas del curso alto, sino que también se ve favorecida por el aporte de sedimentos que deja tras de sí la avenida. Dada la anchura de los cauces en los tramos más bajos de los ríos, y la ausencia de rápidos y cascadas, la navegación es posible. Por todo ello, el hombre encuentra en las márgenes de los ríos los lugares adecuados para sus asentamientos. Pero la ocupación excesiva del cauce, la falta de medidas de prevención y el desconocimiento del funcionamiento del río, precipitan el binomio hombre-río hacia el desastre.



# INUNDACIONES

## CAPÍTULO 2. AVENIDAS E INUNDACIONES

### 2.1 DEFINICIÓN

Las avenidas constituyen un proceso natural ligado a la dinámica geológica, durante las cuales el río habilita un cauce más amplio para almacenaje del caudal y la carga, incrementados en momentos de flujos altos (Garzón, 1985). Sin embargo, el carácter natural y periódico de las avenidas, pasa a ser catastrófico cuando el hombre se autoinvolucra en la dinámica fluvial, al ocupar las atractivas y fértiles márgenes de los ríos.

### 2.2 LA LLANURA DE INUNDACIÓN

Los ríos desarrollan un método de amortiguación de las avenidas, construyendo su **llanura de inundación** (floodplain), que es un lecho mucho más amplio, somero y de pendiente suave, a ambos lados del cauce principal. En los tramos altos de los ríos, normalmente localizados entre montañas, las dimensiones de la llanura de inundación se limitan a las dimensiones del fondo del valle. Como el margen de seguridad del mecanismo de amortiguación es reducido, las avenidas llegan de forma súbita y se denominan «avenidas relámpago» (flash-floods), con importantes aumentos de caudal y nivel de las aguas (Coates, 1985).

En tramos más bajos de los ríos, las llanuras de inundación son más amplias y su actuación consiste en almacenar una parte importante del caudal desbordado, y retener gran cantidad de los sedimentos que transporta. De esta forma, se frena la velocidad de las aguas y la subida de nivel de las mismas.

En los tramos cercanos a la desembocadura del río, el relieve es muy llano, por lo que la evacuación de las aguas desbordadas, se realiza por infiltración en el suelo o evaporación (Martínez Goytre, 1988).

## 2.3 TIPOS DE AVENIDAS

Según Rodda (1969), se puede hablar de dos tipos básicos de avenidas:

### 2.3.1 Avenidas permanentes, continuas o de desbordamiento

Están relacionadas con las características morfológicas de la cuenca hidrográfica, y tienen períodos de retorno bajos o lo que es lo mismo, alta probabilidad de ocurrencia. Se producen en grandes ríos como Mississippi, Nilo, Ganges y Po, donde los pobladores de sus márgenes han llegado, en algunos casos, a adaptarse a la periodicidad de los desbordamientos, y han protegido los puntos tradicionalmente conflictivos. En los países subdesarrollados, los efectos de las inundaciones siguen siendo catastróficos.

Normalmente, dejan anegadas grandes extensiones por las dificultades de desagüe del agua desbordada. Tal y como se cita en capítulos posteriores, los ríos españoles Segura, Ebro, Guadalquivir, Guadiana, Tajo y Duero tienen problemas de desagüe de las aguas de inundación en las vegas y partes más bajas de sus cursos.

### 2.3.2 Avenidas transitorias, momentáneas o discontinuas

Su magnitud depende de la morfología de la cuenca y de algunos factores climáticos. Tienen períodos de retorno altos y probabilidad de ocurrencia baja. Se les llama también «avenidas relámpago» o *flash-floods*, y son de carácter súbito y ocasional. Suelen ser el resultado de una lluvia torrencial o de la descarga repentina de un núcleo nuboso, en una región de cauces pequeños y dispersos. En general, se producen donde el relieve es escarpado, donde la lluvia se transforma rápidamente en escorrentía superficial y donde los ríos recorren estrechos cañones.

Una vez que se desencadena la tormenta, la intensa descarga acuosa se transforma en escorrentía superficial que origina «oleadas» de avenida, acompañadas de grandes cantidades de sedimentos arrastrados o en suspensión. De la misma forma que la avenida se presenta de forma súbita, la retirada de las aguas también se realiza de forma rápida.

## 2.4. CAUSAS DE LAS AVENIDAS

Martínez Goytre (1988), resume las causas que pueden originar avenidas en:

### 2.4.1 Causas naturales

#### Exceso de precipitación

Los temporales de lluvias son el origen principal de las avenidas. La situación geográfica de la cuenca, es uno de los factores favorables a las grandes lluvias. Por una parte, la proximidad al mar representa la fuente continua de aire húmedo y por otra, la presencia de cadenas montañosas orientadas perpendicularmente a la dirección de los vientos húmedos, permite la precipitación de lluvias importantes. Cuando el volumen de precipitaciones excede la capacidad de infiltración y almacenaje del terreno, el agua caída pasa a ser escorrentía superficial. Ver tabla 2.I con la relación de precipitaciones máximas registradas en un día, hasta el año 1989, procedente del Calendario Meteorológico 1991 (I.M.N.).

#### Fusión de nieves

En las cuencas montañosas de suficiente altura, situadas en latitudes templadas o templadas-frías, se producen acumulaciones de nieve durante el invierno. Al final de la primavera o principios del verano, se produce el deshielo, que frecuentemente coincide con las épocas más lluviosas.

#### Deslizamientos de ladera

La caída de derrumbes laterales al fondo del valle, puede originar represamientos totales o parciales del caudal del río. El resultado puede ser un rebalse de la presa natural, la rotura súbita y desastrosa del represamiento o el cambio de trazado del cauce, inundando áreas que anteriormente estaban emergidas.

#### Inundaciones costeras

La invasión costera de agua de mar, es más corriente en los países de latitudes tropicales, como consecuencia de los efectos de los huracanes (vientos violentos y lluvias abundantes).

## Lahares

Se localizan en áreas volcánicas y son coladas de barro que resultan de la mezcla de agua (lluvia, torrente o lago) con materiales volcánicos.

### 2.4.2 Causas antrópicas

#### Rotura de presas

A pesar de los avances de la ingeniería y de la importancia de las presas en el control de las inundaciones como métodos de laminación, existen ejemplos de rotura de cerradas con consecuencias catastróficas, tanto en España como en otros países.

#### Urbanización de extensas áreas

La adaptación del paisaje natural a las necesidades del hombre, trae consigo la construcción de carreteras y amplias zonas llanas, accesibles y cómodas. Esto supone la impermeabilización del suelo al ser recubierto con cementos, asfalto y otros materiales modernos. La disminución de la capacidad del infiltración del suelo, hace que las precipitaciones caídas pasen a ser escorrentía superficial mucho antes que sobre el medio natural, a la vez que se amenazan las áreas donde se instala el hombre.

#### Deforestación

La falta de la cobertura vegetal protectora del suelo, favorece la erosión y, en consecuencia, la incorporación de carga sólida a la escorrentía superficial. Así, se incrementa la magnitud y los efectos de las avenidas.

#### Canalizaciones

Aunque las canalizaciones puedan solucionar el problema de las inundaciones en un tramo determinado del río, éste puede agravarse aguas abajo.

#### Minería

La remoción de escombros libera en superficie materiales sueltos, fácilmente transportables por las escorrentías superficiales, añadiendo carga sólida al caudal de la avenida.

## 2.5 EFFECTOS GEOLÓGICOS DE LAS AVENIDAS

Salvo casos realmente excepcionales, las avenidas, geológicamente, no representan una catástrofe (Garzón, 1985). Aunque el paisaje posterior a una inundación parece que ha sido totalmente modificado, los cambios son casi siempre superficiales. Ni siquiera el registro histórico de los depósitos fluviales, exhibe un indicador definitivo para poder asegurar que en cierto momento de la historia de un río, sobrevino una avenida importante.

De forma esquemática, se pueden resumir los efectos geológicos de las avenidas según el tramo del río que afecten:

Cabecera: Como consecuencia de la enorme fuerza de la escorrentía, el efecto erosivo es importante. Por tanto, las laderas se encuentran en situación de inestabilidad y se producen deslizamientos, desprendimientos, caídas de bloques, etc. Por otra parte, el aumento de carga sólida durante las avenidas, permite al río encajarse en su propio cauce por el aumento del poder erosivo.

Tramo medio: Durante las avenidas, los procesos erosivos dominan en los tramos medios de los ríos. De esta forma, continúa la erosión en las laderas y los colapsos por socavamiento en las márgenes del río.

Llanura de inundación: Dada la escasa pendiente longitudinal y la forma plana del perfil transversal, los fenómenos que se producen en la llanura de inundación, son más acusados. Así, una vez que se inundan las márgenes, es muy difícil que las aguas vuelvan al lecho principal, por lo que se infiltran (recargando y renovando los acuíferos subterráneos, además de aportar nuevos nutrientes a la tierra) o se evaporan con el tiempo (a veces pueden ser meses). En la llanura de inundación, durante las avenidas, las aguas buscan las rutas de descenso más fáciles, por lo que se producen cambios del curso fluvial.

## 2.6 LA INTERVENCIÓN DEL HOMBRE

Témez Peláez (1988), considera que existen una serie de circunstancias que agravan los efectos de las inundaciones:

- \* **Ocupación sistemática del cauce** por diferentes tipos de construcciones, reduciendo la sección útil de evacuación de caudales de crecida. La consecuencia más inmediata, es la elevación del nivel del agua durante las mismas, pero también se reduce la extensión de la llanura de inundación, capaz de almacenar caudal por infiltración. Los efectos se traducen de forma catastrófica aguas abajo.
- \* **Aumento de la escorrentía superficial** por las urbanizaciones. El

descenso de la permeabilidad convierte la mayor parte de las precipitaciones, en escorrentía superficial.

- \* La incorrecta planificación **agrícola** y la tala y quema de los **bosques**, propicia el aumento de la erosión y la carga sólida del caudal de avenida.
- \* La planificación de nuevas **vías de comunicación**, no se ha realizado normalmente, junto con un estudio de los cruces de las mismas con las vías naturales de evacuación del agua. Además de los daños que puede sufrir la infraestructura, se producen otros daños por los represamientos artificiales.

## 2.7 MEDIDAS DE DEFENSA FRENTE A LAS INUNDACIONES

Cualquier actuación o gestión destinada a paliar los efectos de las inundaciones, ha de superar los dos errores más típicos y desgraciadamente, más frecuentes: pensar que la avenida es un fenómeno «anormal», y supervalar las obras de infraestructura considerándolas la solución definitiva a los problemas planteados por las inundaciones.

En el *Ánalisis General de las Inundaciones en la Península* del M.O.P.U. (1984), se dividen los procedimientos de actuación frente a las avenidas, en dos grupos: «preventivos» (subdivididos en «estructurales» y «actividades de gestión») y «emergencia».

### 2.7.1 Métodos preventivos estructurales

\* **Embalses de laminación:** la laminación de los efectos que produce el binomio caudal/tiempo, consiste en almacenar volúmenes de agua para desalojarlos cuando haya bajado el nivel de crecida. De esta forma, los caudales correspondientes a las mayores intensidades de lluvia, quedan amortiguados y compensados. Normalmente, se ejerce un efecto positivo en la regulación de la cuenca, pero no son la solución definitiva porque el río se acostumbra a estas condiciones benignas, y modifica su dinámica. Los embalses resultan más rentables, cuanto más largo es el tramo de valle a proteger, pero lo más problemático es encontrar un vaso para el embalse que sea geológica, técnica y económicamente adecuado.

\* **Corrección, regulación y protección de cauces:** se puede acondicionar el cauce principal ensanchando o profundizando el canal,

cortando los meandros para aumentar su pendiente, reduciendo la rugosidad de las laderas para evitar desprendimientos, modificando o suprimiendo obstáculos (puentes, estrechamientos), revistiendo márgenes y lecho, y dragando el fondo del cauce.

- \* **Encauzamientos, cauces de emergencia y trasvases:** consiste en dividir la capacidad del río de manera artificial, en zonas pobladas y amenazadas por las inundaciones. Adoptar esta solución, implica hacer un replanteamiento de corrección de la geometría de la cuenca fluvial, afluentes, embalses, etc.
- \* **Obras de drenaje:** tratan de aumentar la capacidad de desagüe de zonas que se mantienen inundadas o encharcadas repetidamente, una vez que ha pasado la crecida.

#### 2.7.2 Métodos preventivos de gestión

Coates (1986), resume en la tabla 2.I, los métodos de gestión de la llanura de inundación y señala brevemente los aspectos positivos y negativos de cada método.

- \* **Conservación de suelos y reforestación:** estas prácticas ayudan a retener el agua, evitando la escorrentía incontrolada. En casos extremos, el suelo se empapa de agua, se satura y el efecto de la vegetación consiste en retener las partículas físicas que forman el suelo. Tanto la conservación del suelo, como su cobertura vegetal, producen efectos beneficiosos aguas abajo, frente a las avenidas.
- \* **Zonificación y regulaciones legales:** aparecen como las soluciones más efectivas para mitigar los efectos de las inundaciones. Dado que es difícil predecir el comportamiento de la física y del clima, quizás es conveniente que el hombre elabore una fórmula artificial de control.

Tal y como describe Berga (1988), las zonas en que se dividirían en una primera fase, los tramos de los principales ríos de la Península que presentan riesgo de inundación, son:

**ZONA A. ZONA CON PROHIBICIÓN TOTAL.** Es la zona por donde circula el agua en las máximas avenidas normales, y podría ser la definida por el cauce público y la zona de servidumbre de la zona de policía

En ella, no se permitiría ningún tipo de edificación ni ningún tipo de actividad.

**ZONA B. ZONA CON RESTRICCIONES TIPO I.** Es la zona más afectada por las avenidas extraordinarias, y su límite correspondería a la línea de la avenida de 100 años de período de retorno. Se establecerían en ella restricciones en los usos del suelo, planificando las características y densidad de las edificaciones, y estableciendo un reglamento para las construcciones (niveles de pisos, cimentaciones, tipología estructural, etc.). Se planificaría el uso agrícola.

**ZONA C. ZONA DE RESTRICCIONES TIPO II.** Es la zona que puede ser afectada por las máximas avenidas extraordinarias, y su límite correspondería a la línea de la avenida de 500 años de período de retorno. En ella, las restricciones del uso del suelo serían menos limitativas, permitiéndose mayores densidades y características de las edificaciones menos estrictas. Alternativamente, podría tratarse de una zona sin restricciones en la que se fijaran unas normas generales de construcción y se avisara de la posibilidad de los daños.

\* **Implantación de un sistema de seguros:** constituye el paso siguiente a la definición de las zonificaciones para el control económico, a partir del estudio de la relación beneficio-coste.

\* **Instalación de sistemas de alarma y previsión:** una vez que el Sistema Automático de Información Hidrológica (S.A.I.H.) esté instalado, será posible telecontrolar las precipitaciones caídas y las alturas de agua en los cauces y embalses. Este sistema está integrado por una serie de estaciones remotas que suministran información con la que se pueden hacer en los centros de procesamiento de datos de cada cuenca, simulaciones de la posible avenida. Tal y como indica Martínez Goytre (1988), la predicción de las avenidas es algo necesario, pero muy complicado, ya que la anegación de amplias zonas depende a veces, del simple rebalse o no, de un malecón o un dique por ejemplo.

\* **Gestión integrada del sistema hidráulico:** una vez que los datos estén controlados e interpretados, se diseñarán los planes de acción adecuados para cada situación de emergencia, con el fin de minimizar daños y mejorar el aprovechamiento de los recursos hidráulicos. Ver tabla 2.III, de alternativas a la gestión de áreas sujetas a avenidas (Sewel y Foster, 1976).

### 2.7.3 Procedimientos de emergencia

\* Evacuación de socorro

\* Lucha contra la inundación

\* Problemas sanitarios

Protección Civil se encarga de diseñar la estructura organizativa, servicios y acciones de emergencia que deberían realizarse a nivel municipal, en caso de inundación. Se trata de medidas lógicas y generales, por lo que deben ser contrastadas con las características locales y adaptadas a las necesidades de cada zona concreta.

	AÑO	DÍA	MES	PRECIP	ESTACIÓN	PROVINCIA
A	1901	26	11	200	Málaga	MÁLAGA
A	1902	27	06	87	Albacete	ALBACETE
A	1903	22	09	95	Montserrat	BARCELONA
A	1904	08	07	104	Valladolid	VALLADOLID
A	1905	24	01	183	Montserrat	BARCELONA
A	1906	10	09	110	Bilbao	BILBAO
A	1907	23	09	124	Huelva	HUELVA
A	1908	31	05	97	Huesca	HUESCA
A	1909	21	12	92	Santiago de Compostela	LA CORUÑA
A	1910	20	09	114	Barcelona	BARCELONA
A	1911	16	10	187	Castellón	CASTELLÓN
A	1912	29	04	191	Cañada de las Fuentes	JAÉN
A	1913	29	09	262	S. Feliu de Llobregat	BARCELONA
A	1914	26	01	400	Grabar	ALMERÍA
A	1915	17	04	314	Cabo Sacratif- Faro	GRANADA
A	1916	29	11	352	Anna	VALENCIA
A	1917	31	03	245	Islas Cíes-Faro	PONTEVEDRA
A	1918	18	11	234	Sierra Engarceran	CASTELLÓN
A	1919	30	09	287	Carlet	VALENCIA
A	1920	14	12	482	Ayanonte-Faro	HUELVA
A		13	04	213	Grazalema	CÁDIZ
A		18	02	213	S. Juan de Peñagolosa	CASTELLÓN
A	1921	01	12	265	Barbate	CÁDIZ
A	1922	16	10	319	Zucaína	CASTELLÓN
A	1923	31	10	291	Casa del Pico- Jalance	VALENCIA

A	1924	09	02	420	Castillejo del Romeral	CUENCA
A		18	10	314	Luchente	VALENCIA
A	1925	13	11	247	Luchente	VALENCIA
A	1926	01	09	224	Sabadell	BARCELONA
A	1927	24	08	382	Cabo Mayor - Faro	SANTANDER
A		29	08	320	Peña de Francia	SALAMANCA
A	1928	24	08	240	Cabo de Vares	LA CORUÑA
A	1929	20	10	600	Cabo Mayor- Faro	SANTANDER
A		19	09	218	Casabermeja	MÁLAGA
A	1930	18	10	340	Montbanch	TARRAGONA
A	1931	29	09	235	Monachil	GRANADA
A		25	12	200	Cabo Salinas -Faro	BALEARES
A	1932	12	06	356	Pantano de Sotonera	HUESCA
A	1933	27	07	418	Brunete	MADRID
A		22	05	370	Barcenillas de Ríbero	BURGOS
A	1934	01	05	250	Pantano de Sotonera	HUESCA
A	1935	25	12	280	Candeleda	ÁVILA
A	1936	26	05	500	Azara	HUESCA
A		18	02	202	El Arenal	ÁVILA
A	1937	26	10	270	Seira	HUESCA
A	1938	20	09	142	La Estrada	PONTEVEDRA
CEN		20	10	170	Breda	GERONA
A	1939	06	11	165	La Estrada	PONTEVEDRA
A	1940	18	10	280	Baget	GERONA
CEN		29	09	460	Escarca Gorg Blau	BALEARES
A	1941	23	01	315	Grazalema	CÁDIZ
A	1942	22	03	239	Gerona	GERONA
CEN		17	04	270	Bunyola Alqueria D'Aval	BALEARES
A	1943	05	12	385	Monçada i Reixac	BARCELONA
A	1944	25	02	348	Tuxan La Llagosta	BARCELONA
A	1945	19	11	331	Castellfort	CASTELLÓN
A	1946	26	10	203	Santa Bárbara	TARRAGONA
A	1947	04	02	335	Grazalema	CÁDIZ
A	1948	24	12	365	Puebla de Benifasar	CASTELLÓN
A	1949	15	02	238	Benitagla	ALMERÍA
B	1950	17	10	211	Serra- Porta Coeli	VALENCIA
B	1951	06	03	342	Baring	VALENCIA
B	1952	28	08	400	Puebla de Valverde	TERUEL

B		14	08	201	Libardón	OVIEDO
B	1953	14	11	260	Pego	ALICANTE
B		14	11	260	Montichelvo	VALENCIA
B	1954	07	11	262	Buitrago	MADRID
B		11	03	190	Hervás	CÁCERES
B	1955	30	10	282	Maruján	MÁLAGA
B	1956	18	11	284	Meliana H.L.	VALENCIA
B	1957	03	10	410	Cabo de S. Antonio	ALICANTE
B	1958	27	10	370	Játiva	VALENCIA
B	1959	06	03	315	Mondoñedo	LUGO
CEN		21	10	329	Sóller	BALEARES
B	1960	09	03	265	Grazalema	CÁDIZ
B	1961	31	10	250	Denia	ALICANTE
B	1962	25	09	250	Martorellas	BARCELONA
B	1963	14	11	236	El Hornillo	ÁVILA
T		22	03	400	Cigoita- Letona	ÁLAVA
CEN		11	02	261	Grazalema	CÁDIZ
B	1964	22	10	191	Valldemossa- Son Mas	BALEARES
B	1965	07	10	293	Valderrobles- Pno. Peña	TERUEL
B	1966	20	01	227	Grazalema	CÁDIZ
B	1967	08	09	305	Vergel-Racons	ALICANTE
B	1968	17	12	254	Grazalema	CÁDIZ
B	1969	06	10	411	Sierra de Yeguas	MÁLAGA
B	1970	10	10	230	Riudavella	TARRAGONA
B	1971	20	09	308	Esparraguera	BARCELONA
B	1972	20	09	307	S. Carlos de la Rápita	TARRAGONA
B	1973	19	10	600	Albuñol	GRANADA
B		19	10	600	Zurgen	ALMERÍA
B	1974	29	03	275	Escorea San Torrel	BALEARES
B	1975	06	11	220	Artá-Ses Pastora	BALEARES
B	1976	11	10	306	Salobreña- Guadalefo	GRANADA
T	1977	25	10	226	Millares	VALENCIA
T	1978	18	10	260	Escorea Lluc	BALEARES
CEN	1979	21	12	304	Formalutx Binirrossi	BALEARES
CEN	1980	27	12	315	Sóller Biniaraix	BALEARES
T	1981	21	12	222	Grazalema	CÁDIZ
T	1982	20	10	426	Jalance Agrometeorolog	VALENCIA
T		20	10	426	Cofrentes Finca Dorada	VALENCIA

T	1983	06	11	410	Alginet	VALENCIA
CEN		26	08	503	Larrasquiti	VIZCAYA
T	1984	26	02	208	Alhurín de la Torre	MÁLAGA
T	1985	15	11	373	Pedreguer	ALICANTE
CEN	1986	29	09	350	Alcoy- Juan XXIII	ALICANTE
CEN	1987	03	11	817	Oliva	VALENCIA
CEN	1988	30	09	250	Tormos	ALICANTE
CEN	1989	04	09	256	Taberna CHJ	ALICANTE

**Tabla 2.I.** Calendario Meteorológico 1991 (I.N.M.). Relación de precipitaciones máximas registradas en un día en milímetros. A= Anuario. B= Boletín Climatológico Mensual. T= Tarjetas Climatológicas Anuales. CEN= Datos facilitados por el Centro Meteorológico Zonal.

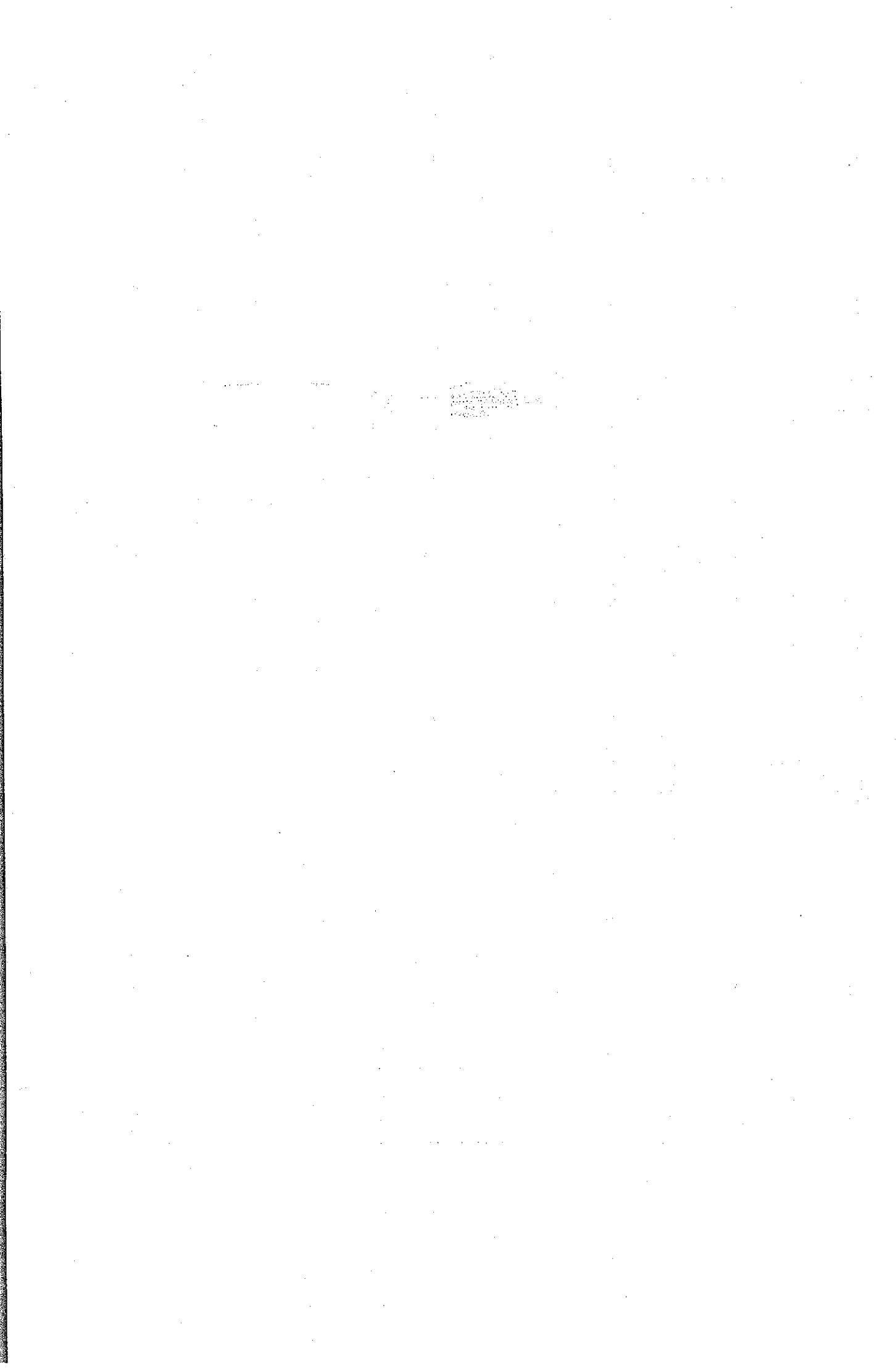
ACCIÓN	ASPECTOS POSITIVOS	ASPECTOS NEGATIVOS
Zonificación de usos del suelo	Costes reducidos. Puesta en marcha rápida. Prevención daños futuros. Integración otros usos del suelo.	Reducción base imponible. Posible inhibición del desarrollo. No reducción daños existentes. No aplicable a todas las instalaciones.
Ordenación territorial de la cuenca	Reducción alturas de avenida. Mejora conservación de agua y suelo. Coste moderado.	Puede no ser aplicable. Efectividad limitada a precipitación baja. Cooperación de muchas personas.
Sistemas de alerta	Fácil comunicación. Económicamente posibles. Reducción daños. No implican desplazamientos de habitantes.	Respuesta incierta de la comunidad. Requiere información continua. Persiste el potencial de daños. Efectividad disminuye con el tiempo.
Adquisición de tierras públicas	Reduce pérdidas. Beneficios sociales para la comunidad.	Adquisición costosa. Impide desarrollo y productividad.
Seguros de inundaciones	Responsabilizan a la comunidad. Gratis para la Administración. Produce alerta e inhibe crecimiento incontrolado.	Indemnizaciones limitadas. No reducción de daños. Se produce antiselectividad.
Infraestructura de protección	Reducción daños. No precisan traslado. Reducción de tasas de seguros.	Continúa el potencial de daños. Limitado a cierto tipo de estructuras. Falso sentimiento de seguridad.

Presas e infraestructura de contención	Reducción de pérdidas. Protección propiedades existentes. Utilidad múltiple. Aumento desarrollo e impuestos.	Creación nuevos riesgos. Alto costo y mantenimiento. Falso sentimiento de seguridad. Problema selección emplazamiento. Impacto ambiental.
Traslado de estructuras preexistentes	Eliminación de daños. Proporciona espacios libres. Facilita el flujo de desagüe. Seguridad total.	Muy costoso. Pérdida de las ventajas de uso de la llanura. Limitado a ciertas estructuras. Oposición de la población.

Tabla 2.II. Gestión de la llanura de inundación. Aspectos positivos y negativos. Modificado de Coates, 1986.

Reducción efectos de la avenida	Reducción de la importancia daños	Reducción de pérdidas económicas	Afrontar las pérdidas
<u>Protección inundaciones</u>  Diques y presas Espigones y malecones Corrección cauces Desvíos Embalses laminación Muros de contención	<u>Gestión llanura</u>  Zonificación usos suelo Normas construcciones Reformas urbanas Adquisición terrenos Traslado de edificaciones	<u>Medidas emergencia</u>  Alerta en poblaciones Defensas provisionales Evacuación	Soportar las consecuencias
<u>Ordenación cuencas</u>  Aterrazado Estabilización márgenes Vigilancia incendios Repoblación forestal	<u>Cambios estructurales</u>  Impermeabilización cimentaciones Elevación del terreno Construcción edificios altos sin sótano y planta baja diáfraga	<u>Redistribución de pérdidas</u>  Indemnizaciones Créditos financieros Exención de impuestos Seguros	
<u>Modificación precipitación</u>  Lluvia artificial	<u>Sistemas de seguridad</u>  Cerramientos de seguridad Protección de interiores Recubrimientos temporales Válvulas seguridad desagües Anclado de maquinaria Recubrimientos con plásticos Limpieza de canalizaciones		

Tabla 2.III. Alternativas a la gestión de áreas sujetas a avenidas. Modificado de Sewell y Foster (1976).



## INUNDACIONES

### CAPÍTULO 3. LAS INUNDACIONES EN ESPAÑA

Las inundaciones constituyen el peligro y el riesgo más importante, extendido y conocido en España, cuyas implicaciones más directas y graves son las económicas y las consecuencias sociales. La historia de las inundaciones catastróficas en España, permite afirmar que en todas las cuencas se han sufrido las consecuencias de las avenidas. A medida que han ido pasando los años, se han introducido mejoras que han disminuido sensiblemente los períodos de recurrencia de los eventos catastróficos, aunque el hombre ha introducido nuevos factores que agravan el riesgo potencial.

Los motivos que permiten calificar las inundaciones en España como peligro, son el tipo de relieve y el tipo de clima. La influencia del hombre, sus asentamientos y actividades, transforman el peligro en riesgo.

#### 3.1 INFLUENCIA DEL RELIEVE EN LAS INUNDACIONES EN ESPAÑA

España es una de las regiones más montañosas de Europa, con una altitud media de 500 metros. Las cadenas montañosas son las divisorias de aguas de las diez cuencas hidrográficas principales: Norte, Duero, Tajo, Guadalquivir, Sur, Segura, Júcar, Ebro y Pirineo oriental. Se pueden considerar también otras áreas, como las islas Baleares, islas Canarias y territorios del norte de África. En todos ellos, la disposición de los sistemas montañosos domina la morfología de la cuenca, y los sistemas de respuesta hidráulica.

Por ejemplo, en la cuenca Norte, la cordillera Cantábrica se encuentra a poca distancia de la costa, por lo que los ríos se ordenan según cuencas reducidas con drenaje independiente. Esto mismo se puede observar en la cuenca Sur. La cuenca del Duero, una cuenca llana de altura media elevada, está limitada por cadenas alejadas de la costa que le configuran una planta romboidal. En cuanto a morfología alargada de la cuenca y respuesta hidráulica, el Duero, Tajo, Guadiana y Guadalquivir se pueden considerar similares.

Las cuencas del Júcar y del Segura contienen por una parte, cursos de aguas permanentes, nacidos en las cordilleras que bordean la Meseta, donde se han encajado formando cañones que se abren a las llanuras en forma de abanicos, y por otra, cursos estacionales, nacidos en montañas próximas a la costa y con caudales medios pequeños e irregulares. Ambas cuencas han demostrado ser las zonas de mayor peligrosidad de inundación en España, por la confluencia de factores orográficos y climáticos.

La cuenca del Ebro constituye un caso mixto entre los dos tipos descritos, ya que la mayor altura de los Pirineos frente al Sistema Ibérico, implica un suministro más abundante de precipitaciones y por tanto, un mayor desarrollo de los ríos que bajan desde los Pirineos.

### **3.2. INFLUENCIA DEL CLIMA EN LAS INUNDACIONES EN ESPAÑA**

En España se producen las típicas perturbaciones atmosféricas capaces de descargar precipitaciones, que degeneran en avenidas en las latitudes templadas, como son las lluvias de origen frontal.

#### **3.2.1 Lluvias de origen frontal**

Lamas (1985), afirma que están provocadas por la elevación de masas convergentes de aire en un área de baja presión. Se distinguen las lluvias de frente cálido y las lluvias de frente frío.

\* **Frente cálido:** una masa de aire caliente se eleva sobre una masa de aire frío.

\* **Frente frío:** la masa de aire frío es activa y se introduce a modo de cuña, bajo una masa de aire cálido, obligándola a elevarse violentamente.

Jansa (1972), las denomina «tormentas frontales» cuyo primer impulso es mecánico puesto que es un choque físico entre dos masas de diferente humedad y temperatura, aunque realmente no se desarrolla la tormenta a no ser que las condiciones termodinámicas sean favorables. Esta clase de tormentas no están sujetas a calendario ni horario, aunque se producen con mayor frecuencia en otoño. Las tormentas frontales son típicas de las latitudes templadas, raras veces aparecen en los Polos y son desconocidas en el Ecuador y los Trópicos.

#### **3.2.2 Tormentas térmicas**

Las tormentas estivales o térmicas producen inundaciones con frecuencia. Jansa (1972), afirma que se producen en el interior de una masa de aire homogénea. Son típicas del verano y de las regiones tropicales, y van disminuyendo de intensidad a medida que aumenta la latitud. Pueden ser de dos tipos: tormentas diurnas y tormentas nocturnas.

- \* **tormentas diurnas:** se originan cuando una porción del suelo se calienta más que el aire de alrededor. La masa de aire caliente comienza a ascender y a calentar las masas de aire circundantes. Si la energía es suficiente, la columna de aire genera cumulonimbos, chubascos, aparato eléctrico y a veces, granizo. Se presentan normalmente, durante las primeras horas de la tarde.
- \* **tormentas nocturnas:** su mecanismo de formación es a la inversa de las tormentas diurnas. Según describe Jansa (1972): «*si por la noche existe a cierta altura una capa de nubes o un estrato de aire muy húmedo, es posible que se enfríe, aumente de peso específico y caiga, provocando con su caída, el nacimiento de una corriente ascendente que cierre el circuito.*»

### 3.2.3 Temporales de Levante y gotas frías

Durante los meses de mayo-junio y con más intensidad en otoño, caen verdaderos diluvios sobre el litoral mediterráneo y en algunos casos, también sobre las islas Baleares. García de Pedraza describe el proceso de formación del aguacero en el calendario meteoro-fenológico de 1971, como sigue:

*«Después del verano, que es muy largo y de fuerte insolación en toda la cuenca mediterránea, el mar está muy cálido y la evaporación es muy marcada. Si llega aire frío, bien sea en superficie (frentes fríos que cruzan desde el Golfo de Vizcaya hacia Baleares), bien sea en altura (formación y desplome de «gota de aire frío» sobre la Península), se crea una acusada y brusca inestabilidad atmosférica, apareciendo potentes nubes de desarrollo vertical o cumulonimbos que se disparan desde cerca del suelo hasta alturas de 10 y 12 kilómetros, dando lugar a torrenciales aguaceros e impresionantes tormentas. Las cordilleras que orlan el litoral favorecen el ascenso forzado del aire, de componente Este y limitan el avance de las nubes tierra adentro; por esta causa se localizan la mayores precipitaciones en las comarcas costeras, hacia donde soplan los vientos cálidos y húmedos del Mediterráneo. Por otro lado, las laderas de las montañas orientadas hacia la cuenca mediterránea presentan acusadas pendientes y los ríos desaguan rápida y velozmente. Así se conjungan dos factores adversos: los torrenciales chubascos y las ramblas de inclinada pendiente, creando condiciones propicias a enormes avenidas y catastróficas inundaciones.»*

Tal y como resume Capel (1981), el conjunto de circunstancias que se suman al poder destructor de las avenidas en sí, en el sudeste de la península Ibérica, son:

- a) la gran intensidad horaria de las lluvias: las tormentas y aguaceros precipitan enormes volúmenes de agua en pocas horas.

- b) las características **morfológicas** de la región: el sudeste posee un relieve formado por materiales impermeables en gran cantidad: pizarras, esquistos, micaesquistos, arcillas y margas muy deleznables.
- c) los cursos de agua presentan un carácter **torrencial**, debido a que tienen que salvar en pocos kilómetros, altitudes de 2.000 metros hasta el nivel del mar, por lo que su perfil longitudinal tiene una elevada pendiente.
- d) la escasa y raquíctica vegetación, desaparecida tras un prolongado verano de altas temperaturas sin precipitaciones.

### **3.3 INFLUENCIA DEL FENÓMENO DE «EL NIÑO» SOBRE LAS INUNDACIONES EN ESPAÑA**

#### **3.3.1 Definición del fenómeno**

El fenómeno de «El Niño» es una anomalía de la temperatura superficial del océano, que se asocia con la interrupción temporal de la surgencia de una corriente fría: la corriente de Humboldt. La corriente de «El Niño» ha recibido este nombre gracias a los pescadores de las aguas que bañan las costas de Ecuador y Perú, y así se llama en honor al Niño Jesús por aparecer anualmente, alrededor de la fecha en que se celebra el comienzo de la Navidad.

En las condiciones normales que corresponden al resto del año, la superficie del mar en esa zona, está fría al compararla con las temperaturas cálidas de las aguas ecuatoriales. Así, la corriente de Humboldt está constituida por un agua rica en sustancias minerales que atraen y nutren al fitoplancton, alimentación base de los peces.

Alrededor de las Navidades, aparece la corriente de «El Niño» como una corriente marina cálida que avanza hacia el sur, desplaza la corriente marina fría de Humboldt, y hace que disminuya la pesca en la zona. Normalmente, las aguas cálidas no llegan a tocar la costa más al norte de Perú, pero una vez cada diez años (u once según autores), la corriente cálida supera a la corriente fría y recorre libremente las costas sudamericanas pacíficas. En lugar de disolverse el calentamiento alrededor de marzo-abril, las temperaturas de la superficie del mar continúan altas durante el otoño e invierno.

El fenómeno se ha bautizado con el nombre completo de «El Niño Oscilación Meridional» (ENOM), por la envergadura de la modificación de la presión atmosférica. El estudio del mismo ha comenzado a intensificarse a partir de la observación de su ocurrencia, y la relación con cambios climáticos en otras regiones del globo. Dentro del registro de años identificados como

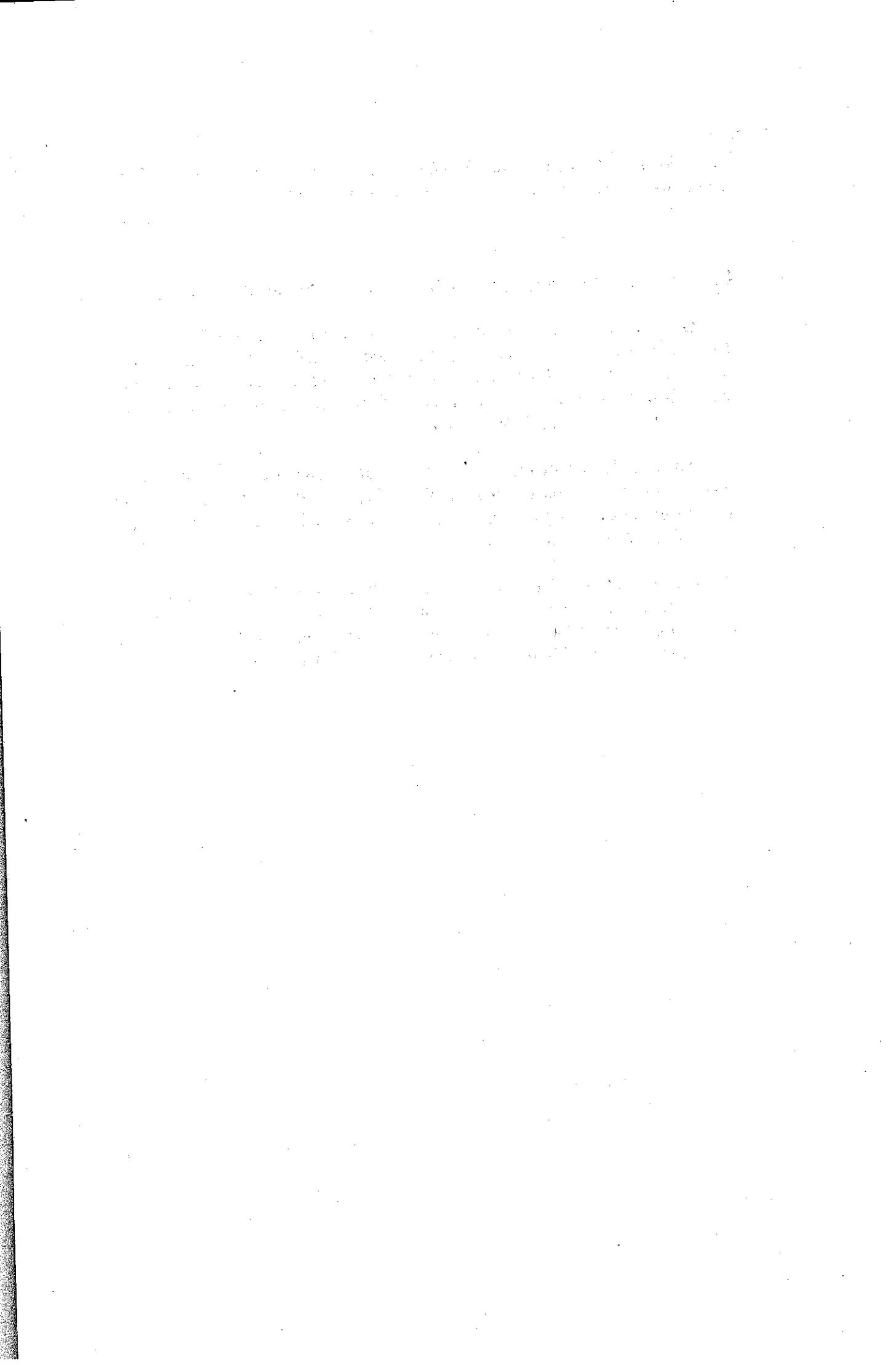
afectados por el fenómeno de «El Niño», están 1957-58, 1972-73 y 1982-83, como los períodos de efectos más intensos observados.

### 3.3.2 Relación entre el fenómeno de «El Niño» y las inundaciones en Levante.

Durante el último siglo, parece ser que el período 1982-83 registró el ENOM de mayor extensión geográfica, además del importante ascenso de temperatura superficial del mar. También fue quizás, el episodio de «El Niño» que más impacto ha causado en la sociedad, porque sólo se cuenta con datos fiables en el período de 1949 a 1984.

Además de los efectos sobre países de Sudamérica y California, y continentes tan lejanos como Australia y las islas de la Polinesia, España recibió el desastroso impacto de inundaciones en las cuencas del Pirineo oriental, río Segura y río Júcar.

Perdomo (1988), ha encontrado una correspondencia en los registros de inundaciones producidas en las cuencas del Júcar y Turia, y ha llegado a la conclusión de que ENOM ejerce la influencia en un 73% de las inundaciones del Júcar, y en un 62% de las inundaciones del Turia.



## INUNDACIONES

### CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE LA CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE ESPAÑA

#### 4.1 CONTENIDOS

El contenido del capítulo 4 está extraído, prácticamente en su totalidad, de la Documentación Básica de los Planes Hidrológicos elaborados por el M.O.P.U., de las siguientes Cuencas Hidrográficas:

- \* Cuenca Norte (Planes Hidrológicos I, II y III)
- \* Cuenca del Duero
- \* Cuenca del Tajo
- \* Cuenca del Guadiana (Planes Hidrológicos I y II)
- \* Cuenca del Guadalquivir
- \* Cuenca de los ríos Guadalete y Barbate
- \* Cuenca Sur
- \* Cuenca de Segura
- \* Cuenca del Júcar
- \* Cuenca del Ebro

#### 4.2 ANTECEDENTES DE LOS PLANES HIDROLÓGICOS DEL M.O.P.U. 1988

La Comisión Nacional de Protección Civil, creada en 1980, es un órgano «coordinador, consultivo y deliberante» que dentro de sus objetivos tiene «*el estudio y aprobación de los planes de actuación con motivo de siniestros, catástrofes, calamidades y otros acontecimientos de análoga naturaleza*».

A la vista de la importancia de los efectos desastrosos de las inundaciones en la península Ibérica, la Comisión Nacional de Protección Civil propuso en 1983, la creación de la Comisión Técnica de Emergencia por Inundaciones, de carácter

pluridisciplinar, con la misión de «estudiar las medidas correctivas y preventivas que deban acometerse por el Gobierno en las zonas habitualmente castigadas por las inundaciones y con el propósito de evitar o disminuir sus efectos». La Dirección General de Obras Hidráulicas (D.G.O.H.) y el Centro de Estudios Hidrográficos (C.E.H.) pertenecen, además de los siguientes organismos, a dicha Comisión: Ministerios de Defensa, Interior, Obras Públicas y Urbanismo, Industria y Energía, Agricultura, Pesca y Alimentación, Transportes, Turismo y Comunicaciones, Sanidad y Consumo, y Administración Territorial.

La Comisión Técnica de Inundaciones enfocó el estudio para cubrir cuatro frentes:

1. Estudio de información histórica, clasificación de zonas de riesgo potencial y elaboración del mapa de riesgo potencial de inundaciones. La dirección de estas actividades fue encargada al M.O.P.U.
2. Estudio de acciones de tipo preventivo. La dirección fue encargada al M.O.P.U.
3. Estudio de normativa vigente y normas de planificación territorial. La dirección fue encargada al Ministerio de Administración Territorial.
4. Elaboración de un Plan de protección contra inundaciones, riadas y roturas de presas y embalses. La dirección de estas actividades fue encargada al Ministerio de Interior.

Los dos primeros frentes debían ser desarrollados por la Dirección General de Obras Hidráulicas y el Centro de Estudios Hidrográficos, pero antes de lanzarse al estudio individual de las cuencas hidrográficas, la propia Comisión Técnica de Inundaciones encargó al M.O.P.U. la redacción de un análisis general de la situación del país frente a las inundaciones, a la vez que actualizara el inventario de puntos conflictivos y ofreciera una metodología general para la prevención y reducción de los daños ocasionados por inundaciones.

Este informe general constituyó en sí, la primera fase del estudio general, pero aún existen otras dos fases. La segunda fase consiste en una serie de estudios por cuencas hidrográficas, que cubre aspectos socioeconómicos, demográficos, hídricos, ambientales y jurídicos además de ser acompañados por colecciones de mapas que ayudan a conocer el entorno global del espacio geográfico que abarca cada cuenca. Se publicó en Diciembre de 1988.

La tercera fase consistirá en la redacción de un plan de actuaciones técnicas, económicas y sociales, aconsejables para cada zona. Para ello, será necesaria la recopilación de datos hidrológicos, hidráulicos, cartográficos, económicos y sociales de gran detalle, y el tratamiento de los mismos con nuevos métodos muy actualizados. Tanto la documentación de la primera fase, como la correspondiente a la segunda

fase, serán fundamentales para el desarrollo de la tercera y última fase, que es seguro que constituirá el instrumento de trabajo básico para la Administración Pública en materia de inundaciones.

#### **4.3 ESTRUCTURACIÓN DEL ANÁLISIS DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

El capítulo 4 de este estudio es un resumen de la documentación correspondiente a la segunda fase, en los aspectos relacionados con el medio físico, características climatológicas y conclusiones sobre el estudio que el M.O.P.U. ha realizado para cada cuenca.

Cada capítulo se compone de :

1. **Ámbito territorial:** se describe el espacio geográfico que abarca la cuenca hidrográfica o la sección de la cuenca hidrográfica, según lo indica la correspondiente Confederación Hidrográfica que ha redactado el estudio. Si figuran cuadros informativos, se extractan los datos de extensión de la provincia y participación de la misma en el total de extensión de la cuenca.
2. **Climatología:** se ofrecen unas características muy generales del clima de la región, así como algunos datos medios de precipitaciones, temperaturas, nieve, sequías, según figure en el informe correspondiente. Constituyen una primera aproximación a la caracterización climática de una región.
3. **Hidrografía:** se dibujan las características más sobresalientes de la red hidrográfica y los factores principales que la condicionan para adoptar una u otra forma.
4. **Avenidas e inundaciones:** se dan datos de precipitaciones extremas, así como los puntos o áreas donde se reciben. En el caso de existir datos de máximas avenidas probables en forma de caudal, se exponen dichos cuadros. Por último, se habla de las inundaciones históricas y se resumen las principales conclusiones del estudio de las inundaciones históricas realizado por el M.O.P.U.
5. **Zonas potencialmente inundables:** se esquematizan las principales causas que provocan las inundaciones en la península Ibérica y se puntualiza cuáles son más frecuentes en la cuenca correspondiente.

6. **Acciones preventivas y de reducción de daños:** se enumeran las principales conclusiones en materia de prevención que ha deducido el M.O.P.U., una vez estudiadas las referencias sobre inundaciones históricas.
7. **Principales características de las inundaciones en la cuenca del .....** : son pequeños cuadros que resumen cualitativamente las características generales de las inundaciones en una cuenca, después de estudiar las referencias que figuran, para cada cuenca, en el Catálogo Nacional de Riesgos Geológicos del I.T.G.E. (1988).

# INUNDACIONES

## CAPÍTULO 4 .1 CUENCA NORTE - PLAN HIDROLÓGICO I

### 1. ÁMBITO TERRITORIAL

La Confederación Hidrográfica del Norte comprende el territorio español de las cuencas hidrográficas de los ríos que vierten al mar Cantábrico, desde la desembocadura del río Eo, incluida la de este río, y la frontera con Francia. El Plan Hidrológico I comprende las cuencas de los ríos Miño, Sil y la parte española de la cuenca del río Limia (17.717 km<sup>2</sup>). Las cuencas del Miño y del Limia son en su totalidad gallegas, mientras que la del Sil tiene una pequeñísima parte en Asturias, casi la mitad en León y el resto en Galicia. Las provincias españolas que ocupa, así como la distribución de su extensión figuran en la tabla 4.I.

PROVINCIA	Superficie en cuenca (km <sup>2</sup> )	Participación en cuenca (%)
La Coruña	2	0,0
Lugo	6.311	35,6
Orense	6.120	34,5
Pontevedra	1.162	6,6
León	3.964	22,4
Zamora	140	0,8
Asturias	18	0,1
<b>TOTAL</b>	<b>17.717</b>	<b>100,0</b>

Tabla 4.I. Distribución territorios de provincias en la cuenca Norte. Plan Hidrológico I.  
Extractado del M.O.P.U., 1988.

### 2. CLIMATOLOGÍA

En sentido amplio, esta región de la cuenca Norte de la península Ibérica, se sitúa en la conocida «España verde» con los típicos **inviernos suaves y veranos frescos**, aire generalmente húmedo, abundante nubosidad y precipitaciones frecuentes durante todo el año. Sin embargo, se puede hablar de dos regiones diferenciadas por su pluviosidad: una **húmeda**, influida por la cercanía al mar, y otra **menos húmeda**, situada más al interior.

La primera se extiende desde la desembocadura del río Miño (zona marítima), ríos Limia, Arnoya, Salas, Bibey y Navea (zona submarítima). Por último, la cabecera del Miño, donde las precipitaciones se distribuyen según la topografía.

En la segunda o zona menos húmeda, ocupada por el Sil, también se pueden diferenciar unas áreas más templadas, de otras de clima más frío.

## 2.1 Pluviometría

La distribución anual de precipitaciones en este ámbito de la cuenca Norte, es la normal del área, con un **máximo** en diciembre-enero y un **mínimo** en julio y agosto. Puede producirse otro máximo relativo en primavera.

La pluviometría anual tiene un rango de variación entre 700 y 1.900 mm/año. Los valores **máximos** se localizan en Cabeza de Manzaneda (1.778 m), entre el Navea y el Bibey, en la Sierra de los Ancares (2.214 m), en el tramo más bajo del Miño, y las Sierras de San Mamed (1.618 m) y Queixa (1.707 m). Los **mínimos**, con 700-900 mm/año se registran en las depresiones de Monforte y el Bierzo, y en Orense.

## 2.2 Termometría

La influencia del océano suaviza los valores extremos de la franja costera y el tramo final de los valles del Miño y del Sil. Es decir, se pasa de un clima templado-cálido en la costa, a un marítimo-fresco tierra adentro, hasta un pirenaico-frío en las zonas montañosas.

En el valle del Miño, la **media anual** oscila entre 13,9º y 11ºC. La **media del mes más frío** oscila entre 6,9º y 5,9ºC y la **media del mes más cálido** entre 21,7º y 17,4ºC. En cuanto a temperaturas extremas, el mes más frío registra entre 3,6º y 1,9ºC, y el mes más cálido entre 28º y 23,3ºC.

En las áreas de montaña, el clima es de tipo pirenaico con veranos e inviernos frescos. Las temperaturas medias son sensiblemente inferiores a las del valle del Miño.

## 2.3 Nivalidad

La nieve tiene importancia como recurso hídrico en las regiones montañosas con alturas superiores a los 1.000 metros de altitud, en los macizos cara a los vientos de los cuadrantes tercero y cuarto. Tales

circunstancias se dan en la Peña Trevinca, en Cabeza de Manzaneda, Sierra de Queixa, Sierra de Ancares y cabecera del Sil.

#### 2.4 Sequías

El mes más seco corresponde a julio y le siguen agosto y junio, aunque en realidad, el balance hídrico de esta región se caracteriza por la persistencia y regularidad del régimen pluviométrico. El año más seco fue 1953/1954 y el trienio más seco abarcó desde 1942/1943 a 1944/1945.

### 3. HIDROGRAFÍA

Tanto el Miño como el Sil o el Limia en la parte española, forman valles alargados en los que se centra el río principal que recibe afluentes poco desarrollados. Tanto el Miño como el Sil se caracterizan por los **fenómenos de captura**, y con el tiempo van ampliando los límites de su cuenca hacia la Cantábrica e incluso la cuenca del Duero.

Los ríos de la cuenca han adaptado sus trayectorias a las **directrices tectónicas** del área, ya que el Miño sigue la norte-sur hasta la unión con el Sil, y el Limia y el Sil se acomodan a la dirección noreste-suroeste. Son además, ríos con gran poder erosivo que han excavado su cauce en materiales duros, generando así, **valles profundos y estrechos** de trayectoria lineal con numerosos tributarios laterales por ambas márgenes.

### 4. AVENIDAS E INUNDACIONES

#### 4.1. Precipitaciones extremas

El estudio de las precipitaciones extremas está basado en los registros de las estaciones pluviométricas, ajustados a una distribución de probabilidad que permiten determinar las alturas de precipitación máxima, para un período de 24 horas. A partir de estos valores, se definen las isolíneas de máxima precipitación, como paso previo para determinar su distribución espacial.

En el ámbito territorial del Plan Hidrológico I, existen las siguientes zonas con precipitaciones registradas superiores a 200 mm:

- \* Orla que rodea los embalses de Chandiera, Leboreiro y Edrada (>300 mm en los dos últimos).
- \* Alrededores del embalse de Matalavilla (>300 mm).
- \* Cabecera del Lor y el Cabrera.

#### 4.2. Máximas Avenidas Probables Naturales

Se definen como «la mayor avenida que se puede presentar, suponiendo una total coincidencia de los factores que pueden producir la precipitación más intensa y al máxima escorrentía». Esta situación se deriva de una precipitación máxima probable, por lo que no se le puede asignar una probabilidad de ocurrencia. No hay estudios de este tipo para esta cuenca.

En el cuadro adjunto (tabla 4.II), se especifican las estaciones foronómicas donde se han registrado estos caudales, así como la fecha de ocurrencia de los mismos.

CAUCE	NOMBRE	PROVINCIA	CAUDALES REGISTRADOS (m <sup>3</sup> /s)	
			Máximo**	Medio
Cúa	Cúa en Quilos	León	175,50** (9-II-79)	12,86
Burbia	Burbia en T. Bados	León	404,00** (8-I-75)	15,09
Cabrera	Cabrera en Pto. Domingo Flórez	León	500,00** (1-IV-61)	12,57
Jérez	Jares en Portela	Orense	112,00** (III-62)	6,23
Bibey	Bibey en las Ermitas	Orense	687,00** (XII-59)	24,90
Navea	Navea en Pedrazas	Orense	459,00** (XI-2-72)	11,67
Bibey	Bibey en Montefurado	León	878,40** (20-II-66)	42,55
Sil	Sil en Sequeiros	Lugo	3.033,00** (31-III-62)	130,29
Lor	Lor en la Ponte	Lugo	287,50** (XII-59)	17,90
Cabe	Cabe en Monforte de Lemos	Lugo	199,00** (28-II-78)	5,70
Sil	Sil en San Esteban	Lugo, Orense	3.383,00** (31-III-02)	156,14
Sil	Sil en Pte. Pombeiro	Lugo, Orense	3.450,00** (31-III-62)	162,13
Miño	Miño en Rabade	Lugo	810,00** (22-II-47)	20,68
Parga	Parga en Guitiriz	Lugo	182,94** (29-XII-78)	7,39
Ladra	Ladra en Begonte	Lugo	370,00*** (4-XII-77)	20,20
Miño	Miño en Lugo	Lugo	1.030,00*** (22-II-47)	39,61
Sarria	Sarria en Sarria	Lugo	108,00*** (28-II-78)	4,22
Miño	Miño en los Peares	Lugo	2.190,00** (11-II-79)	92,99
Miño	Miño en Orense (Pte. Mayor)	Orense	5.700,00** (27-XII-60)	301,04
Tea	Tea en Puenteareas	Pontevedra	402,00*** (6-XII-72)	13,59
Louro	Louro en Tuy	Pontevedra	152,30** (15-II-79)	9,14
Limia	Limia en Pte. Linares	Orense	134,00** (30-XII-78)	11,28

\* Debajo del valor del caudal máximo registrado, se indica la fecha en que ocurrió.

\*\* Caudal máximo medio diario.

\*\*\* Caudal máximo instantáneo.

Tabla 4.II. Tabla de caudales medios y máximos. Modificado de M.O.P.U., (1988).

#### 4.3. Inundaciones históricas

Hay 19 referencias de inundaciones ocurridas desde 1522, y como término medio parece que se produce una inundación cada 25 años aproximadamente. El estudio de estas referencias permite llegar a las siguientes conclusiones sobre las cuencas del Plan Hidrológico I:

- \* Las inundaciones afectan principalmente a los valles, pero normalmente no hay referencias de lo que ocurre aguas arriba, por tanto, la información no está completa. Es muy probable que produzcan daños de menor relevancia aguas arriba, que no dejen huella.
- \* El «efecto presa» por la obstrucción de los puentes artificiales y las «olas» que desencadenan por el desbloqueo súbito, producen importantes daños.
- \* Los movimientos tectónicos y las oscilaciones del nivel del mar producidas por la última glaciación, han **elevado notablemente el nivel de base** de los ríos cantábricos, provocando la formación de rías y estuarios en fase de colmatación avanzada, y la disminución de su pendiente y longitud. Estos hechos, junto con los efectos de las mareas, han disminuido la capacidad de evacuación de los ríos.
- \* Los efectos de las inundaciones de los ríos cantábricos, son devastadores debido a:
  - a) rapidez de generación de la avenida.
  - b) gran velocidad de las aguas por la elevada pendiente.
  - c) importante capacidad de arrastre de materiales.
  - d) efectos de las mareas coincidiendo con el caudal punta de las avenidas.
- \* Los **embalses de laminación** no son el mecanismo de control de inundaciones más adecuado para estos ríos, cuyos tramos superiores tienen una pendiente longitudinal muy pronunciada, puesto que necesitarían cerradas de gran altura. Además, no es muy probable que se inunden los valles para construir un embalse, ya que son las zonas principales de asentamientos humanos. Ocurre lo mismo con las grandes obras de regulación, por ello hay zonas que no están reguladas en absoluto, mientras que el Sil y sus afluentes sí lo están.
- \* Las **soluciones estructurales** que parecen más adecuadas son los dragados, encauzamientos, diques longitudinales y obras de defensa puntuales.

- \* Los daños a las vías de comunicación se han producido cuando su trazado interfiere en las salidas de evacuación naturales, consecuencia del desarrollo económico de los últimos años.

## 5. ZONAS POTENCIALMENTE INUNDABLES

Las causas generales que pueden provocar las inundaciones, pueden ser:

- \* Avenidas
- \* Temporales ciclónicos
- \* Obstrucciones en el cauce
- \* Efectos de los embalses
- \* Insuficiencia de drenaje
- \* Acciones del mar

En este ámbito territorial, las causas más frecuentes han sido:

- 1º Avenidas
- 2º Insuficiencia de drenaje en las ciudades
- 3º Obstrucciones y roturas de puentes
- 4º Acciones del mar

En resumen, a pesar de las obras de infraestructura realizadas en la zona, aquéllas que hayan sufrido inundaciones históricas, siguen estando amenazadas. Lo que variará es la cuantía de los daños, disminuyendo en el caso de obras de regulación o aumentando en los nuevos focos de densificación por vías de comunicación o incremento de población.

Las fuentes de datos utilizadas para detectar las áreas de riesgo potencial fueron:

- \* Zonas con inundaciones históricas
- \* Inventario de puntos conflictivos (31 repartidos en este ámbito)
- \* Zonas situadas aguas abajo de los embalses en explotación

## 6. ACCIONES PREVENTIVAS Y DE REDUCCIÓN DE DAÑOS

- \* Los embalses no parecen ser la solución más adecuada para la regulación de los ríos de la zona, ya que sus capacidades no permiten reducir sus caudales punta en porcentajes importantes. Aun así, existen 4 grandes embalses en la cuenca del Miño-Sil (Belesar, Los Peares, Bárcena y San Esteban).

- \* En los ríos de corto recorrido, se producen avenidas de tipo «rápido» (flash-floods), con gran aporte de sólidos y efectos devastadores. Los embalses no son la solución a estos problemas, sino quizás, **encauzamientos** en los últimos tramos.
- \* Es necesaria una revisión de los **cruces** entre la infraestructura viaria e hidráulica con los cauces de ríos y arroyos.
- \* Surgen problemas causados por los depósitos sedimentados en las **confluencias** de arroyos sobre el río principal, ya que se producen sobrelevaciones del nivel de las aguas, y disminuye la capacidad de transporte del río principal.
- \* La opción de los **traspasos** es antieconómica, dadas las cortas distancias entre las cuencas emisora y receptora.
- \* Es urgente el estudio y definición de la **normativa legal** que permita zonificar las áreas inundables en varias clases, y valorar objetivamente los daños potenciales.

Ver la tabla 4.III, que resume el tipo de acciones preventivas para esta parte de la cuenca Norte y grado de urgencia de las mismas.

## 7. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS INUNDACIONES EN LA CUENCA NORTE

A partir de los registros de inundaciones de la cuenca Norte que figuran en el Catálogo Nacional de Riesgos Geológicos (I.T.G.E., 1988), se pueden deducir características generales de las inundaciones en la cuenca del Norte de España:

<b>CAUSAS</b>	Temporales y lluvias torrenciales
<b>DURACIÓN MEDIA</b>	2-3 días. Máximo registrado 20 días (sept 74)
<b>SUP. AFECTADA MEDIA</b>	230 km <sup>2</sup> . Máximo registrado 850 km <sup>2</sup> (dic 80)
<b>PERDIDAS ECO. MÁXIMAS</b>	5.000 M. ptas (jul. 77) 500.000 M. (ag. 83)
<b>DAÑOS MATERIALES</b>	Industria y núcleos de población, principalmente
<b>PERÍODO RECURRENCIA</b>	5-10-15-50 Máximo registrado 500 (ag. 83)
<b>PERÍODO OBSERVACION</b>	1970 - 1983

ACCIONES PREVENTIVAS	RANGO DE URGENCIA		
	MÁXIMO	INTERMEDIO	MÍNIMO
Embalses de laminación	-	1	4
Corrección y regulación de cauces	-	5	31
Protección de cauces	-	3	29
Encauzamientos	-	3	12
Cauxes de emergencia y trasvases	-	-	-
Obras de drenaje	-	-	1
Conservación de suelos y reforestación	-	-	4
Zonificación y regulaciones legales	-	3	19
Implantación de un sistema de seguros	-	3	19
Instalación de sistema de alarma y previsión	-	3	19
Gestión integrada del sistema hidráulico	-	1	12

Tabla 4.III. Cuadro-resumen de acciones preventivas contra las inundaciones en el área del Plan Hidrológico I de la cuenca Norte. Modificado del M.O.P.U., 1988.

## INUNDACIONES

### CAPÍTULO 4.2 CUENCA NORTE - PLAN HIDROLÓGICO II

#### 1. ÁMBITO TERRITORIAL

La Confederación Hidrográfica del Norte, comprende el territorio español de las cuencas hidrográficas de los ríos que vierten al mar Cantábrico, desde la desembocadura del río Eo (incluida) y la frontera con Francia. El Plan Hidrológico II comprende las cuencas de los ríos que vierten al mar Cantábrico, entre el río Eo, incluido éste y el límite de los términos municipales de Castro Urdiales y San Julián de Musqués (17.332 km<sup>2</sup>). Este ámbito pertenece mayoritariamente a Asturias y Cantabria, aunque también quedan incluidas pequeñas porciones de las provincias de Lugo, León, Palencia y Vizcaya. Las provincias españolas que ocupa, así como la distribución de su extensión figuran en la tabla 4.IV.

PROVINCIA /AUTONOM	Superficie en cuenca (km <sup>2</sup> )	Participación en la cuenca (%)
Asturias	10.560	60,9
Cantabria	4.453	25,7
Lugo	1.864	10,8
León	274	1,6
Palencia	4	0,0
Vizcaya	181	1,0
<b>TOTAL</b>	<b>17.332</b>	<b>100,0</b>

Tabla 4.IV. Distribución territorial de provincias y autonomías en la cuenca Norte.  
Plan Hidrológico II. Extractado de M.O.P.U., 1988.

#### 2. CLIMATOLOGÍA

El área considerada se sitúa en la «España verde», con sus típicos **inviernos suaves** y **veranos frescos**, aire húmedo, abundante nubosidad y precipitaciones frecuentes a lo largo de todo el año. Sin embargo, se puede hablar de dos regiones: una **húmeda**, donde ningún mes del año es seco y otra **menos húmeda**, con balance hídrico de tipo mediterráneo. Se entiende por «mes seco» aquél en que la suma de la precipitación y la reserva de humedad del suelo, no supera la mitad de la evapotranspiración potencial. En cuanto a «húmeda», no se refiere a que reciba gran cantidad de precipitaciones anuales, sino que puede tener bajos niveles de evapotranspiración.

En la **región húmeda**, se distinguen tres fajas: la primera y más cercana a la costa, tiene un clima de características marítimas, a continuación se extiende la faja submarítima situada sobre las zonas medias de los valles y por último, las zonas elevadas, donde los índices de pluviosidad son más elevados.

En la **región menos húmeda**, se diferencia una área más templada (cuenca media y baja del Nalón y parte de la cuenca alta del Eo) y otra más fría (cuenca alta del Narcea).

## 2.1 Pluviometría

La distribución de las precipitaciones está relacionada directamente con la entrada de las **borrascas de procedencia atlántica**, por lo que las precipitaciones aumentan desde la costa al interior.

La **precipitación media** es de 1.353 mm/año, aunque las precipitaciones se distribuyen según franjas paralelas a la costa, modeladas por los valles que vierten al mar. En el **litoral**, las precipitaciones oscilan entre 900 y 1.300 mm/año, en las **áreas de alturas medias** entre 800 y 1.400 mm/año y en las **montañas** van aumentando unos 80 mm/año, por cada cien metros de altura.

Las **áreas con precipitaciones menores a los 1.000 mm/año**, son: la depresión de Potes, el arroyo de La Magdalena, la depresión central asturiana, Oviedo, Gijón y la cuenca alta del Nervión.

Por otra parte, hay núcleos donde se registran precipitaciones anuales superiores a los 2.000 mm, como los **Picos de Europa**. En cuanto a la cabecera del río San Isidro y el río Ibias, registran precipitaciones anuales que rondan los 2.000 mm.

En general, se observa un **mínimo pluviométrico** en el mes de julio, y un **máximo** a finales de otoño. Existe otro máximo en primavera.

## 2.2 Termometría

Las **temperaturas medias** van bajando desde la costa al interior, de tal forma que se pasa de un régimen marítimo en el litoral, a un régimen pirenaico-frío en la alta montaña. En los valles centrales, se disfruta de un clima templado-cálido.

A continuación, se describen las diferentes áreas con sus temperaturas características:

- \* La faja costera disfruta de un clima supermarítimo, con temperaturas medias anuales entre 12º-14ºC, 8º-10ºC en el mes más frío, y 18º-20ºC en el mes más cálido. La extensión de este régimen es más amplia en Cantabria que en Asturias.
- \* La faja prelitoral registra un clima templado, cálido, ligeramente más frío en Asturias. La temperatura media anual varía entre 10º-14ºC, según la altitud. Durante el mes más frío, las temperaturas pueden bajar hasta 6º-10ºC de media, mientras que en el mes más cálido pueden alcanzar los 16º-22ºC.
- \* En los valles medios-altos del río Narcea y el Deva, los inviernos son algo más frescos, aunque el resto del año gozan de un clima templado-cálido. La temperatura media anual es de 10º-12ºC.
- \* En las áreas de montaña por encima de los 800 metros, las temperaturas medias son de 8º-10ºC anuales. Durante el mes más frío, oscilan entre 0º- 4ºC, y 14º-16ºC el mes más cálido. Por encima de los 1.200 m., las temperaturas medias anuales son de 4º-8ºC, con -6º-0ºC en el mes más frío, y 12º-14ºC en el mes más cálido (ver tabla 4.V).

ZONA	Tº media anual	Tº media mes más frío	Tº media mes más cálido
FRANJA LITORAL	12º - 14ºC	8º - 10ºC	18º - 20ºC
FRANJA PRELITORAL	10º - 14ºC	6º - 10ºC	16º - 22ºC
V. MEDIO DEVA, NARCEA	10º - 12ºC		
MONTAÑA (800-1000 m)	8º - 10ºC	0º - 4ºC	14º - 16ºC
MONTAÑA (>1200 m)	4º - 8ºC	- 6º - 0ºC	12º - 14ºC

**Tabla 4.V. Cuadro-resumen de temperaturas, para las franjas climáticas del ámbito del Plan Hidrológico II de la cuenca Norte.**

### 2.3 Nivalidad

En esta parte de la cuenca Norte, hay 750 km<sup>2</sup> (4,6% del total de la cuenca) que son afectados por precipitaciones en forma de nieve, a lo largo del año.

#### 2.4 Sequías

El mes más seco es julio, seguido de agosto y junio. La relación matemática entre las precipitaciones del mes más cálido y del mes más frío, está comprendida entre 3 y 4, lo que da una idea de la regularidad de las lluvias anuales:

El trienio más seco fue de 1941/1942 - 1943/1944.

### 3. HIDROGRAFÍA

Los ríos incluidos en el Plan Hidrológico II se ordenan, en general, según cuencas reducidas, compuestas por el río principal y numerosos afluentes de entidad sensiblemente menor. Desembocan en el mar Cantábrico y son típicamente **cortos** por su cercanía a la costa, ya que la distancia entre la cordillera Cantábrica y el mar oscila entre unos 30 y 80 kilómetros. Debido a la gran cantidad de precipitaciones que reciben, son ríos muy **caudalosos** y de carácter torrencial. Son muy pocos los que llegan a desarrollar verdaderas redes de drenaje y la mayoría de ellos ejercen su función de colectores de agua desde las montañas al mar, uniéndose algunos afluentes en su camino.

En resumen, las cuencas definidas en el ámbito del Plan Hidrológico II, abarcan superficies reducidas (exceptuando la del Nalón/Narcea).

### 4. AVENIDAS E INUNDACIONES

#### 4.1 Precipitaciones extremas

En el ámbito territorial del Plan Hidrológico II, se han detectado las siguientes zonas con precipitaciones registradas superiores a 200 mm en 24 horas:

- \* Cuenca alta del río Miera ( $> 350$  mm).
- \* Cuencas altas de los ríos Arganza y Coto, afluentes del Narcea ( $> 250$  mm).
- \* Cabecera y margen derecha del río Nansa, así como Vendull y Lamasón ( $> 260$  mm).
- \* Cuenca media del Besaya. El Deva, cuenca baja del Sella, Piloña, Narcea y Porcía ( $> 200$  mm).

#### 4.2 Máximas Avenidas Probables Naturales

Posteriormente a la avenida de agosto de 1983, la Confederación Hidrográfica del Norte redactó en 1984, el «Estudio básico de la avenida de agosto de 1983 y de los puntos negros de las cuencas afectadas en Cantabria» y desarrolló un procedimiento de cálculo de caudales extremos, por métodos empíricos, estadísticos e hidrométricos. En la tabla 4.VI, figura un extracto del cuadro-resumen de dichos cálculos.

#### 4.3 Inundaciones históricas

Existen 55 referencias sobre inundaciones ocurridas desde 1522 y como término medio parece que se produce una inundación cada siete años aproximadamente. El estudio de estas referencias permite llegar a las siguientes conclusiones sobre las cuencas del Plan Hidrológico II:

- \* La **falta de información** sobre inundaciones que han ocurrido en el pasado y la ausencia de datos de los efectos que han producido en los tramos altos, da la falsa sensación de que las inundaciones sólo han afectado a los núcleos de población de los valles.
- \* Los **puentes** obstruyen el paso de las aguas de avenidas, pero el peor efecto se produce cuando se desbloquean súbitamente y generan «olas» aguas abajo.
- \* Los **movimientos tectónicos** y las subidas y bajadas del **nivel del mar** durante la última glaciación, han resultado en una elevación generalizada del nivel de base de los ríos cantábricos, además de la formación de ríos y estuarios, que actualmente se encuentran prácticamente colmatados. Esta situación propicia que los efectos de las mareas sean patentes aguas arriba.
- \* No sólo el factor de proximidad al mar y los fenómenos tormentosos son las **causas principales** de los efectos destructores de los ríos cántabros, sino también:
  - Rapidez de generación (flash-floods).
  - Gran velocidad de las aguas por la elevada pendiente.
  - Importante capacidad de arrastre de los materiales.
  - Efectos de las mareas, coincidiendo con el caudal punta de las avenidas.
  - Como soluciones estructurales más eficientes, surgen los dragados,

encauzamientos, diques longitudinales y obras de defensa puntuales. En cuanto a los embalses, además de conocer su funcionamiento real en épocas recientes, no son factibles en los tramos altos por la elevada pendiente, ni en los valles por la existencia de importantes núcleos de población.

- Los daños a las vías de comunicación empiezan a aparecer cuando éstas interfieren en el trazado natural de evacuación de las aguas de avenida.

## 5. ZONAS POTENCIALMENTE INUNDABLES

Las causas generales que pueden provocar las inundaciones, pueden ser:

- \* Avenidas
- \* Temporales ciclónicos
- \* Obstrucciones en el cauce
- \* Efectos de los embalses
- \* Insuficiencia de drenaje
- \* Acciones del mar

En este ámbito territorial, las causas más frecuentes han sido:

- 1º Avenidas provocadas por temporales de tipo ciclónico (frontales y de gota fría) y orográficos
- 2º Obstrucciones y roturas de puentes
- 3º Las acciones del mar
- 4º Insuficiencia de drenaje en las ciudades

En resumen, a pesar de las obras de infraestructura realizadas en la zona, aquéllas que hayan sufrido inundaciones históricas, siguen estando amenazadas. Lo que variará es la cuantía de los daños, disminuyendo en el caso de obras de regulación o aumentando en los nuevos focos de densificación por vías de comunicación o incremento de población.

Las fuentes de datos utilizadas para detectar las áreas de riesgo potencial fueron:

- \* Zonas con inundaciones históricas
- \* Inventario de puntos conflictivos (137 repartidos en este ámbito)
- \* Zonas situadas aguas abajo de los embalses en explotación

## 6. ACCIONES PREVENTIVAS Y DE REDUCCIÓN DE DAÑOS

- \* Los embalses no parecen ser la solución más adecuada para la regulación de los ríos de la zona, ya que sus capacidades no permiten reducir sus caudales punta en porcentajes importantes.
- \* En los ríos de corto recorrido, se producen avenidas de tipo «rápido» con gran aporte de sólidos y efectos devastadores. Los embalses no son la solución a estos problemas, sino quizás, encauzamientos en los últimos tramos.
- \* Es necesaria una revisión de los **cruces** entre la infraestructura viaria e hidráulica con los cauces de ríos y arroyos.
- \* Surgen problemas causados por los depósitos sedimentados en las **confluencias** de arroyos sobre el río principal, ya que se producen sobreelevaciones del nivel de las aguas y disminuye la capacidad de transporte del río principal.
- \* La opción de los **traspasos** es antieconómica, dadas las cortas distancias entre las cuencas emisora y receptora.
- \* Es urgente el estudio y definición de la **normativa legal** que permita zonificar las áreas inundables y valorar objetivamente los daños potenciales.

Ver tabla 4.VII, que resume el tipo de acciones preventivas para esta parte de la cuenca Norte y grado de urgencia de las mismas.

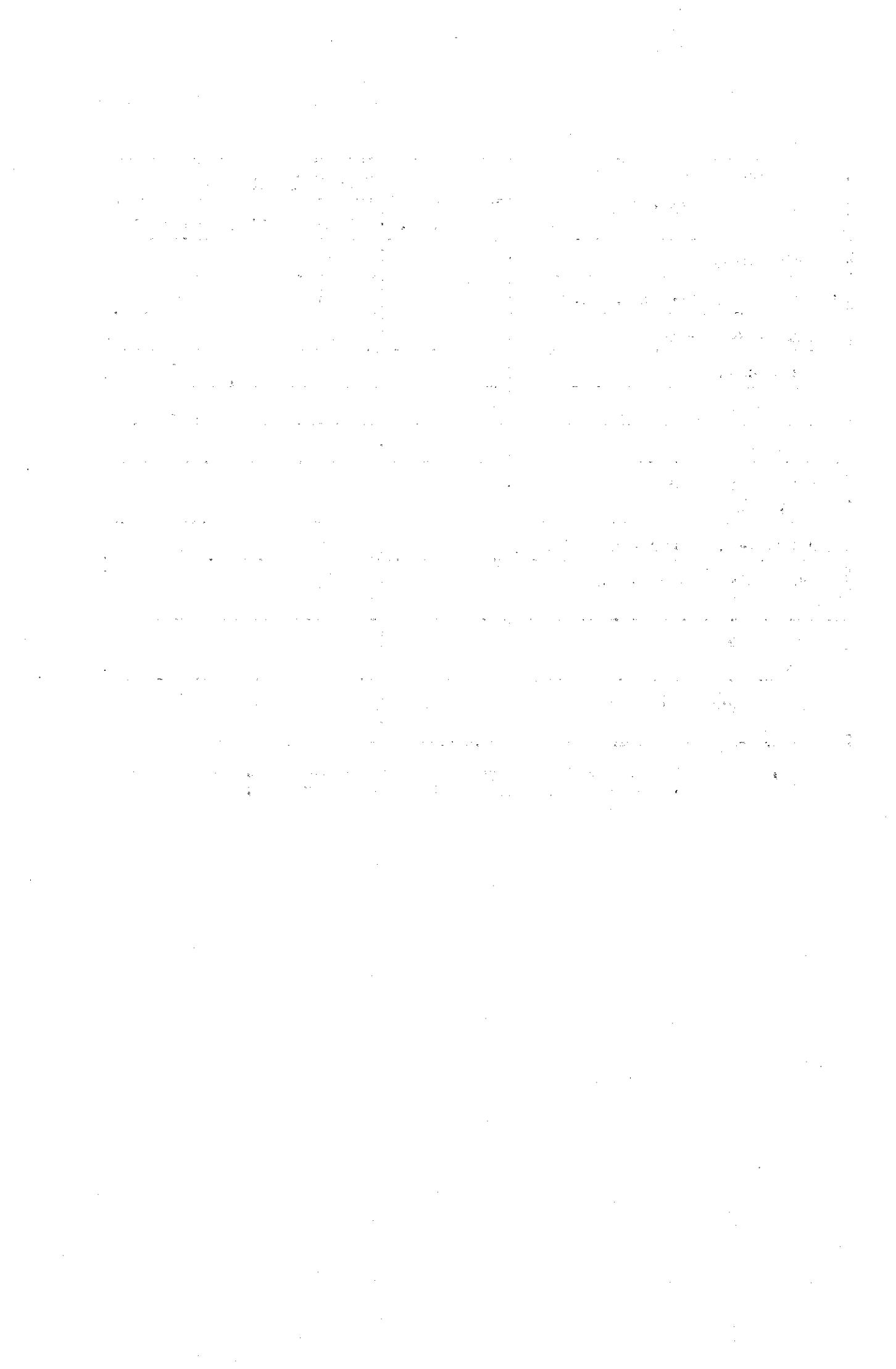
Cuenca	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> / s)	
		Teórico	Método Directo
		U.S.B.R. (*)	Deducido a partir de la escala de la estación de aforo
Río Agüera, aguas abajo de la confluencia con el Arroyo Remedón	100	315	-
Río Agüera en Guriezo	112	-	247
Río Asón, aguas abajo de la confluencia con el Gándara	295	1.015	-
Río Asón en Ampuero	452		1.435
Río Asón completo	512	1.463	-
Río Miera en la Cabada	166	476	403
Arroyo Carrimont, aguas arriba de la confluencia con el Pas	18	-	358
Río Pas en la Herrería	63	-	390
Río Pas en el Puente Viesgo	357	-	488
Río Pas hasta la confluencia con el Pisueña	361	450	-
Río Besaya en Caldas de Besaya	436	-	222
Río Besaya hasta la confluencia con el Saja	453	236	-
Río Saja hasta la confluencia con el Besaya	460	441	415

(\*) Relativo al método del hidrograma unitario del Bureau of Reclamation de los Estados Unidos de América.

Tabla 4. VI. Caudales extremos. Agosto de 1983. Extractado de M.O.P.U., 1988.

ACCIONES	RANGO DE URGENCIA		
	MÁXIMA	INTERMEDIA	MÍNIMA
Embalses de laminación	-	7	8
Corrección y regulación de cauces	10	30	35
Protección de cauces	9	24	24
Encauzamientos	5	3	12
Cauces de emergencia y trasvases	-	-	2
Obras de drenaje	1	1	11
Conservación de suelos y reforestación	1	1	2
Zonificación y regulaciones legales	5	15	18
Implantación de un sistema de seguros	4	15	18
Instalación de sistemas de alarma y previsión	5	15	18
Gestión integrada del sistema hidráulico	1	7	11

**Tabla 4.VII.** Cuadro-resumen de acciones preventivas contra las inundaciones en el área del Plan Hidrológico II de la cuenca Norte. Modificado de M.O.P.U., 1988.



## INUNDACIONES

### CAPÍTULO 4.3 CUENCA NORTE - PLAN HIDROLÓGICO III

#### 1. ÁMBITO TERRITORIAL

La Confederación Hidrográfica del Norte, comprende el territorio español de las cuencas hidrográficas de los ríos que vierten al mar Cantábrico, desde la desembocadura del río Eo, incluida la de este río y la frontera con Francia. El Plan Hidrológico III, comprende las cuencas de los ríos que vierten al mar Cantábrico, entre el límite de los términos municipales de Castro Urdiales y San Julián de Musques (5.845 km<sup>2</sup>). Se extiende a lo largo del litoral cantábrico y se distribuye entre el País Vasco (75%), Navarra (20,2%), Castilla y León (4,8%).

PROVINCIAS/ AUTONOMÍAS	Superficie en cuenca(km <sup>2</sup> )	Participación en cuenca (%)
Guipúzcoa	1.963	33,6
Vizcaya	1.965	33,6
Álava	457	7,8
Navarra	1.181	20,2
Burgos	279	4,8
<b>TOTAL</b>	<b>5.845</b>	<b>100,0</b>

Tabla 4. VIII. Distribución territorial de provincias y autonomías en la cuenca Norte, sector del Plan Hidrológico III. Extractado de M.O.P.U., 1988.

#### 2. CLIMATOLOGÍA

Esta sección de la cuenca Norte, se enmarca dentro de la «España verde», con sus típicos veranos frescos, inviernos suaves, aire húmedo, abundante nubosidad y precipitaciones frecuentes en todas las estaciones. Sin embargo, se pueden distinguir dos regiones: una **húmeda** donde ningún mes del año es seco, y otra **menos húmeda**, con balance hídrico de tipo mediterráneo. Se entiende por «mes seco» aquél en que la precipitación junto con la reserva de humedad del suelo, no superan la mitad de la evapotranspiración potencial. En cuanto a la región «húmeda», no se refiere a que reciba gran cantidad de precipitaciones anuales, sino que tiene bajos niveles de evapotranspiración.

En la región húmeda, se distinguen tres fajas: una típicamente marítima paralela a la línea de costa. La segunda tiene características intermedias (submarítima) y se localiza en los tramos medios de los valles, donde las precipitaciones son algo menores que el resto de la región húmeda. Y una tercera banda, que corresponde a las zonas montañosas, donde a medida que aumenta la altitud, aumentan las precipitaciones.

La región menos húmeda tiene un clima mediterráneo templado.

## 2.1 Pluviometría

Por su particular morfología de depresión rodeada de montañas, y por la influencia de los frentes del oeste, noroeste y polar, esta región recibe más precipitaciones anuales que el resto de la cuenca Norte.

A lo largo del año, y para toda esta cuenca en general, los **máximos pluviométricos mensuales** se registran en noviembre y diciembre y los **mínimos**, en junio. Sin embargo, en la parte más oriental de la cuenca, los máximos se registran en septiembre y octubre, mientras que los mínimos son en julio.

La **intensidad** de lluvias por día y por hora, también crecen de oeste a este por la influencia de los frentes continentales en invierno, y las elevadas temperaturas de las aguas protegidas por el golfo de Vizcaya, a finales de verano y principios de otoño.

Las lluvias **medias anuales** se sitúan dentro de un rango entre 1.000 y 2.400 mm, aumentando de oeste a este y de norte a sur. Asimismo, aumentan según la altura topográfica. Algunos datos representativos de precipitaciones anuales son:

- \* Cuenca de ríos Nervión e Ibaizábal, con 1.000 - 1.400 mm.
- \* Cuenca de los ríos Oíz, Deva, Urola y Oria, con 1.200 - 1.800 mm.
- \* Margen derecha del río Oria, Urumea y Bidasoa, con 1.800 - 2.400 mm (es posible que sea la región más lluviosa de España)

## 2.2 Termometría

Toda esta zona se caracteriza por la **uniformidad y suavidad** de las temperaturas, aunque se pueden diferenciar cuatro bandas paralelas a la costa, que se comban por la influencia de los Pirineos:

- \* **Banda costera:** ausencia de heladas en todo el año y temperaturas medias mínimas de 7º a 9ºC.

- \* **Banda prelitoral:** inviernos más fríos y heladas ligeras. Se disfruta de un período de cuatro meses sin heladas, cuyas mínimas no bajan de los 7°C.
- \* **Bandas interiores:** veranos frescos e inviernos crudos.

### 2.3 Nivalidad

La influencia de la nieve no es importante en esta región en conjunto, aunque en el borde pirenaico de la cuenca del Bidasoa, las precipitaciones invernales son en forma de nieve.

### 2.4 Sequías

El tipo de régimen pluviométrico asegura la abundancia hídrica a lo largo del año. Sin embargo, se trata de ríos de cauce de corta longitud, por lo que algunos años se han producido situaciones de escasez de agua.

En general, el mes más seco es julio, seguido de agosto y junio.

## 3. HIDROGRAFÍA

A diferencia del resto de España, los ríos incluidos en el Plan III del Norte se ordenan según cuencas reducidas, formadas por el río principal y numerosos afluentes de entidad claramente menor, donde se desarrollan cuencas fluviales extensas. La mayor parte del País Vasco se sitúa sobre una región de clima atlántico, y su divisoria de aguas se encuentra muy próxima a la costa. Esto significa que la influencia de la geomorfología y la morfometría es mucho mayor que los efectos de la sedimentología. La zona norte vierte directamente al mar y parte de Álava está drenada por tributarios del Ebro.

En general, los ríos de la vertiente norte tienen tramos en garganta, y una elevada pendiente media con fuertes desniveles. Los lechos de inundación son estrechos, aun en ríos importantes (a veces menos de cien metros de anchura), por lo tanto, el canal ocupa todo el fondo del valle y las crecidas consisten en una elevación del nivel de agua. Por el contrario, los ríos alaveses presentan llanuras de inundación más anchas, festoneadas de alturas medias de pendientes suaves.

## 4. AVENIDAS E INUNDACIONES

### 4.1. Precipitaciones extremas

Se puede decir que en toda la cuenca Norte, la pluviometría anual supera los 700 mm/m<sup>2</sup> y la distribución de las precipitaciones es más regular que en el resto de España. Sin embargo, también se producen **lluvias torrenciales** que provocan inundaciones periódicas.

En el ámbito territorial del Plan Hidrológico III, se ha detectado una cuña de precipitaciones superiores a 200 mm en 24 horas, que afecta a las cuencas de los ríos Solube, Estepona, Butrón, Nervión, Cadagua y Asúa. Hay otras dos cuñas con precipitaciones superiores a 200 mm, pero relativamente menores que la anterior, en las cuencas de los ríos Añarbe, Oyarzun, Leizarán y cuenca baja del Oria.

En cuanto a la estacionalidad, las lluvias máximas parecen registrarse históricamente en otoño e invierno, aunque los desbordamientos catastróficos se han producido en cualquier época del año. Las últimas riadas de agosto de 1983, no tenían precedentes en Vizcaya pues el máximo de precipitaciones diarias registradas para un período de 20 años, era de 145 mm, y el 26 de Agosto de 1983 se registraron 398 mm en el observatorio de Bilbao. Con relación a otros efectos y según el Instituto Geológico y Minero de España (hoy I.T.G.E.), durante esta riada se pudieron alcanzar tensiones de arrastre de hasta 51,8 kp/m<sup>2</sup> en Basauri, tras la confluencia Nervión-Ibaizábal.

### 4.2. Máximas Avenidas Probables Naturales

A raíz de la avenida de agosto de 1983, la Confederación Hidrográfica del Norte redactó un estudio, donde figura una tabla-resumen de los caudales máximos, medios y mínimos, de la que se extractan los datos de la tabla 4.IX.

### 4.3. Inundaciones históricas

Hay sesenta y seis (66) referencias sobre inundaciones ocurridas desde 1522 y como término medio parece que se produce una inundación cada siete años aproximadamente. El estudio individual de estas referencias, permite llegar a las siguientes conclusiones sobre las cuencas del Plan Hidrológico III:

- \* Los efectos de las inundaciones se manifiestan principalmente en los valles, pero también afectan con anterioridad a las partes altas de las cuencas. En muchos casos, habría sido posible avisar con antelación desde las partes altas de la llegada de la avenida al valle, sin embargo,

en el pasado no existían comunicaciones adecuadas. Normalmente, no hay referencias de lo que ha ocurrido aguas arriba, hecho que se demuestra con las 39 referencias históricas de inundaciones en Bilbao, frente a las 10 del alto Nervión. Es muy probable que produzcan daños de menor relevancia aguas arriba, que no dejen huella.

- \* Bilbao está situado en el cauce de recogida final de todas las aguas del sistema hidráulico alto Nervión-Ibaizábal, y está sujeto a las avenidas, separadas o conjuntas, de ambos ríos agravadas por el fenómeno de «represamiento hidráulico» que supone la confluencia, aguas abajo, de otros afluentes.
- \* La gran densidad de población de la faja de terreno del valle del bajo Nervión, ha provocado la invasión, por instalación de edificios de viviendas y fábricas, tanto de las márgenes y riberas como de los cauces, llegando en algunos puntos, a ser afectados por crecidas con períodos de retorno de 2 a 10 años.
- \* El «efecto presa» por la obstrucción de los puentes artificiales y las «olas» que desencadenan por el desbloqueo súbito producen importantes daños (por ejemplo puentes del Alto Nervión). Cuando se estudia la luz de un puente, se debe tener en cuenta no sólo el posible caudal máximo, sino también la anchura del río en épocas de crecida.
- \* Aparte de los grandes sistemas de drenaje, existen una serie de ríos que nacen en estribaciones próximas al mar, y que producen inundaciones por: a) rapidez de generación («avenidas relámpago»); b) alta velocidad de corriente por la elevada pendiente; c) importante arrastre de sólidos; y d) coincidencia de la inundación con la pleamar.
- \* En general, la energía de transporte de los ríos vascos durante las crecidas es alta o muy alta, sin embargo, los movimientos tectónicos y las oscilaciones del nivel del mar producidas por la última glaciación durante los últimos diez mil años, han elevado notablemente el nivel de base de los ríos cantábricos, provocando la formación de rías y estuarios en fase de colmatación avanzada, y la disminución de su pendiente y longitud. Rías y estuarios quedan inundados, aun en crecidas poco importantes. Estos hechos, junto con los efectos de las mareas, han disminuido la capacidad de evacuación de los ríos.
- \* Los embalses de laminación no son el mecanismo de control de inundaciones más adecuado para estos ríos, cuyos tramos superiores tienen una pendiente longitudinal muy pronunciada, puesto que necesitarían cerradas de gran altura. Además, no es muy probable que se inunden los valles, para construir un embalse, ya que son las zonas principales de asentamientos humanos. En el País Vasco, donde el Urumea es el único que está regulado, no sólo no existe regulación, sino que no se dan las condiciones geomorfológicas correctas.

- \* Las soluciones estructurales más adecuadas son los **dragados, encauzamientos, diques longitudinales y obras de defensa puntuales**.
- \* Los daños a las **vías de comunicación**, se han producido cuando su trazado interfiere en las salidas de evacuación naturales, consecuencia del desarrollo económico de los últimos años. Este problema se puso de manifiesto en las avenidas de agosto de 1983, ya que a consecuencia de la rotura de puentes no sólo quedó interrumpido el servicio y era necesaria su reconstrucción, sino que generaron embalses temporales aguas arriba, que al romperse repentinamente, produjeron grandes pérdidas aguas abajo.

## 5. ZONAS POTENCIALMENTE INUNDABLES

Las causas generales que pueden provocar las inundaciones, pueden ser:

- \* Avenidas
- \* Temporales ciclónicos
- \* Obstrucciones en el cauce
- \* Efectos de los embalses
- \* Insuficiencia de drenaje
- \* Acciones del mar

En este ámbito territorial, las causas más frecuentes han sido:

- 1º Avenidas provocadas por temporales ciclónicos (frontales y de gota fría)
- 2º Insuficiencia de drenaje en las ciudades
- 3º Obstrucciones y roturas de puentes
- 4º Acciones del mar

Como consecuencia de la construcción de determinadas obras o la instalación de ciertos dispositivos, existe menor potencial para generar inundaciones. En otros casos, las obras realizadas han agravado las consecuencias, como los tramos donde se han instalado industrias con invasión del cauce por las construcciones, en tramos inmediatamente aguas abajo de las presas y en las zonas adyacentes a algunas vías de comunicación.

En resumen, considerando las causas que provocan las inundaciones en esta cuenca, se puede inferir que aquéllas que hayan sufrido inundaciones históricas, siguen estando amenazadas. Lo que variará es la cuantía de los daños disminuyendo en el caso de obras de regulación, o aumentando en los nuevos focos de densificación por vías de comunicación o incremento de población.

Las fuentes de datos utilizadas para detectar las áreas de riesgo potencial fueron:

- \* Zonas con inundaciones históricas
- \* Inventario de puntos conflictivos (119 repartidos en este ámbito)
- \* Zonas situadas aguas abajo de los embalses en explotación

PUNTOS DE CONTROL	CAUCE	SUPERFICIE DE CUENCA VERTIENTE (Km <sup>2</sup> )	CAUDALES REGISTRADOS (m <sup>3</sup> /s)	
			MÁXIMO	MEDIO
Endarlaza	Bidasoa	681	810 (19-XI-75)	26,08
Oyarzun	Oyarzun	38	147 (VIII-83)	1,65
Ereñozu	Urumea	215	783 (VIII-83)	10,77
Andoain	Oria	755	1.918 (VIII-83)	28,70
Echave	Urola	297	633 (VIII-83)	8,30
Alzola	Deba	456	1.850 (VIII-83)	13,96
Berriatúa	Artibay	88	-	3,01
Lemona	Ibaizabal	251	1.057 (VIII-83)	7,55
Lemona	Arratia	137	-	4,03
Güeñes	Herreras	255	283 (VIII-83)	5,99
Echevarri	Nervión	997	3.021 (27-VIII-83)	34,25

Tabla 4.IX. Tabla de caudales medios y máximos registrados en varios puntos de control.

Modificado de M.O.P.U., 1988.

## 6. ACCIONES PREVENTIVAS Y DE REDUCCIÓN DE DAÑOS

Las avenidas e inundaciones son un peligro natural que no se puede predecir estrictamente, ni controlar físicamente, una vez desencadenado. Por ello, la única solución es una correcta Planificación Territorial. La mayoría de los valles de la provincia de Vizcaya, se encuentran ocupados, pero no sólo han ocupado la llanura de inundación, sino también el propio cauce mayor, por lo que en estas zonas se sufren los efectos de la inundación y de una corriente de alta velocidad.

La formación progresiva de cúmulos de bienes y riesgos durante los últimos años, responde al aparente incremento de inundaciones catastróficas (una cada ocho años, frente a una cada cuarenta años en los siglos precedentes). No existen aún datos fiables para pensar en un cambio climático que provoque estas variaciones de frecuencia.

- \* Son pocas las cuencas con un volumen de embalse que pueda significar una reducción relativamente importante de los caudales de las avenidas extraordinarias. Por lo tanto, los embalses no parecen ser la solución más adecuada.
- \* En los ríos de corto recorrido se producen avenidas de tipo «rápido» con gran aporte de sólidos y efectos devastadores. Los embalses no son la solución a estos problemas, sino quizás los encauzamientos en los últimos tramos (sobre todo en algunos núcleos de las cuencas altas). Para realizarlos, hacen falta estudios de determinación de los «caudales de proyecto», empleando modelos de propagación y análisis del beneficio-costo.
- \* Es urgente una revisión de los **cruces** entre la infraestructura viaria e hidráulica con los cauces de ríos y arroyos.
- \* Surgen problemas causados por los depósitos sedimentados en las **confluencias** de arroyos sobre el río principal, ya que se producen sobreelvaciones del nivel de las aguas, y disminuye la capacidad de transporte del río principal.
- \* La opción de los **traspases** es antieconómica dadas las cortas distancias entre las cuencas emisora y receptora.
- \* No hay problemas de drenaje de especial importancia en la cuenca, a excepción de cierto número de núcleos urbanos.
- \* La cuenca alta del Nervión está sujeta a fenómenos de **erosión** especialmente intensos. Deberían realizarse trabajos de reforestación y conservación de suelos.
- \* Es urgente el estudio y definición de la **normativa legal** que permita zonificar las áreas inundables en varias clases, y valorar objetivamente los daños potenciales.

Ver tabla 4.X., que resume el tipo de acciones preventivas para esta parte de la cuenca Norte y grado de urgencia de las mismas.

ACCIONES	RANGO DE URGENCIA		
	MÁXIMA	MEDIA	MÍNIMA
Embalses de laminación	7	7	3
Corrección y regulación de cauces	21	23	27
Protección de cauces	13	18	20
Encauzamientos	7	12	9
Cauxes de emergencia y trasvases	2	-	1
Obras de drenaje	7	9	8
Conservación de suelos y reforestación	5	9	4
Zonificación y regulaciones legales	10	14	15
Implantación de un sistema de seguros	10	12	15
Instalación de sistemas de alarma y previsión	10	12	15
Gestión integrada del sistema hidráulico	10	8	7

**Tabla 4.X.** Cuadro resumen de acciones preventivas contra las inundaciones en el área del Plan Hidrológico de la cuenca Norte. Modificado del M.O.P.U., 1988.



## INUNDACIONES

### CAPÍTULO 4.4 CUENCA DEL DUERO

#### 1. ÁMBITO TERRITORIAL

El río Duero es el principal río de la submeseta castellanoleonesa, y drena la mayor cuenca de la Península, con 97.290 km<sup>2</sup>, de extensión de los cuales 78.954 corresponden a territorio español y 18.336 a territorio portugués. Las provincias españolas que ocupa, así como la distribución de su extensión, figura en el cuadro siguiente:

PROVINCIA	EXT. TOTAL (km <sup>2</sup> )	PARTICIPACIÓN EN CUENCA	PARTICIPACIÓN EN CUENCA (%)
Valladolid	8.202	100%	10,39
Palencia	8.029	99,59	10,13
Segovia	6.949	98,83	8,70
Zamora	10.559	98,06	13,11
Salamanca	12.336	89,53	13,99
León	15.468	74,92	14,68
Soria	10.287	72,44	9,44
Ávila	8.048	66,94	6,82
Burgos	14.269	61,22	11,06
Orense	7.287	15,45	1,43
TOTAL	101.434	-	100

Tabla 4.XI. Distribución territorial de provincias en la cuenca del Duero.

Extractado de M.O.P.U., 1988.

#### 2. CLIMATOLOGÍA

Los factores condicionantes del clima en esta región, son su **morfología** y **topografía**. El clima predominante en toda la cuenca, es el **mediterráneo templado fresco**, aunque también hay extensas zonas dominadas por el **mediterráneo semiárido**

**continental.** La parte más central de la cuenca, es la más árida, mientras que el norte, suroeste y oeste son más húmedos. Cerca de las montañas que bordean la vertiente norte de la cuenca, se alcanzan los niveles de temperaturas y precipitaciones que corresponden al clima pirenaico húmedo.

La cuenca del Duero está rodeada de montañas y mantiene una elevada altitud media, hechos que influyen en los bajos índices de temperaturas, en la escasez de precipitaciones y en el carácter extremo del clima. Al estar rodeada de montañas, se acentúan las temperaturas frías del invierno y la aridez del verano.

## 2.1 Pluviometría

Las precipitaciones en la cuenca del Duero se pueden calificar de **deficitarias** si se atienden las necesidades del medio ambiente, **irregulares** si se refiere a la cantidad anual y **desiguales** en cuanto a la distribución espacial.

Precipitación media anual .....	615 mm
Precipitación año más húmedo.....	350 mm
Precipitación año más seco.....	350 mm

Las áreas con menores índices de precipitación son: las proximidades del río Duero, área de Toro y en las cuencas de los ríos Trabancos y Zapardiel. Los índices más elevados se localizan en las cabeceras de los ríos Tera, Esla, Porma y Carrión.

## 2.2 Termometría

Durante el **invierno**, la cuenca del Duero está afectada por la circulación anticiclónica oceánica y continental, lo que origina un largo período de frío intenso y un mínimo secundario de precipitaciones. Los inviernos son de gran duración (6 - 7 meses en León) y la temperatura media es inferior a los 10°C. En el mes de enero, las temperaturas medias son siempre inferiores a 4°C, siendo las mínimas medias por debajo de los -10°C. Las mínimas absolutas pueden llegar a los -14°C. Las heladas son frecuentes desde octubre hasta mayo, aunque pueden presentarse dentro del invierno, episodios fugaces de tiempo soleado y alta temperatura (máximos de 23°-28°C). Generalmente, las descargas polares mantienen la sensación de invierno durante muchos meses.

El otoño es prácticamente inexistente, ya que después del verano, se da paso a un período de Sol tenue junto con días borrascosos.

El verano es corto y fresco. Realmente, dura los meses de julio y agosto, registrándose temperaturas medias superiores a 20ºC en la parte central baja de la cuenca, y siempre inferiores a esta temperatura en las zonas montañosas. Las diferencias de temperatura entre el día y la noche, pueden ser de entre 15º y 20ºC.

### 3. HIDROGRAFÍA

La cuenca del Duero tiene forma de rombo con la diagonal mayor orientada aproximadamente en dirección ENE-OSO. Está limitada al norte por la cordillera Cantábrica, por el nordeste por el Sistema Ibérico, al sureste y sur por el Sistema Central y al oeste sólo está limitada por las montañas Leónidas, quedando abierta hacia el Atlántico. El Duero nace en los Picos de Urbión, a 2.080 metros de altitud.

Constituye una zona llana y elevada, pues el 66,5% de la superficie está a una altura entre 600 y 1.000 metros, mientras que el 31,4% tiene una altitud entre 1.000 y 2.000 metros. Las áreas situadas a alturas inferiores a 600 metros, corresponden a depresiones tectónicas o erosionadas.

El Duero y sus afluentes se han adaptado a la morfología del terreno por el que discurren. Así, los afluentes, por su margen, derecha llevan dirección SO como consecuencia de la inclinación global de la cuenca hacia el oeste y son más largos y caudalosos que los de la orilla izquierda, por recibir las lluvias de la Cantábrica. Destacan el Pisuerga y el Esla. Los tributarios de la orilla izquierda llevan trayectorias inclinadas en dirección NO. Tan sólo destaca el Tormes.

### 4. AVENIDAS E INUNDACIONES

#### 4.1. Precipitaciones extremas

El estudio del mapa de precipitaciones máximas diarias para la cuenca del Duero, permite deducir las consecuencias siguientes para ésta:

- \* No existen áreas registradas con precipitaciones máximas diarias superiores a los 200 mm.
- \* Hay dos zonas principales con precipitaciones máximas diarias entre 100 y 150 mm. Una que sigue la divisoria norte de la cuenca situada sobre el sur de la cordillera Cantábrica (cabecera de los ríos Parma,

Esla, Valderaduey y Carrión) y Montes Leónidas (cabecera de los ríos Valparaíso, Eria, Tuerto y Órbigo). Y en el sur, sobre el Sistema Central (cabeceras de los ríos Agueda, Huebra, Villagonzalo, Adaja y Trabancos). Existe un pequeño islote en la cabecera del río Duero, cerca del embalse de la Cuerda del Pozo.

- \* La isomáxima de 50 mm se sitúa sobre Aranda del Duero y el río Duratón.

#### 4.2. Máximas Avenidas Probables Naturales

Para el cálculo de máximas avenidas en la cuenca del Duero, se cuenta con el «Estudio de inundaciones históricas. Mapa de riesgos potenciales en la cuenca del Duero», realizado por la Dirección General de Obras Hidráulicas en 1985, que incluye una evaluación de los caudales de avenida para períodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años, (ver tabla 4. XII).

TRAMOS	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)			
	10	50	100	500
Duero hasta Rituerto	852	1.064	1.242	1.561
Rituerto	500	634	753	1.031
Duero entre Rituerto y Ueero	1.765	2.139	2.407	2.995
Ueero	601	777	912	1.140
Duero entre Ueero y Riaza	2.399	3.021	3.287	3.998
Riaza	617	779	912	1.140
Duero entre Riaza y Duratón	2.613	3.449	3.763	4.599
Duratón	740	957	1.117	1.334
Duero entre Duratón y Cega	2.092	3.628	4.112	4.837
Cega hasta Pirón	605	782	915	1.145
Pirón	585	760	900	1.130
Cega entre Pirón y Duero	1.087	1.314	1.516	1.870
Duero incluyendo Cega	3.240	4.320	4.938	5.709
Duero entre Cega y Pisuerga	3.260	4.340	4.959	5.729
Pisuerga hasta Valdavia	879	1.054	1.230	1.581
Valdavia	620	800	930	1.160
Pisuerga entre Valdavia y Odra	1.206	1.587	1.809	2.189
Odra	504	638	757	1.035
Pisuerga entre Odra y Arlanza	1.488	1.913	2.126	2.551
Arlanza hasta Arlanzón	1.075	1.302	1.504	1.860
Arlanzón	1.064	1.383	1.595	1.888

Arlanza entre Arlanzón y Pisuerga	1.780	2.170	2.430	3.020
Pisuerga con Arlanza	2.600	3.178	3.563	3.334
Pisuerga entre Arlanza y Carrión	2.606	3.250	3.660	4.450
Carrión hasta Ucieza	780	990	1.140	1.370
Ucieza	452	583	655	917
Carrión entre Ucieza y Valdeginate	999	1.272	1.431	1.771
Valdeginate	566	717	850	1.086
Carrión entre Valdeginate y Pisuerga	1.295	1.635	1.874	2.317
Pisuerga incluyendo Carrión	3.241	4.052	4.591	5.042
Pisuerga entre Carrión y Esgueva	3.367	4.246	4.685	5.563
Esgueva	599	749	898	1.098
Pisuerga entre Esgueva y Duero	3.482	4.432	5.065	5.856
Duero incluyendo Pisuerga	5.475	6.570	7.196	8.064
Duero entre Pisuerga y Adaja	5.481	6.578	7.203	8.612
Adaja hasta Eresma	960	1.240	1.402	1.743
Eresma hacia Voltaya	773	1.016	1.167	1.410
Voltaya	630	820	940	1.710
Eresma entre Voltaya y Adaja	1.187	1.484	1.721	2.078
Eresma (completo)	1.680	2.068	2.378	2.946
Adaja entre Eresma y Duero	1.730	2.100	2.490	2.975
Duero (incluyendo Adaja)	6.217	7.313	8.045	9.162
Duero entre Adaja y Zapardiel	6.278	7.386	8.124	9.232
Zapardiel	760	970	1.120	1.350
Duero entre Zapardiel y Bajoz	6.338	7.922	8.517	9.903
Bajoz	540	820	950	1.180
Duero entre Bajoz y Guareña	6.530	8.000	8.700	10.100
Guareña	620	790	920	1.150
Duero entre Guareña y Valderaduey	6.812	8.090	8.941	10.645
Valderaduey hasta Sequillo	734	951	1.087	1.359
Sequillo	770	980	1.130	1.360
Valderaduey entre Sequillo y Duero	1.316	1.672	1.886	2.348
Duero incluyendo Valderaduey	7.328	8.766	9.227	11.073
Duero entre Valderaduey y Esla	7.420	8.790	9.260	11.100
Esla hasta Porma	754	971	1.107	1.379
Porma	652	812	949	1.200
Esla entre Porma y Bernesga	1.100	1.330	1.530	1.885
Bernesga	672	832	969	1.220
Esla entre Bernesga y Cea	1.621	2.026	2.336	2.813

Cea	899	1.178	1.358	1.598
Esla entre Cea y Órbigo	2.037	2.547	2.852	3.396
Luna	465	600	720	1.000
Omañas	377	506	619	774
Órbigo hasta Tuerto	851	1.063	1.240	1.560
Tuerto	750	965	1.104	1.375
Órbigo entre Tuerto y Eria	1.489	1.914	2.127	2.553
Eria	454	585	658	920
Órbigo entre Eria y Esla	1.663	2.066	2.369	2.923
Órbigo (completo)	1.663	2.066	2.369	2.923
Esla entre Órbigo y Tera	2.976	3.572	4.167	4.762
Tera	1.036	1.290	1.470	1.832
Esla entre Tera y Aliste	3.140	4.210	4.830	5.600
Aliste	450	581	654	916
Esla entre Aliste y Duero	3.538	4.423	4.825	5.790
Duero incluyendo Esla	8.825	11.031	11.346	13.237
Duero entre Esla y Tormes	8.897	11.122	11.440	13.346
Tormes hasta Almar	1.130	1.412	1.694	1.977
Almar	640	808	965	1.234
Tormes entre Almar y Valmuza	1.700	2.070	2.460	2.945
Valmuza	465	600	720	1.000
Tormes entre Valmuza y Duero	2032	2.613	2.903	3.629
Duero incluyendo Tormes	9.206	11.839	12.547	14.063
Duero entre Tormes y Huebra	9.823	11.973	12.762	14.340
Huebra hasta Yeltes	720	951	1.088	1.359
Yeltes	579	729	878	1.078
Huebra entre Yeltes y Duero	1.145	1.430	1.710	1.990
Duero entre Huebra y Agueda	10.000	12.318	13.065	14.782
Agueda	1.035	1.289	1.469	1.831
Duero hasta Portugal	10.070	12.031	13.256	15.028

Tabla 4. XII. Tabla de caudales punta en la cuenca del río Duero. Tomado de M.O.P.U., 1988.

#### 4.3. Inundaciones históricas

Hay 297 referencias sobre inundaciones ocurridas en algún punto de la cuenca del Duero desde el año 181 a.C.. A lo largo de estos 500 años de período de observación, han variado mucho las condiciones.

El estudio de las referencias de las inundaciones, permite llegar a las siguientes conclusiones:

- \* En el pasado, debido a la carencia de **vías de comunicación** y a la baja densidad de población, era imposible avisar a los habitantes de la cuencas bajas de la llegada de la avenida desde las cabeceras de los ríos. Como consecuencia de este hecho, no existen descripciones de los efectos de las avenidas en las partes altas de los cauces.
- \* Gran parte de las referencias proporcionan información sobre las inundaciones de **Zamora** (afectada por las avenidas del río Duero y de varios afluentes), de **Valladolid** (sujeta a la acción del Pisuerga y del Esgueva) y de **Salamanca**. El no quedar constancia escrita, no implica que no se produjeran inundaciones en otras áreas.
- \* Ya que el mecanismo de **laminación** de avenidas por medio de embalses no ha sido bien conocido hasta hace pocos años, los métodos constructivos utilizados han sido los encauzamientos, los trasvases, los diques longitudinales y las obras de defensa puntuales.
- \* Uno de los efectos más importantes de las avenidas, era la destrucción de los **azudes de derivación**, lo que acarreaba los costes de reconstrucción y la paralización de las actividades agrícolas e industriales.
- \* A medida que ha ido pasando el tiempo, y las vías de comunicación se han multiplicado interfiriendo con las vías naturales de evacuación, el número de eventos de tipo catastrófico relacionados con las inundaciones, ha ido aumentando.

## 5. ZONAS POTENCIALMENTE INUNDABLES

Las causas generales que pueden provocar las inundaciones pueden ser:

- \* Avenidas
- \* Temporales ciclónicos
- \* Obstrucciones en el cauce
- \* Efectos de los embalses
- \* Insuficiencia de drenaje

En este ámbito territorial, las causas más frecuentes han sido las avenidas generadas por fuertes tormentas descargadas en la cabecera de los ríos, o por deshielos rápidos o prematuros. También hay un registro de una inundación por la rotura de una gran presa.

En resumen, si se tiene en cuenta el tipo de causas que suelen provocar las inundaciones, es muy posible que las zonas tradicionalmente amenazadas sigan sufriendo sus efectos. Lo que variará será la cuantía de los daños, incrementando o disminuyendo en función de las infraestructuras que se hayan construido.

Las fuentes de datos utilizadas para detectar las áreas de riesgo potencial fueron:

- \* Zonas con inundaciones históricas
- \* Inventario de puntos conflictivos (72 repartidos en este ámbito)
- \* Zonas situadas aguas abajo de los embalses en explotación

En la tabla 4. XIII., figuran las zonas de riesgo potencial de inundaciones en la cuenca del Duero, así como la clasificación de niveles de riesgo, según M.O.P.U., 1988.

## 6. ACCIONES PREVENTIVAS Y DE REDUCCIÓN DE DAÑOS

Las dos zonas más castigadas por las avenidas a lo largo de los 500 años analizados en el estudio, son:

- El río Pisuerga entre la desembocadura del río Esqueva y el río Duero
- El río Tormes en Salamanca

Existen además, 83 zonas con referencias históricas de inundaciones que produjeron daños en vías de comunicación, áreas agropecuarias y viviendas. El resto de zonas catalogadas incluyen aquéllas que han sido afectadas alguna vez por inundaciones o se encuentran situadas aguas abajo de grandes embalses.

Las principales conclusiones que se deducen respecto a la prevención y reducción de daños para la cuenca del Duero, son:

- \* En líneas generales; la regulación de la cuenca del río Duero es aceptable como resultado de las acciones ya realizadas (embalses, encauzamientos y defensas), pero con los embalses previstos por la Confederación Hidrográfica del Duero para un futuro próximo, es seguro que la laminación mejorará sensiblemente.
- \* En las vegas y zonas llanas de la Meseta, es necesario estudiar métodos de desagüe además de mantener limpios los cauces, evitando la disminución de capacidad de evacuación de las aguas en caso de inundación.

- \* Hay que dedicar atención a los cruces entre las vías de comunicación y las vías naturales de evacuación de las aguas.
- \* Al igual que en otras cuencas, surgen problemas causados por los depósitos sedimentados en las confluencias de afluentes sobre el río principal, ya que se producen sobreelevaciones del nivel de las aguas («barras» y «abanicos») y disminuye la capacidad de transporte del río principal.
- \* Existen zonas en la sierra, sometidas a la acción erosiva de forma especialmente intensa.
- \* Es urgente el estudio y definición de la **normativa legal** que permita zonificar con detalle las zonas inundables, y valorar objetivamente los daños potenciales.

## 7. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS INUNDACIONES EN LA CUENCA DE DUERO

A partir de los registros de inundaciones en la en la cuenca del Duero que figuran en el Catálogo Nacional de Riesgos Geológicos (I.T.G.E. 1988), se pueden deducir las siguientes características generales de las inundaciones en la cuenca del Duero:

CAUSAS	Lluvias intensas ± deshielo
DURACIÓN MEDIA	3 días. Máximo registrado 20 días (feb. 60)
SU. AFECTADA MEDIA	300 km <sup>2</sup> . Máximo registrado 900 km <sup>2</sup> (dic 61 - en 62)
PÉRDIDAS ECO. MÁXIMAS	3.400 Millones de ptas (dic 61 - en 62)
DAÑOS MATERIALES	Carreteras, cultivos, viviendas
PERÍODO RECURRENCIA	5-8-10 años. Máximo 25 años (mar 43,mar 56,dic 61,ag 81,feb 85)
PERÍODO OBSERVACION	1941 - 1985

TRAMOS	RANGO DE PRIORIDAD
Río Duero en Salduero	Menor
Aguas abajo del Embalse de la Cuerda del Pozo	Menor
Río Duero en Garay	Menor
Río Duero en Soria	Intermedio
Aguas abajo del Embalse de Los Rábanos	Menor
Río Duero en Almanzán	Intermedio
Río Duero en S. Esteban de Gormaz	Menor
Río Duero en Aranda de Duero	Intermedio
Río Duero en Peñafiel	Intermedio
Río Duero en Tudela de Duero, hasta su confluencia con el río Pisuerga	Intermedio
Río Duero, entre las confluencias de los ríos Pisuerga y Esla	Intermedio
Río Duero, aguas abajo de la desembocadura del río Esla	Intermedio
Río Ucero	Menor
Río Pildes	Menor
Río Bañuelos	Menor
Río Aguisejo	Menor
Río de la Nava	Menor
Río Riaza, aguas abajo del Embalse de Linares del Arroyo	Menor
Río Riaza, aguas abajo del Embalse de Burgomillodo	Menor
Río Duratón, aguas abajo del Embalse de Burgomillodo	Menor
Río Duratón aguas abajo del Embalse de Las Vencias.	Menor
Ambas márgenes del río Duratón	Intermedio
Río Pisuerga, aguas abajo de los Embalses de Requejada y Aguilar de Campoo	Menor
Río Pisuerga, entre los Embalses de Requejada y Aguilar de Campoo	Intermedio
Río Pisuerga, entre Aguilar de Campoo y su confluencia con el río Arlanzón	Intermedio
Río Pisuerga entre las confluencias de los ríos Arlanza y Esgueva.	Intermedio
Río Pisuerga entre la desembocadura del río Esgueva y el río Duero	Máximo

Río Rubagón	Menor
Río Abánades	Menor
Río Vallarna	Menor
Río Arlanzón, aguas abajo del Embalse de Arlanzón	Menor
Río Alarzón en Burgos	Menor
Río Alarzón, entre Burgos y su desembocadura en el río Pisuerga	Intermedio
Río Arlanza	Menor
Arroyo del Prado	Menor
Ambas márgenes del río Carrión	Intermedio
Río Cuezar	Menor
Ambas márgenes del río Carrión	Intermedio
Río Valdeginate	Intermedio
Río Retortillo	Menor
Arroyo de los Madrazos	Menor
Río Esgueva	Intermedio
Río Adaja	Intermedio
Río Arebalillo	Menor
Río Eresina hasta su confluencia con el río Adaja	Intermedio
Río Zapardiel, aguas arriba de Medina del Campo	Menor
Río Zapardiel en Medina del Campo	Menor
Nava del Rey	Menor
Río Trabancos	Intermedio
Río Hornija	Menor
Río Guareña	Menor
Ambas márgenes del río Vaderaduey	Intermedio
Ambas márgenes del río Sequillo	Intermedio
Río Esla hasta su confluencia con el río Bernesga	Intermedio
Río Esla, entre las confluencias de los ríos Bernesga y Órbigo	Intermedio
Río Esla, entre la confluencia con el río Órbigo y el Embalse de Ricoballos	Intermedio
Río Esla, aguas abajo del Embalse de Ricoballos	Menor
Río Porma, aguas abajo del Embalse del Porma	Menor
Río Porma y Cucureño, aguas abajo de Boñar	Menor

Río Bernesga, aguas arriba de León	Intermedio
Río Bernesga en León	Intermedio
Río Cea	Intermedio
Aguas abajo del Embalse de Barrios de Luna	Menor
Río Órbigo entre la confluencia del río Omañas y Hospital de Órbigo	Intermedio
Río Órbigo, entre hospital de Órbigo y la desembocadura del río Esla	Intermedio
Aguas abajo del Embalse de Villanueva hasta su confluencia con el río Brañuelas	Menor
Río Tuerto entre la confluencia del río Brañuelas y el río Órbigo	Menor
Río Eria	Menor
Río Tera, aguas arriba del Lago de Sanabria	Menor
Río Tera, aguas abajo del Lago de Sanabria	Menor
Río Aliste	Menor
Río Tormes, aguas arriba del Embalse de Sta. Teresa	Menor
Río Tormes, aguas abajo del Embalse de Sta. Teresa	Menor
Río Tormes en Salamanca	Menor
Río Tormes, entre Salamanca y el Embalse de Almendra	Menor
Río Tormes, aguas bajo del Embalse de Almendra	Menor
Río Almar y afluentes	Menor
Arroyo de La Encina	Menor
Arroyo Cañedo	Menor
Ríos Yeltes y Huebra	Menor
Río Agueda, aguas arriba de Ciudad Rodrigo	Menor
Río Agueda, en Ciudad Rodrigo	Menor
Río Agueda, aguas abajo de Ciudad Rodrigo	Menor

**Tabla 4. XIII.** Zonas de riesgo potencial de inundaciones en la cuenca del Duero y clasificación de niveles de riesgo. Tomado de M.O.P.U., 1988.

# INUNDACIONES

## CAPÍTULO 4.5 CUENCA DEL TAJO

### 1. ÁMBITO TERRITORIAL

El ámbito territorial del Plan Hidrológico del Tajo se extiende por cinco Comunidades Autónomas (Extremadura, Madrid, Castilla-León, Aragón y Castilla-La Mancha), y afecta a once provincias (Badajoz, Cáceres, Salamanca, Ávila, Soria, Teruel, Cuenca, Guadalajara, Toledo y Ciudad Real). Además, cuatro capitales provinciales se sitúan dentro de la cuenca: Madrid, Toledo, Guadalajara y Cáceres. En conjunto, representa una extensión del territorio español de 55.645 km<sup>2</sup>. Las provincias y comunidades españolas que ocupa, así como la distribución de su extensión, figura en la tabla 4. XIV.

COMUNIDAD	% Extensión en cuenca	Participación en cuenca (%)	POBLACIÓN
Madrid	14,4%	100%	80%
Cast. Mancha	48%	>30%	<10%
Cast. León	7,2%	<8%	
Aragón	0,4%	<8%	
Extremadura	30,1%	>30	<10%
TOTAL	100%		

Tabla 4. XIV. Distribución territorial de provincias y comunidades en la cuenca del Tajo.  
Extractado de M.O.P.U., 1988.

### 2. CLIMATOLOGÍA

La situación del Tajo en el centro de la Península y las diferencias topográficas en su interior, son los factores fundamentales que determinan su clima. En general, los veranos son secos y calurosos en toda la cuenca, por el efecto del anticiclón de las Azores. Los inviernos son muy fríos porque predomina la circulación de masas continentales y oceánicas muy frías.

## 2.1 Pluviometría

La cuenca del Tajo tiene una pluviometría media anual de 642 mm, con 909 mm en el año más húmedo registrado (1955-1956), y 369 mm en el año más seco (1944-1945). Los valores medios anuales más altos se localizan en los bordes montañosos occidentales (Sierra de Gredos, con valores medios superiores a 1.700 mm y la Sierra de la Peña de Francia, con más de 1.500 mm anuales). Estos índices se reflejan en el régimen hidrológico de los ríos Tiétar, Alagón y Guadiela. Los ríos que registran valores medios son el Alberche y el Tajo. La zona de mínima precipitación de la cuenca, se localiza a ambos márgenes del Tajo, en la confluencia del Tajo con el Jarama y el Guadarrama. Los índices de precipitación media anual, se sitúan entre 400 y 500 mm y afectan a los ríos Almonte, Jarama, Salor y Guadarrama. En general, en las áreas más pobladas, es donde se registran los mínimos valores de precipitación anual y, en consecuencia, de recursos hídricos. A continuación, se adjuntan cuadros de distribución de la pluviometría en las distintas zonas y subzonas de la cuenca (ver tabla 4.XV).

RÍO	NOMBRE	SUPERFICIE (km <sup>2</sup> )	PLUVIOMETRÍA (mm)
TAJO GALLO	ANTES DEL GALLO EN DESEMBOCADURA	898 1.324	734 558
TAJO GUADIOLA	TRILLO	1.031	673
ESCAVAS	ANTES DEL ESCABAS EN DESEMBOCADURA	734 800	764 694
TAJO	ENTREPEÑAS Y BUENDÍA	2.383	532
<b>TOTAL: (TAJO) MEDIA PONDERADA</b>	<b>ENTREPEÑAS Y BUENDÍA</b>	<b>7.171</b>	<b>624</b>
TAJO TAJO TAJO TAJO	EMBALSE DE ESTREMERA ANTES ACEQUIA DE TAJO ANTES DEL JARAMA CON GUALÉN	179 1.031 459 1.087	509 508 452 404
<b>TOTAL: MEDIA PONDERADA</b>		<b>3.256</b>	<b>466</b>
TAJUÑA TAJUÑA TAJUÑA TAJUÑA	EMBALSE DE LA TAJERA CON UNGRÍA ORUSCO EN DESEMBOCADURA	572 838 619 572	612 548 485 438
<b>TOTAL: TAJUÑA MEDIA PONDERADA</b>	<b>EN DESEMBOCADURA</b>	<b>2.601</b>	<b>523</b>
HENARES CAÑAMARES BORNOVA SORBE HENARES HENARES	BUJALARO PALAMCES EMBALSE DE ALCORLO BELEÑA HUMANES EN DESEMBOCADURA	1.036 275 363 519 404 1.547	523 539 638 801 501 472
<b>TOTAL: (HENARES) MEDIA PONDERADA</b>	<b>EN DESEMBOCADURA</b>	<b>4.144</b>	<b>548</b>

JARAMA LOZOYA GUADALIX MANZANARES JARAMA	EL VADO EMBALSE DEL ATAZAR EL VELLÓN SANTILLANA (M. EL REAL) CON MANZANARES	426 923 210 244 2.763	772 679 679 785 512
<b>TOTAL: MEDIA PONDERADA</b>		<b>4.566</b>	<b>592</b>
GUADARRAMA AULENCIA GUADARRAMA GUADARRAMA	VILLALBA EMBALSE DE VALMAYOR AL SALIR DE MADRID EN DESEMBOCADURA	234 105 637 727	632 700 466 395
<b>TOTAL: (GUADARRAMA) MEDIA PONDERADA</b>	<b>EN DESEMBOCADURA</b>	<b>1.703</b>	<b>473</b>
ALBERCHE COFIO ALBERCHE PERALES ALBERCHE ALBERCHE	PUENTE NUEVO EN DESEMBOCADURA LAS PICADAS EN DESEMBOCADURA EN COLA CAZALEGAS EN BAJO ALBERCHE	1.055 638 315 532 751 702	950 657 615 503 525 524
<b>TOTAL: (ALBERCHE) MEDIA PONDERADA</b>	<b>EN BAJO ALBERCHE</b>	<b>3.993</b>	<b>662</b>
MARTÍN - ROMÁN ALGODOR GUADALETE GIAJARAZ TAJO TORCÓN CEDERA PUSA SANGRERAS GÉBALO TAJO TAJO	EN DESEMBOCADURA EN CABECERA EN DESEMBOCADURA PRESA DE GIAJARAZ EMBALSE DE CASTREJÓN EMBALSE EL TORCÓN EN DESEMBOCADURA EN DESEMBOCADURA PUEBLANUEVA EN DESEMBOCADURA ANTES DEL GÉBALO EMBALSE DE AZUTÁN	1.315 1.166 259 375 929 205 340 424 258 385 1.455 524	455 406 382 414 396 715 496 546 589 613 477 610
<b>TOTAL: MEDIA PONDERADA</b>		<b>7.635</b>	<b>477</b>
TIÉTAR TIÉTAR TIÉTAR TIÉTAR	ARENAS DE SAN PEDRO EMBALSE DE ROSARITO CON ARROYO ALCARIZO EN DESEMBOCADURA	730 1.024 1.887 866	967 1.093 957 910
<b>TOTAL: (TIÉTAR) MEDIA PONDERADA</b>	<b>EN DESEMBOCADURA</b>	<b>4.507</b>	<b>981</b>
ALAGÓN ALAGÓN ALAGÓN JERTE ALAGÓN	ANTES DEL BATUECAS EMB. DE GABRIEL Y GALÁN EMBALSE DE VALDEOBISPO JERTE ANTES PLASENCIA CORIA	1.121 727 602 419 1.146	1.051 1.093 958 1.315 702
<b>TOTAL: (ALAGÓN) MEDIA PONDERADA</b>	<b>CORIA</b>	<b>4.015</b>	<b>973</b>
ARRAGO ARRAGO	EMBALSE DE BORBOLLÓN EN DESEMBOCADURA	329 693	973 921
<b>TOTAL: (ARRAGO) MEDIA PONDERADA</b>	<b>EN DESEMBOCADURA</b>	<b>1.022</b>	<b>938</b>

IBOR	EN DESEMBOLCADURA	279	857
TAJO	EMBALSE DE VALDECAÑAS	1.192	633
TAJO	TORREJÓN	554	712
TAJO	ANTES DEL ALMONTE	912	663
ALMONTE	EN DESEMBOLCADURA	634	543
ALAGÓN	EN DESEMBOLCADURA	348	630
TAJO	ALCÁNTARA	927	591
TAJO	CON EL ERJAS	716	834
<b>TOTAL:</b>		<b>5.563</b>	
<b>MEDIA PONDERADA</b>			<b>665</b>
ALMONTE	ANTES DEL TOZO	881	734
TOZO	EN DESEMBOLCADURA	430	610
TAMUJA	EN DESEMBOLCADURA	1.030	579
GUADILLOBA	PRESA DE CÁCERES	135	540
<b>TOTAL:</b>		<b>2.476</b>	
<b>MEDIA PONDERADA</b>			<b>638</b>
SALOR	EN EMBALSE DEL SALOR	191	612
SALOR	ANTES DEL AYUELA	262	489
AYUELA	AYUELA	252	612
SALOR	CON RAMBLA DE ARAYA	627	509
SALOR	EN DESEMBOLCADURA	785	515
TAJO	AL ENTRAR EN PORTUGAL	877	532
<b>TOTAL:</b>		<b>2.993</b>	
<b>MEDIA PONDERADA</b>			<b>531</b>
<b>TOTAL CUENCA DEL TAJO</b>			
<b>TOTAL: (TAJO)</b>	<b>CUENCA TOTAL</b>	<b>55.645</b>	
<b>MEDIA PONDERADA</b>			<b>642</b>

Tabla XV. Superficie y pluviometría de zonas y subzonas del río Tajo. Tomado de M.O.P.U., 1988.

## 2.2 Termometría

Las diferencias de temperaturas que se registran en la cuenca del Tajo, se deben principalmente a las diferencias de altura. Así la Sierra de Guadarrama y Sierra de Gredos tienen valores medios mínimos anuales entre 8º y 10ºC, descendiendo en enero hasta cerca de 0ºC, mientras que en julio alcanzan los 17ºC de media.

En la depresión del Tajo, las temperaturas medias oscilan entre los 13ºC de la zona este, y los 18ºC de la oeste. A la sombra de las sierras, se dan las condiciones climáticas adecuadas para el desarrollo de microclimas de gran pluviosidad, como el valle del Jerte y del Tiétar.

Las horas de insolación anuales varían entre las 2.800 en la depresión del Tajo, y 2.200 en las áreas de las sierras.

## 2.3 Nivalidad

La superficie afectada por precipitaciones en forma de nieve anualmente, se ha evaluado en 650 km<sup>2</sup>, aproximadamente el 1,2% de la cuenca.

## 2.4 Sequías

La pluviometría media del año más seco es de 369 mm, con 300-400 mm. en la depresión del Tajo, y 900 en la Sierra de Gredos.

# 3. HIDROGRAFÍA

La cuenca del Tajo pertenece a la serie de cuencas de la Meseta que, al sur de la cordillera Cantábrica, definen un drenaje general hacia el Atlántico como consecuencia del basculamiento del núcleo central de la Península hacia el oeste. Se organiza según una superficie alargada que se orienta de este a oeste, y está limitada por unas barreras naturales bien definidas que corresponden a: la cordillera Central al norte, la Ibérica al este y los Montes de Toledo al sur. El Tajo nace en los Montes Universales (Teruel), cerca de las cabeceras de los ríos Cabriel, Júcar y Guadalaviar.

El río Tajo circula más cerca del borde sur de la cuenca, por lo que los afluentes de la margen derecha están mucho más desarrollados y recogen las aguas del Sistema Central y la Bética. Los afluentes de la margen izquierda que nacen en los Montes de Toledo, son cortos y de caudal escaso. La excepción es el Guadiela, que nace en la Serranía de Cuenca.

# 4. AVENIDAS E INUNDACIONES

## 4.1. Precipitaciones extremas

A partir de la actualización del mapa de las curvas de lluvias máximas en un día, elaborado por el Instituto Nacional de Meteorología en 1983, se pueden deducir las consecuencias siguientes para la cuenca del Tajo:

- \* Las zonas de precipitaciones superiores a 200 mm, se localizan en las mayores alturas del Sistema Central (cabecera río Alagón, sus afluentes de la margen derecha y el Tiétar).
- \* Las isomáximas de 150 mm y 200 mm, se sitúan adyacentes a las anteriores, descendiendo en altitud hasta la cabecera del río Arrago, abarcando la cuenca media del Jerte hasta la cuenca alta del Alberche.

También se incluye la cabecera del río Almonte y una zona situada entre las cabeceras de los ríos Sorbe y Henares.

- \* Hay dos zonas con precipitaciones máximas diarias entre 100 y 150 mm. Una de ellas sigue la divisoria norte de la cuenca situada sobre el Sistema Central, y la otra en forma de tres núcleos aislados: margen izquierda del río Salor y su cuenca alta, y a los afluentes del Tajo por su margen izquierda. Por último, en la cabecera del Tajo hay dos zonas aisladas: margen izquierda del Guadiela y cuenca alta del Tajo.
- \* La isomáxima de 50 mm comprende una única zona entre la desembocadura del Jarama y la cuenca baja del Jarama y Algodor.

#### 4.2. Máximas Avenidas Probables Naturales

Hasta la fecha, no se han realizado estudios de máxima avenida probable para la cuenca del Tajo en su total extensión, pero sí hay estudios de máximas avenidas, que permiten construir la tabla de máximos caudales de avenida de los puntos más significativos de riesgo de inundación, según muestra la tabla 4. XVI.

TRAMOS	CAUDALES MÁXIMOS DE AVENIDA (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )		
	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)		
	50	100	500
Río Gallo	82	97	158
Río Tajo hasta Gallo	460	535	725
Río Tajo en Trillo	730	880	1.300
Río Guadiela	325	375	490
Río Escabas	395	480	680
Río Tajo en Aranjuez	120	161	286
Río Henares en Bajides	133	156	212
Río Henares en Bujarelo	240	275	380
Río Cañamares en Castillblanco	104	126	184
Río Badiel	96	123	188
Río Henares en Guadalajara	494	619	937
Río Henares en Alcalá	431	555	856
Río Torote	46	60	92
Río Henares	765	970	1.380

Río Jarama en Las Catellanas	288	382	500
Río Jarama en Titulcia	686	847	1.311
Río Ungría	100	129	192
Río Tapiña en Orusco	220	270	412
Río Jarama en Seseña	738	939	1.430
Arroyo Martín Román	75	107	188
Río Grazalete	60	73	117
Río Guadarrama	555	665	720
Río Cofio	675	795	1.050
Río Alberche en el Vado de San Juan	800	940	1.360
Río Perales	98	122	197
Río Alberche en el Vado de La Granja	675	800	1.100
Río Alberche en Talavera	452	592	931
Río Huso	67	82	115
Río Ibor	126	158	244
Río Tiétar en Arenas de San Pedro	755	900	1.250
Río Tiétar en el embalse de Rosarito	1.050	1.200	1.600
Río Tiétar en Bazagona	1.900	2.250	2.800
Río Almorette en Monroy	650	726	900
Río Tamuña	395	475	695
Río Ambroz	410	448	610
Río Jerte	775	860	1.100
Río Alagón en Coria	745	864	1.151
Rambla de la Gata	350	415	540
Río Salor	627	750	1.060

**Tabla 4. XVI.** Caudales máximos de avenida, para algunos puntos importantes con probabilidad de inundación.  
Tomado del M.O.P.U., 1988.

#### 4.3. Inundaciones históricas

Hay 159 referencias sobre inundaciones ocurridas en algún punto de la cuenca del Tajo desde 1420, pero para homogeneizar el período de observación con otras cuencas, si se toma como año de referencia 1483, existen ciento cincuenta y una (151) referencias para un período de quinientos

años (500). Esto significa que se ha producido como término medio, una inundación cada tres (3) años, aproximadamente.

A lo largo de estos 500 años de período de observación, han variado mucho las condiciones geográficas de la zona. Por una parte, mejorando la situación con embalses y otros tipos de medidas estructurales, pero por otra, agravando el riesgo al ocupar llanuras de inundación. Aun así, el dato de la frecuencia media es una información útil a nivel general de la cuenca.

El estudio de las referencias individuales de cada inundación, permite llegar a las siguientes conclusiones:

- \* Es y ha sido en el pasado, una zona con **baja densidad de población y carente de vías de comunicación**, por lo que los datos sobre las inundaciones se refieren casi exclusivamente a los efectos sobre los asentamientos poblacionales, pero nunca a los efectos en cabecera. Las referencias históricas remiten a inundaciones en Toledo, Aranjuez y Talavera, donde vivían personas que podían reflejar los daños en los escritos de la época.
- \* La zona más castigada ha sido **Aranjuez**, ya que está situada en un llano, propiciando frecuentes desbordamientos. Los embalses construidos con posterioridad, han resuelto prácticamente el problema.
- \* La **carencia de sistemas de drenaje adecuados**, ha prolongado los períodos de anegación de las zonas inundadas, convirtiéndolas en áreas pantanosas, estériles e insalubres.
- \* Las inundaciones de la cuenca del Tajo son provocadas por episodios tormentosos en las cordilleras, y se caracterizan por:
  - . rapidez de generación (flash-floods)
  - . alta velocidad de las aguas
  - . importante arrastre de materiales
- \* Los **embalses de laminación** no han sido utilizados hasta tiempos recientes, ya que el mecanismo de laminación de avenidas no era bien conocido. Además, existen dificultades de construcción de cerradas en los tramos más altos, por las elevadas pendientes. Las medidas estructurales utilizadas han sido los **encauzamientos, diques longitudinales y obras de defensa puntuales**.
- \* Uno de los principales efectos negativos de las inundaciones, era la destrucción de los **azudes de derivación**, ya que paralizaban las actividades agrícolas e industriales al estar destinados al riego y la generación de energía.
- \* Como consecuencia de la multiplicación de las **vías de comunicación**,

han surgido las pérdidas derivadas de las inundaciones al destruir puentes e infraestructura de comunicaciones. No sólo queda interrumpido el servicio, sino que también hay que reconstruirlo.

## 5. ZONAS POTENCIALMENTE INUNDABLES

Las causas generales que pueden provocar las inundaciones, pueden ser:

- \* Avenidas
- \* Temporales ciclónicos
- \* Obstrucciones en el cauce
- \* Efectos de los embalses
- \* Insuficiencia de drenaje

En este ámbito territorial, las causas más frecuentes han sido las avenidas generadas por fuertes tormentas descargadas en la cabecera de los ríos, o por deshielos rápidos o prematuros.

En resumen, si se tiene en cuenta el tipo de causas que suelen provocar las inundaciones, es muy posible que las zonas tradicionalmente amenazadas sigan sufriendo sus efectos. Lo que variará será la cuantía de los daños, incrementando o disminuyendo en función de las infraestructuras que se hayan construido.

Las fuentes de datos utilizadas para detectar las áreas de riesgo potencial fueron:

- \* Zonas con inundaciones históricas
- \* Inventario de puntos conflictivos (25 repartidos en este ámbito)
- \* Zonas situadas aguas abajo de los embalses en explotación

## 6. ACCIONES PREVENTIVAS Y DE REDUCCIÓN DE DAÑOS

- \* La política de construcción de embalses que se ha llevado a cabo durante los últimos años, ha evitado muchas inundaciones, sobre todo en los puntos que históricamente han sido conflictivos.
- \* La concentración demográfica del área de Madrid, ha obligado a realizar una regulación del suministro de agua de acuerdo con la demanda. Todo ello ha redundado en un beneficio para la previsión de avenidas.
- \* Está recomendado un estudio de los ríos que todavía ocasionan problemas, con el fin de considerar la viabilidad y conveniencia de la construcción de embalses.

- \* También está recomendado un estudio de la confluencia de líneas de desagüe de ríos con las **vías de comunicación**, para definir el tipo de obras de protección necesarias.
- \* Surgen problemas causados por los depósitos sedimentados en las **confluencias** de afluentes sobre el río principal, ya que se producen sobrelevaciones del nivel de las aguas («barras» y «abanicos») y disminuye la capacidad de transporte del río principal.
- \* Es necesario estudiar procedimientos de **desagüe** de las zonas inundables, para evitar los largos períodos de anegación.
- \* Existen zonas de la sierra sometidas a la **acción erosiva**, de forma especialmente intensa.
- \* Es urgente el estudio y definición de la **normativa legal** que permita zonificar con detalle las zonas inundables, y valorar objetivamente los daños potenciales.

Ver tabla 4.XII., que resume el tipo de acciones preventivas para la cuenca del Tajo y grado de urgencia de las mismas.

ACCIONES PREVENTIVAS	RAMO DE URGENCIA		
	MAXIMA	INTERMEDIA	MINIMA
Embalses de laminación	-	-	2
Corrección y regulación de cauces		25	48
Protección de cauces		14	64
Encauzamientos	-	-	2
Cauxes de emergencia y trasvases	-	-	-
Obras de drenaje			4
Conservación de suelos y reforestación		2	24
Zonificación y regulaciones legales			61
Implantación de un sistema de seguros	-	14	74
Instalación de sistemas de alarma y previsión	-	14	73
Gestión integrada del sistema hidráulico	-	7	48

Tabla 4. XVII Cuadro-resumen de acciones preventivas contra las inundaciones en la cuenca del Tajo. Modificado de M.O.P.U., 1988.

7. **PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LAS INUNDACIONES DE LA CUENCA DEL TAJO**

A partir de los registros de inundaciones en la cuenca del Tajo que figuran en el catálogo nacional de riesgos geológicos (I.T.G.E. 1988), se puede deducir las siguientes características generales de las inundaciones en la cuenca del Tajo:

<b>CAUSAS</b>	Fuertes lluvias
<b>DURACIÓN MEDIA</b>	3 días. Máximo 14 días (febrero 79)
<b>SUP. AFFECTADA MEDIA</b>	10 km <sup>2</sup> . Máximo registrado 40 km <sup>2</sup> (sept. 49)
<b>PÉRDIDAS ECO. MÁXIMAS</b>	2000 Millones de ptas (febrero 79)
<b>DAÑOS MATERIALES</b>	Huertas, vías de comunicación, viviendas
<b>PERÍODO RECURRENCIA</b>	5-10-20-25 años. Máximo 100-500 años (feb. 79)
<b>PERÍODO OBSERVACIÓN</b>	1901 - 1979



## INUNDACIONES

### CAPÍTULO 4.6 CUENCA DEL GUADIANA PLAN HIDROLÓGICO I

#### 1. ÁMBITO TERRITORIAL

La extensión geográfica que se recoge en el Plan Hidrológico I de la Cuenca del Guadiana abarca desde su nacimiento hasta su confluencia con el río Múrtigas, exceptuando la parte de la cuenca situada en Portugal. La extensión de esta fracción de la cuenca del Guadiana cuenta con una superficie de 53.040 km<sup>2</sup> distribuidos según la tabla 4. XVIII.

PROVINCIA	SUP. TOTAL (km <sup>2</sup> )	SUPERFICIE EN CUENCA(%)	PARTICIPACIÓN EN CUENCA
Albacete	14.718	13,42	3,72
Cuenca	17.033	28,62	9,19
Ciudad Real	18.734	86,50	30,55
Toledo	15.302	21,11	6,09
Badajoz	21.670	93,61	38,25
Córdoba	13.718	20,16	5,21
Cáceres	19.983	15,36	5,79
Huelva	10.085	6,30	1,20
TOTAL	131.243	-	100

Tabla 4. XVIII. Distribución territorial de provincias en la cuenca del Guadiana. Plan Hidrológico I.  
Extractado de M.O.P.U., 1988.

#### 2. CLIMATOLOGÍA

Los factores climáticos que determinan a grandes rasgos el clima de esta zona, son:

Latitud: el área se sitúa entre los paralelos 37 y 40. El paralelo 65 es la base de partida de las masas de aire polar marino y ártico continental, y el paralelo 30 es la base de las masas de aires subtropical marino y continental sahariano. Por lo tanto, la zona está sometida a la influencia de masas de muy diferente humedad y temperatura.

Continentalidad: las oscilaciones térmicas pueden abarcar los 60°C en términos absolutos.

Proximidad a África: es afectada en menor grado que la vertiente mediterránea.

Insolación: al estar situada en una latitud subtropical y presentar diferencias topográficas poco acusadas, el número de horas de insolación al año es muy elevado. Se estima un valor de evaporación de 90 hm<sup>3</sup>, en la cuenca alta del Guadiana.

Influencia del Atlántico: la cuenca está afectada por la climatología mediterránea y atlántica, pero tiene mayor influencia esta última.

Influencia del anticiclón de las Azores: durante gran parte del año, dirige el clima de la zona y produce una subsidencia dinámica, traducida en baja nubosidad anual.

Gotas frías: la formación de gotas frías al SO de la Península o sobre el área del Estrecho desde octubre a abril, da lugar a una gran inestabilidad vertical con lluvias y tormentas, según la humedad atmosférica. Ocurre especialmente en la parte onubense de la Península.

## 2.1 Pluviometría

La precipitación anual media de la cuenca, se sitúa en los 550 mm/año. Durante el período estival, la carencia de precipitaciones es casi total y se concentran en el período de octubre a abril.

Existe una banda desde la cabecera de la cuenca hasta Badajoz, con isoyetas medias entre 400 y 600 mm/año. Las cabeceras de los afluentes de la margen derecha del Guadiana, se sitúan en un área con precipitaciones medias entre 600 y 800 mm/año. Por último, existe una zona influida por la Sierra de Guadalupe, con precipitaciones superiores a los 800 mm/año. En la tabla 4.XIX, se recogen datos de pluviometrías medias y temperaturas medias de una serie de estaciones representativas de la cuenca.

Estación	T°C	P (mm)
<b>ALBACETE</b>		
Munera	14.2	477
Villarobledo	14.8	453
<b>BADAJOZ</b>		
Aceuchal	16.5	500
Alburquerque	15.5	642
Almendralejo	16.9	419

Badajoz	16.7	474
Berlanga	14.6	543
Cabeza de Vaca	14.8	880
D. Benito	15.8	531
Garbayuela	15.7	742
Herrera del Duque	17.1	746
J. de los Caballeros	16.0	666
Lobón (La Orden)	16.4	450
Mirandilla	16.1	621
Montijo	18.4	523
N. del Guadiana	15.8	575
O. de la Frontera	16.9	771
Olivenza	17.5	585
Orellana	17.0	627
Puerto Peña	16.4	676
S. Feo. de Olivenza	15.8	655
Talaverá la Real	16.4	530
Valdívía	16.0	505
Valuengo	16.3	663
Vegas Altas	16.6	608
V. de la Serena	17.4	474
Zafra	15.4	574
Z. de la Serena	14.2	446
Zarzacapilla	16.61	622
<b>CÁCERES</b>		
Alcuéscar	15.8	668
Cijara	16.0	678
C. de la Sierra	17.3	733
Guadalupe	14.6	783
<b>CIUDAD REAL</b>		
Alc. de San Juan	14.8	412
Almadén	15.9	615
Arenas de S. Juan	14.0	464
Argamasilla de Alba	14.6	445
C. de Calatrava.	14.9	417
C. de Criptana	14.5	398
Ciudad Real	14.4	391
Dañiel	14.0	448

E. de Mudela	13.9	521
Fontanosa	14.5	685
Fuenllana	14.8	539
Ll. del Caudillo	14.6	470
Manzanares	14.2	422
Navalpino	15.3	698
Peñarroya	14.3	358
Puertollano	14.9	478
R. del Bullaque	13.0	622
S. C. del Valle	16.2	491
Sta. C. de Mudela	15.6	508
Socuéllamos	14.3	570
Las Terceras	13.4	496
La Trinidad	14.2	540
V. de los Infantes	13.3	497
<b>CÓRDOBA</b>		
Aldea de la Cuenca	16.1	610
Balalcázar	16.4	453
Pedroche	15.5	487
Pozoblanco	15.6	477
Torrecampo	17.2	558
Villaralto	15.2	503
<b>CUENCA</b>		
Belmonte	13.5	393
Naharros	12.3	632
Palomares del Campo	12.1	538
Las Pedroñas	14.0	440
<b>TOLEDO</b>		
Cabezamesada	14.0	459

**Tabla 4.XIX.** Tabla de estaciones representativas de la cuenca del Guadiana, con datos de temperaturas y precipitaciones medias. Tomado de M.O.P.U., 1988.

## 2.2 Termometría

A partir de los datos de 20 estaciones meteorológicas, se deduce que la temperatura media de la cuenca está entre los 11°C en la cabecera del Cigüela, y los 18,5°C del tramo más bajo de la cuenca del Guadiana, antes de Badajoz.

Los meses en los que se registran las **máximas absolutas**, son julio y agosto y las **mínimas** en diciembre y enero; sin embargo, puede diferenciarse la cabecera de la cuenca, con una media de 70 días de helada al año y la parte baja de la cuenca, con ningún día de helada anual.

### 2.3 Nivalidad

En función del número de días anuales en los que se registran precipitaciones en forma de nieve, se pueden distinguir tres zonas en la cuenca del Guadiana.

La **primera** abarca la cabecera de los ríos de la cuenca alta del Guadiana, donde nieva 3 días al año como media.

La **segunda** abarca la Llanura Manchega y la parte de la cuenca correspondiente a la provincia de Ciudad Real, con una media de 1 a 2 días de precipitaciones en forma de nieve al año.

La **tercera** corresponde a la parte de las provincias de Badajoz, Cáceres y Córdoba de la cuenca del Guadiana, donde no suele nevar durante el año.

La intensidad de las precipitaciones de nieve no es elevada, porque sólo un 16% de la cuenca supera los 800 metros de altitud. Por ello, el caudal de los ríos no es afectado por el deshielo de las nieves.

## 3. HIDROGRAFÍA

El río Guadiana nace realmente en los Ojos del Guadiana, gracias al drenaje del denominado sistema acuífero nº23. Este acuífero abarca unos  $5.500 \text{ km}^2$  y se extiende principalmente, por la provincia de Ciudad Real, aunque también abarca Albacete y Cuenca. Es una llanura de relieves poco acentuados y está formado por dos niveles acuíferos: uno en calizas y margas del Mioceno, y otro en calizas y dolomías del Jurásico y Cretácico. Los recursos de agua subterránea están evaluados en  $340 \text{ hm}^3/\text{año}$ , resultado de la infiltración del agua de lluvia, de las aportaciones de los sistemas acuíferos laterales, de las infiltraciones de los ríos y de los excedentes de riego. Actualmente, el acuífero está sobreexplotado, repercutiendo negativamente en el caudal del Guadiana y la persistencia de las zonas húmedas.

Las diferencias entre los afluentes del Guadiana, vienen dadas por las condiciones **geológicas y topográficas de los terrenos que recorren**. Por una parte, están los ríos influidos por los acuíferos subyacentes, y por otra, los ríos que recorren materiales superficiales impermeables.

Los afluentes que recorren la Llanura Manchega o parte alta de la cuenca, presentan un régimen de caudal importante durante el invierno y la primavera, mientras que en verano desciende significativamente por los riegos. Exhiben grandes superficies inundadas temporal y permanentemente, a lo largo de las márgenes de los ríos gracias a la escasa pendiente de su recorrido, la poca profundidad de sus cauces y los tramos que drenan un acuífero. Este régimen corresponde a los ríos Záncara, Cigüela, Bullaque, tramo bajo del río Azuer, tramos alto y bajo del Jabalón, tramos medio y bajo del Ruecas, Guadajira y Rivilla.

El resto de afluentes drenan áreas de materiales antiguos bastante impermeables, como cuarcitas, pizarras, etc. En el caso de recorrer materiales detríticos, desarrollan pequeños sistemas acuíferos. En este grupo, hay que incluir al Zújar, Matachel, Estena y Gévora, entre otros.

#### 4. AVENIDAS E INUNDACIONES

##### 4.1 Precipitaciones máximas

Se muestra a continuación, un cuadro que muestra para períodos de recurrencia de 50, 100 y 500 años, las precipitaciones medias por día y el caudal producido (tabla 4.XX.):

RÍO	SUPERFICIE (Km <sup>2</sup> )	LONGIT (Km <sup>2</sup> )	PRECIPITACIÓN MEDIA EN 24 H (mm)			CAUDALES (m <sup>3</sup> /s)		
			50 AÑOS	100 AÑOS	500 AÑOS	50 AÑOS	100 AÑOS	500 AÑOS
Cigüela	1.221	137	67	74	93	193	213	268
Guadiana	950	75	46	58	85	101	127	186
Azuer	546	67	50	60	85	97	117	165
Jabalón	2.362	152	78	85	104	459	501	613
Bullaque	2.033	101	88	94	108	702	750	862
Zújar	8.510	209	75	86	110	1.541	1.767	2.260
Guadalmez	1.512	85	80	86	109	550	591	749
Ruecas	1.864	90	86	94	113	604	660	794
Matachel	2.545	124	84	94	114	619	693	840
Lácar	427	54	84	93	113	140	156	189
Ardila	1.836	95	88	98	120	653	727	890
Odiel	2.308	128	111	124	157	889	993	1.257
Tinto	1.675	92	107	129	165	847	1.021	1.306

Tabla 4.XX. Tabla de principales cursos de la cuenca del Guadiana (Plan Hidrológico I) y datos de precipitaciones y caudales. Extractado de M.O.P.U., 1988.

#### 4.2 Inundaciones históricas

Se han catalogado 149 referencias sobre inundaciones ocurridas en algún punto de la cuenca del Guadiana, desde el año 620, de las cuales sólo 3 eran anteriores a 1483, año tomado como referencia en los estudios del M.O.P.U. para las cuencas del Segura, Pirineo oriental y Guadalquivir.

El análisis de esta información permite llegar a las siguientes conclusiones:

- \* Mérida ha sido una de las ciudades más citadas en la información, ya sea por su importancia en la antigüedad, o por su puente romano, que quizás ha contribuido a agravar históricamente los daños por su «efecto presa».
- \* La mayoría de la información se concentra a lo largo del Guadiana y cursos bajos de sus afluentes. Es lógico pensar que las partes altas eran también afectadas, pero había escasa población que dejara constancia de ello.
- \* El desarrollo de las vías de comunicación, ha hecho que existan multitud de cruces con las vías naturales de evacuación. Las consecuencias inmediatas son la rotura de puentes y desmonte de carreteras. No sólo queda interrumpido el servicio, sino que la retención de agua y la repentina evacuación, pueden ocasionar importantes daños.
- \* La construcción de embalses ha contribuido a mejorar sensiblemente, la regulación del Guadiana.

#### 5. ZONAS POTENCIALMENTE INUNDABLES

Las causas generales que pueden provocar las inundaciones, pueden ser:

- \* Avenidas
- \* Temporales ciclónicos
- \* Obstrucciones en el cauce
- \* Efectos de los embalses
- \* Insuficiencia de drenaje

En este ámbito territorial, las causas más frecuentes han sido las avenidas generadas por fuertes tormentas descargadas en la cabecera de los ríos, o por lluvias directas sobre la zona.

En resumen, si se tiene en cuenta el tipo de causas que suelen provocar las inundaciones, es muy posible que las zonas tradicionalmente amenazadas sigan sufriendo sus efectos. Lo que variará será la cuantía de los daños, incrementando o disminuyendo en función de las infraestructuras que se hayan construido.

Las fuentes de datos utilizadas para detectar las áreas de riesgo potencial fueron:

- \* Zonas con inundaciones históricas, generalmente tramos inferiores de los ríos, marismas, cauces abiertos de los cursos medios y alguna inundación en el litoral.
- \* Inventario de puntos conflictivos (51 repartidos en este ámbito)
- \* Zonas situadas aguas abajo de los embalses en explotación

## **6. ACCIONES PREVENTIVAS Y DE REDUCCIÓN DE DAÑOS**

Las principales conclusiones que se deducen del estudio de las avenidas a lo largo de los 500 años, son:

- \* Muchas cabeceras de ríos están ya reguladas, por tanto se evitan las frecuentes inundaciones en puntos tan conflictivos como Badajoz y Mérida.
- \* La cuenca del Guadiana es el mejor ejemplo de efectividad de la construcción de embalses, ya que colaboran en la regulación local y general de la cuenca. No obstante, son necesarios estudios precisos de los cruces entre la red viaria y las vías de evacuación naturales, para diseñar las obras de protección adecuadas.
- \* Al igual que en otras cuencas, surgen problemas causados por los depósitos sedimentados en las confluencias de afluentes sobre el río principal, ya que se producen sobreelevaciones del nivel de las aguas («barras» y «abanicos») y disminuye la capacidad de transporte del río principal.
- \* Existen zonas en la sierra sometidas a la acción erosiva, de forma especialmente intensa.
- \* Es urgente el estudio y definición de la normativa legal que permita zonificar con detalle las zonas inundables, y valorar objetivamente los daños potenciales.

## 7. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL GUADIANA

A partir del Catálogo Nacional de Riesgos Geológicos (I.T.G.E. 1988), se pueden deducir las siguientes consecuencias respecto a las inundaciones en la cuenca del Guadiana:

CAUSAS	Lluvias intensas
DURACIÓN MEDIA	5 días. Máximo 25 días (feb- marzo 47)
SU. AFECTADA MEDIA	125 km <sup>2</sup> . Máximo registrado 400 km <sup>2</sup> (en 79)
PÉRDIDAS ECO. MÁXIMAS	300 Millones de ptas. Máximo 1000 millones (dic 79 - en 70)
DAÑOS MATERIALES	Vías de comunicación y viviendas
PERÍODO RECURRENCIA	5-10-15-20-25-50-150-30. Máximo 500 años (dic 31, feb 47)
PERÍODO OBSERVACIÓN	1941 - 1985



## INUNDACIONES

### CAPÍTULO 4.7. CUENCA DEL GUADIANA PLAN HIDROLÓGICO II

#### 1. ÁMBITO TERRITORIAL

La extensión geográfica que se recoge en el Plan Hidrológico II de la cuenca del Guadiana, comprende la cuenca hidrográfica del Guadiana dentro de la provincia de Huelva, desde la confluencia con el río Chanza y su propia cuenca, hasta la desembocadura del Guadiana, incluyendo además las cuencas de los ríos Piedras, Odiel y Tinto. La superficie que abarca en total, es de 6.637 km<sup>2</sup> ó el 11% de la cuenca hidrográfica del Guadiana. De esta superficie, la práctica totalidad está situada dentro de la provincia de Huelva, excepto 91 km<sup>2</sup> que pertenecen a la provincia de Sevilla.

#### 2. CLIMATOLOGÍA

Los factores climáticos que determinan a grandes rasgos el clima de esta zona son:

Latitud: el área se sitúa entre los paralelos 37 y 40. El paralelo 65 es la base de partida de las masas de aire polar marino y ártico continental, y el paralelo 30 es la base de las masas de aire subtropical marino y continental sahariano. Por lo tanto, la zona está sometida a la influencia de masas de muy diferente humedad y temperatura.

Continentalidad: las oscilaciones térmicas pueden abarcar los 60°C en términos absolutos.

Proximidad a África: es afectada en menor grado que la vertiente mediterránea.

Insolación: al estar situada en una latitud subtropical y presentar diferencias topográficas poco acusadas, el número de horas de insolación al año es muy elevado. Se estima un valor de evaporación de 90 hm<sup>3</sup>/año en la cuenca alta del Guadiana.

Influencia del Atlántico: la cuenca está afectada por la climatología mediterránea y la atlántica, pero tiene mayor influencia ésta última.

Influencia del anticiclón de las Azores: durante gran parte del año, dirige el clima de la zona y produce una subsidencia dinámica, traducida en baja nubosidad anual.

Gotas frías: la formación de gotas frías al SO de la Península o sobre el área del Estrecho desde octubre a abril, da lugar a una gran inestabilidad vertical con lluvias y tormentas, según la humedad atmosférica. Ocurre especialmente en la parte onubense de la cuenca.

Con todas estas características, las regiones climáticas se disponen según una banda paralela a la costa, con un clima de características mediterráneas con escasas precipitaciones, elevada humedad ambiental y un alto número de horas de sol al año. El resto de la cuenca disfruta de un clima mediterráneo subtropical.

## 2.1 Pluviometría

La acción conjunta de todos los factores anteriormente descritos junto con la orografía, determina dos zonas absolutamente diferentes. En la parte alta de las cuencas, se registran precipitaciones anuales mucho más altas que la media nacional, ya que se alcanzan los 1.200 mm anuales en la Sierra de Aracena. A lo largo del año, la humedad es elevada en esta zona, sufriendo además, **heladas** durante el invierno.

En el resto de la cuenca, las isoyetas se dibujan concéntricas a las de la Sierra de Aracena, y su rango de variación es desde los 400 mm en Ayamonte, hasta los 800-900 mm. Las precipitaciones medias de la zona se sitúan en los 700 mm/anuales, aproximadamente.

En la distribución anual, las precipitaciones se concentran en el período de octubre a abril, situándose los máximos en enero y febrero.

## 2.2 Termometría

Para el período de estudio de 1940 a 1985, las isotermas anuales medias varían entre los 13º de la Sierra de Aracena, y los 20º de la zona costera.

En los meses de julio y agosto se registran las máximas absolutas (25ºC), mientras que las mínimas se registran en los meses de diciembre y enero.

Respecto a las **heladas**, se pueden producir 10 veces al año como media, en la zona más elevada topográficamente, mientras que en las zonas bajas se reduce a 0 el número medio de días de helada al año.

## 2.3 Nivalidad

El régimen de nivalidad no afecta en absoluto al caudal de la red hídrica, por la escasa altitud topográfica media de la cuenca. Se tiene constancia de muchos años con ausencia de nieves en toda la cuenca. En la tabla 4.XXI, puede observarse que sólo en una estación se superó la cifra de 1 día al año de nevadas.

Nº DE DÍAS DE NIEVE	
ESTACIÓN	Nº
ABALORIO	0,3
EL VILLAR	0
ARACENA	0,7
AROCHE	0,6
AYAMONTE	0
BALDÍOS DE NIEBLA	0,2
CABEZAS RUBIAS	0,3
CABEZUDOS	0
HUELVA	0
LA FRESNERA	0,6
LA GARNACHA	0,1
LA MEDIANA	0
EL GUIJO	0
EL MANZANTO	1,8
LAS MAJADILLAS	0,1
MAHOMA	0
VALVERDE (LOS RAMOS)	0,1
ZUFRE	0,7

**Tabla XXI.** Número medio de días de nieve al año en Huelva y algunas estaciones de su provincia.  
Tomado de M.O.P.U., 1988.

## 3. HIDROGRAFÍA

Son cuatro los ríos que recorren la cuenca y desembocan en el océano Atlántico: el Guadiana, el Piedras, el Odiel y el Tinto, aparte del Chanza que es el último afluente del Guadiana en territorio español, antes de su desembocadura.

## 4. AVENIDAS E INUNDACIONES

### 4.1 Precipitaciones máximas

En cuanto a la precipitación máxima caída en un día, para el período entre 1940-1985, se registraron 150 mm en una área al sur del pueblo de Aracena, mientras que en la ciudad de Huelva no pasaron de los 100 mm (ver tabla 4.XX de precipitaciones medias en 24 horas, y caudales, en el capítulo 4.6).

### 4.2 Inundaciones históricas

Se han catalogado 149 referencias sobre las inundaciones ocurridas en algún punto de la cuenca del Guadiana, de los cuales sólo 3 eran anteriores a 1483, año tomado como referencia en los estudios del M.O.P.U, para las cuencas del Segura, Pirineo oriental y Guadalquivir.

El análisis de esta información permite llegar a las siguientes conclusiones:

- \* La mayoría de las referencias de las inundaciones, son de la ciudad de Huelva, y las causas han sido las fuertes lluvias y las dificultades que encuentran las aguas para evacuar al mar. En el caso del Tinto y el Odiel, las crecidas han sido más catastróficas cuando coinciden con la pleamar, impidiendo un drenaje adecuado.
- \* El desarrollo de las vías de comunicación, ha hecho que existan multitud de cruces con las vías naturales de evacuación. Las consecuencias inmediatas son la rotura de puentes y desmonte de carreteras. No sólo queda interrumpido el servicio, sino que la retención de agua y la repentina evacuación, puede ocasionar importantes daños.

## 5. ZONAS POTENCIALMENTE INUNDABLES

Las causas generales que pueden provocar las inundaciones, pueden ser:

- \* Avenidas
- \* Temporales ciclónicos
- \* Obstrucciones en el cauce
- \* Efectos de los embalses
- \* Insuficiencia de drenaje
- \* Acciones del mar

En este ámbito territorial, las causas más frecuentes han sido las avenidas generales por las fuertes tormentas descargadas en la cabecera de los ríos, o por lluvias directas sobre la zona, como ha sucedido frecuentemente sobre la ciudad de Huelva.

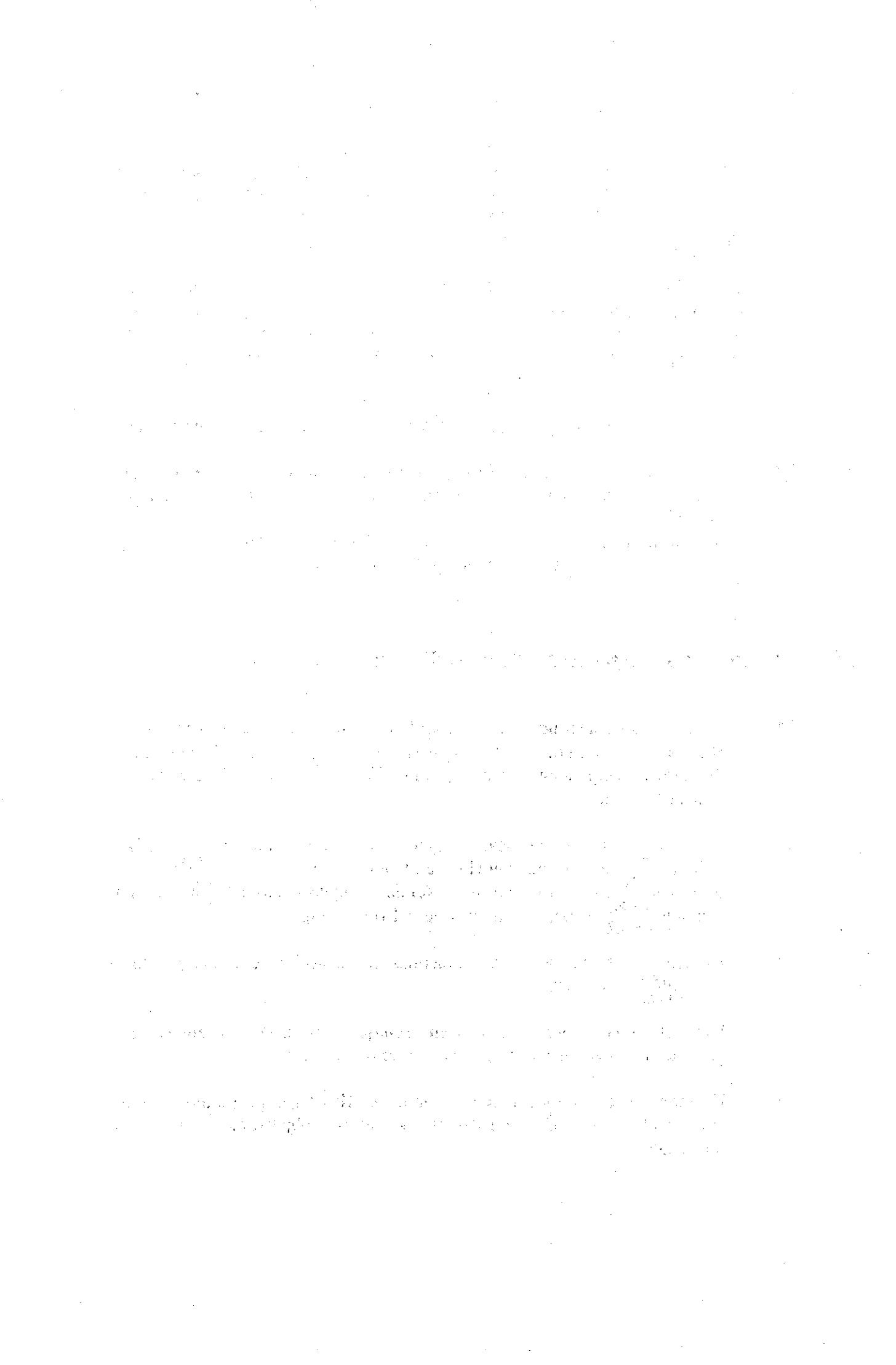
En resumen, si se tiene en cuenta el tipo de causas que suelen provocar las inundaciones, es muy posible que las zonas tradicionalmente amenazadas sigan sufriendo sus efectos. Lo que variará será la cuantía de los daños, incrementando o disminuyendo en función de las infraestructuras que se hayan construido.

La fuentes de datos utilizadas para detectar las áreas de riesgo potencial fueron:

- \* Zonas con inundaciones históricas, generalmente tramos inferiores de los ríos, marismas, cauces abiertos de los cursos medios y alguna inundación en el litoral.
- \* Inventario de puntos conflictivos (9 repartidos en este ámbito).
- \* Zonas situadas aguas abajo de los embalses en explotación.

## **6. ACCIONES PREVENTIVAS Y DE REDUCCIÓN DE DAÑOS**

- \* Ya han sido construidos muchos embalses en los ríos de la provincia de Huelva. Sin embargo, el problema más grave continúa siendo la coincidencia de fuertes precipitaciones con la pleamar, y que sea imposible evacuar tales caudales al mar.
- \* Al igual que en otras cuencas, surgen problemas causados por los depósitos sedimentados en las confluencias de afluentes sobre el río principal, ya que se producen sobreelvaciones del nivel de las aguas («barras» y «abanicos») y disminuye la capacidad de transporte del río principal.
- \* Existen zonas en la sierra sometidas a la acción erosiva, de forma especialmente intensa.
- \* Para solucionar el problema del **mal drenaje**, se necesita idear alguna forma de evacuar las zonas bajas, que es el caso de las vegas.
- \* Es urgente el estudio y definición de la **normativa legal** que permita zonificar con detalle las zonas inundables, y valorar objetivamente los daños potenciales.



# INUNDACIONES

## CAPÍTULO 4.8 CUENCA DEL GUADALQUIVIR

### 1. ÁMBITO TERRITORIAL

La cuenca del Guadalquivir y sus afluentes ocupa una extensión del territorio español de 57.527 km<sup>2</sup>, y se distribuye en 12 provincias, según aparece en la tabla 4. XXII.

PROVINCIA	SUPERFICIE EN CUENCA(Km <sup>2</sup> )	PARTICIPACIÓN EN CUENCA (%)
Cádiz	532	0,92
Córdoba	11.135	19,36
Granada	9.960	17,31
Jaén	13.002	22,60
Sevilla	14.001	24,34
Albacete	800	1,39
Almería	229	0,40
Badajoz	1.411	2,45
Ciudad Real	3.300	5,74
Huelva	2.552	4,44
Málaga	489	0,85
Murcia	116	0,20
<b>TOTAL</b>	<b>57.527</b>	<b>100,0</b>

**Tabla 4. XXII.** Distribución territorial de provincias en la cuenca del Guadalquivir.  
Extractado de M.O.P.U., 1988.

### 2. CLIMATOLOGÍA

La cuenca del Guadalquivir forma parte de la España mediterránea, y se refleja en el tipo de vegetación y clima, es decir, sequía y calor en verano, suavidad relativa en los inviernos y variabilidad estacional y anual de las precipitaciones. Son las típicas características de un clima árido. Sin embargo, existen zonas que, por su

altitud y por orientación, disfrutan de precipitaciones similares a las de la España húmeda. El relieve influye en las precipitaciones por las diferencias de altura, y en las temperaturas da lugar a diferencias zonales. En cuanto a la orientación, la influencia oceánica se refleja en forma de precipitaciones muy superiores a las comparadas con las propias de esas latitudes, al ser transportadas por los vientos lluviosos del oeste y las húmedas depresiones atlánticas.

A grandes rasgos, la cuenca disfruta de un clima templado-cálido mediterráneo con veranos secos e inviernos suaves, pero pueden distinguirse tres zonas principales:

- A. Valle medio del Guadalquivir: mediterráneo-continental con veranos cálidos y lluvias equinocciales.
- B. Sierras Béticas: clima montañoso con nevadas invernales y verano corto, fresco y seco.
- C. Depresiones Intrabéticas: continental-mediterráneo extremo, con lluvias escasas.

## 2.1 Pluviometría

Las precipitaciones se caracterizan por la irregularidad espacial y temporal. A lo largo del año, presentan dos máximos, uno durante el paso del otoño al invierno y otro en el paso del invierno a la primavera. En la tabla 4.XXIII., figuran las precipitaciones medias para algunas subcuenca de la cuenca del Guadalquivir.

SUBCUENCA	PRECIP. ANUAL MEDIA(mm año)	ZONA
Guadalquivir	772,7	Posito
Guadiana Menor	468,6	Posito
Guadalquivir	540,9	Mengibar
Guadalimar	601,4	Vado de Ollas
Jándula	523,2	Emb. Jándula
Guadajoz	557,7	Valchillón
Genil	555,4	Emb. Iznajar
Guadiato	627,9	Emb. Breña
Guadalquivir	546,9	Peñaflor
Rivera de Huelva	703,0	El Gergal
Guadaira	566,9	Alc. de Guadaira
Guadalquivir	562,5	Sevilla

Tabla 4.XXIII. Datos de precipitaciones medias, Cuenca del Guadalquivir. Tomado de M.O.P.U., 1988.

Los valores **máximos** se registran en las Sierras de Aracena, Cazorla y Sierra Nevada por su exposición a los vientos húmedos del Atlántico o del Mediterráneo. Los **mínimos** pluviométricos se registran en las altiplanicies intrabéticas (por ejemplo Guadix con 300 mm/año).

## 2.2 Termometría

La cuenca del Guadalquivir es la región más cálida de la Península, con insolación superior a 3.000 horas anuales en gran parte de la cuenca. Está rodeada casi totalmente, por la isoterma de medias anuales de 16º y 18ºC.

La oscilación térmica de las distintas zonas, se explica por la proximidad o exposición a los vientos húmedos y a la altitud. La depresión del Guadalquivir es la zona más calurosa de España, con máximas absolutas de 50ºC. En las mesetas intrabéticas, el invierno tiene características continentales con un largo período de heladas y nieves casi permanentes.

La sequía estival en la depresión coincide prácticamente, con las máximas anuales y aunque la cuenca en general recibe suficientes precipitaciones, el desarrollo de la agricultura encuentra problemas de escasez de agua. Aun así, está favorecida por la casi total ausencia de heladas a lo largo del año.

La temperatura media anual es de 17,1°C, con un mínimo en enero de 9,1°C y un máximo en agosto de 26,7°C.

### 2.3 Nivalidad

La influencia del régimen nival en la cuenca del Guadalquivir, se puede decir que es casi inexistente, exceptuando la cabecera del río Genil. Las precipitaciones sólidas que reciben las cumbres de Sierra Nevada y alguna otra parte aislada de la cuenca, no se funden lentamente, ya que el tránsito de invierno a verano es muy rápido. Sin embargo, la existencia de fenómenos cársticos en estas áreas y la escasa entidad que representan las nieves en comparación con el tamaño de la cuenca, permite despreciar su influencia en el régimen hidráulico. Se ha estimado que la aportación líquida de la fusión de las nieves en el período que abarca de mayo a septiembre, puede ser de unos 300.000 m<sup>3</sup>.

Existen estudios de la influencia de la nivalidad en Sierra Nevada, con los aportes al embalse de Iznajar, y resulta difícil establecer una relación directa entre el aumento de las precipitaciones en forma de nieve, y los aportes líquidos al embalse. La conclusión es la siguiente: la nivalidad en la cuenca del Guadalquivir es un fenómeno muy variable y poco importante.

### 2.4 Sequías

Se ha llegado a las siguientes conclusiones tras el estudio de los regímenes de los embalses en explotación de la cuenca:

- \* El 19% ( $\pm 4\%$ ) de los años es pluviométricamente seco.
- \* Los meses de julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre son los más secos del año. Los tres primeros coinciden con la sequía estival, por lo que sería necesario proyectar una regulación anual.
- \* Sin embargo, si se construyeran embalses para solucionar el problema, tendrían tales dimensiones que, no sólo por el coste económico, sino también por la inexistencia de vasos naturales apropiados, serían inviables.

### 3. HIDROGRAFÍA

Existe una controversia entre los geógrafos para definir el nacimiento del Guadalquivir, ya que unos creen que el Genil es el verdadero Guadalquivir, que nace a mayor altitud aunque lleva algo menos de caudal. En general, se acepta que el río Guadalquivir nace al pie del pico de Cabañas, a 1.645 m. de altura, y tiene una longitud de 668,3 km.

Se observa un cambio de orientación de los afluentes que quedan al norte del caudal principal del Guadalquivir. Comienzan siguiendo una trayectoria NE-SO (Guadalimar, Guadalmeca y Dañador), para pasar a seguir una dirección NO-SE (Guadiato, Bembézar y Retortillo). Este cambio de orientación se explica por razones de tipo tectónico.

La **impermeabilidad** de los materiales litológicos que recorren los ríos de la cuenca del Guadalquivir, disminuye la infiltración, por lo que la mayoría de las precipitaciones se transforma en escorrentía superficial, desarrollando una red hidrológica muy tupida. Dada la irregularidad de las precipitaciones, durante la mayor parte del año los arroyos están secos.

La **margen derecha** es escasa en vegetación, con bastante pendiente y, en general, impermeable. Sobre ella, se producen con frecuencia arroyadas, pero no son excesivamente peligrosas porque los ríos suelen ir encajonados y el área está escasamente poblada. La **margen izquierda** retiene más agua de lluvia e inhibe las escorrentías, sin embargo, la zona está más densamente poblada.

Casi todos los ríos de la cuenca del Guadalquivir son **muy agresivos en cabecera**, por lo que se producen muchos fenómenos de captura.

La ría del Guadalquivir es navegable hasta Sevilla, para barcos de 21 pies de calado. Sería ésta quizás, la causa por la que se desarrolló en este lugar la ciudad de Sevilla. La ciudad ha progresado dentro del cauce de avenidas de un río muy torrencial con crecidas importantes, ya que es habitual la simultaneidad de precipitaciones en toda su cuenca hidrográfica. Los 100 km de la ría que hay aguas abajo de Sevilla, tienen una pendiente casi nula y la población se sitúa muy cerca de las aguas.

### 4. AVENIDAS E INUNDACIONES

#### 4.1. Precipitaciones extremas

En la tabla 4.XXIV, se muestra una relación de estaciones y las precipitaciones extremas (en mm) esperables para períodos de retorno de 5, 25, 50, 100, 500 y 1.000 años.

En la cuenca del Guadalquivir hay dos máximos pluviométricos, uno en

diciembre y otro en marzo. Además se observa que, por una parte, en el norte de la cuenca, el máximo relativo es en diciembre, pero va siendo menos evidente a medida que nos trasladamos hacia el este, y se pierde la influencia oceánica.

En el valle del Guadalquivir y margen izquierda, los máximos de diciembre y marzo se igualan. En las cercanías de Sierra Nevada y Cazorla, el máximo se registra en diciembre, pero el de marzo se continúa en abril por la influencia mediterránea. La influencia mediterránea se refleja mejor en la parte más oriental de la cuenca, donde se registran fuertes precipitaciones en octubre, además de los máximos de diciembre y abril.

#### 4.2. Máximas Avenidas Probables Naturales

Se definen como «la mayor avenida que se puede presentar suponiendo una total coincidencia de los factores que pueden producir la precipitación más intensa y la máxima escorrentía». Por aplicación de la ley de Gumbel a los caudales máximos instantáneos anuales, se han obtenido los caudales ( $m^3/s$ ) para crecidas con períodos de retorno de 5, 25, 50, 100, 500 y 1.000 años, que figuran en la tabla 4.XXV.

También se muestra la tabla 4.XXVI que presenta los posibles caudales ( $m^3/s/km^2$ ) para períodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años. El método utilizado por la D.G.O.H. en «Estudio de Inundaciones Históricas, Mapas de Riesgos Potenciales. Cuenca del Guadalquivir» recogido de R. Heras (83), utiliza las curvas de caudales específicos de crecidas, en función de la superficie de la cuenca y el período de retorno.

#### 4.3. Inundaciones históricas

Se han catalogado 474 referencias de inundaciones ocurridas desde 1483, y como término medio da un porcentaje de una inundación por año. El estudio individual de estas referencias, permite llegar a las siguientes conclusiones sobre las cuencas del Plan Hidrológico I:

- \* Las inundaciones afectan principalmente a los valles, pero normalmente no hay referencias de lo que ocurre aguas arriba, por tanto la información no está completa. Es muy probable que produzcan daños de menor relevancia aguas arriba, que no dejen huella.
- \* El «efecto presa» por la obstrucción de los puentes artificiales y las «olas» que desencadenan por el desbloqueo súbito, producen importantes daños.

- \* La mayoría de las informaciones disponibles corresponde a inundaciones en Sevilla, Córdoba y Granada.
- \* La ciudad de Granada está sometida a la acción de varios ríos, que han provocado inundaciones a lo largo de su historia. Frecuentemente, ha sido la rotura de un represamiento, la principal causa de los daños por inundación, ya que el Genil no es capaz de evacuar todo el caudal de la avenida.
- \* En cuanto a la ciudad de Sevilla, ha sido la zona más castigada por su situación al borde las marismas y la gran cantidad de afluentes que se unen en este tramo del Guadalquivir. Tanto el encauzamiento del Guadalquivir, como los embalses construidos, han solucionado prácticamente el problema.
- \* La ciudad de Córdoba ha sufrido los efectos de las inundaciones muy frecuentemente, a lo largo de su historia, ya que no sólo recibe las avenidas del Guadalquivir, sino también los desagües de los barrancos que evacúan en la ciudad.
- \* La carencia de **drenajes artificiales** durante las inundaciones, ha permitido el estancamiento prolongado de grandes áreas.
- \* Los daños a las **vías de comunicación**, se han producido cuando su trazado interfiere en las salidas de evacuación naturales, consecuencia del desarrollo económico de los últimos años.
- \* Hasta hace poco tiempo, no se conocía realmente el funcionamiento de los mecanismos de **laminación** de los embalses. No obstante, en los tramos altos de estos ríos, que es donde son necesarias las medidas de control, las pendientes longitudinales son demasiado pronunciadas y precisarían alturas de cerrada, no viables ni económica ni estructuralmente.
- \* Las soluciones estructurales aplicadas en la cuenca del Guadalquivir, han sido los **encauzamientos**, los **diques longitudinales** y las **obras de defensa puntuales**. En las llanuras aluviales se han construido **cauces artificiales** y, recientemente, **trasvases**.

## 5. ZONAS POTENCIALMENTE INUNDABLES

Las causas generales que pueden provocar las inundaciones, pueden ser:

- \* Avenidas
- \* Temporales ciclónicos
- \* Acciones del mar

- \* Obstrucciones en el cauce
- \* Efectos de los embalses
- \* Insuficiencia de drenaje

En este ámbito territorial, las causas más frecuentes han sido:

- 1º Avenidas generadas por tormentas en la cabecera de los ríos
- 2º Deshielos rápidos y prematuros en aquellos ríos que nacen cerca de Sierra Nevada

En resumen, a pesar de las obras de infraestructura realizadas en la zona, aquéllas que hayan sufrido inundaciones históricas siguen estando amenazadas. Lo que variará es la cuantía de los daños, disminuyendo en el caso de obras de regulación, o aumentando en los nuevos focos de densificación por vías de comunicación o incremento de población.

Las fuentes de datos utilizadas para detectar las áreas de riesgo potencial, fueron:

- \* Zonas con inundaciones históricas
- \* Inventario de puntos conflictivos (177) repartidos en este ámbito
- \* Zonas situadas aguas abajo de los embalses en explotación

## **6. ACCIONES PREVENTIVAS Y DE REDUCCIÓN DE DAÑOS**

- \* En general, la regulación en la cuenca del Guadalquivir es aceptable principalmente, por el gran número de embalses que se han construido en el mismo Guadalquivir y en sus afluentes, sobre todo en sus cabeceras. Por todo ello, se puede afirmar que Granada, Sevilla y Córdoba no son ya puntos conflictivos.
- \* Es necesaria una revisión de los cruces entre la infraestructura viaria e hidráulica, con los cauces de ríos y arroyos.
- \* Surgen problemas causados por los depósitos sedimentados en las confluencias de arroyos sobre el río principal, ya que se producen sobreelevaciones del nivel de las aguas, y disminuye la capacidad de transporte del río principal.
- \* Se apunta como estudio urgente la solución del drenaje de las vegas bajas durante las inundaciones, y en otros puntos de embalsamiento temporal.

- \* Es urgente el estudio y definición de la **normativa legal** que permita zonificar las áreas inundables en varias clases, y valorar objetivamente los daños potenciales.
- \* Algunas zonas de las sierras están sometidas a fenómenos de erosión importantes.

## 7. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR

A partir del Catálogo Nacional de Riesgos Geológicos (I.T.G.E., 1988), se pueden deducir las siguientes consecuencias respecto a las inundaciones en la cuenca del Guadalquivir:

CAUSAS	Fuertes lluvias (a veces también deshielos)
DURACIÓN MEDIA	6 días. Máximo 16 días (enero 70)
SUP. AFECTADA MEDIA	180 km <sup>2</sup> . Máximo 700 km <sup>2</sup> (oct. 73)
PÉRDIDAS ECO. MEDIAS	175 millones de pesetas. Máximo 600 millones (oct. 73)
DAÑOS MATERIALES	Viviendas, vías de comunicaciones, huertas.
PERÍODO RECURRENCIA	2-5-8-10-15-25-50-100. Máximo 500 años (dic. 62)
PERÍODO OBSERVACIÓN	1960-1985

ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)					
	5	25	50	100	500	1000
Osuna	56,74	80,99	91,03	101,00	124,04	133,94
El Patronato	58,84	84,55	95,20	105,77	130,20	140,70
Iznajar	46,91	60,05	65,49	70,89	83,38	88,74
Loja	54,88	75,33	83,80	92,20	111,63	119,98
Peñuela	44,12	61,96	69,35	76,68	93,62	100,91
Santa Cruz del Comercio	38,57	51,52	56,88	62,20	74,50	79,79
Cacín (presa)	44,91	63,24	70,83	78,37	95,78	103,26
Jatar	95,73	143,06	162,66	182,11	227,06	246,39
Bermejales	47,95	66,09	73,59	81,05	98,27	105,67
Fornes	70,76	110,23	126,58	142,80	180,29	196,41
Cacín	47,50	73,36	84,06	94,69	119,24	129,80

Caparacena	48,45	64,22	70,75	77,24	92,22	98,66
Dilar (central)	114,68	208,99	248,05	286,81	376,40	414,91
Dilar	94,18	164,22	193,22	222,02	288,55	317,15
Marchena	58,74	86,57	98,09	109,53	135,96	147,33
Marinaleda	63,83	91,35	102,75	114,06	140,20	151,44
Herrera	56,62	77,48	86,12	94,70	114,51	123,03
Puente Genil	114,37	228,80	276,18	323,22	431,91	478,64
Lucena	60,84	81,82	90,51	99,14	119,06	127,63
Zambra	66,84	96,47	108,74	120,92	149,06	161,16
Montefrío	60,27	83,11	92,57	101,96	123,66	132,99
Illora	54,20	72,18	79,50	86,76	103,56	110,78
Chuchina	41,52	56,22	62,31	68,35	82,32	88,32
Santa Fe	42,22	59,30	66,37	73,38	89,60	96,57
Fuente del Rey	46,63	65,15	72,82	80,43	90,81	105,57
Carcabuey	72,84	102,19	114,35	126,92	154,30	166,29
Luque del Campo	64,66	93,06	104,82	116,50	143,48	155,08
Doña Mencía	78,58	111,36	124,94	138,41	169,55	182,94
Nueva Carteya	67,15	94,87	106,35	117,75	144,08	155,41
Écija	63,98	90,92	102,07	113,15	138,74	149,74
Guarrecife	62,63	84,64	93,76	102,81	123,72	132,71
Carmona (viejo)	66,51	92,62	103,43	114,17	138,97	149,63
Santillán	79,74	106,65	117,80	128,87	154,43	165,43
C.H.G.	64,97	89,60	99,80	109,93	133,33	143,38
Carmona	71,12	102,30	115,21	128,03	154,64	170,38
Santaella	54,86	76,61	85,62	94,56	115,22	124,10
La Rambla	60,44	85,39	95,72	105,98	129,67	139,86
Albendín	52,04	74,92	84,40	93,80	115,54	124,89
Valdepeñas de Jaén	71,23	100,09	112,04	123,91	151,32	163,11
Venta - Mochana	61,19	89,86	101,73	113,51	140,75	152,46
Paterna del Campo	58,91	74,72	81,26	87,76	102,78	109,23
Alcalá-riό	59,64	80,81	89,58	98,29	118,41	127,05
Cantillana (salto)	59,14	77,23	84,72	92,16	109,34	116,73
Cantillana	67,65	92,53	102,83	113,05	136,67	146,83
Alcolea-riό	67,97	89,35	98,21	107,00	127,31	136,04
La Campana	62,23	85,88	95,68	105,40	127,86	137,52
La Carlota	57,02	75,97	83,81	91,60	109,60	117,33
Fuencubierta	53,52	70,55	77,60	84,60	100,78	107,74
Castro del Río	57,28	81,65	91,74	101,75	124,90	134,85

Valenzuela	52,57	74,20	83,15	92,04	112,58	121,41
Jaén	63,13	89,46	100,37	111,19	136,21	146,96
La Guardia de Jaén	60,14	83,90	93,74	103,51	126,08	135,79
Villanueva Minas	68,38	91,61	101,23	101,78	132,85	142,33
Guadiamar	60,66	80,53	88,76	96,93	115,80	123,92
Puebla Infantes	75,83	105,05	117,14	129,15	156,91	168,84
E. Breña	59,67	84,77	95,17	105,49	129,33	139,59
C.H.G. (Córdoba)	63,86	91,16	102,46	113,68	139,61	150,76
Bujalance	54,54	72,30	79,66	86,96	103,83	111,09
Porcuna	54,72	78,68	88,61	98,46	121,22	131,01
Morente	60,65	84,47	94,33	104,12	126,75	136,47
Higuera de Arjona	47,02	61,78	67,90	73,97	87,99	94,03
Arjona	53,27	73,15	81,37	89,54	108,42	116,54
Mengíbar	42,65	57,19	63,21	69,18	82,99	88,93
Valtodano	40,89	55,36	61,35	67,30	81,05	86,96
Vega de Armijo	56,62	79,32	88,71	98,04	119,60	128,87
E. Bembézar	67,60	90,12	99,44	108,70	130,09	139,28
El Prado	78,73	112,20	124,65	138,00	168,84	182,10
Castillo de las Guardas	85,90	123,18	138,62	153,95	189,36	204,59
Alcornocosa	63,00	82,89	91,13	99,30	118,19	126,32
El Ronquillo	83,97	114,89	127,70	140,41	169,78	182,41
Cala (presa)	78,57	116,09	131,62	147,04	182,68	198,00
Viso del Marqués	50,00	71,46	80,34	89,16	109,55	118,31
Carboneros	52,12	70,83	78,57	86,27	104,04	111,68
Baeza	50,02	68,95	76,79	84,57	102,55	110,28
Pegalajar	53,64	77,35	87,17	96,92	119,44	129,12
Deinfuentes	54,83	76,69	85,74	94,73	115,49	124,42
Venta del Molinillo	85,40	118,23	131,83	145,33	176,51	189,92
E. Quentar	61,32	96,99	111,77	126,43	160,32	174,89
C.H.G.-Zaidín	52,56	76,19	85,97	95,68	118,12	127,77
Huetor-Santillán	53,01	66,90	72,65	78,36	91,55	97,23
Diezma	73,37	111,56	127,37	143,06	179,34	194,93
La Peza	65,51	97,80	111,17	124,44	155,12	168,30
Acquia Gorda	48,25	67,65	75,68	83,65	102,08	110,00
Darro	76,43	121,89	140,71	159,40	202,58	221,15
Graena	52,54	80,49	92,13	103,72	130,52	142,04
Aldeire	48,71	69,85	78,60	87,29	107,37	116,00
Huélago	58,64	87,54	99,51	111,39	138,85	150,65

Fonelas	49,96	75,34	85,85	96,28	120,39	130,75
Olivares	50,00	73,93	83,84	93,68	116,41	126,18
Venta Baúl	55,03	77,08	86,21	95,28	116,22	125,23
Gor	49,21	68,50	76,48	84,41	102,73	110,61
Pedro Martínez	47,67	86,52	98,47	110,33	137,73	149,51
Gor	39,52	56,27	63,20	70,09	86,00	92,84
Cortijo Pocico	41,71	61,26	69,35	77,39	95,96	103,95
Cerrico	45,35	64,15	71,93	79,66	97,51	105,19
Caniles	49,33	69,94	78,47	86,94	106,52	114,94
El Porrosillo	52,96	70,93	78,36	85,75	102,81	110,14
Navas de San Juan	50,71	64,04	69,56	75,04	87,70	93,15
Castellar de Sansiesteban	76,09	116,44	133,15	149,74	188,07	204,55
San Esteban del Puerto	53,71	72,53	80,32	80,05	105,92	113,61
Torreperogil	54,07	72,06	79,52	86,91	104,01	111,36
Torreblascopedro	44,93	61,01	67,66	74,27	89,55	96,11
Albánchez de Úbeda	61,75	84,61	94,07	103,47	125,18	134,52
Cabra Santo Cristo	52,69	75,66	85,18	94,62	116,44	125,83
Iznaloraf	56,09	76,32	84,70	93,02	112,25	120,51
Villacarrillo	52,28	70,01	77,35	84,64	101,48	108,72
Cazorla	66,66	92,19	102,76	113,25	137,51	147,93
Almedina	64,96	92,91	104,48	115,97	142,51	153,92
La Iruela	72,23	99,66	111,02	122,29	148,35	159,55
Venta de los Santos	48,72	65,75	72,80	79,80	95,98	102,94
Constantina	118,19	173,24	196,04	218,67	270,97	293,45
Castillo de la Mata	71,60	96,27	106,49	116,63	140,06	150,13
Adamuz	79,44	79,44	87,71	95,92	114,89	123,04
Marmolejo	55,37	73,50	81,01	88,46	105,68	113,08
Encinarejo	51,15	66,69	73,13	79,52	94,29	100,63
Higuera de la Sierra	70,42	88,45	95,92	103,33	120,46	127,82
Aracena	88,62	117,45	129,38	141,23	168,61	180,38
Santa Olalla-Cala	59,07	75,34	82,08	88,76	104,22	110,86
Puerto Moral	85,29	123,82	139,77	155,61	192,20	207,94
Cañaveral del León	57,59	75,93	83,53	91,07	108,50	115,99
Fuente de Cantos	38,05	48,99	53,52	58,02	68,42	72,88
Herreuela	67,95	92,95	103,30	113,58	137,33	147,54
Pallarés	70,04	95,05	105,40	115,68	139,44	149,65
El Real- Jara	70,78	100,56	112,89	125,13	153,42	165,58
Puebla del Maestre	69,26	94,29	104,66	114,95	138,73	148,96

E. Pintada (central)	82,86	116,46	130,38	144,19	176,11	189,84
Guadalcanal	95,83	142,16	161,35	180,39	224,40	243,32
Posadilla	72,23	98,25	109,03	119,73	144,44	155,07
Doña Ramia	77,50	112,64	127,20	141,64	175,03	189,38
Fuenteovejuna	59,13	81,28	90,45	99,55	120,59	129,64
Villa Marta de Córdoba	63,21	92,88	105,16	117,36	145,54	157,65
Espiel	91,90	162,53	191,78	220,81	287,90	316,75
Villanueva del Rey	72,02	96,61	106,80	116,91	140,27	150,31
Pozoblanco	64,18	90,24	101,03	111,74	136,50	147,14
Añora	47,58	63,06	69,47	75,83	90,53	96,85
Venta del Charco	93,96	130,49	146,03	161,43	197,10	212,43
Fuencaliente	60,37	79,51	87,44	95,31	113,49	121,31
Mestanza	43,71	61,17	68,40	75,57	92,15	99,28
Hinojosa de Calatrava	43,25	57,78	63,80	69,78	83,58	89,52
Albolote	46,09	64,74	72,47	80,14	97,86	105,47
E. Cubillas	50,06	68,09	75,55	82,96	100,08	107,45
Sierra Grande	72,33	98,79	109,75	120,62	145,76	156,56
E. Rumbiar	61,10	84,20	93,76	103,26	125,20	134,63
E. Jándula	54,43	76,81	86,08	95,28	116,53	125,67
La Calzada de Calatrava	49,30	69,86	78,38	86,83	106,37	114,76
San Lorenzo de Calatrava	52,01	73,08	81,81	90,47	110,49	119,09
Bailén	50,58	66,40	72,96	79,46	94,50	100,96
Camporedondo	50,68	70,21	78,30	86,33	104,88	112,85
Cañada-Morales	73,87	109,54	124,31	138,98	172,86	187,42
Puente Genave	48,10	67,25	75,17	83,04	101,23	109,05
Morcigüillinas	67,52	105,59	121,35	137,00	173,16	188,71
Puebla del Príncipe	37,16	51,46	57,38	63,26	76,84	82,68
E. Tranco	72,70	99,82	111,05	122,20	147,97	159,05
Cortes de Baza	50,93	73,55	82,92	92,22	113,71	122,95
Castilla del Olivo	44,46	65,20	73,79	82,32	102,02	110,49
Nacimiento	83,23	121,24	136,98	152,60	188,70	204,23
Doctor Urena	59,05	89,89	102,66	115,34	144,63	157,22
Fuente Guardal	65,95	95,24	107,37	119,41	147,23	159,19
San Clemente	86,56	154,17	182,16	209,96	274,18	301,79
Ganados	56,39	78,36	87,45	96,48	117,35	126,32
Benataes	43,12	61,33	68,87	76,35	93,65	101,08
Genave	49,97	68,58	76,29	83,94	101,63	109,23
Acebeas	77,51	94,18	101,08	107,93	123,76	130,56

Bienservida	47,28	58,77	63,53	68,25	79,16	83,86
Villapalacios	48,61	68,09	76,15	84,16	102,66	110,62
Reolid	43,96	57,61	63,26	68,87	81,84	87,42
Puebla de don Fadrique	59,14	85,48	96,39	107,22	132,24	143,00
Pruna	76,54	106,47	118,86	131,17	159,59	171,82
Montecorto	68,59	95,39	106,48	117,50	142,96	153,90
Monte Ronja	68,07	91,27	100,88	110,41	132,45	141,93
Lebrija	62,27	88,25	99,01	109,68	134,36	144,97
Salado	85,84	123,84	139,57	155,19	191,29	206,81
El Coronil	52,00	66,97	73,17	79,33	93,56	99,67
Sierra Yeguas	107,08	194,05	230,06	265,81	348,42	383,94
Hornillo	57,20	76,22	84,10	91,91	109,98	117,75
La Juncosilla	62,82	88,77	99,51	110,18	134,82	145,42
Cabezudo	64,08	89,87	100,55	111,15	135,64	146,18
Domingo Pérez	71,62	111,35	127,81	144,14	181,88	198,11
Castil del Campo	57,24	80,48	90,10	99,66	121,73	131,22
Cabra	82,63	107,52	117,83	128,06	151,70	161,87

Tabla 4. XXIV. Tabla de precipitaciones máximas. Tomado de M.O.P.U. 1988.

Estaciones	Período de Retorno					
	5	25	50	100	500	1000
Guadalquivir Arroyo María	156,39	284,02	336,87	389,33	510,55	562,68
Guadalquivir Pósito	305,44	541,30	638,96	735,91	959,94	1056,26
Guadalquivir P. Marín	375,49	625,88	729,52	832,40	1070,14	1172,35
Guadalquivir Menjibar	965,53	1650,83	1934,64	2216,34	2866,30	3147,18
Guadalquivir Peñaflor	3438,61	5927,26	6938,79	7942,84	10263,04	11260,61
Guadalquivir Cantillana	1220,29	1959,53	2265,66	2569,52	3171,71	3573,61
Barbatas Ac. Montilla	0,06	0,08	0,09	0,10	0,12	0,13
Guardal Doctor	20,64	32,15	36,92	41,55	52,60	57,30
Guardal Caz Presa	0,72	1,22	1,43	1,64	2,11	2,32
Guadiana Menor Pósito	337,44	527,14	605,70	683,68	863,87	941,35
Guadalmena Llano de Vela	279,03	481,77	565,72	649,06	841,63	924,43
Guadalbulón Menjibar	144,29	239,76	279,29	318,54	409,22	448,21
Aguas Blancas Pte. Blanqueo	15,19	28,76	34,38	39,95	52,84	58,38
Monachil en Presa	13,35	23,31	27,44	31,53	41,00	45,07
Cubillas en Pte. Cubillas	171,78	312,21	370,36	428,08	561,47	618,82
Velillos en Pinos Puente	74,18	146,45	176,37	206,08	274,72	304,23
Genil en Puente Genil	377,35	631,30	736,46	840,84	1082,06	1185,77
Rva. Huelva en Gergal	369,78	557,14	634,73	711,75	889,72	966,24
Guadaira en Sevilla	562,78	913,67	1058,98	1201,21	1536,51	1679,81
Guadalimar en Olvera	300,24	489,92	568,47	646,43	826,60	904,07
Guadalqu. (Escuderos, V. Ollas)	335,25	495,29	561,56	627,35	779,36	844,72
Guadalquivir en Racioneros	590,15	1111,20	1326,97	1541,15	2036,07	2248,86
Guadalquivir en Menjibar	871,94	1478,25	1729,32	1978,55	2554,46	2802,07
Guadalquivir en Valtodano	1099,42	1853,83	2166,24	2476,34	3192,93	3501,02
Guadalquivir en Batanes	1135,98	2009,90	2371,80	2731,03	3561,14	3918,04
Guadalquivir en Marmolejo	1557,77	2742,46	3233,05	3720,02	4845,32	5329,14
Guadalquivir en Casas Nuevas	1640,17	2851,50	3353,13	3851,05	5001,66	5496,36
Guadalquivir en La Vega	1716,44	2958,40	3472,70	3983,21	5162,91	5670,12
Guadalquivir en Isabela	1264,76	2200,96	2588,65	2973,48	3862,75	4245,09
Guadalquivir en El Carpio	1865,57	3258,77	3853,71	4408,38	5731,74	6300,71
Guadalquivir en Córdoba	1856,01	3138,98	3670,28	4197,65	5416,30	5940,26
Guadalquivir en Posadas	2104,55	3817,51	4526,87	5230,99	6858,08	7557,65
Guadalquivir en Alcalá Río	3175,66	5297,36	6157,98	7048,11	9063,45	9929,94
Guadalquivir en Sevilla	3862,50	6139,29	7082,14	8018,01	10180,67	111110,50
Rva. Huelva Emb. Minilla	430,21	725,98	848,47	970,04	1250,99	1371,78

Tabla 4. XXV. Caudales máximos instantáneos anuales. Tomado de M.O.P.U., 1988.

Subcuenca	PERÍODO DE RETORNO AÑOS			
	10	50	100	500
E. de Tranco de Beas (Río Guadalquivir)	313	429	490	688
E. D. Aldonza (Río Guadalquivir)	2.150	2.838	3.268	4.042
E. de Pedro Martín (Río Guadalquivir)	3.556	4.526	5.173	6.466
Río Guadalquivir en Marmolejo	4.033	5.243	5.848	7.260
E. de Marmolejo (Río Guadalquivir)	4.237	5.508	6.038	7.521
E. El Carpio (Río Guadalquivir)	4.440	5.843	6.427	8.180
Guadalquivir en Córdoba	4.554	6.198	6.831	8.728
Guadalquivir en Peñaflor	6.985	8.628	9.450	11.916
Guadalquivir en Alcalá del Río	7.761	9.408	10.349	13.171
Río Guadalquivir en Sevilla	7.908	9.886	10.874	13.346
Río Bravatas	163	224	269	370
Río Guardal en Castillejar	244	332	392	560
Río Guardal en Benamaurel	782	1.040	1.215	1.568
Río Castril	234	313	360	504
E. de la Bolera (Río Guadalentín)	130	195	228	277
Río Guadalentín	200	271	324	457
E. de Negratín (Río Guadiana Menor)	1.258	1.664	1.896	2.400
Río Fardes	661	872	1.007	1.293
Río Guadix	392	537	607	875
Río Gor	122	185	214	266
Río Guadiana Menor en desembocadura	1.938	2.513	2.872	3.590
Río Jandulilla	207	273	330	450
Río Bedmar	136	204	238	306
Río de Torres	108	156	180	228
E. Guadalmena (Río Guadalmena)	585	780	897	1.144
E. de Olvera (Río Guadalimar)	929	1.247	1.425	1.782
E. de Vado de las Hoyas (Río Guadalimar)	1.003	1.347	1.520	1.978

E. de Guadalén (Río Guadalén)	586	782	901	1.148
E. de Panzacola (Río Guerrizas)	313	429	490	688
E. de Quebrijano (Río Quebrijano)	92	135	160	200
Río Guadalbullón en Menjíbar	522	700	788	1.055
E. de Rumblar (Río Rumblar)	313	700	788	1.055
E. de Zocueca (Río Rumblar)	362	482	549	770
E. de Montoro (Río Montoro)	313	429	490	688
E. de Jándula (Río Jándula)	682	1.150	1.311	1.656
E. de Encinarejo (Río Jándula)	888	1.188	1.344	1.728
Río de las Yeguas en desembocadura	416	565	640	873
E. de Guadalmellato (Río Guadalmellato)	556	743	846	1.112
Río Viboras	204	273	330	450
Río Guadajoz en Baena	542	731	837	1.085
Río Guadajoz en desembocadura	897	1.201	1.359	1.747
E. Sierra Boyera (Río Guadiato)	267	364	430	614
E. de Puente Nuevo (Río Guadiato)	470	627	715	940
E. de la Breña (Río Guadiato)	637	840	970	1.246
E. de Bembézar (Río Bembézar)	698	921	1.064	1.366
Río Bembézar	738	991	1.122	1.458
E. de Retortillo (Río Retortillo)	211	283	342	466
E. de Retortillo derivación	228	309	351	502
E. de Quéntar (R. de Aguas Blancas)	93	136	161	202
Río de Aguas Blancas	115	173	203	246
Genil hasta Aguas Blancas	150	225	263	338
Genil hasta Granada	229	311	353	505
Monachil	97	143	169	212
Darro	81	120	138	172
Dílar	139	209	244	313

Genil hasta Frailes	491	665	742	983
Embalse de Cubillas (Río Cubillas)	345	460	523	734
Río Colomera	209	280	339	461
Cubillas en Pinos Puente	470	638	711	942
Río Frailes	152	210	252	347
Embalse de los Bermejales (Río Cacín)	208	279	338	460
Río Cacín hasta Alhama	262	356	420	600
Río Alhama hasta Cacín	135	204	238	306
Embalse de Iznajar (Río Genil)	1.500	1.970	2.250	2.900
E. de Malpasillo (Río Genil)	1.539	2.035	2.322	2.948
E. de Cordobilla (Río Genil)	1.562	2.066	2.358	9.993
Río Genil en Puente Genil	1.599	1.132	2.469	3.086
Río Cabras	337	459	520	765
Arroyo Salaro de Gilera	325	446	509	715
Río Genil desembocadura	1.908	2.520	2.851	3.600
Río Corbones en Marchena	334	456	516	760
Arroyo Salado del Término	383	436	572	816
Río Corbones en desembocadura	686	923	1.046	1.360
E. El Pintado (Río Viar)	516	693	780	1.044
E. de Aracena (Río Huelva)	249	338	400	571
E. de la Minilla (Río Huelva)	494	670	747	990
E. de Cala (Río Cala)	271	361	420	610
E. Gergal (Río Huelva)	385	527	596	830
Río Guadaira en Sevilla	578	771	886	1.014
E. Torre del Águila (Río Salado Morón)	275	367	427	620

Tabla. XXVI. Estudio de inundaciones históricas (D.G.H.O.) en M.O.P.U., 1988.  
Crecidas Máximas según períodos de retorno.

# INUNDACIONES

## CAPÍTULO 4.9 RÍOS GUADALETE Y BARBATE

### 1. ÁMBITO TERRITORIAL

La superficie que abarca esta zona, no forma parte de la cuenca hidrológica del Guadalquivir, pero pertenece a la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Comprende un área entre Sanlúcar de Barrameda y Tarifa, con una superficie total de 6.445 km<sup>2</sup>. Se pueden diferenciar tres cuencas: Guadalete, Barbate y otros ríos de la vertiente atlántica. Todos ellos desembocan en el océano Atlántico.

Participan tres provincias: Cádiz, Málaga y Sevilla en las proporciones que se indican en la tabla 4. XXVII.

PROVINCIA	SUPERFICIE EN CUENCA (Km <sup>2</sup> )	PARTICIPACIÓN EN CUENCA (%)
Cádiz	6.224	90,57
Sevilla	71	1,10
Málaga	150	2,33
TOTAL	6.445	100,0

Tabla 4. XXVII. Distribución territorial de provincias en la cuenca de los ríos Guadalete y Barbate.

Extractado de M.O.P.U., 1988.

### 2. CLIMATOLOGÍA

En general, esta área forma parte de la España mediterránea, pero por su especial orientación y una altura topográfica media bastante elevada, recibe la influencia oceánica de los vientos lluviosos dominantes del oeste. Llegan a través del golfo de Cádiz y producen un nivel de precipitaciones medias muy superior a otras zonas de latitud similar.

Disfruta de un clima templado cálido mediterráneo, con veranos secos e inviernos suaves, aunque se pueden delimitar dos regiones con características más específicas:

- A Golfo de Cádiz: clima mediterráneo-oceánico, de inviernos suaves y lluviosos.
- B Sierras Béticas: clima típico de montaña, con lluvias en invierno y verano corto, fresco y seco. Constituye la divisoria de aguas con la cuenca Sur.

## 2.1 Pluviometría

Como tendencia general, los índices de precipitaciones aumentan de oeste a este por el efecto de pantalla que producen las sierras, alcanzando en la Serranía de Grazalema la media anual más alta de la Península (2.223 mm). En esta misma zona, se pueden producir aguaceros con descargas de 400 mm en 24 horas.

La pluviometría de esta cuenca se caracteriza por la irregularidad de su distribución espacial (de 600 mm/año en la bahía de Cádiz a 1.800 mm/año en la Sierra de Grazalema) y por su irregularidad temporal, con dos máximos en febrero-marzo y noviembre-diciembre, y épocas con menos cantidad de lluvias en el período de junio a agosto.

## 2.2 Termometría

La oscilación térmica anual está en función de la influencia del mar, la exposición a los vientos húmedos y la altitud. Esta cuenca es una de las zonas más cálidas de España, con isoterma medias entre 15º y 19ºC, ya que recibe unas 3.200 horas de insolación al año.

La época de la sequía estival coincide con el período de temperaturas más altas, algo perjudicial para la agricultura. Sin embargo, el número medio de días de helada al año, es prácticamente nulo.

Las temperaturas máximas absolutas se han registrado en Trebujena (42ºC), mientras que las mínimas absolutas se midieron en el embalse de Los Hurones (4ºC).

## 2.3 Nivalidad

Es evidente que las características climáticas de la zona permiten decir que las nieves no influyen en el régimen hídrico de los ríos de la zona.

## 3. HIDROGRAFÍA

El Guadalete nace en la Sierra de Grazalema y desemboca en la bahía de Cádiz, cerca del Puerto de Santa María, tras recorrer 166 km. Su principal afluente es el Majaceita, que también nace en la Sierra de Grazalema.

El Barbate tiene una longitud de 76 km y recorre un desnivel de 900 metros. El Álamo es su principal afluente por la derecha, mientras que el Celemín y el Almodóvar son sus principales afluentes por la izquierda.

Como ríos atlánticos más significativos, a pesar de la reducida superficie de esta

cuenca, están el río Salado de Conil y el río Salado de Chiclana.

ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO						
	5	10	25	50	100	500	1.000
Tarifa	65,2	76,4	90,6	101,6	111,6	135,7	146,1
Zahara	109,6	127,2	149,5	166,0	182,3	220,2	236,4
Vejer de la Frontera	87,9	104,1	124,6	139,9	155,0	189,9	204,9
Vallehermoso	107,1	130,1	159,1	180,6	202,0	251,4	272,7
Las Alcantarillas	81,5	92,9	107,3	118,0	128,6	153,2	163,7
Benalup	100,6	119,1	142,5	159,9	177,1	216,9	234,0
Los Ahijones	92,8	110,5	132,9	149,5	166,0	204,1	220,5
Los Alburejos	92,2	11,0	134,9	152,5	170,1	210,6	228,0
Alcalá de los Gazules	86,9	98,3	112,8	123,5	134,1	158,7	169,3
Pradosanto	89,6	106,3	127,3	142,9	158,4	194,3	209,7
Medina Sidonia	93,8	110,4	131,4	146,9	162,9	198,0	213,4
Hernán Martín	107,4	123,3	143,3	158,1	172,8	206,9	221,5
San Fernando	73,2	87,6	105,8	119,3	132,7	163,7	177,0
Paterna de la Rivera	75,8	88,1	103,5	115,0	126,3	152,6	163,9
Tempul	107,6	124,9	146,9	163,1	179,3	216,5	232,6
Tavizna	90,1	104,4	122,6	136,1	149,5	180,4	193,7
Rota	62,9	71,4	82,2	90,2	98,1	116,4	124,3
Bornos	61,9	72,2	85,3	95,1	104,7	127,0	136,6
Zahara de la Sierra	105,9	122,2	142,7	158,0	173,2	208,2	223,2
Alcalá del Valle	62,9	72,7	85,1	94,3	103,4	124,5	133,6
Villamartín	69,9	81,0	95,0	105,4	115,7	139,5	149,8
Los Olivillos	57,5	66,4	77,6	85,9	94,2	113,3	121,5
La Muela	81,5	98,6	120,2	136,2	152,1	188,9	204,7
La Mariscala	69,0	80,0	93,9	104,2	114,4	138,0	148,2
Pruna	71,0	82,2	96,4	106,9	117,3	141,5	151,8
Montecorto	65,1	74,6	86,7	95,7	104,6	125,1	134,0
El Gastor	79,1	90,4	104,7	115,3	125,8	150,1	160,6
Sanlúcar de Barrameda	65,4	75,1	87,4	96,5	105,6	126,5	135,5
La Carizosa	77,9	88,9	102,9	113,2	123,4	147,1	157,3
El Marrujo	116,4	129,6	146,3	158,7	171,0	199,4	211,6

Tabla 4. XXVIII. Relación de estaciones climáticas de la cuenca de los ríos Guadalete y Barbate, con datos de precipitaciones para diferentes períodos de recurrencia. Tomado del M.O.P.U., 1988.

## 4. AVENIDAS E INUNDACIONES

### 4.1. Precipitaciones extremas

En la tabla 4.XXVIII, aparecen una serie de estaciones climáticas de la cuenca, con datos de precipitaciones máximas diarias para períodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100, 500 y 1.000 años.

En el cuadro, se observa que las máximas medidas corresponden a la estación de «Vallehermoso» en el término municipal de Medina Sidonia, mientras que las mínimas corresponden a «Los Olivillos» en el término municipal de Jerez de la Frontera.

### 4.2. Máximas Avenidas Probables Naturales

Se definen como «la mayor avenida que se puede presentar, suponiendo una total coincidencia de los factores que pueden producir la precipitación más intensa y al máxima escorrentía». A partir de diferentes métodos de cálculo y de la tipología de los datos disponibles, se presenta el cuadro-resumen de las máximas avenidas probables naturales, para períodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años (según M.O.P.U., 1988).

#### PERÍODO DE RETORNO

EMBALSE (RÍO)	Superficie (km <sup>2</sup> )	10 años (m <sup>3</sup> )	50 años (m <sup>3</sup> )	100 años (m <sup>3</sup> )	500 años (m <sup>3</sup> )
Almodóvar (Almodóvar)	16,5	28	38	43	61
Río Barbate	1.293	556	742	865	1.112

Tabla 4. XXIX. Datos de caudales en m<sup>3</sup> para diferentes períodos de retorno. Según M.O.P.U., 1988.

### 4.3. Inundaciones históricas

Las referencias de las inundaciones históricas en estas cuencas, contienen escasos datos de caudales y volúmenes asociados a las inundaciones. Pero lo más importante, es que las condiciones del entorno geográfico han cambiado mucho a lo largo del tiempo, por lo que los efectos de una inundación actual serían diferentes. No obstante, las conclusiones que se pueden obtener tras la revisión de la información de 500 años, son:

- \* La carencia de vías de comunicación y la baja densidad de población imposibilitaron en el pasado, comunicar la situación de emergencia a las áreas amenazadas. Por consiguiente, aunque las

avenidas se generan en la parte alta de las cuencas, sólo se conocen los efectos en los núcleos de población de aguas abajo.

- \* Las inundaciones se suelen desencadenar después de las típicas tormentas de otoño, y la gravedad de los efectos se caracteriza por:
  - rapidez de generación (flash-floods)
  - velocidad de las aguas por la elevada pendiente
  - fuerte erosión sobre terrenos desforestados
- \* A pesar de los beneficios que reporta el **efecto de laminación de los embalses**, no es posible construirlos en todos los puntos donde es necesario, ya que en los tramos altos tienen pendientes longitudinales muy elevadas y las alturas de cerrada tendrían que ser excesivamente grandes.
- \* Las soluciones estructurales que se han adoptado, han sido principalmente los encauzamientos, **diques longitudinales, obras de defensa puntuales y trasvases**.
- \* Uno de los efectos más importantes de las inundaciones, ha sido la destrucción de los **acuedos de derivación**, construidos para el riego y la obtención de energía, por lo que se paralizaban las actividades agrícolas e industriales.
- \* Como consecuencia del progreso, existe, nuevos objetos vulnerables a las inundaciones, como los puentes y la infraestructura de las comunicaciones. No sólo hay que tener en cuenta los perjuicios derivados de la interrupción, sino también los costes derivados de su reparación.

## 5. ZONAS POTENCIALMENTE INUNDABLES

Las causas generales que pueden provocar las inundaciones pueden ser:

- \* Avenidas
- \* Temporales ciclónicos
- \* Acciones del mar
- \* Obstrucciones en el cauce
- \* Efectos de los embalses
- \* Insuficiencia de drenaje

En este ámbito territorial, la causa más frecuente ha sido las tormentas generadas en la cabecera de los ríos.

Los embalses de regulación y los encauzamientos permiten en la actualidad, contar con un nivel de riesgo menor en algunas zonas, sin embargo hay otras áreas que han visto agravado su riesgo de inundación, como las situadas aguas abajo de grandes presas, donde se hacen vertidos incontrolados de sus aliviaderos, y existe el nuevo riesgo de rotura de la presa. En resumen, a pesar de las obras de infraestructura realizadas en la zona, aquellas que hayan sufrido inundaciones históricas, siguen estando amenazadas. Lo que variará es la cuantía de los daños, disminuyendo en el caso de obras de regulación o, aumentando en los nuevos focos de densificación por vías de comunicación o incremento de población.

Las fuentes de datos utilizadas para detectar las áreas de riesgo potencial, fueron:

- \* Zonas con inundaciones históricas. Normalmente son los tramos inferiores de los ríos, las marismas y los valles abiertos de los tramos medios, y algún caso en el litoral.
- \* Inventario de puntos conflictivos.
- \* Zonas situadas aguas abajo de los embalses en explotación.

## **6. ACCIONES PREVENTIVAS Y DE REDUCCIÓN DE DAÑOS**

Las conclusiones más importantes del estudio para acometer acciones preventivas de reducción de daños por inundaciones son:

- \* Es necesaria una revisión de los cruces entre la infraestructura viaria e hidráulica, con los cauces de ríos y arroyos.
- \* Surgen problemas causados por los depósitos sedimentados en las confluencias de arroyos sobre el río principal, ya que se producen sobreelevaciones del nivel de las aguas, y disminuye la capacidad de transporte del río principal.
- \* Se apunta como estudio urgente la solución del drenaje de las vegas bajas durante las inundaciones, y en otros puntos de embalsamiento temporal.
- \* Es urgente el estudio y definición de la **normativa legal** que permita zonificar las áreas inundables en varias clases, y valorar objetivamente los daños potenciales.
- \* Algunas zonas de las sierras están sometidas a fenómenos de erosión importantes.

# INUNDACIONES

## CAPÍTULO 4.10 CUENCA DEL JÚCAR

### 1. ÁMBITO TERRITORIAL

El ámbito territorial que abarca la Confederación Hidrográfica del Júcar, comprende el territorio de todas las cuencas que vierten sus aguas al mar Mediterráneo entre la margen izquierda de la Gola del Segura en su desembocadura, y la desembocadura del río Cenia, incluyendo la cuenca endorreica de Pozohondo.

La extensión total de este territorio es de 42.903 km<sup>2</sup>, y abarca la provincia de Valencia y parte de Albacete, Alicante, Castellón, Cuenca, Teruel y una pequeña porción de Tarragona. La distribución es como sigue (tabla 4.XXX):

PROVINCIA	SUP. TOTAL (km <sup>2</sup> )	EXTENSIÓN EN CUENCA (km <sup>2</sup> )	PARTICIPACIÓN EN CUENCA (%)
Teruel	14.804	5.651	13,15
Albacete	14.858	7.627	36,61
Cuenca	27.060	8.108	
Tarragona	6.283	280	0,65
Alicante	5.863	4.701	
Castellón	6.679	5.829	49,59
Valencia	10.788	10.788	
<b>TOTAL</b>	<b>86.335</b>	<b>42.984</b>	<b>100</b>

Tabla 4.XXX. Distribución territorial de provincias en la cuenca del Júcar. Extractado de M.O.P.U., 1988.

### 2. CLIMATOLOGÍA

Desde todos los puntos de vista, es una cuenca muy heterogénea, sobre todo en lo referente al clima. A modo de resumen, aquí se extractan las características climatológicas generales procedentes de los anuarios del Instituto Nacional de Meteorología:

Precipitación media anual .....	545 mm
Precipitación año más húmedo .....	840 mm
Precipitación año más seco .....	310 mm
Temperatura media anual .....	14,1°C
Evapotranspiración potencial media anual.....	770 mm

Como rasgos generales, el territorio de la Confederación Hidrográfica del Júcar, se caracteriza por tener un clima con una estación seca y cálida, pero en función de altitud, continentalidad y latitud, se pueden diferenciar nueve unidades climáticas básicas:

- a) **clima de montaña:** veranos húmedos y frescos, con máximos pluviométricos en otoño y primavera. Es el sector más frío y lluvioso.
- b) **clima del litoral septentrional:** temperaturas moderadas, oscilación térmica anual escasa, período seco de 4-5 meses, máximo de precipitaciones en octubre y mínimo en primavera.
- c) **clima de transición entre la llanura litoral y las sierras interiores:** presenta características intermedias entre el a) y b), disminuye el máximo otoñal, hay un máximo secundario en primavera, se reduce la sequía estival y disminuyen las temperaturas medias.
- d) **clima del sector central occidental:** temperaturas influidas por la continentalidad, y menores que las de la costa. Escasas precipitaciones anuales bien distribuidas a lo largo del año, excepto en verano.
- e) **clima de la Llanura Manchega:** largos períodos de heladas, carácter estepario, precipitaciones máximas en primavera y gran aridez en verano, por las elevadas temperaturas.
- f) **clima de la llanura litoral lluviosa:** veranos muy secos, inviernos lluviosos y otoños con notable pluviosidad, por la exposición favorable a los vientos del NE.
- g) **clima de las vertientes lluviosas de las Sierras Béticas (Ontinyent):** corresponde a la cara norte del macizo de Alcoy. Elevada pluviosidad con temperaturas más frescas que f) y mayor oscilación anual.
- h) **clima de las vertientes secas de las Sierras Béticas (Villena):** recibe un máximo de precipitaciones en otoño, pero durante el resto del año, las precipitaciones no son tan elevadas como en otras zonas. Presenta sequía estival (4-5 meses). Es el clima de transición al del sector árido meridional.
- i) **clima del extremo mediterráneo:** período seco centrado en el verano pero que incluye también la primavera y el otoño (5-6 meses en total, de gran intensidad). Las

lluvias medias son escasas, a veces inferiores a los 300 mm, los máximos, otoñales y primaverales, son poco acusados. Las temperaturas medias anuales son elevadas (18°C).

## 2.1 Pluviometría

La distribución de las precipitaciones está muy influida por el **relieve**. Los máximos niveles de pluviosidad se registran en sectores influidos por la latitud, la cercanía al mar y la exposición a la flujo del Mediterráneo, como en el interior septentrional de la provincia de Castellón y en la cuenca alta del río Cenia (Fredes, 714 mm; la Cenia, 816 mm) y las Sierras Béticas (Pego 900 mm; Benifairó de Valldigna, 852 mm).

El **relieve** es también la causa principal de la escasez de precipitaciones en el sureste de la cuenca. Otros puntos secos son: el valle de Ayora-Cofrentes (Ayora 406 mm), la depresión de Casinos (Casinos 375 mm) y algunos sectores de Utiel (404 mm) y del altiplano de Requena (436 mm). Todos ellos tienen en común el estar casi cerrados por cadenas montañosas.

Gran parte de las precipitaciones litorales se producen en **otoño**, pero a medida que se avanza hacia el interior, la primavera pasa a registrar casi el máximo absoluto anual. El **verano** es la estación más seca, excepto en algunas sierras interiores, donde se producen fuertes tormentas convectivas o también las llamadas térmicas. El **invierno** es la estación más lluviosa en las sierras.

A continuación, se enumeran las características de la cuenca del Júcar respecto a la distribución de las precipitaciones anuales.

- \* Las áreas no montañosas de Cuenca, Albacete y Teruel, reciben precipitaciones inferiores a los 500 mm anuales.
- \* Las precipitaciones más bajas se registran en el sureste de la cuenca, en el tramo medio y bajo del Vinalopó y en la desembocadura del Amadorio. Todas ellas registran precipitaciones inferiores a 300 mm/año.
- \* Las precipitaciones más altas se reciben en las zonas de montaña, como en las cabeceras del Júcar (más de 1.000 mm/año) y las del Cenia, Turia, Cabriel (más de 800 mm/año). En Pego, cuenca del Girona y Bullens, también se alcanzan precipitaciones superiores a 800 mm/año.
- \* El 75% de la precipitaciones se concentra en los meses de octubre a enero y afectan principalmente a las cabeceras de los ríos Júcar, Cabriel y Cenia. Son frecuentes las lluvias torrenciales asociadas a gotas frías en el área costera, y en las cuencas medias y bajas de los ríos Turia, Júcar, Serpis y el resto de los ríos meridionales.

Los valores de precipitación media anual para las cuencas completas, son los siguientes:

CUENCA	PRECIPITACIÓN MEDIA (mm/año)
Río Cenia	715
Río Servol	690
Río San Miguel	580
Río Mijares	530
Río Palancia	490
Río Turia	500
Río Júcar	515
Río Serpis	630
Río Gorgos	615
Río Guadalest-Algar	540
Río Amadorio	380
Río Vinalopó	320

**Tabla 4. XXXI.** Tabla de valores de precipitación anual para las cuencas completas, dentro del territorio de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Tomado de M.O.P.U., 1988.

## 2.2 Termometría

Las características más importantes del clima en cuanto a temperaturas, son:

- \* En el litoral, los inviernos son cortos y templados, con temperaturas medias comprendidas entre 10º y 12ºC durante los meses de diciembre y enero. Los veranos duran desde mayo hasta octubre, y se alcanzan los mayores valores en julio y agosto con temperaturas medias superiores a los 27ºC (Elche y Játiva).
- \* En el interior, los inviernos duran cinco meses, y las temperaturas del mes de enero varían entre 3º y 5ºC. En la estación de Uña (Cuenca), no se sobrepasan los 2ºC de media en enero. Los veranos son cortos y rápidos, con temperaturas comprendidas entre 20º y 24ºC en los meses de julio, agosto y septiembre.
- \* Las heladas son típicas del interior y de las zonas de montaña. Se registran heladas tempranas en octubre y tardías en abril, aunque realmente se producen en los meses de diciembre, enero y febrero.

PERÍODO DE RETORNO (Años)	CAUDALES (m <sup>3</sup> /sg)	
	Anual	Estacional (dic-mayo)
25	-	850
50	1.750	1.075
100	2.600	1.350
500	6.500	2.100
1.000	9.000	2.500

**Tabla 4. XXXV.** Estimación de los caudales máximos anuales y estacionales, para el río Júcar en Embarcaderos. Tomado de M.O.P.U., 1988.

#### 4.3 Inundaciones históricas

Se han catalogado 217 referencias sobre inundaciones ocurridas en algún punto de la cuenca del Júcar, desde el año 1088, de las cuales sólo 18 eran anteriores a 1483. Entonces, para los 500 años que van desde 1483 a 1983, se deduce una frecuencia de una inundación cada dos años aproximadamente, dato que es meramente ilustrativo.

El análisis de la información referida, permite llegar a las siguientes conclusiones:

- \* Los ríos de este ámbito son morfológicamente **jóvenes**, por lo que no están regulados naturalmente para evacuar los cauces de avenida.
- \* Las referencias de inundaciones proceden de **zonas pobladas** y se refieren a ellas como fenómenos de presentación súbita, cuando es muy posible que produzcan efectos importantes aguas arriba. Puede darse también el caso de avenidas que hayan sido laminadas de forma natural en las cuencas altas y no existan datos por no haber afectado a los núcleos de población.
- \* En los puntos tradicionales de riesgo de inundación, se detecta una tendencia a ampliar las ciudades en zonas protegidas, como en la ribera del Júcar y en Castellón de la Plana.

Estación nombre	Año	Fecha mes	Precipitación máxima 24h(mm)
Taberna	72	Octubre	210,0
Bolulla	72	Octubre	247,0
Embalse de Guadalest	57	Octubre	211,0
Callosa de Ensarria C. H. J.	57	Octubre	206,0
Benisa- Convento	72	Octubre	249,0
Benisa C.H.J.	69	Abril	423,0
Jalón	60	Junio	241,0
Jávea	48	Octubre	234,0
Cabo J. Antonio	58	Octubre	410,0
Denia	58	Octubre	343,0
Denia-C. Agrícola	62	Octubre	203,0
Reservado	49	Octubre	200,0
Tormos	69	Abril	253,0
Vergel- Racons	58	Octubre	298,0
Pego	49	Octubre	280,0
Pego-Convento	73	Marzo	216,0
Olivar-S.E. Agraria	73	Noviembre	210,0
Concentaina	59	Octubre	205,0
Embalse Boniarés	59	Octubre	200,0
Gandía P.E.	66	Octubre	207,0
Barig	49	Diciembre	315,0
Benifairó de Vall	49	Diciembre	210,0
Cervera del Llano	54	Abril	902,0
Casas de Ves	77	Febrero	230,0
Millares	79	Octubre	263,3
Salto Millares	78	Octubre	210,0
Abadía - El Clan	44	Octubre	207,0
Beniadgar-Las Plani- ses	59	Octubre	224,0
Canals	59	Octubre	228,0
Játiva PIA	59	Octubre	370,0
Játiva- El Realengo	72	Octubre	238,0
Puebla Larga	59	Octubre	287,0
Benimislam	59	Octubre	208,0
Carcagente-S.E. Agraria	79	Octubre	215,0
Carcagente-Convento	44	Octubre	245,0

### 2.3 Nivalidad

En las cotas más altas, se producen precipitaciones en forma de nieve y el número no pasa de 15 días al año. En realidad, este régimen nival no permite tenerlo en cuenta como parte de la reserva de recursos hidráulicos.

## 3. HIDROGRAFÍA

Según la tipología de ríos de Masachs, los ríos de las cuencas que pertenecen a la Confederación Hidrográfica del Júcar, son de dos clases:

\* **autóctonos**: nacidos en montañas próximas a la costa, adaptados al medio físico regional, de breve recorrido, pendientes considerables y caudales medios pequeños y muy irregulares. Pueden incluirse en este grupo las ramblas, que son cursos típicos mediterráneos, con lecho amplio y pedregoso, gran ramificación y caudal esporádico, que sólo alcanza grandes proporciones en la época de lluvias.

\* **alóctonos**: son ríos nacidos en las cordilleras que bordean la Meseta y están más regulados que los autóctonos, no sólo por el régimen nival, sino también por drenaje sobre calizas y acuíferos potentes. Son ríos que han excavado cañones en sus tramos medios y que posteriormente, se abren a llanuras donde depositan sus aluviones y donde sus caudales son agotados prácticamente por las explotaciones para el regadío.

El **Júcar** es el río más importante de los cursos que abarca la Confederación Hidrográfica del Júcar. Tiene 497,5 km de longitud y una extensión de cuenca de 18.757 km<sup>2</sup>. Nace en los Montes Universales (Sistema Ibérico) a 1.505 metros de altitud.

## 4. AVENIDAS E INUNDACIONES

### 4.1 Precipitaciones máximas

El riesgo de inundación es especialmente grave en las cuencas de los ríos menores, y en las cuencas bajas de los ríos más importantes. La causa principal es la confluencia de factores morfológicos y geográficos adversos, y una climatología especialmente complicada.

Las situaciones meteorológicas que dan lugar a grandes descargas de precipitaciones en el área que abarca la Confederación Hidrográfica del Júcar, son:

**Sistemas frontales del oeste**: son temporales de origen atlántico que barren toda la Meseta y que llegan a estas cuencas con escasa capacidad para producir lluvias.

Las borrascas del golfo de Vizcaya llegan al Mediterráneo por Aquitania o por el Corredor del Ebro, y descargan lluvias en las cabeceras del Júcar, Turia y Mijares.

**Fenómenos tormentosos estivales:** como consecuencia de la intensa insolación, se producen tormentas estivales con aparato eléctrico, que suelen ser breves y no descargan excesivas precipitaciones. La respuesta más violenta se produce en ríos de valles encajonados. Si existe una entrada de aire frío a niveles más altos (no muy frecuente en verano), los efectos pueden ser graves.

**Temporales mediterráneos:** Pérez Cueva y Armengot Serrano (1983), los describen como la interacción de un anticiclón en el norte de la región considerada y una borrasca baja relativa al sur, pudiendo añadirse en algunos casos, la formación de una gota fría en altura. De esta forma, los mecanismos de **condensación y precipitación** funcionan perfectamente, por las características de temperatura y humedad de la zona.

El relieve colabora para ofrecer una cuenca de recepción perfecta a los flujos de origen marino, y los canaliza hacia los relieves costeros primero, y a los relieves interiores, después. Los vientos son encajonados a través de valles de orientación SO-NE, que al ir estrechándose, inducen el ascenso del aire caliente cargado de humedad. Al encontrarse con un embolsamiento de aire frío a medida que suben, el vapor de agua condensa y se desencadena la precipitación en forma de tormenta.

Este tipo de fenómenos suele producirse en los meses de septiembre a diciembre, y con mayor frecuencia en octubre y noviembre.

En la tabla 4.XXXII. (M.O.P.U., 1988), aparecen los valores de precipitaciones máximas en 24 horas.

#### 4.2 Máximas avenidas probables naturales

En las tablas 4.XXXIII y 4.XXXIV, se muestran los caudales máximos ( $m^3/s$ ) en las cuencas menores de  $200 \text{ km}^2$  y mayores de  $200 \text{ km}^2$  respectivamente, que figuran en el informe del Plan Hidrológico de la Confederación Hidrográfica del Júcar (M.O.P.U., 1988), para períodos de recurrencia de 10 y 500 años.

A continuación, se adjunta una estimación de los caudales máximos instantáneos (anuales y estacionales diciembre-mayo) para períodos de retorno de 25, 50, 100, 500 y 1.000 años en el río Júcar en Embarcaderos, que figura en dicho informe:

Alcira I.L.	66	Octubre	260,0
Alcira P.E.	66	Octubre	212,0
Cullera	59	Octubre	280,0
Albal	51	Octubre	206,0
Torrente	66	Octubre	200,0
Valencia-Patraix	70	Octubre	240,0
Valencia - Hornos Alcedo	67	Octubre	207,0
Chelva-Convento	58	Octubre	217,0
Domeño	58	Octubre	300,0
Casinos	58	Octubre	200,0
Villar de Arzobispo	58	Octubre	235,0
Serra	70	Octubre	220,0
Serra-Portaceli	51	Octubre	211,0
Almáncera	51	Octubre	204,0
Rafelbuñol-San Enrique	70	Octubre	214,0
Bejís	58	Octubre	361,0
Altura-Cueva Santa	58	Octubre	200,0
Alfara de Alginia	57	Octubre	230,0
Alginia de Befara	57	Octubre	200,0
Vall d'Uxo	62	Octubre	210,0
Nules	73	Octubre	114,3
Onda - El Carmen	57	Octubre	230,0
Bechi	57	Octubre	241,0
Burriana	64	Diciembre	262,0
Villarreal	65	Diciembre	811,0
Puebla de Valverde	52	Agosto	400,0
San Agustín	58	Octubre	220,0
Adzaneta	63	Octubre	215,0
Useras	70	Octubre	211,0
Castellón	63	Octubre	210,0
Castellón P.E.	63	Octubre	207,0
Chert	63	Octubre	200,0
Puebla de Benifasar	49	Diciembre	265,0
San Carlos de la Rápita	72	Septiembre	307,0

Tabla 4. XXXII. Valores de precipitaciones máximas en 24 horas, para las estaciones de la cuenca del Júcar.  
Tomado de M.O.P.U., 1988.

LUGAR	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S)	
	10 AÑOS	500 AÑOS
Desembocadura del río Valviquera	44,62	224,01
Desembocadura Bc. Agua Oliva	77,66	382,72
Desembocadura río Alcalá	153,48	565,19
Desembocadura río Seco	136,01	505,88
Desembocadura río Belcaire	17,76	230,35
Desembocadura río Jaroco	36,31	369,51
Desembocadura río Beniopa	93,18	409,18
Desembocadura río Girona	193,15	814,29
Confluencia rambla Rambuchar con rambla de La Zarza	73,23	663,00
Desembocadura rambla río Rambuchar	72,20	601,37

**Tabla 4. XXXIII.** Tabla de caudales máximos (m<sup>3</sup>/s) en cuencas menores de 200 km<sup>2</sup> del territorio de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Tomado de M.O.P.U., 1988.

Punto	Q Caudal (m <sup>3</sup> /s)	
Río Cenia en embalse de Uldecona	31,29	56,36
	180,68	267,67
Desembocadura río Cenia	64,88	96,12
	311,85	461,26
Desembocadura río Servol	61,18	90,64
	345,86	512,39
Desembocadura río Cervera	133,94	198,43
	526,86	780,53
Desembocadura río San Miguel	253,76	375,94
	900,19	1.333,61
Confluencia río Mijares con río Valbona	36,75	54,44
	293,59	434,95
Confluencia río Mijares con el río Montán	96,74	143,32
	757,89	1.122,80
Confluencia río Mijares con el río Vallehermosa	127,73	960,86
	189,23	1.423,50
Confluencia río Mijares con rambla de La Viuda	327,06	484,53
	1.278,72	2.561,07
Confluencia rambla de La Viuda con río Lucena	250,08	370,49
	1.053,75	1.561,07
Desembocadura río Mijares	318,32	471,59
	1.681,09	2.490,50
Desembocadura río Veo	78,58	65,02
	354,24	524,80
Desembocadura río Palancia	176,11	260,90
	862,56	1.227,87
Desembocadura el Beo. de Carraixel	22,65	33,56
	198,30	293,78
Confluencia río Turia con el Alfambra	100,13	148,34
	1.013,69	1.501,76
Confluencia río Alfambra con la rambla de la Hoz	29,75	44,07
	393,73	583,30
Confluencia del río Turia con el Alfambra	100,13	148,34
	1.013,69	1.501,76
Confluencia del río Alfambra con la rambla de la Hoz	29,75	44,07
	393,73	583,30
Confluencia río Turia con el Alfambra	100,13	148,34

	1.013,69	1.501,76
Confluencia río Alfambra con la rambla de la Hoz	29,75	44,07
	393,73	583,30
Confluencia del río Turia con el río Arcos	94,49	139,99
	972,16	1.440,24
Confluencia del río Turia y con el río Turcán	103,89	153,91
	1.016,78	1.506,34
Confluencia del río Turia y rambla Castellana	180,82	267,88
	1.319,07	1.954,18
Desembocadura del río Turia	193,70	286,96
	1.342,16	1.988,39
Desembocadura rambla de Poyo	152,08	225,30
	692,15	1025,41
Confluencia del río Júcar con el río Huécar	58,89	87,24
	487,91	676,33
Confluencia del río Júcar y el río Marimota	88,26	130,76
	671,94	995,47
Confluencia del río Júcar con Arquillo de D. Juan	167,40	248,00
	1.450,42	2.148,77
Confluencia río Júcar con el río Cabriel	238,50	353,33
	2.255,45	3.341,41
Confluencia del río Cabriel y Guadazón	43,15	63,93
	582,92	863,59
Confluencia río Júcar y río Sellent	256,78	393,75
	2.326,02	3.445,96
Confluencia río Júcar y río Albaida	357,14	529,10
	2.743,66	4.064,68
Confluencia río Júcar y río Verde	359,73	532,93
	2.725,96	4.038,46
Confluencia río Albaida con río Clariano	197,25	292,22
	933,08	1.282,34
Confluencia río Cañoles y río de los Santos	122,53	181,53
	724,39	10.382,34
Confluencia río Albaida y río Cañoles	400,10	592,74
	1.890,85	2.801,26
Confluencia río Júcar y río Magro	418,22	619,59
	3.089,03	4.576,34
Desembocadura río Júcar	399,70	592,15

	2.954,25	4.376,96
Confluencia río Serpis y río Vallseta	211,06	312,68
	1.074,80	1.592,30
Desembocadura río Serpis y río Bernisa	319,19	579,54
	1.725,86	2.556,83
Desembocadura río Serpis	366,25	1.617,52
	542,59	2.396,33
Desembocadura río Gorgos	190,23	281,82
	784,86	1.162,76
Confluencia río Algar y río Guadalest	168,80	250,07
	733,22	1.086,25
Desembocadura río Algar	177,29	262,65
	756,22	1.120,33
Confluencia río Amadorio y río Sella	47,48	70,34
	330,85	490,15
Desembocadura río Amadorio	44,67	66,18
	325,86	482,76
Confluencia río Monegre y río Jijona	56,02	82,99
	443,76	657,42
Desembocadura río Monegre	55,99	82,95
	447,46	662,90
Confluencia río Vinalopó y acequia del Rey	64,99	96,28
	544,19	806,16
Confluencia río Vinalopó y rambla Honda	114,39	169,47
	819,51	1.214,09
Desembocadura río Vinalopó	102,83	152,34
	736,17	1.090,62

**Tabla 4. XXXIV.** Tabla de caudales máximos ( $m^3/s$ ) en cuencas mayores de 200  $km^2$ , dentro del territorio de la Confédération Hidrográfica del Júcar. Tomado de M.O.P.U., 1988.



# INUNDACIONES

## CAPÍTULO 4.11 CUENCA SUR

### 1. ÁMBITO TERRITORIAL

La Confederación Hidrográfica del Sur de España ejerce su competencia sobre las cuencas hidrográficas andaluzas que desembocan en el mar Mediterráneo. Abarca un territorio de 18.000 km<sup>2</sup> en forma de franja de tierra, limitada al sur por el Mediterráneo. Tiene unos 350 km de longitud y unos 50 km de anchura.

La cuenca Sur integra las provincias de Málaga y Almería por completo, parte del litoral de Granada y el Campo de Gibraltar en la provincia de Cádiz. Se trata de una zona con un clima muy benigno, que propicia el crecimiento de la población residente y estacional.

### 2. CLIMATOLOGÍA

#### 2.1 Pluviometría

Son los factores **topográficos** y la distancia al mar y al **Estrecho de Gibraltar**, los condicionantes de la heterogeneidad en la distribución de las precipitaciones medias anuales. Los extremos se sitúan entre los 200 mm como media anual de Almería (la capital más seca), y los 2.000 mm medios anuales de la Sierra de Grazalema. Las precipitaciones medias anuales para toda la cuenca, rondan los 564 mm.

En líneas generales, la mitad **occidental** de la cuenca Sur es húmeda o muy húmeda, excepto los valles del Guadalhorce y Guaro. En el sector **central**, la distribución de las precipitaciones anuales permite reconocer las áreas de montaña (con más de 1.000 mm/año) y la costa (400-500 mm/año). En la **zona oriental**, se reciben escasas precipitaciones a lo largo del año (200-400 mm), por el efecto barrera de Sierra Nevada.

La distribución de las lluvias a lo largo del año, es muy irregular. Mientras la sequía estival es intensa, la mayor parte de las precipitaciones anuales caen de noviembre a marzo.

## 2.2 Termometría

A grandes rasgos, se distinguen tres zonas diferentes:

Zona del litoral: con temperaturas medias anuales superiores a 17°C y ausencia de heladas durante todo el año, abarca una banda costera que se amplía en las desembocaduras de los ríos. Los veranos son muy largos y los inviernos consisten en una suavización de las temperaturas.

Zona de montaña: dispone de un período de al menos 105 días/año de heladas, y temperaturas medias anuales inferiores a los 13°C. Está representada por las sierras en general, y áreas con altitud superior a los 800 metros sobre el nivel del mar. La vertiente norte de la Sierra de los Filabres y las cumbres de Sierra Nevada, registran las mínimas temperaturas medias anuales.

Zonas intermedias: se sitúan entre las dos bandas anteriores y presentan un rango de variación climática muy amplio, y condicionado principalmente por los accidentes locales. La influencia continental se deja sentir al sobrepasar la primera línea de barreras montañosas, cuya continuidad sólo se distorsiona por la penetración de aire cálido y húmedo, por los valles de los ríos de la cuenca. En las zonas desérticas y subdesérticas de Almería, las temperaturas en verano son tan elevadas que crean una situación agobiante para los animales y la vegetación.

## 2.3 Nivalidad

La influencia del régimen nival se circunscribe a Sierra Nevada, con altitudes superiores a los 2.500 metros, y la Sierra de los Filabres, con alturas de más de 1.500 metros. Mientras que en Sierra Nevada la persistencia de la nieve es superior a tres meses al año, en el resto de las cumbres de las cadenas montañosas de la cuenca, la nieve no dura más de 15 días. Se ha constatado además, la importancia del deshielo de la nieve de Sierra Nevada en el régimen del río Guadalfleo.

## 2.4 Sequías

La sequía estival es intensa y extendida a toda la cuenca, incluso en las regiones más húmedas. En verano, las precipitaciones son en forma de tormentas, con distribución espacial completamente distinta a la regla general del resto del año.

ESTACIÓN	N	LL	P	Alt
Bacares	4,9	34,3	396	1.213
Canjayar	1,1	30,2	360	605
Laujar	2,5	57,3	539	921
Monterrey	12,0	46,0	605	1.222
Cerecillo	11,0	49,1	708	1.780
Lanjarón	7,0	61,1	536	720
Soportujar	2,3	49,6	740	1.400
Alfarnate	3,2	85,6	1.005	925

N = Días de nieve al año

LL = Días de lluvia y granizo al año

P = Precipitación media anual (mm)

Alt = Altitud sobre el nivel del mar en metros

**Tabla 4. XXXVII.** Datos de estaciones termopluviométricas de la cuenca Sur, con probabilidad de ocurrencia superior a un día al año. Tomado de M.O.P.U., 1988.

### 3. HIDROGRAFÍA

La cercanía de las cordilleras Béticas al litoral, determina la importancia de la pendiente, ya que el 57% del territorio de la cuenca Sur tiene pendientes superiores al 25%, y sólo un 13% del territorio tiene pendientes inferiores al 5%.

Las cadenas montañosas se alinean en dos niveles: costero e interior. Las alineaciones costeras tienen máximas alturas de entre 1.300 y 2.300 metros, y las interiores alcanzan los 3.500 metros. La red hidrográfica aprovecha las alineaciones estructurales longitudinales y transversales (contactos litológicos, fallas) más débiles, para introducirse.

La cuenca Sur no está formada por un sólo río con su red de afluentes, sino que está formada por una sucesión de cuencas con drenaje superficial independiente.

Tanto la orografía, como la litología y la red hidrográfica, no presentan las situaciones más favorables para regular la infraestructura hidráulica en una zona donde la demanda hídrica es muy fuerte, y son necesarias también medidas de protección contra las inundaciones extraordinarias.

#### 4. AVENIDAS E INUNDACIONES

##### 4.1. Precipitaciones extremas

No existen estudios muy precisos de precipitaciones extremas, caídas sobre la cuenca Sur. Sin embargo, es posible afirmar que la distribución de las precipitaciones máximas diarias es completamente distinta a la distribución de las precipitaciones anuales. A veces, se registran importantes volúmenes de precipitaciones caídas en un día en zonas de poca altitud (600 mm en el pluviómetro del Albuñol, cerca del río Albuñol), o en zonas muy áridas (600 mm en el pluviómetro de Zurgena, cerca del embalse de Almanzora).

Generalmente, son las fuertes lluvias las causantes de las inundaciones en la cuenca Sur, aunque la superficie afectada no suele llegar a los 50 km.

#### 5. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS INUNDACIONES EN LA CUENCA SUR

A partir de los registros de inundaciones de la cuenca Norte que figuran en el Catálogo Nacional de Riesgos Geológicos (I.T.G.E., 1988), se pueden deducir características generales de las inundaciones en la cuenca del Sur de España:

<b>CAUSAS</b>	Fuertes lluvias
<b>DURACIÓN MEDIA</b>	1-2 días. Máximo 7 días (enero 70).
<b>SUP. AFECTADA MEDIA</b>	17 km <sup>2</sup> . Máximo registrado 40 Hm <sup>2</sup> (oct. 88)
<b>PÉRDIDAS ECO. MÁXIMA</b>	8.000 millones de ptas. (oct 88).
<b>DAÑOS MATERIALES</b>	Viviendas, comercios, vías de comunicación, huertas.
<b>PERÍODO RECURRENCIA</b>	3-5-10-25-50-100 años. Máximo 500 años (oct. 73, oct. 24)
<b>PERÍODO OBSERVACIÓN</b>	1907-1988

# INUNDACIONES

## CAPÍTULO 4.12 CUENCA DEL EBRO

### 1. ÁMBITO TERRITORIAL

La Confederación Hidrográfica del Ebro comprende el territorio español de las cuencas hidrográficas del río Ebro, río Garona, y de las demás cuencas hidrográficas que vierten al mar Mediterráneo a través de la frontera con Francia, excepto las cuencas del Nive y Nivelle. Se considera también incluida la laguna de Gallocanta.

AUTONOMÍAS/ PROVINCIAS	EXTENSIÓN TOTAL (km <sup>2</sup> )	PARTICIPACIÓN EN CUENCA (%)
Cantabria	766	0,9
Burgos	5.342	6,26
Palencia	38	0,04
Soria	2.806	3,29
La Rioja	5.013	5,87
Álava	2.639	3,08
Guipúzcoa	32	0,04
Vizcaya	57	0,07
Navarra	9.282	10,87
Huesca	15.671	18,35
Teruel	9.224	10,8
Zaragoza	17.194	20,13
Guadalajara	1.103	1,29
Barcelona	121	0,14
Gerona	234	0,27
Lérida	11.387	13,34
Tarragona	3.669	4,3
Castellón	821	0,96
<b>TOTAL</b>	<b>85.399</b>	<b>100</b>

**Tabla 4. XXXVII.** Distribución territorial de provincias y autonomías en la cuenca del Ebro.  
Extractado de M.O.P.U., 1988.

Este territorio abarca la casi totalidad de la Comunidad Autónoma de La Rioja, la mayor parte de Navarra y Aragón, parte de Cataluña y el País Vasco, y áreas reducidas de Cantabria, Castilla y León, Comunidad Valenciana y Castilla-La Mancha. La distribución territorial figura en la tabla 4. XXXVII.

La cuenca del Ebro es una de las más extensas de la Península Ibérica (85.001 km<sup>2</sup>), pero la cuenca del Duero es algo mayor si se incluye la parte portuguesa.

## 2. CLIMATOLOGÍA

Los principales factores que determinan el clima de la cuenca del Ebro, son: la cercanía al mar Mediterráneo, al océano Atlántico y a los Pirineos. Así, se diferencian áreas generadoras de agua y áreas consumidoras. Climatológicamente hablando, se distinguen cinco zonas:

- a) la **Depresión Central** (Álava, Navarra, La Rioja, Zaragoza, Huesca, Teruel y Lérida) tiene clima continental o subdesértico tropical. Sufre escasez de precipitaciones, largas sequías estivales y temperaturas extremas.
- b) la **cornisa Cantabro-Atlántica**, con abundantes precipitaciones de distribución anual casi uniforme y temperaturas suaves a lo largo del año.
- c) la **cornisa Ibérica**, de régimen parecido a la Depresión Central, aunque con más lluvias y temperaturas más frías.
- d) la **desembocadura**, de régimen similar a la Depresión Central, pero con temperaturas más suaves por la influencia del Mediterráneo.
- e) el área **Pirenaica** tiene el mayor índice de precipitaciones, con veranos cortos y frescos e inviernos crudos. Precipitaciones en forma de nieve.

La configuración geográfica de la cuenca del Ebro, determina el régimen predominante de vientos. Siguiendo la alineación principal del valle NO-SE, el **cierzo** o viento frío se dirige hacia el NO, y el **bochorno** o viento cálido se dirige hacia el SE.

### 2.1 Pluviometría

La distribución de precipitaciones en la cuenca del Ebro, está condicionada por la orografía. La orla pirenaica, la cornisa Cantábrica y la cordillera Ibérica son áreas productoras de escorrentía con balance hídrico positivo, mientras que los sectores centrales de la cuenca son deficitarios en

agua, no sólo por los mayores índices de precipitaciones, sino por los regadíos y la demanda de los núcleos de población.

La precipitación media anual para toda la cuenca, es de 603 mm/año. Las máximas precipitaciones caen sobre los Pirineos y la cornisa Cantábrica, superando en algunos puntos, los 1.500 mm de media anual.

En el Valle del Ebro, las medias anuales son de unos 300 mm. Los temporales de lluvia van asociados a vientos de SE que entran por Tortosa, y suelen durar dos o tres días. Sin embargo, en la parte alta del valle del Ebro, la influencia viene del Atlántico, en forma de sistemas nubosos que descargan 1.000 mm/año, con abundantes nieves durante los meses de invierno.

En la desembocadura del Ebro, al igual que en toda la costa mediterránea, se producen **fuertes tormentas** en la primavera y el otoño, con origen en embolsamientos de aire frío en las capas altas de la atmósfera sobre Baleares.

## 2.2. Termometría

Existe un núcleo de altas temperaturas medias anuales en el centro del valle, con el máximo de 16°C en la desembocadura del Ebro. Las isothermas se disponen concéntricas con el valle, hasta llegar al extremo más frío que se sitúa sobre Pirineos, Moncayo y la Sierra de Albarracín, con isothermas medias entre los 6° y 9°C.

Dada la continentalidad del clima del valle, se presentan importantes diferencias de 20°C entre las medias de los meses más cálidos y más fríos. Además, durante el invierno, son importantes las heladas y las nieblas por el régimen de anticiclones fríos.

## 2.3. Nivalidad

Las precipitaciones en forma de nieve sólo afectan a las áreas de alta y media montaña. Sin embargo, los períodos de deshielo son muy importantes dentro del ciclo hidrológico anual, por los volúmenes de agua aportados.

Desde 1984, está en marcha un proyecto de evaluación de la contribución de la fusión de la nieve, al balance anual de los ríos de la cuenca que afectan. Las áreas a estudiar son el Pirineo, la cordillera Cantábrica, Sistema Ibérico, Sierra Nevada y Sistema Central.

En la cuenca del Ebro, hay tres áreas donde la nieve ejerce su influencia: Pirineo (afluentes de la margen izquierda), cordillera Ibérica (afluentes de la

margen derecha) y la cordillera Cantábrica (afluentes de la margen derecha).

Ya existen datos para el Pirineo, y se ha calculado que las aportaciones medias anuales procedentes del período principal de fusión de nieve (tres meses en total entre abril y julio) suponen unos  $2.200 \text{ hm}^3/\text{año}$ , o un 10-20% del caudal del Ebro en la desembocadura. Es decir, representa un porcentaje importante al considerar la aportación anual.

### 3. HIDROGRAFÍA

El colector principal de la cuenca del Ebro, se sitúa en posición central dentro de la cuenca, aunque los afluentes de la margen izquierda predominan sobre los afluentes de la margen derecha, al recibir mayor volumen de precipitaciones a lo largo del año los colectores de los Pirineos.

### 4. AVENIDAS E INUNDACIONES

#### 4.1 Precipitaciones extremas

Las áreas de precipitaciones superiores a 200 mm en un día son: la cabecera de los ríos Flamisell, Cinqueta, Matarraña, y aguas abajo de la confluencia del Ebro con el río Canaleta.

Las zonas con precipitaciones máximas por día, entre 150 y 200 mm, son concéntricas con las anteriores, y abarcan las cabeceras del Flamisell, Esera, Cinca, Ara, Guatizalema, Flumen, Arga, Erro y Urrobi. Existe otra zona desde la confluencia del río Ciurana, hasta casi la desembocadura del Ebro y la cuenca alta del Matarraña.

Casi todos los afluentes de la margen izquierda se engloban en la línea de 100 mm de máxima por día, mientras que la margen derecha y la mayor parte del valle del Ebro, se mantienen entre los 50 y 100 mm.

En la cabecera del Jalón, existe una zona de precipitaciones máximas diarias de 50 mm.

#### 4.2 Máximas Avenidas Probables Naturales

En la tabla 4.XXXVIII, se indican las estaciones de aforo, con las superficies que controlan, y los caudales de avenida para períodos de recurrencia de 50, 100 y 500 años.

#### 4.3 Inundaciones históricas

Se han catalogado 502 referencias sobre inundaciones ocurridas en algún punto de la cuenca del Ebro, desde el año 1483. Se puede deducir por tanto, que se produce una inundación cada año aproximadamente, como término medio.

El estudio individual de estas referencias, permite llegar a las siguientes conclusiones sobre la cuenca del Ebro:

- \* Los efectos de las inundaciones se manifiestan principalmente en los valles, pero también afectan con anterioridad a las **partes altas**. Habría sido posible avisar con antelación desde la parte alta de las cuencas, de la llegada de la avenida al valle, si en el pasado hubieran existido las comunicaciones adecuadas. Normalmente, no hay referencias de lo que ocurrió aguas arriba, por tanto la información no está completa. Es muy probable que produzcan daños de menor relevancia aguas arriba, que no dejen huella.
- \* Son las **poblaciones** las que a lo largo de la historia han sufrido los efectos catastróficos de las inundaciones. La causa más frecuente es el embalsamiento de las aguas, y el posterior desbordamiento y derrumbe de diques y obras de contención.
- \* Las inundaciones con origen en las **tormentas en las cordilleras**, son catastróficas por tres factores: a) rapidez de generación (flash-floods) b) alta velocidad de las aguas por elevada pendiente c) gran arrastre de materiales por la fuerte erosión.
- \* El «efecto presa» por la obstrucción de los puentes artificiales, y las olas que desencadenan por el desbloqueo súbito, producen importantes daños.
- \* La destrucción de los **acuedos de derivación**, construidos para abastecimiento y generación de energía, ha sido uno de los efectos principales de las inundaciones. Además, el coste de reconstrucción de los mismos ha sido considerable.
- \* Los **embalses** no han sido utilizados históricamente como mecanismo de control de avenidas, no sólo por no haberse conocido su funcionamiento hasta tiempos recientes, sino también por la elevada pendiente longitudinal de los ríos en cabecera, y la imposibilidad de inundar los valles al existir importantes asentamientos poblacionales.
- \* Las soluciones adoptadas preferentemente, han sido los encauzamientos, los diques longitudinales y las obras de defensa puntual.

- \* El trazado de las más recientes vías de comunicación aprovechando los valles fluviales, han propiciado la rotura de puentes e infraestructura, lo que implica no sólo la interrupción de los servicios, sino también costes importantes de reconstrucción.

## 5. ZONAS POTENCIALMENTE INUNDABLES

Las causas generales que pueden provocar las inundaciones, pueden ser:

- \* Avenidas
- \* Temporales ciclónicos
- \* Obstrucciones en el cauce
- \* Efectos de presas y embalses
- \* Insuficiencia de drenaje
- \* Acciones del mar

En este ámbito territorial, las causas más frecuentes han sido:

- 1º Avenidas generadas por fuertes tormentas descargadas en la cabecera de los ríos
- 2º Deshielos rápidos o prematuros

En resumen, las mejoras de la infraestructura realizadas en la cuenca del Ebro, disminuirán en algunos casos, la capacidad de generar inundaciones, pero en otros casos, las nuevas obras añaden un factor de riesgo potencial no existente anteriormente (por ejemplo, las presas y embalses). Es previsible que las áreas que históricamente han sufrido los efectos de las inundaciones, continúen soportándolos, aunque el grado de afectación varíe en función del incremento de población y de las obras de regulación.

Las fuentes de datos que se utilizaron para detectar las áreas de riesgo potencial fueron:

- \* Zonas con inundaciones históricas
- \* Inventario de puntos conflictivos (221) repartidos por toda la cuenca
- \* Zonas situadas aguas abajo de los embalses en explotación

## 6. ACCIONES PREVENTIVAS Y DE REDUCCIÓN DE DAÑOS

- \* A pesar del elevado número de embalses que existen en esta cuenca, hay algunas subcuenca que carecen de regulación, o simplemente es insuficiente.

Es el caso de los ríos Irati, Arga, Segre, Aragón, Jiloca, Jalón, Alhama y Queiles, entre otros.

- \* Sería preciso además, **modernizar y complementar** las instalaciones de los embalses ya existentes para evitar filtraciones, deslizamientos de laderas, aterramientos y otros efectos perjudiciales para las poblaciones aguas abajo de los embalses.
- \* Sólo la instalación de **sistemas automáticos de aviso**, podría alertar a las poblaciones de las partes bajas de las cuencas de la llegada de avenidas por deshielos rápidos.
- \* El problema que plantea el importante volumen de sólidos que se arrastran por los barrancos de alta montaña y por los ríos Jalón, Jiloca, Alhama y Queiles, ha sugerido la realización de **presas agujero y diques de retención de sólidos**. También se han propuesto, en casi todas las zonas, la limpieza y dragado de los cauces.
- \* Es necesario el estudio de los **cruces** de las vías naturales de evacuación con las vías de comunicación. En algunos casos extremos, sería mejor la demolición y sustitución por otros más adecuados.
- \* Los **encauzamientos** son una buena solución para la parte alta de los cauces, pero para los tramos bajos, se necesitan soluciones más sofisticadas por el descenso de la pendiente, las numerosas curvas y la capacidad de desagüe.
- \* También es urgente estudiar los procedimientos más adecuados para drenar las zonas con agua embalsada y estancada durante las inundaciones.
- \* Urge el estudio y definición de la **normativa legal** que permita zonificar las áreas inundables en varias clases, y valorar objetivamente los daños potenciales.

Ver la tabla 4.XXXIX., que resume el tipo de acciones preventivas para la cuenca del Ebro y grado de urgencia de las mismas.

## 7. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS INUNDACIONES DE LA CUENCA DEL EBRO

A partir de los registros de inundaciones en la cuenca del Ebro que figuran en el Catálogo Nacional de Riesgos Geológicos (I.T.G.E., 1988), se pueden deducir las siguientes características de las inundaciones en la cuenca del Ebro:

CAUSAS	Lluvias intensas, tormentas, avenidas		
DURACIÓN MEDIA	5 días. Máximo registrado 18 días (nov 61)		
SUP. AFECTADA MEDIA	350 km <sup>2</sup> . Máximo registrado 10.000 km <sup>2</sup> (nov 82)		
PÉRDIDAS ECO. MAXIMAS	400.000 Millones ptas (nov 82)		
DAÑOS MATERIALES	Agricultura, carreteras, industria		
PERÍODO RECURRENCIA	2-4-5-8-10-20-25-50 Máximo 100 años		
PERÍODO OBSERVACIÓN	1952 - 1984		

Estación de aforo		Superficie km <sup>2</sup>	Período de retorno (años)		
			50	100	500
Castejón	Ebro	25.194	4.762	5.240	6.299
Zaragoza	Ebro	40.434	4.124	4.529	5.459
Tortosa	Ebro	84.230	5.306	5.812	6.991
Maquinenza	Ebro	57.442	4.710	5.342	6.663
Sástago	Ebro	48.974	4.016	4.457	5.436
Mendavia	Ebro	12.010	1.862	2.042	2.462
Miranda	Ebro	5.481	1.666	1.858	2.297
Peralta	Arga	2.704	1.939	2.177	2.726
Echaurí	Arga	1.756	1.705	1.907	2.376
Andosilla	Ega	1.445	507	568	708
Estella	Ega	943	345	383	472
Liédena	Iratí	1.546	1.051	1.158	1.405
Arive	Iratí	236	361	393	468
Asiaín	Araquil	782	649	714	864
Berantevilla	Ayuda	307	118	133	168
Arce	Zadora	1.375	550	617	772
Eraul	Urederra	309	314	351	438
Peralta de Alcofea	Alcandre	765	532	594	741
Lascellas	Alcandre	501	291	329	416
Seo de Urgell	Segre	1.233	520	596	771
Camarasa	Segre	7.160	1.740	1.998	2.585
Alós de Balaguer	Segre	4.318	1.006	1.149	1.481

Pons	Segre	3.320	1.125	1.285	1.660
Oliana	Segre	2.700	1.002	1.158	1.515
Serós	Segre	12.782	2.314	2.671	3.489
Balaguer	Segre	7.796	1.590	1.824	2.378
Orgaña	Segre	2.384	1.016	1.168	1.521
Lérida	Segre	11.369	2.081	2.399	3.126
Graus	Esera	893	960	1.095	1.406
Barasona	Esera	1.511	1.798	2.075	2.708
Capella	Isabena	426	446	508	651
Javierregay	Subordán	348	519	577	711
Ardisa	Gállego	2.040	1.324	1.483	1.854
Anzánigo	Gállego	1.391	1.312	1.494	1.914
Santa Eulalia	Gállego	1.901	1.209	1.361	1.713
El Grado	Cinca	2.127	1.642	1.853	2.340
Fraga	Cinca	9.612	2.595	2.922	3.618
Caparroso	Aragón	5.496	2.051	2.297	2.871
Yesa	Aragón	2.191	1.442	1.630	2.064
Jaca	Aragón	238	334	337	476
Aspurz	Salazar	396	440	493	614
Boltaña	Ara	626	687	776	983
Seo de Urgel	Valira	559	486	558	725
Eriste	Esera	323	600	682	872
Sigües	Esca	506	549	613	763
Sangüesa	Onsella	275	275	315	409
Urroz Villa	Erro	180	337	380	479
La Piñana	Noguera Ribagorzana	1.757	972	1.130	1.493
Gollegast	Noguera Pallaresa	1.518	897	1.022	1.310
Peralta de Alcofea	Guatizamela	362	411	471	607
Olave	Ulzaína	240	257	283	345
Barbastro	Vero	345	331	384	505
Morata de Jiloca	Jiloca	2.502	133	153	195
Calamocha	Jiloca	1.498	67	78	103

Daroca	Jiloca	2.202	108	123	159
Santolea (cola)	Guadalope	1.002	201	229	293
Alcañiz	Guadalope	3.476	671	772	1.001
Hijar	Martín	1.419	220	257	338
Oliete	Martín	670	169	198	265
Las Torcas	Huerva	456	111	128	167
Embida de Ariza	Deza	207	102	119	157
Jaraba	Mesa	598	84	97	130
Huérmeda	Jalón	7.164	623	724	960
Cetina	Jalón	1.600	797	920	1.203
Nuévalos	Piedra	732	31	36	45
Berge	Guadalpolillo	141	33	39	51

**Tabla 4. XXXVIII.** Tabla de caudales de avenida para estaciones de aforo, dentro de la cuenca del río Ebro.  
Tomado de M.O.P.U., 1988.

ACCIONES	RANGO DE URGENCIA		
	MAXIMA	MEDIA	MINIMA
Embalses de laminación	9	20	32
Corrección y regulación de cauces	34	60	268
Protección de cauces	19	58	150
Encauzamientos	9	23	31
Obras de drenaje			3
Conservación de suelos y reforestación	10	48	75
Zonificación y regulaciones legales	20	33	152
Implantación de un sistema de seguros	18	45	219
Instalación de un sist. de alarma y previsión	2	6	107
Gestión integrada del sist. hidráulico	8	9	72

**Tabla 4. XXXIX.** Cuadro resumen de acciones preventivas contra las inundaciones en el área de la Cuenca del Ebro.  
Modificado de M.O.P.U., 1988.

## INUNDACIONES

### CAPÍTULO 4.13 CUENCA DEL SEGURA

#### 1. ÁMBITO TERRITORIAL

El ámbito territorial que abarca la Confederación Hidrográfica del Segura, comprende el territorio de todas las ramblas que vierten al mar Mediterráneo entre Guardamar del Segura y la divisoria de aguas del río Almanzora, incluida la cuenca del Segura, la rambla de Canalejas y las zonas endorreicas de Pozohondo y Yecla.

La extensión total de este territorio es de 18.869 km<sup>2</sup>, y la distribución es como sigue (tabla 4.XXXX):

PROVINCIA	EXTENSIÓN EN LA CUENCA (KM <sup>2</sup> )	EXTENSIÓN EN LA CUENCA (%)	EXTENSIÓN PROVINCIA EN CUENCA (%)
Albacete	4.712	24,97	32,34
Alicante	1227	6,5	21,08
Almería	1139	6,04	12,97
Granada	53	0,29	0,43
Jaén	586	3,11	4,34
Murcia	11.150	59,09	98,52
<b>TOTAL</b>	<b>18.869</b>	<b>100</b>	-

Tabla 4. XXX. Distribución territorial de provincias en la cuenca del Segura.  
Extractado de M.O.P.U., 1988.

#### 2. CLIMATOLOGÍA

La cuenca del Segura presenta grandes contrastes climáticos, y los factores que lo determinan son: la latitud, los factores atmosféricos, la topografía, la orientación, la exposición a la radiación solar y la distancia al mar. De esta forma, se producen sequías, lluvias torrenciales, altas temperaturas, heladas, etc, en función de la combinación de los factores citados.

Precipitación media anual .....	380 mm
Precipitación año más húmedo .....	561 mm
Precipitación año más seco .....	234 mm

## 2.1 Pluviometría

La distribución espacial de las precipitaciones anuales, se deduce de la **morfología del relieve**. En las montañas situadas en el noroeste de la cuenca, se superan los 1.000 mm/año, por la acción de los vientos húmedos de las borrascas atlánticas del frente polar (1.100 mm anuales en la cabecera del río Tus y Sierra de Segura), pero también ejercen un «efecto-barrera» para la entrada de precipitaciones en la cuenca baja del Segura (200 mm en la zona de Águilas-río Almanzora).

En líneas generales, las precipitaciones medias anuales disminuyen del noroeste al sureste, alcanzando en las zonas costeras niveles mínimos de precipitación de 300 mm al año.

Los meses de mínimas precipitaciones son julio y agosto, y separan los períodos de máximas precipitaciones. La máxima precipitación media mensual se registra en el mes de octubre con 52 mm. La menor precipitación media mensual se presenta en julio con 6 mm.

## 2.2 Termometría

La distribución anual de las temperaturas, es la siguiente:

- \* En la Sierra del Segura, se registran las medias anuales más bajas, con valores entre 9º y 10ºC. Los **inviernos** son rigurosos, con temperaturas inferiores a los 4ºC durante los meses de diciembre a febrero. Durante el **verano**, las temperaturas oscilan en torno a los 21ºC.
- \* En la zona central de la cuenca, las temperaturas durante los meses del **invierno** (Diciembre a Marzo), son de 8º a 10ºC. En julio y agosto, son de 25º a 28ºC. En la Sierra de Espuña, la media anual baja hasta los 13ºC.
- \* En la parte más oriental y litoral, los **inviernos** son muy suaves, con temperaturas entre los 12º y 15ºC. Los **veranos** son largos y calurosos, y alcanzan los 30ºC de media en el mes de agosto.

Las entradas de aire frío y seco de procedencia polar, provocan descensos importantes de las temperaturas, ocasionando heladas que resultan catastróficas para los cultivos. Son de destacar las bajas temperaturas que se registraron del 30 de diciembre de 1984, al 16 de enero de 1985.

### 2.3 Nivalidad

La cuenca hidrográfica del Segura no tiene áreas de nieves permanentes. Sólo son significativas en las cabeceras del río Mundo y Segura.

El mayor número anual de días de nieve, se registra sobre la Sierra del Segura (30 días), y las isolíneas descienden hacia el litoral, donde la nieve es prácticamente inexistente a lo largo de todo el año.

## 3. HIDROGRAFÍA

La red hidrográfica del Segura presenta una marcada **asimetría**, tanto por el número de ríos, como por la superficie de sus subcuenca. Los afluentes de la margen derecha configuran un conjunto más importante que los de la izquierda. Casi todos los afluentes importantes se orientan según O-E.

La red se jerarquiza en cursos de aguas permanentes y cursos estacionales o «ramblas». Las ramblas tienen un caudal anual muy irregular, pasando de estar secas a inundarse súbitamente alcanzando situaciones de alto riesgo.

## 4. AVENIDAS E INUNDACIONES

### 4.1 Precipitaciones máximas

El número de tormentas **importantes** presenta dos máximos: uno en primavera (abril) y otro en otoño (octubre). El máximo absoluto se registra en otoño, causado probablemente por la frecuencia de fenómenos relacionados con la «gota fría».

### 4.2 Inundaciones históricas

Se han catalogado 214 referencias sobre inundaciones ocurridas en algún punto de la cuenca del Segura, desde el año 1483. Entonces, para los 500 años que van desde 1483 a 1983, se deduce una frecuencia de una inundación cada dos años aproximadamente, dato que es meramente ilustrativo.

El análisis de la información existente sobre estas referencias, permite llegar a las siguientes conclusiones:

- \* La inundaciones en la cuenca del Segura son un fenómeno histórico que afectaba principalmente a las zonas de regadío, las propiedades y las vidas humanas. Por tanto, las primeras obras de infraestructura de defensa contra las inundaciones acometidas, fueron de defensa y no de aprovechamiento de los recursos.
- \* La mayoría de los recursos fluviales son efímeros, con el agravante de presentar una acusada torrencialidad.
- \* La  **fusión de la nieve** no constituye una causa de inundaciones en la cuenca del Segura.
- \* El **tramo alto** del Segura se encuentra prácticamente regulado por medio de embalses de cabecera, mientras que el río Mundo presenta algunas deficiencias de regulación.
- \* Los afluentes de la margen izquierda del Segura, carecen de embalses de regulación, mientras que los afluentes de la margen derecha están prácticamente regulados.
- \* El río **Guadaletín** es casi irregulable. Requiere unas dimensiones de la cerrada que son inviables. La construcción de algunas canalizaciones y presas aliviaría en parte, el nivel de riesgo, pero no lo anularía. Desde la desembocadura del Guadalentín en el Segura, hasta Guardamar, el riesgo de desbordamiento es muy elevado y sólo un encauzamiento de los tramos más conflictivos, reduciría las consecuencias.
- \* En el área de Cartagena, fuera del cauce del Segura, se producen frecuentemente daños locales.

## 5. ZONAS POTENCIALMENTE INUNDABLES

Las causas generales que pueden provocar las inundaciones, pueden ser:

- \* Avenidas
- \* Temporales ciclónicos
- \* Acciones del mar
- \* Obstrucciones en los cauces
- \* Insuficiencia de drenaje
- \* Efectos de presas y embalses

Prácticamente todas estas causas, han actuado en alguna ocasión provocando inundaciones, incluyendo la rotura de una presa, que se produjo en la de Puentes en 1802.

Gracias a la intervención del hombre en la prevención de las inundaciones en forma de obras de regulación y encauzamientos, hay puntos cuyo riesgo potencial ha disminuido sensiblemente. Sin embargo, las obras realizadas también han generado nuevas **zonas de riesgo potencial**, como las poblaciones situadas aguas abajo de las presas, y las adyacentes a las grandes vías de comunicación (terraplenes y puentes).

## 6. ACCIONES PREVENTIVAS Y DE REDUCCIÓN DE DAÑOS

Las conclusiones más importantes del estudio de la Comisión Nacional de Protección Civil (1982), en materia de prevención, son:

- \* El hecho de que los embalses de los ríos Segura y Mundo estén poco llenos antes de comenzar el otoño, permite ejercer la labor reguladora de manera más efectiva.
- \* La cuestión de las **ramblas** es completamente diferente, porque en sus avenidas arrastran un volumen importante de sólidos. Este problema se puede solucionar parcialmente con la construcción de «presas agujero» y embalses de laminación.
- \* Las **canalizaciones** son soluciones viables en las zonas altas de la cuenca, pero en las vegas media y baja, hay que poner en práctica modelos de propagación de inundaciones en llanuras aluviales.
- \* Es urgente idear formas de desagüar las zonas inundadas que quedan encharcadas por períodos prolongados de tiempo, posteriores a la llegada de la avenida.
- \* El único transvase importante es el desvío del Guadalentín a la rambla de Mazarrón a través del canal de Paretón, para desagüar al mar y a la rambla de Abanilla hacia el embalse de Santomera.
- \* Son necesarios trabajos de reforestación y conservación de suelos en las cuencas altas del Guadalentín y afluentes del tramo medio del Segura.

7. **PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS INUNDACIONES DE LA CUENCA DEL SEGURA**

A partir de los registros de inundaciones en la cuenca del Júcar que figuran en el Catálogo Nacional de Riesgos Geológicos (I.T.G.E., 1988), se pueden deducir las siguientes características generales de las inundaciones en la cuenca del Segura:

<b>CAUSAS</b>	Temporales de lluvias intensas
<b>DURACIÓN MEDIA</b>	4 días. Máximo 12 días (nov. 26, oct. 24)
<b>SUP. AFECTADA MEDIA</b>	27 km <sup>2</sup> . Máximo 40 km <sup>2</sup> (oct. 24)
<b>PÉRDIDAS ECO. MÁXIMAS</b>	1.000 millones de ptas. (oct. 73)
<b>DAÑOS MATERIALES</b>	Agricultura principalmente (huertas).
<b>PERÍODO RECURRENCIA</b>	2-3-4-5-6-8-50-250. Max. 300 años (ag. 84)
<b>PERÍODO OBSERVACIÓN</b>	1924-1982

# INUNDACIONES

## CAPÍTULO 5. ZONIFICACIONES

### 5.1 ZONIFICACIÓN DE NIVELES DE RIESGO DE INUNDACIÓN

La base de la información es el Mapa de Zonas de Riesgo Potencial perteneciente al informe de síntesis «Las Inundaciones en la España Peninsular» de la Comisión Nacional de Protección Civil, que fue realizado por la Dirección General de Obras Hidráulicas, y editado por el M.O.P.U. en 1988.

La leyenda del mapa es muy simple y divide el riesgo de inundación en cuatro niveles: **máximo**, en color rojo; **intermedio**, en color verde; **mínimo**, en color amarillo y **blanco** cuando corresponde a riesgo nulo. La asignación de estos niveles de riesgo es el resultado de la denominada matriz de impacto que se ha utilizado para evaluar semicualitativamente, el efecto que las inundaciones pueden producir en cada zona previamente catalogada. Antes de lanzar la aplicación de la matriz de impacto a todas la cuencas hidrográficas, se comprobó su funcionamiento para el análisis del riesgo de inundación en la cuenca del Segura, a modo de cuenca piloto.

La matriz de impacto como tal, permite la entrada de información a través de sus filas y columnas. Los conceptos evaluadores del riesgo para cada inundación, forman parte de las filas y reflejan aquello que se presenta como vulnerable frente a la inundación. Están considerados los siguientes:

**A:** Pérdida de vidas humanas

**B:** Daños y suspensión de servicios tipo vías de comunicación, infraestructura de abastecimiento y saneamiento de agua e infraestructura urbana.

**C:** Daños y suspensión de servicios tipo infraestructura del suministro de energía y redes de riego y drenaje.

**D:** Daños materiales y suspensión de servicios de menor importancia, como telecomunicaciones. Daños a industrias y áreas agropecuarias.

La importancia de cada uno de estos factores, queda establecida al asignarles un **valor numérico** que pesa sobre el resultado final de la matriz de impacto. Los valores superiores corresponden a la pérdida de vidas humanas. Dado que es un trabajo promocionado desde una perspectiva civil o de interés nacional, es evidente que el

objetivo principal es salvar vidas humanas, mientras que este estudio trata de estimar el impacto sobre lo asegurable. Los valores asignados en el informe ministerial, quedan como sigue:

A: Valor 8
B: Valor 4
C: Valor 2
D: Valor 1

La cuantificación relativa de los conceptos A, B, C y D se realiza con respecto a tres **categorías**: I, II y III, que forman parte de las columnas de la matriz de impacto, e indican la importancia máxima, intermedia y mínima respectivamente. Al igual que los conceptos A, B, C y D, las categorías I, II y III quedan valoradas con cuatro, dos y uno respectivamente.

Parece ser que la definición de representatividad de las categorías, fue uno de los puntos más discutidos para el diseño de la matriz de impacto. Con el fin de no supervalar o infravalorar la importancia de alguno de los conceptos evaluadores del riesgo en algunas cuencas especialmente conflictivas, la limitación de los intervalos que cubren las categorías de riesgo, son diferentes para cada cuenca. Así, la clasificación de los niveles de riesgo es relativa a los puntos que pertenecen a una misma cuenca, de forma que no sería posible establecer comparaciones entre zonas con el mismo nivel de riesgo que pertenezcan a cuencas diferentes. Esta información por tanto, no permite contemplar el problema de las inundaciones en la Península a nivel global, sino que para conocer datos concretos de daños, hay que acudir a la documentación concreta de cada cuenca.

En consecuencia, no todas las zonas clasificadas con prioridad máxima que figuran en rojo en el Mapa de Zonas de Riesgo Potencial de Inundaciones, requieren las mismas medidas de prevención, ni con la misma urgencia. Ni tampoco todas las zonas clasificadas con prioridad mínima tendrán el mismo nivel de riesgo mínimo, sino que habrá asignaciones relativas a los puntos de su misma zona y no extrapolables a otras cuencas.

Ya que los conceptos evaluadores del riesgo y las categorías, no consideran los períodos de recurrencia de las inundaciones, se introdujo el denominado **coeficiente de riesgo**. Es un coeficiente aplicado a cada zona, y se ha escogido a partir de la frecuencia registrada de las referencias de inundaciones catalogadas, mientras que para los lugares donde no existe documentación sobre inundaciones históricas, se ha deducido a partir de parámetros hidrológicos. Dada la subjetividad de ambos métodos, se especifica en el informe de la Comisión Técnica de Inundaciones, que el coeficiente de riesgo podrá ser modificado a partir de nuevas referencias o datos. Tal coeficiente se define como sigue:

Frecuencia	Período de retorno (años)	Coeficiente
Frecuente (< 50 años)	$P > 50$	1,5
Normal (50-100 años)	$50 > P > 100$	1
Extraordinaria (> 100 años)	$P > 100$	0,5
Accidentes en presas	-	0,2

Características del coeficiente de riesgo.

Así, la matriz de impacto para cada zona queda estructurada de esta forma (incluyendo el valor asignado a cada celdilla):

CONCEPTOS \ CATEGORÍAS	I	II	III
Pérdida de vidas humanas	32	16	8
Vías de comunicación	16	8	4
Saneamiento y abastecimiento de agua	16	8	4
Infraestructura urbana	16	8	4
Suministro de energía	8	4	2
Red de riego y drenaje	8	4	2
Infraestructura de telecomunicación	4	2	1
Industrias	4	2	1
Áreas agropecuarias	4	2	1

Matriz de impacto por inundaciones.

A la vista de los valores asignados a cada concepto, se pueden establecer los límites superior e inferior entre los que se sitúan los valores de la matriz de impacto. En cuanto al límite superior, alcanza 108 si se suman los valores correspondientes a la categoría I, mientras que si se suman los valores correspondientes a la categoría III, resultaría 27 (es el caso de asignar a todos los conceptos la categoría mínima).

A la hora de aplicar el coeficiente de riesgo, si se multiplica el máximo valor de la matriz por 1,5, para inundaciones frecuentes sobre el límite superior 108, el resultado sería de 162. En cuanto al valor mínimo una vez aplicado el coeficiente de riesgo, resultaría de 5,4 (valor con una probabilidad muy baja).

La definición de niveles de riesgo queda finalmente así:

1. Prioridad **máxima**, con zonas de valor de la matriz mayor que 80, una vez aplicado el coeficiente de riesgo.
2. Prioridad **intermedia**, con valor de la matriz entre 40 y 80, una vez aplicado el coeficiente de riesgo.
3. Prioridad **mínima**, con valor de la matriz inferior a 40, una vez aplicado el coeficiente de riesgo.

#### Definición de niveles de riesgo

Esta clasificación ha sido diseñada para ser muy simple, a pesar de tener una base documental extremadamente amplia. Asimismo, ha tratado de suavizar la subjetividad que se ha aplicado en algunos apartados, reduciendo los conceptos a considerar y simplificando las categorías posibles a tres. Aún así, es necesario ofrecer unos límites para cada prioridad, para poder discriminar unas zonas de otras. En algunos casos, los valores de la matriz de impacto eran muy similares, y rondaban dos prioridades, aunque fueron clasificados tal y como definen las prioridades. Por ello, tales asignaciones son susceptibles de ser modificadas en función del objetivo planteado. A continuación, se muestran dos ejemplos de matriz de impacto:

TIPOLOGIA DE LOS DAÑOS	CATEGORIA RELATIVA I      II      III			CRITERIO UTILIZADO
GRUPO A Víctimas	*			Pérdida de vidas humanas en Llodio
GRUPO B Vías de comunicación	*			La N-625, así como el ferrocarril Madrid-Bilbao quedan cortados.
Abastecimiento y saneamiento de aguas		*		El abastecimiento a Llodio y sus depuradoras quedan inutilizadas.
Infraestructura urbana	*			Sufren graves daños calles y edificios.
GRUPO C Infraestructura del suministro de energía			*	Afecta únicamente a la zona.
Redes de riego y drenaje			*	Poco desarrollada en la zona.
GRUPO D Infraestructura de telecomunicación			*	Sin documentación específica.
Industrias	*		*	Muy graves pérdidas en la industria de la zona.
Agricultura y ganadería		*		Daños en la zona.
<b>VALOR ADJUDICADO A LA MATRIZ: 83</b>	<b>COEF. DE RIESGO: 1</b>		<b>RANGO DE PRIORIDAD: 1</b>	

Matriz de impacto correspondiente al Curso Alto del Nervión, Amurrio-Llodio. Tomado de M.O.P.U. 1988.

TIPOLOGIA DE LOS DAÑOS	CATEGORIA RELATIVA			CRITERIO UTILIZADO
	I	II	III	
GRUPO A Pérdida de vidas humanas	*			Dada la proximidad de algún núcleo urbano, la rotura súbita de la presa podría causar numerosas víctimas
GRUPO B Vías de comunicación	*			Afectaría a un puente y a un tramo de carretera.
Abastecimiento y saneamiento de aguas				El abastecimiento y saneamiento de Zorita podría ser destruido.
Infraestructura urbana	*			Sufrirían daños casas aisladas y el pueblo de Zorita
*				
GRUPO C Infraestructura del suministro de energía		*	*	Hay una línea eléctrica que cruza la zona y podría ser afectada
Redes de riego y drenaje			*	No hay regadíos importantes en la zona.
GRUPO D Infraestructura de telecomunicación		*		Sufriría daños la red telefónica local en Zorita.
Industrias			*	No hay industrias importantes en la zona.
Agricultura y ganadería	*		*	Daños importantes en tierras, cultivos y ganadería.
VALOR ADJUDICADO A LA MATRIZ: 93	COEF. DE RIESGO: 0,2		RANGO DE PRIORIDAD: 3	

Matriz de impacto correspondiente a aguas abajo del embalse de Zorita. Tomado de M.O.P.U. 1988.

Los dos ejemplos de matriz de impacto que se muestran, corresponden a dos zonas con grados de vulnerabilidad completamente diferente frente a las inundaciones. El primero de ellos corresponde a una zona cercana a un cauce de alta peligrosidad por avenidas en función de las características geomorfológicas y meteorológicas del área. La cercanía de poblaciones e instalaciones industriales añade un factor de riesgo a la exposición de la zona ante las inundaciones. El coeficiente de riesgo no modifica el valor adjudicado a la matriz: 93.

En el caso de la zona situada aguas abajo del embalse de Zorita, se analizan tanto las instalaciones industriales, como núcleos de población, agricultura y vías de comunicación, pero se tiene en cuenta el efecto desastroso del desplome súbito del volumen de agua embalsada, muy diferente de los efectos ocasionados por una avenida por enorme que parezca.

Las fuentes de información utilizadas para catalogar estas zonas con riesgo potencial de inundación fueron:

1. Zonas de inundaciones históricas
2. Inventario de puntos conflictivos de la D.G.O.H. (1975) actualizado
3. Zonas situadas aguas abajo de los embalses en explotación

Las características generales de cada uno de los niveles de riesgo potencial recopiladas de los Estudios de Inundaciones Históricas de todas las cuencas hidrográficas (Comisión Técnica de Inundaciones, 1985) son:

### **ZONAS DE PRIORIDAD MÁXIMA**

Son aquellas que se han visto inundadas tradicionalmente y han abarcado de forma simultánea a varios ríos con efectos de consideración. Habrá que tener en cuenta para futuras obras de infraestructura los efectos, casi nunca observados, de las inundaciones aguas arriba de las zonas calificadas como de prioridad máxima, pues lo que ocurra en ellas puede desencadenar efectos desastrosos aguas abajo.

### **ZONAS PRIORIDAD MEDIA**

Son zonas con menor frecuencia de inundación y daños derivados de menor entidad (viviendas, tierras de labor, ganado). Suelen ser de menor extensión y la inundación procede de la avenida de un solo río o de una reducida red de drenaje o de un fenómeno tormentoso local. Se conjuga además con la escasez de núcleos urbanos cercanos a los cauces.

### **ZONAS DE PRIORIDAD MINIMA**

Se corresponde con aquellas zonas en las que ya se ha sufrido alguna inundación o alguno de los puntos considerados en el inventario de Puntos Conflictivos de la Dirección General de Obras Hidráulicas donde exista infraestructura, bienes y/o servicios expuestos al riesgo de inundación. También se han considerado aquellos puntos que están situados aguas abajo de las grandes presas, que sólo por tener esta ubicación, se exponen al riesgo de rotura de la presa.

Toda esta información está representada cartográficamente en los Mapas de Riesgo Potencial para cada cuenca hidrográfica que fueron realizados a escala 1:200.000 y posteriormente se integraron en un mapa a escala nacional 1:1.000.000 sin curvas de nivel.

Con la aplicación de la técnica actuarial se pueden valorar de diferente forma la importancia de los factores que integran la matriz de impacto al relacionarla con la susceptibilidad ante las inundaciones, de forma que es posible adecuar los límites de los niveles de prioridad a los objetivos del aseguramiento. También se pueden incluir nuevos conceptos evaluadores del riesgo y eliminar aquellos que no se consideren adecuados.

## 5.2 COMPATIBILIZACION DE LOS NIVELES DE RIESGO DEL M.O.P.U. CON UNA DIVISION TERRITORIAL

Para que el Mapa de Zonas de Riesgo Potencial sea útil desde el punto de vista del asegurador, ha sido necesaria su adaptación a una división territorial manejable. Para decidir a qué unidades básicas de información geográfica se acomodaría el Mapa de Zonas de Riesgo Potencial, se analizó una muestra representativa de los sectores a los que está dirigido el Estudio (suscriptores de seguro y reaseguro). Finalmente es el **código postal** el único código común a todas las pólizas que a la vez sitúa el riesgo y ha de ser introducido obligatoriamente. Sin embargo no están disponibles mapas a escala nacional de la distribución de los códigos postales.

A partir del precedente que establece Agroseguro con la utilización de códigos de los términos municipales del Instituto Nacional de Estadística para la localización de los riesgos relacionados con la agricultura y a la vista de la disponibilidad de mapas a escala nacional con la división de los términos municipales, se decidió adoptar esta división como base de información geográfica para el Estudio.

Para dar una idea del alcance de los términos municipales, España está dividida en 52 provincias y éstas a su vez, en unos **8.700 términos municipales**. Mientras que el término municipal más extenso pertenece a la provincia de Cáceres y tiene 176.849 Ha, el término municipal de Emperador, perteneciente a la provincia de Valencia tiene 3 Ha.

Para lograr conciliar la información del Mapa de Riesgo Potencial de inundaciones, se le ha superpuesto el mapa de división de términos municipales, de forma que, si alguna porción de un término municipal está afectada por un río o rambla con un nivel de riesgo asignado, todo el término municipal queda calificado con este nivel de riesgo. Existen casos en los que un término municipal incluye ríos o ramblas con diferentes niveles de riesgo, pero siguiendo la hipótesis más pesimista, se asignó a todo el término municipal el nivel de riesgo más grave.

Es evidente que no todo el área que forma un término municipal contiene zonas de riesgo de inundación, pero tal asignación significa que en algún lugar de ese término municipal existe una zona de riesgo de inundación (alrededor de una rambla, un arroyo, un río, etc). Equivale a una señal de alerta para discriminar aquellos términos municipales que quedan libres del riesgo de inundación, de aquellos que pueden ser afectados por inundaciones de ríos o ramblas con un nivel extremo de riesgo máximo, intermedio o mínimo.

Es cierto también, que la extensión de los términos municipales en la mitad Norte de España es mucho menor que los términos municipales en la mitad Sur. Las razones de estas diferencias son heredadas de las formas de parcelación y cultivo en siglos anteriores. Esta circunstancia deriva en que se cometan menos errores en la mitad Norte peninsular que en la mitad Sur, donde hay términos de gran extensión que abarcan puntos relativamente lejanos al cauce calificado con un nivel de riesgo determinado.

Este método de trabajo no es absolutamente correcto, pero se trata de un procedimiento de adaptación de información fiable suministrada por un equipo investigador interdisciplinar oficial, a las necesidades del sector asegurador y reasegurador en nuestro país.

### **5.3 CONTROL DE ACUMULACION: JUSTIFICACION DE LA METODOLOGIA UTILIZADA**

En el Manual del C.R.E.S.T.A. (Catastrophe Risk Evaluating and Standardizing Target Accumulations) se definen las **Zonas de Exposición a Terremoto** (Earthquake Exposure Zones) como áreas basadas en la actividad sísmica observada o esperada dentro de un país. Por otra parte, las **Zonas de Distribución de la Acumulación por Terremoto** (Earthquake Accumulation Assesment Zones) consideran la distribución dentro de un país de los valores asegurados a partir de límites administrativos o políticos para facilitar la asignación de un nivel de riesgo. Ambos conceptos resultan muy útiles para las compañías reaseguradoras que necesitan tener una visión global del negocio en un país que no es el suyo así como la exposición global del negocio que tienen al fenómeno de terremoto.

De la misma forma que se han seguido estos criterios para definir zonificaciones de terremoto, se tratará de definir los patrones de las aquí denominadas **Zonas de Exposición a Inundaciones y Zonas de Distribución de Acumulación por Inundación**.

### **5.4 MAPA DE CONTROL DE ACUMULACION Y CRITERIOS DE REALIZACION**

El objetivo de esta zonificación ha sido compatibilizar criterios **fisiográficos** y criterios de **división administrativa**. En primer lugar, la discriminación más intuitiva para conocer una inundación es la división en las grandes cuencas hidrográficas donde, a excepción de algunos eventos desencadenados por grandes perturbaciones atmosféricas, las inundaciones suelen afectar a una única cuenca. Pero un mapa físico de las cuencas hidrográficas de España no es útil para realizar un control de acumulación.

Por ello, los límites naturales de la cuencas hidrográficas se han adaptado aproximadamente a los límites administrativos de los términos municipales que abarcan, resultando España dividida en las siguientes cuencas:

## PROUESTA DE ZONIFICACION PARA EL CONTROL DE ACUMULACION POR INUNDACIONES

CUENCA NORTE  
CUENCA DEL DUERO  
CUENCA DEL TAJO  
CUENCA DEL GUADIANA  
CUENCA DEL GUADALQUIVIR  
CUENCA SUR  
CUENCA DEL SEGURA  
CUENCA DEL JUCAR  
CUENCA DEL EBRO  
CUENCA DEL PIRINEO ORIENTAL  
CUENCA BALEAR  
CUENCA CANARIA

Existen casos en los que el límite de una cuenca divide un término municipal. Esto significa que la línea de cumbres de las grandes cuencas hidrográficas pasa por un término municipal que está compuesto por terrenos con pendientes completamente diferentes. Se opta entonces por asignar este término municipal a la cuenca que incluya mayor extensión del mismo, dado que será mayor el volumen de agua que aporte tal término a la cuenca correspondiente procedente de las aguas de lluvia y de la ladera colectora de aguas.

La información de la Comisión Nacional de Protección Civil de 1988 no incluye la información general para el Noroeste de Galicia ni el Pirineo Oriental al igual que en el resto de las cuencas, aunque sí están asignados niveles de riesgo de inundación para los cauces fluviales de estas dos zonas.

Por lo tanto, la zonificación en grandes cuencas hidrográficas adaptada a los límites administrativos de los términos municipales propuesta para el control de acumulación de inundaciones en base al estudio de áreas afectadas por inundaciones históricas, reúne las características de lo que se puede denominar **Zonas de exposición a Inundaciones y Zonas de Distribución de Acumulación por Inundaciones** por asimilación a la nomenclatura C.R.E.S.T.A. Es decir, la compatibilización de los parámetros naturales con los parámetros administrativos.

### 5.5 FUTURAS OPCIONES DE ZONIFICACION EN CONSONANCIA CON C.R.E.S.T.A.

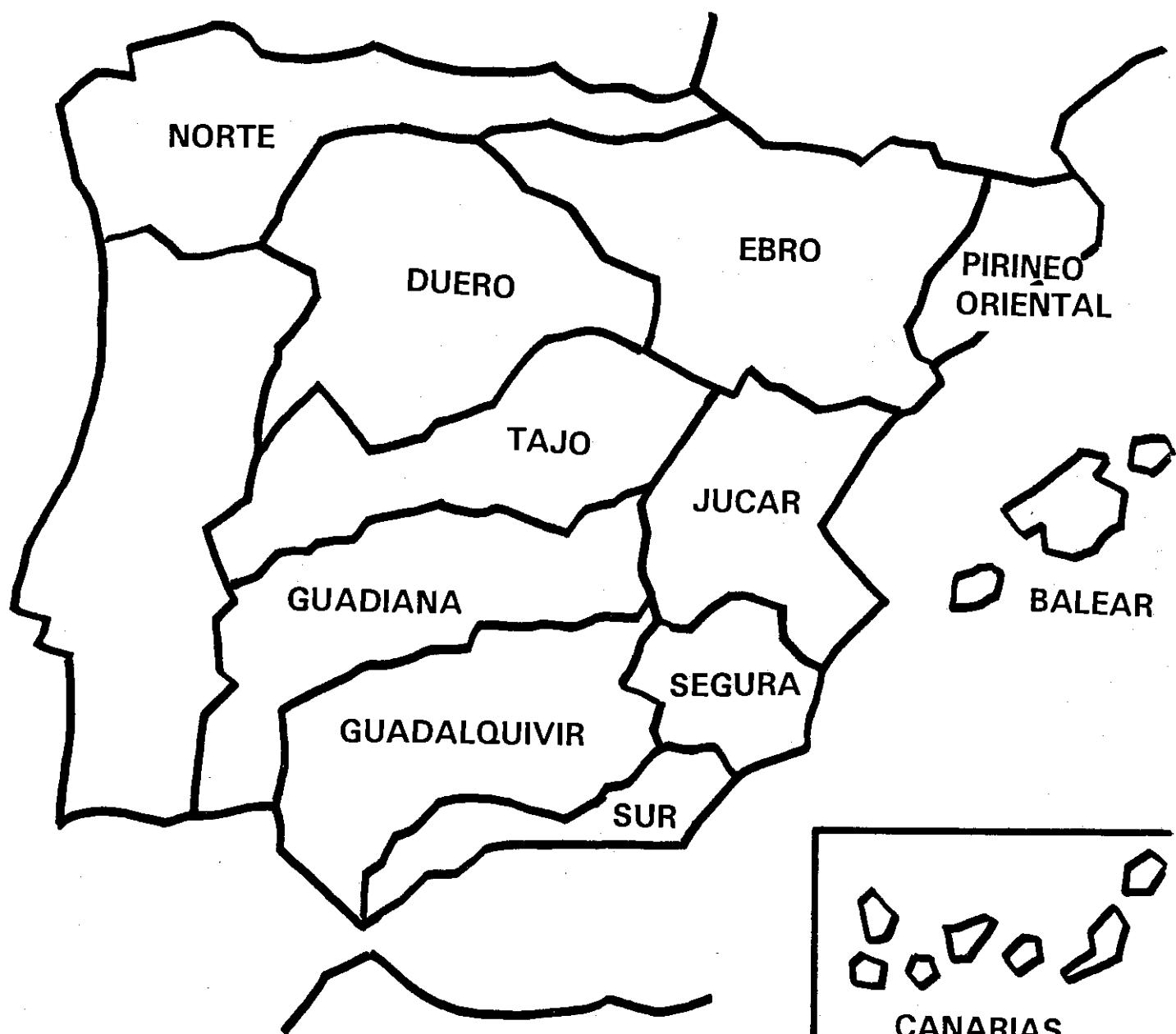
A pesar de que el criterio de división política ya ha sido tenido en cuenta, es posible que la forma más fácil de realizar el control de acumulación sea adaptar de nuevo los límites de las cuencas hidrográficas a los límites provinciales, de mayor rango y más

manejables desde fuera de España. Si se siguen las pautas del C.R.E.S.T.A. para las nuevas zonificaciones de los países europeos, donde se mantiene una única zonificación para todos los eventos naturales, es posible proponer en un futuro próximo una zonificación en base a provincias.

Así, la división de España en cuencas hidrográficas sería útil para hacer estudios de "escenario de siniestro", mientras que la única zonificación permitiría trabajar con la misma base geográfica de distribución de valores asegurados para los tres eventos.

Por otra parte, no hay que descartar las posibilidades que abre el descender a nivel de subcuenca hidrográfica natural, ya que permitiría dirigir los estudios a zonas especialmente problemáticas para obtener resultados más precisos a partir de una información más detallada.

## ZONAS DE CONTROL DE ACUMULACION POR INUNDACIONES



CUENCA NORTE: N  
CUENCA DEL DUERO: D  
CUENCA DEL TAJO: T  
CUENCA DEL GUADIANA: Gu  
CUENCA DEL GUADALQUIVIR: Gq  
CUENCA DEL SUR: S  
CUENCA DEL SEGURA: Sg  
CUENCA DEL JUCAR: J  
CUENCA DEL EBRO: E  
CUENCA DEL PIRINEO ORIENTAL: P  
CUENCA BALEAR: B  
CUENCA CANARIA: C



# INUNDACIONES

## CAPITULO 6. EL SEGURO DE INUNDACION

### 6.1. LA ACTUAL COBERTURA POR EL CONSORCIO DE COMPENSACION DE SEGUROS

#### 6.1.1. Modalidad de cobertura

El Proyecto de Reglamento de Cobertura de Riesgos Extraordinarios, pendiente de aprobación con el Consejo de Ministros define así la cobertura:

Inundación.- Riesgos Cubiertos: Daños derivados de anegación o acción directa de:

1. Las aguas de escorrentía procedentes de lluvias o deshielos.
2. Las aguas provenientes del mar, lagos, ríos, rías u otros cursos naturales de agua en superficie, cuando éstos se desbordan de sus cauces o confines.

Igualmente se amparan los daños originados por embate de mar en las costas.

#### 6.1.2. Exclusiones

Riesgos Excluidos.- No serán compensables los siguientes daños:

1. Los producidos por aguas procedentes de presas, canales, alcantarillas, colectores y otros cauces construidos por el hombre, al reventarse, romperse o averiarse por hechos que no corresponden a riesgos amparados por el Consorcio de Compensación de Seguros.
2. Goteras, filtraciones o humedades y los producidos por aguas procedentes de terrazas, azoteas y cubiertas, o por obturación o rotura de bajantes y canalones.
3. Los producidos por hundimientos, asentamientos, corrimientos, desprendimientos o erosión del terreno, salvo que se deban a la inundación.

### 6.1.3. Franquicia

Rigen los mismos criterios de franquicia, cláusula horaria y porcentaje de cobertura que para el fenómeno de terremoto.

## 6.2. LA COBERTURA EN FRANCIA

### 6.2.1. Modalidad de cobertura

A raíz de la Ley de 13 de Julio de 1982, las pólizas deben incluir obligatoriamente una cláusula de cobertura de fenómenos de la naturaleza, corriendo la cobertura a cargo de Entidades Aseguradoras, pero cediendo el riesgo, a su vez, a una empresa estatal, la Caja Central de Reaseguro (CCR).

La cobertura se otorga prácticamente en régimen de compensación, siendo la tasa para Daños y Pérdida de Beneficios el 9 por ciento de las primas de estas garantías.

Las modalidades de cesión a la CCR, para todos los ramos, excepto automóviles son:

- Reaseguro en Cuota - parte.
  - Cesión máxima : 90%.
  - Comisión : 24%.
- Reaseguro Cuota - parte con la retención cubierta por exceso de siniestralidad.

% CESION C/P	% COMISION	% STOP LOSS	% PRIMA
55 - 90	24	120	16
		150	11
		175	7
		200	4,5
50	24	150	11
45	24	175	7
		200	4,5

#### **6.2.2. Exclusiones**

Los daños por Responsabilidad Civil, pérdidas indirectas, gastos de desplazamiento y alojamiento, pérdida de uso o alquileres, prima de seguro de la obra de reconstrucción y honorarios de peritos.

#### **6.2.3. Franquicias**

- Viviendas y otros bienes no profesionales: 1.500 francos.
- Bienes de uso profesional: 10 por ciento de los daños, con mínimo de 4.500 francos.
- Pérdida de Beneficios: 3 días, con mínimo de 4.500 francos.

### **6.3. LA COBERTURA EN ITALIA**

#### **6.3.1. Modalidad de cobertura**

Daños producidos por inundación, que afecten al interior de los edificios o a su contenido a causa de la caída de agua de lluvia o granizo, siempre y cuando los daños se originen a causa de previas roturas o agrietamientos de techos, paredes o cerramientos, producidos por la violencia de estos fenómenos.

#### **6.3.2. Exclusiones**

- Causas:
  - . Desbordamiento de cauces naturales o artificiales de agua.
  - . Embates de mar en las costas.
  - . Formación de ramblas o arroyos, acumulación de agua en el exterior, rotura o salida de los sistemas de desagüe.
  - . Hielo, nieve.
  - . Hundimientos o corrimientos del terreno.

Objetos:

Arboles, cultivos.

Cercas, vallas, grúas, canteras, chimeneas, rótulos, antenas e instalaciones externas.

Bienes al aire libre.

Edificios no cubiertos o cerrados en su totalidad.

Cierres, vidrieras y lucernarios.

**6.3.3. Franquicias**

Las franquicias y formas de cobertura son iguales que las del fenómeno de terremoto.

# INUNDACIONES

## CAPITULO 7. RIESGO DE INUNDACION. PAUTAS BASICAS DE EVALUACION Y TARIFICACION

Los aspectos básicos a considerar en el análisis del riesgo se resumen en:

### 7.1 ANALISIS DE PELIGROSIDAD

- Definición precisa del fenómeno, determinando las delimitaciones posibles entre suceso primario y peligros secundarios o inducidos.
- Identificación de las regiones proclives a inundación, según cuencas de los ríos, condiciones orográficas, configuración del suelo y nivel de precipitaciones de lluvia.
- Experiencia histórica de sucesos ocurridos. Frecuencia (período de recurrencia), intensidad de pérdidas, localización geográfica de los desbordamientos y áreas afectas (propagación y aminoración de efectos).

### 7.2 ANALISIS DE EXPOSICIONES Y LOCALIZACION

- Características de las exposiciones (Categorías de riesgo).
  - Calidad de materiales de construcción.
  - Aberturas en edificios.
  - Ocupación y actividad de los edificios.
  - Clases de contenidos expuestos y disposición vertical.
- Localización de las exposiciones.
  - Posición relativa en cuanto a distancia y altura respecto a posibles puntos de manifestación del suceso.

### 7.3 ANALISIS DE LA VULNERABILIDAD

- Creación de modelos de estimación de vulnerabilidad en orden a observaciones empíricas y estimaciones teóricas, que relacionen el grado de afectación o pérdida de las exposiciones con la localización física de las mismas en relación a las cuencas de los ríos y las condiciones orográficas, de infraestructura, y atmosféricas de la zona (precipitaciones de lluvia y nieve).
- Estimación de la función de pérdida promedio por tipo de exposiciones (viviendas, comercios, industrias), según criterios establecidos básicamente en función de la localización geográfica de las exposiciones y criterios anteriores.

### 7.4 ANALISIS DE EVALUACION DEL RIESGO

- División en zonas de peligrosidad, según criterios de:
  - Causa-efecto. Origen primario de la inundación (lluvia, fundamentalmente) y circunstancias o factores naturales y artificiales desencadenantes (condiciones del suelo, orografía y obras de infraestructura, principalmente).
  - Frecuencia en orden a períodos de recurrencia.
  - Intensidad de pérdida en orden a criterios de vulnerabilidad.
  - Localización y concentración de las exposiciones en relación a la distancia y altura a los puntos de manifestación del suceso.
- Estructuración de zonas de aplicación de primas uniformes, con arreglo a las zonas de peligrosidad.
- Estimación de la pérdida máxima esperada anualmente por el distinto grado de afectación en diferentes zonas de cúmulos de exposición para un suceso o sucesos posibles de una intensidad determinada.

## 7.5 CRITERIOS DE SUSCRIPCION

### Información de entrada módulo de tarificación

<u>INUNDACIONES</u>				
ZONA DE TARIFACION	1	2	3	4
CATEGORIA DE RIESGO		A	B	C
TIPO DE CONSTRUCCION		A	B	C
ALTURA SOBRE CAUCE MAS PROXIMO	MAS		MENOS	
DISTANCIA CAUCE MAS PROXIMO				
RIESGOS SECUNDARIOS		SI	NO	
FRANQUICIA (% SOBRE VALOR ASEGURADO)				



«Un terremoto, un deslizamiento de tierra o un alud se apoderan del hombre fortuitamente, por así decirlo, sin pasión. Un temporal furioso lo ataca como a un enemigo personal, trata de aferrarle los miembros, se adhiere a sus pensamientos, trata de arrancar el espíritu mismo del hombre».

Typhoon, 1907.  
JOSEPH CONRAD.

## VIENTOS

### INTRODUCCIÓN

La preocupación del hombre por los vientos, viene de muy antiguo. En la mitología griega, Eolo era el dios de los vientos. Se decía que guardaba a todos los vientos en una gruta, para soltarlos según su antojo y producir una agradable brisa o un terrible temporal.

En el año 350 de nuestra era, se irguió en Atenas, la Torre de los Vientos. Era una torre de mármol de planta octogonal, en la que estaban representados en sus caras debidamente orientadas, los vientos personificados por: Boras, el más temido viento del norte frío y tormentoso; Austro o Notos era el viento del sur; Aphelioites soplaban desde el este y Zephyros desde el oeste.

Desde la antigüedad, se aprovecha la fuerza del viento de múltiples formas y con diversos objetivos, como la puesta en marcha de molinos para moler el grano y la transformación de tierras pantanosas en terrenos cultivables (tierras bajas de Holanda). La navegación y los grandes descubrimientos, como el de América en 1492, no hubieran sido posibles sin la ayuda del viento. También sirven de alivio en climas cálidos y actualmente, proporcionan energía eléctrica.

Sin embargo cuando, se desata de forma violenta e imprevista, también cobra sus tributos. En los tiempos de la navegación a vela, las oportunidades de un barco de sobrevivir a la violencia de un huracán, eran bastante escasas y en algunos casos un intenso temporal ha cambiado el curso de la historia. Recuérdese el hundimiento de la Armada Invencible en el verano de 1588, por una terrible borrasca que diezmó la expedición española y dio la victoria a la flota inglesa.

La violencia del viento es tristemente conocida por la destrucción y miseria que siembra a su paso, en la superficie de nuestro planeta. La mejor manera de enfrentarse a él, es conocer cómo se genera y qué efectos produce.



# VIENTOS

## CAPÍTULO 1. ¿QUÉ SON LOS VIENTOS?

### 1.1 CÓMO SE DETERMINA EL VIENTO

El viento es el resultado del aire en movimiento sobre a la superficie de la Tierra. Los parámetros de medición del viento son dos: su **dirección** y su **velocidad**. La dirección se representa por un punto del horizonte de donde procede el viento, sobre la «**Rosa de los Vientos**» (ver figura 1.1). La dirección se determina con la ayuda de una manga o de una veleta ordinaria (ver figura 1.2).

Para cuantificar la velocidad del viento, se utilizan los anemómetros. El clásico anemómetro es el molinete de cazoletas (ver figura 1.3), pero existen otros equipos anemométricos, como los del sistema euleriano y sistema lagrangiano. El primero consiste en la cuantificación del viento en un lugar determinado, y el segundo es la observación de algún objeto arrastrado por el viento. En el caso de los anemómetros eulerianos, para que la medida del viento sea real, se deben instalar a una altura de 10 metros, ya que se parte de la base de que a esa altura el flujo de aire no es perturbado por ningún obstáculo. Se conoce con el nombre de «**altura efectiva**» del anemómetro. Si no fuera posible instalar el aparato a esa altura, se debe realizar una corrección a nivel base, según la siguiente tabla:

ALTURA EFECTIVA	RAZÓN
2 metros	1,28
4 metros	1,18
10 metros	1,00
15 metros	0,93
20 metros	0,66

**Tabla 1.I.** Corrección de la altura de los anemómetros a nivel base.

Existen múltiples tipos de anemómetros. Una posible clasificación dentro de los anemómetros eulerianos, puede ser la propuesta por Julián Sánchez Rodríguez (1990):

<b>Anemómetros de rotación</b>	De eje horizontal (molinetes)	Álabes planos
		Hélices
<b>Anemómetros de presión</b>	De eje vertical o de cazoletas	Esféricas
		Cónicas
<b>Anemómetros de presión</b>	Anemómetros de sonda Pitot- Prandit	
	Anemómetros de presión sobre plancha	Plancha oscilante Plancha normal al viento
<b>Anemómetros frenados</b>		
<b>Anemómetros termodinámicos</b>	Como el anemómetro de alambre caliente el «termómetro Kata» o catatérmómetro	
<b>Anemómetros sónicos</b>		

**Tabla 1.II.** Clasificación de anemómetros eulerianos, (Sánchez Rodriguez, J., 1990).

Se puede expresar la velocidad del viento en tres unidades diferentes: el metro por segundo (m/s), el kilómetro por hora (km/h) y el nudo, que equivale a una milla náutica (1852 m) por hora. Para pasar de una unidad a otra, se realizan los siguientes cálculos:

de m/s a km/h, multiplicar por 3,6.  
de m/s a nudos, multiplicar por 1,94.  
de km/h a m/s, multiplicar por 0,28.  
de km/h a nudos, multiplicar por 0,54.  
de nudos a m/s, multiplicar por 0,52.  
de nudos a km/h, multiplicar por 1,85.

En la antigüedad, la dificultad para medir la velocidad del viento, llevó a describir la fuerza en función de los efectos observables que producía.

Existe una escala clásica de medida de la velocidad de los vientos, la «Escala de Beaufort» que fue creada en 1805, por el almirante inglés sir Francis Beaufort. En un principio, servía para determinar el velamen necesario para ciertas condiciones del viento, posteriormente se adoptó para explicar el efecto visible del viento. Esta escala tiene trece valores que van desde el «0» cuando el aire está en calma, hasta el grado «12» que es cuando se habla de viento huracanado.

La tabla siguiente describe la escala Beaufort para el observador terrestre:

Grado	Nombres usuales	Velocidad			Definición de los vientos según observaciones hechas en tierra.
		Budos	km/h	m/s	
0	Calma	0-1	0-1	0-0,2	Calma. El humo sube verticalmente.
1	Ventolina	1-3	1-5	0,3-1,5	Se define la dirección del viento por la del humo, pero no por banderolas.
2	Flojito Brisa muy débil	4-6	6-11	1,6-3,3	El viento se siente en la cara. Se mueven las hojas de los árboles. Ordinariamente se mueven las banderolas.
3	Flojo Brisa débil	7-10	12-19	3,4-5,4	Las hojas de los árboles se agitan constantemente. Se extienden banderolas.
4	Bonacible moderado Brisa moderada	11-16	20-28	5,5-7,9	Se levanta polvo y los papeles pequeños. Se mueven las ramas pequeñas de los árboles.
5	Fresquito (algo fuerte) Brisa fresca	17-21	29-38	8,0-10,7	Se mueven los árboles pequeños. Se forman pequeñas olas en los estanques.
6	Fresco (fuerte) Brisa fuerte	22-27	39-49	10,8-13,8	Se mueven las ramas grandes de los árboles. Silban los hilos del telégrafo. Se utilizan con dificultad los paraguas.
7	Frescachón Viento fuerte	28-33	50-61	13,9-17,1	Todos los árboles están en movimiento. Es difícil andar con el viento.
8	Duro	34-40	62-74	17,2-20,7	Se rompen las ramas delgadas de los árboles. Generalmente, no se puede andar contra el viento.
9	Muy duro	41-47	75-88	20,8-24,4	Ocurren desperfectos en las partes salientes de los edificios, derribando chimeneas y levantando tejas.
10	Temporal	48-55	89-102	24,5-28,4	Destrozos en edificios; caen tejas y chimeneas. Arranca los árboles de cuajo.
11	Borrasca	56-63	103-117	28,5-32,6	Destrozos graves y muy generalizados.
12	Huracán	>64	>118	32,7-36,9	Verdadera catástrofe.

Tabla 1.III. Escala de Beaufort para el observador terrestre.

Las observaciones realizadas de las velocidades y direcciones de los vientos en un período de tiempo, se representan en la Rosa de los Vientos. Las abreviaturas de la Rosa de los Vientos indican:

N = Norte	NNE = Nornordeste
S = Sur	ENE = Estenordeste
O = Oeste	ESE = Estesureste
NE = Nordeste	SSE = Sursureste
SE = Sureste	SSO = Sursuroeste
SO = Suroeste	OSO = Oestesuroeste
NO = Noroeste	NNO = Nornoroeste

## 1.2 FUERZAS QUE PRODUCEN LOS VIENTOS

Existen cuatro factores que controlan el movimiento horizontal de una masa de aire en movimiento, y éstos son:

### a) Fuerza del gradiente bárico

Para que se produzca un viento, es necesario que exista una diferencia de presión entre dos puntos dados, ya que las masas de aire se mueven desde aquellos lugares de mayor presión, hacia los de menor presión. Esta diferencia bárica puede estar provocada por el diferente calentamiento solar.

Se denomina gradiente bárico a la relación que existe entre la presión de dos lugares y la distancia que hay entre ellos, medida en grados terrestres (1 grado terrestre es igual a 111 km). Cuanto mayor sea la diferencia de presión entre dos puntos, mayor será la velocidad del viento (ver figura 1.4).

### b) Fuerza de Coriolis

Fue descrita matemáticamente en 1835, por el francés Gaspard de Coriolis, y fue demostrada en 1856, por el meteorólogo americano William Ferrel. Se denominó «**fuerza desviadora de la rotación de la Tierra**». Está provocada por un efecto de la inercia de la rotación de la Tierra, produciendo una desviación de los objetos que se mueven sobre la superficie y en el aire, hacia la derecha de su trayectoria en el hemisferio Norte y hacia izquierda en el hemisferio Sur.

Su efecto es máximo en los polos y disminuye con la latitud, siendo cero en el Ecuador.

### c) Fuerza centrífuga

La fuerza centrífuga es de igual magnitud que la aceleración centrípeta, pero de signo opuesto, tiene muy poco valor, y sólo es importante donde los vientos tienen altas velocidades y se mueven en trayectorias muy curvas, como en un ciclón, que son zonas de presión extremadamente bajas (ver figura 1.5).

### d) Fuerza de rozamiento del aire

El rozamiento del aire con la superficie de la Tierra, controla la velocidad y dirección del movimiento de la masa de aire. La viscosidad, o rozamiento interno dentro la masa de aire, se opone al avance de éste.

Cuando existe un equilibrio entre la fuerza de Coriolis y la fuerza de gradiente de presión, se generan los **vientos geostróficos**, o vientos que dependen de la rotación

de la Tierra y son observados en la atmósfera libre, donde no existe rozamiento del aire (ver figura 1.6).

El viento que se genera utilizando todas las fuerzas descritas anteriormente, se denomina **viento de gradiente o bárico**.

### 1.3 ESTRUCTURA DEL VIENTO

El viento no sopla continuamente, sino que se mueve a ráfagas o rachas. Los anemómetros registran estas variaciones de velocidad, y las veletas su cambio de dirección. El efecto Venturi lo explica perfectamente: un aumento local de presión produce una aceleración en el viento, como pueden ser un paso estrecho de una montaña o de una garganta. El viento sólo puede moverse en estructura laminar, esto es en una misma dirección y de forma homogénea, con velocidades inferiores a los 14 km/h ó 4 m/sg. Si se sobrepasa este límite, se empiezan a producir fenómenos de turbulencia que se ven favorecidos por la topografía o por los edificios.

El viento sigue unas determinadas líneas de flujo, que son curvas tangentes en un punto a la dirección instantánea del viento.

Cuando el viento sopla por un valle o región estrecha (un paso entre dos edificios o una garganta estrecha), las líneas de flujo convergen y aumenta la velocidad del viento. Este fenómeno también se produce en las cumbres de las montañas. Cuando el viento llega a una zona más despejada, las líneas de flujo divergen y disminuye la velocidad.

El fenómeno de convergencia crea remolinos tanto en las laderas de las montañas, como en los alrededores de los edificios, por lo que son muy peligrosos para la aviación e incómodos para los ciudadanos que circulan por esas zonas.

### 1.4 RAFAGOSIDAD Y TURBULENCIA DEL VIENTO

El viento puede fluir con regularidad con un soplo continuo y uniforme, y otras veces fluir a golpes o ráfagas. Este fluir se denomina **rafagosidad** y tiene un rango amplio desde la regularidad absoluta, hasta la forma más inconstante y desordenada.

Algunas de estas ráfagas pueden alcanzar velocidades varias veces superiores a la velocidad media, aunque pueden estar intercaladas con instantes de calma absoluta.

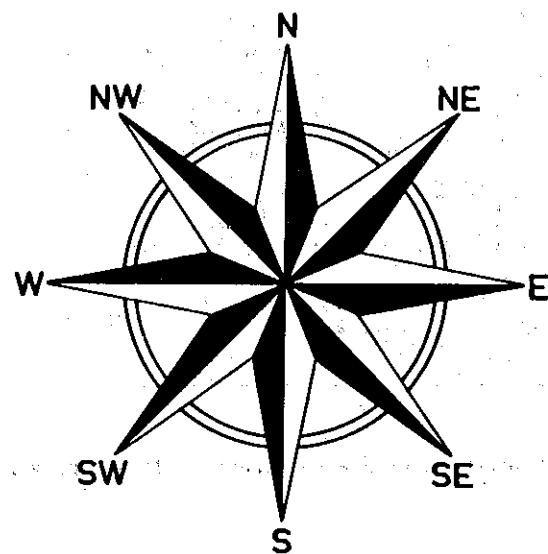
La rafagosidad está producida por pequeños torbellinos en el seno de la corriente de aire. Cuando el movimiento del aire en el torbellino coincide con el sentido de la corriente, la velocidad aumenta. Cuando el sentido del aire del torbellino es inverso al de la corriente, la velocidad del viento se debilita.

Se dice que hay **turbulencia**, cuando el flujo del aire produce torbellinos. La turbulencia está producida por dos causas: por el rozamiento del aire entre dos obstáculos del suelo (árboles, edificios, etc...), y por células de convección originadas por el desigual calentamiento del suelo. Se observa que en igualdad de condiciones la turbulencia en el mar es mucho menor que en tierra, ya que ésta aumenta con la desigualdad del terreno.

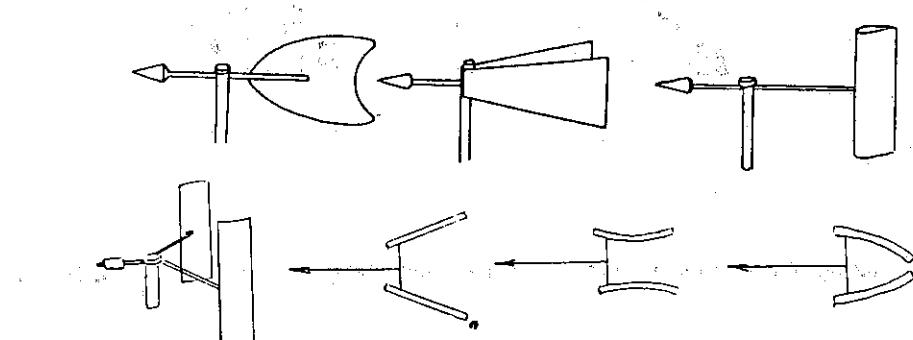
En aeronáutica, existe una escala de cuatro grados para determinar el grado de turbulencia.

GRADO	VIENTO
1	Débil
2	Moderada
3	Fuerte
4	Violenta.

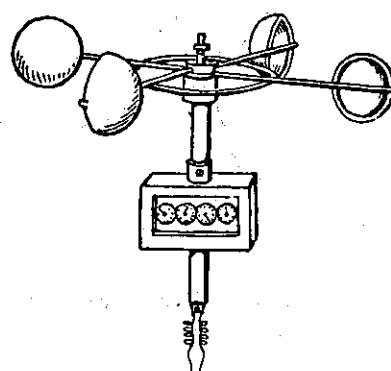
**Tabla 1.IV.** Escala de turbulencia del viento



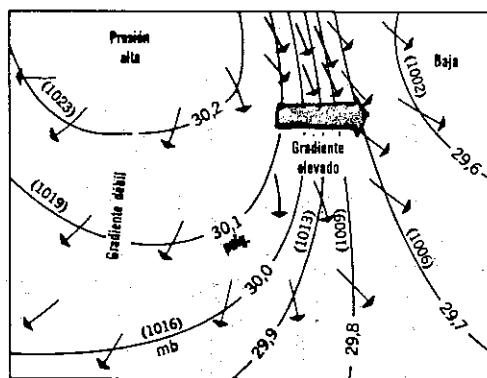
**Fig. 1.1 Rosa de los vientos.**



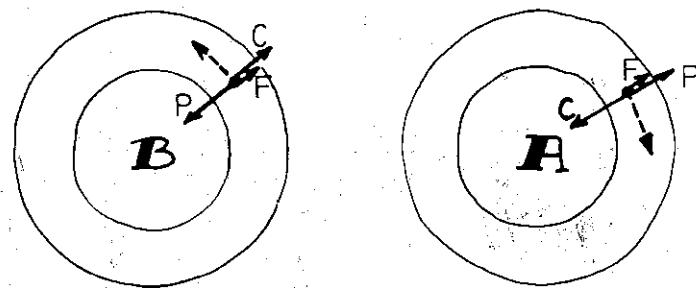
**Fig. 1.2 Diversos tipos de veletas.**



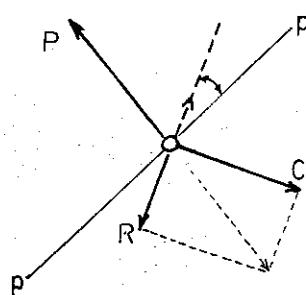
**Fig. 1.3 Anemómetro de cazoletas.**



**Fig. 1.4** La disposición de las isobaras determina los gradientes de presión y los vientos de superficie, según Strahler, (1988).



**Fig 1.5** Contribución de la fuerza centrífuga (F) al viento del gradiente, según Jansa, (1980).



**Fig. 1.6** Contribución del rozamiento (R) al equilibrio de fuerzas. El viento resulta frenado y desviado respecto de las isobaras (P-P), según Jansa, (1980).

## VIENTOS

### CAPÍTULO 2. CIRCULACIÓN GENERAL DE LA ATMÓSFERA

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

La circulación general de la atmósfera está en función de tres factores: la radiación solar que incide en el planeta, la humedad y el momento angular de la Tierra, máximo en el Ecuador y nulo en los polos.

El momento angular es transferido desde las bajas latitudes a las altas, de la siguiente manera (Chandler, 1967):

- 1) Por los movimientos en la «célula de Hadley» en las bajas latitudes.
- 2) Por el desplazamiento de las perturbaciones atmosféricas, particularmente en la atmósfera superior de la zona subtropical.
- 3) Por las ondas de presión troposféricas de alto nivel y por las perturbaciones superficiales que las acompañan.

Como se puede ver en la figura 2.1, en el Ecuador se produce una zona de bajas presiones que tienen un origen térmico, por la incidencia perpendicular de los rayos solares. En consecuencia, se genera una faja entre los 3º y los 10º N, conocida en los tiempos de navegación a vela como «zona de calma de los marinos» muy peligrosa de cruzar por la posibilidad de que los barcos quedasen inmovilizados durante largos períodos de tiempo, sin la menor brisa.

Al norte y sur del Ecuador, se encuentran los vientos alisios que en el hemisferio austral soplan del sudeste, mientras que en el hemisferio boreal vienen del nordeste. La zona de vientos alisios oscila entre el Ecuador y las latitudes 30ºN y 30ºS.

Gracias a su persistencia y al tiempo generalmente despejado que les acompaña, eran los vientos preferidos por los marinos, siendo además, los responsables de las agradables condiciones climatológicas que existen en ciertas islas tropicales. En las islas Canarias, que se ven afectadas por los alisios, se desarrolla una importante cobertura vegetal en las vertientes norte de algunas islas, al ser regadas por las nubes estacionarias asociadas a los húmedos vientos alisios.

Entre las latitudes 30º y 60º de los dos hemisferios, se encuentran los cinturones subtropicales de los vientos variables del oeste. Donde las borrascas son muy comunes, se producen bajas presiones de tipo dinámico que generan un tiempo muy variable. En el hemisferio norte, las masas continentales producen una distorsión en la circulación de estos vientos, mientras que en el sur existe un cinturón casi continuo

de océanos. En esta zona, los vientos cobran fuerza y persistencia por lo que los marinos los conocen como los «rugientes cuarenta», «furiosos cincuenta» y los «silbantes sesenta» hacia el oeste, refiriéndose a la latitud donde soplan. El doblar el cabo de Hornos suponía un notable peligro adicional a la navegación de aquellas peligrosas costas.

Estos vientos no influyen en la navegación marítima actual, si exceptuamos la navegación a vela deportiva, pero sí influyen en los vuelos transoceánicos, ya que los vuelos con dirección oeste con el viento en contra necesitan más combustible transportando cargas más reducidas, especialmente a altitudes del orden de 6.000 a 9.000 metros.

En los Polos, se generan los vientos polares del este y son característicos de las latitudes árticas y antárticas. Se localizan entre los 60º y 90º norte y sur respectivamente.

## 2.2 MODELOS DE CIRCULACIÓN GENERAL DE LA ATMÓSFERA

La circulación de las masas de aire sobre la superficie del planeta, es bastante compleja debido a las múltiples variables que intervienen. Según Biel Lucea, (1943), las masas de aire se caracterizan por una serie de propiedades tales como:

- a) Temperatura
- b) Temperatura equivalente potencial
- c) Gradiente térmico vertical
- d) Humedad específica
- e) Visibilidad a través de una masa
- f) Fenómenos de condensación
- g) Influencia del período diurno de los hidrometeoros.
- h) Influjo orográfico sobre los meteoros

Varios modelos fueron propuestos en diferentes épocas, para explicar la circulación del aire en la atmósfera. En 1688, el físico inglés Edmund Halley (más conocido por sus descubrimientos astronómicos), propuso un módulo de circulación de máximo calentamiento en las bajas latitudes, para generar una célula termalmente directa. De esta forma, se explica el flujo de los vientos alisios que circulan hacia el Ecuador. En 1735 otro inglés, George Hadley modificó el modelo anterior al incorporar los efectos de la rotación terrestre, y explicar los efectos de los alisios del nordeste y del sudeste. Sugirió la existencia de una contracorriente compensatoria del Sudoeste

sobre estos vientos .

Este tipo de circulación es válida actualmente para los trópicos, y se conoce como «Celula de Hadley».

En 1856, el meteorólogo norteamericano Ferrel propuso un modelo que mejoraba el propuesto por Hadley, e introducía las zonas donde existen vientos del oeste, que eran despreciados por los modelos anteriores. En 1924 Bergeron, y posteriormente Rossby en 1941, añadieron algunas modificaciones al modelo de Ferrel (1951), siendo en la actualidad el modelo de Palmen (1951), la última modificación al modelo de Ferrel.

La zona de bajas presiones que existe alrededor de Ecuador, es esencialmente de origen térmico y está provocada por los rayos solares que inciden perpendicularmente sobre la superficie terrestre. A los 30° de latitud de ambos hemisferios, se genera una zona de altas presiones, y hacia los 60° de latitud, se encuentran las zonas de bajas presiones subpolares de origen dinámico, provocadas por la rotación de la Tierra. En los polos, se sitúa una zona de altas presiones provocadas por el efecto térmico del intenso frío que reina en estas áreas.

En respuesta a la diferente distribución de la presión, existen diferentes sistemas de viento en el planeta, siendo en total seis, tres de cada hemisferio.

En el hemisferio Norte, soplan los alisios del nordeste, los vientos dominantes del oeste y los vientos polares del este. En el hemisferio Sur, soplan los alisios del sudeste, los vientos predominantes del oeste y los vientos polares del este.

Además de estos sistemas de vientos, existen otros que participan en la circulación atmosférica. Según Barrey (1967), estos serían:

- 1) Perturbaciones inestables de larga amplitud de los vientos del oeste, en las medias y altas latitudes.
- 2) Flujo lento y continuo de los alisios en las bajas latitudes, incluyendo algunos vórtices internos.
- 3) Corrientes de aire fuertes y estrechas, llamadas «Jet Streams» o corrientes de chorro, que se localizan fundamentalmente en la troposfera superior, sobre las latitudes medias.

## 2.3 VIENTOS LOCALES

En ciertas zonas de nuestro planeta, y en condiciones favorables, se generan los **vientos locales** que están condicionados por las características del terreno y por las diferencias térmicas locales. Son fundamentales para entender los climas locales. Existen dos tipos de vientos locales: aquéllos originados por las proximidades de grandes masas de agua, y aquéllos provocados por la topografía.

### 2.3.1 Brisas marinas y terrestres

Se originan en las proximidades de lagos y mares, por el diferente calentamiento de las masas de agua y tierra, las brisas terrestres (Terrales) y las brisas marinas (Virazones). Durante el día, la tierra se calienta más rápidamente que la superficie del agua, el aire caliente que está sobre la tierra tiende a ascender, y se crea un gradiente de presión local. El aire más frío se encuentra sobre la superficie del agua del mar y se desplaza hacia la tierra, para producir así la brisa marítima (ver figura 2.2).

Por la noche, ocurre el fenómeno inverso, las masas terrestres se enfrián más rápidamente que las masas acuosas, y se invierte la circulación de la brisa, que soplará de tierra hacia mar. Se conoce como la brisa terrestre.

Las brisas marinas, por lo general, son más fuertes que las terrestres ya que su efecto puede ser sentido en zonas muy alejadas de la franja costera, y depende directamente del grado de insolación; la brisa marina se desarrolla mejor en las estaciones secas en los trópicos, y en verano en las regiones templadas.

### 2.3.2 Brisas de montaña y valle

Los otros tipos de vientos locales son las brisas de la montaña y la brisa del valle, que tienen su origen en el diferente grado de incidencia solar sobre la montaña y el valle (ver figura 2.3).

Los vientos de valle o anabáticos, se generan cuando se produce un gradiente de temperatura entre la montaña y el valle. Durante el día, la montaña tiende a calentarse más que el valle y los vientos remontan sus laderas. Muchas veces vienen acompañados de la formación de nubes cúmulos sobre las montañas o en sus proximidades. Durante la noche, el efecto es el contrario, la montaña se enfriá más rápidamente que el valle y se produce un gradiente térmico inverso.

El aire frío se desplaza desde las cumbres hacia los valles, originando los vientos de montaña o catabáticos. Algunos reciben nombres locales, como el «Bora» en la costa norte del mar Adriático durante el invierno, y el «Mistral» en el sur de Francia. Muchas veces llevan asociadas la formación de heladas en valles y en zonas montañosas, también colaboran para que ocurran inversiones térmicas en el fondo de valles, produciendo la acumulación de contaminantes de las grandes urbes.

La topografía también influye sobre los vientos. Un efecto muy conocido por los meteorólogos es el «efecto Foehn». Es un viento cálido y seco que sopla al norte de los Alpes, que no es exclusivo de esta zona, sino que se produce en otras cadenas montañosas. El aire húmedo que sopla del

Mediterráneo, choca con las montañas de los Alpes y tiende a elevarse. Como al elevarse se enfriá, el vapor de agua que contiene condensa y produce precipitaciones. El viento pasa a barlovento seco y al descender por la ladera opuesta, se calienta. Para tener una idea clara de la modificación que produce el «Foehn», se expone un ejemplo: en Bluding (Alemania), en Febrero de 1869, el termómetro subió hasta los 19ºC y la humedad relativa, descendió un 14%. Tales cambios bruscos pueden tener efectos desastrosos o beneficiosos según la época del año: en verano, los riesgos de incendio se elevan y pueden originar inundaciones en invierno, al fundirse las nieves bruscamente.

Como hecho curioso, es interesante destacar que este viento provoca numerosas alteraciones fisiológicas en el ser humano, como dolores de cabeza, ataques cardíacos, depresiones y hasta suicidios.

En la península Ibérica, también pueden observarse este tipo de fenómenos. Según García de Pedraza, las cordilleras que más influencia ofrecen, son las orientadas de oeste a este y las dispuestas de norte a sur. Por lo tanto, los vientos del NO y N, producen al sur del Sistema Central, en La Mancha, un efecto Foehn y los vientos del SO y S, en la Cornisa Cantábrica. Los del O en el Mediterráneo oriental, mientras los Levantes producen el efecto Foehn en la cuenca del Guadalquivir y ambas Castillas. En los meses de invierno, en la vertiente norte de la cordillera Cantábrica, la temperatura máxima puede ascender hasta los 28ºC en febrero, y los 30ºC en marzo.

## 2.4 LA CORRIENTE EN CHORRO

Durante la II Guerra Mundial, los aviadores norteamericanos que volaban en misiones de bombardeo hacia territorio japonés, observaron que al atravesar el Pacífico, a unos 6.000 m de altitud, se encontraban con unos fortísimos vientos en contra de 300 a 400 km/h que soplaban hacia el este, siendo la velocidad del viento similar a la de los aviones y dificultando su avance.

A estos vientos, se les llama «Jet Streams» o corriente en chorro. Consiste en un cinturón de aire de algunos miles de kilómetros de largo, y centenares de kilómetros de espesor, con velocidad mínima de 120 km/h. Se han reconocido dos tipos principales de corriente en chorro: el Jet Stream subtropical y el Jet Stream del frente polar, con orígenes diversos; se cree que el subtropical tiene un origen dinámico y está provocado por la rotación de la Tierra, mientras que el Jet Stream polar estaría producido por una diferencia de temperaturas. Está muy relacionado con el frente polar, de ahí su importancia meteorológica en la circulación atmosférica. En el chorro polar, la región de la izquierda es el lado frío y la derecha es el lado cálido. Se ha podido observar que en el lado frío del chorro, la atmósfera se encuentra hundida y son muy numerosas las borrascas, mientras que el lado cálido se encuentra levantado, siendo dominantes los anticiclones. En resumen, los remolinos que se generan en el lado frío son gérmenes de borrascas, y los remolinos que se producen

en el lado cálido son los gérmenes de anticiclones.

Cuando uno de estos gérmenes de borrasca se aísla, se pueden producir cambios de tiempo bastante notables, como la situación de la gota fría entre las latitudes 30° y 45° norte.

En sección perpendicular a la dirección de los vientos, se puede observar que la circulación del aire es similar a la de una corriente de agua, ya que las velocidades son máximas en el centro, con velocidades de hasta 400 km/h, y disminuyen hacia los bordes, donde se alcanzan los 120 km/h.

La localización de la corriente en chorro, es muy importante para la navegación aérea, ya que un avión que viaje a favor de la corriente economizará combustible, mientras que uno que viaje en contra, su velocidad será menor y el consumo de combustible será muy superior.

## 2.5 CENTROS DE PRESIÓN EN EL HEMISFERIO NORTE

La desigual distribución de tierras y mares sobre la superficie del planeta, influye de manera decisiva, en la distribución de agua en la atmósfera. Los océanos y mares son zonas donde el aire por lo general, está más cargado de humedad, mientras que en los continentes, el aire contiene menor grado de humedad atmosférica. En invierno, sobre los continentes se desarrollan centros de altas presiones y la temperatura es mucho más baja que en los océanos adyacentes, mientras que durante el verano ocurre el caso contrario; la temperatura de la superficie de los océanos es mucho más alta que la de los continentes.

Durante el invierno, se forma sobre la parte norte de Asia, el **anticiclón siberiano** y sobre la parte central de Norteamérica se forma el **anticiclón de Canadá**. Sobre los océanos Pacífico y Atlántico, se desarrollan la depresión de las Aleutianas y la depresión de Islandia respectivamente, con origen dinámico, resultado de la fricción entre las altas presiones polares y las subtropicales. La depresión de Islandia afecta a la península Ibérica en los meses fríos de invierno, al canalizar la masa de aire polar marítimo.

Durante el verano, las condiciones de presión se invierten: sobre Asia y el continente Norteamericano, se forman depresiones. En los Océano Pacífico y Atlántico, se desarrollan dos núcleos de altas presiones, conocidos como el anticiclón de Hawaii y el anticiclón de las Bermudas o Azores, el cual controla durante buena parte del año, las buenas condiciones climatológicas de la península Ibérica (ver capítulo 4).

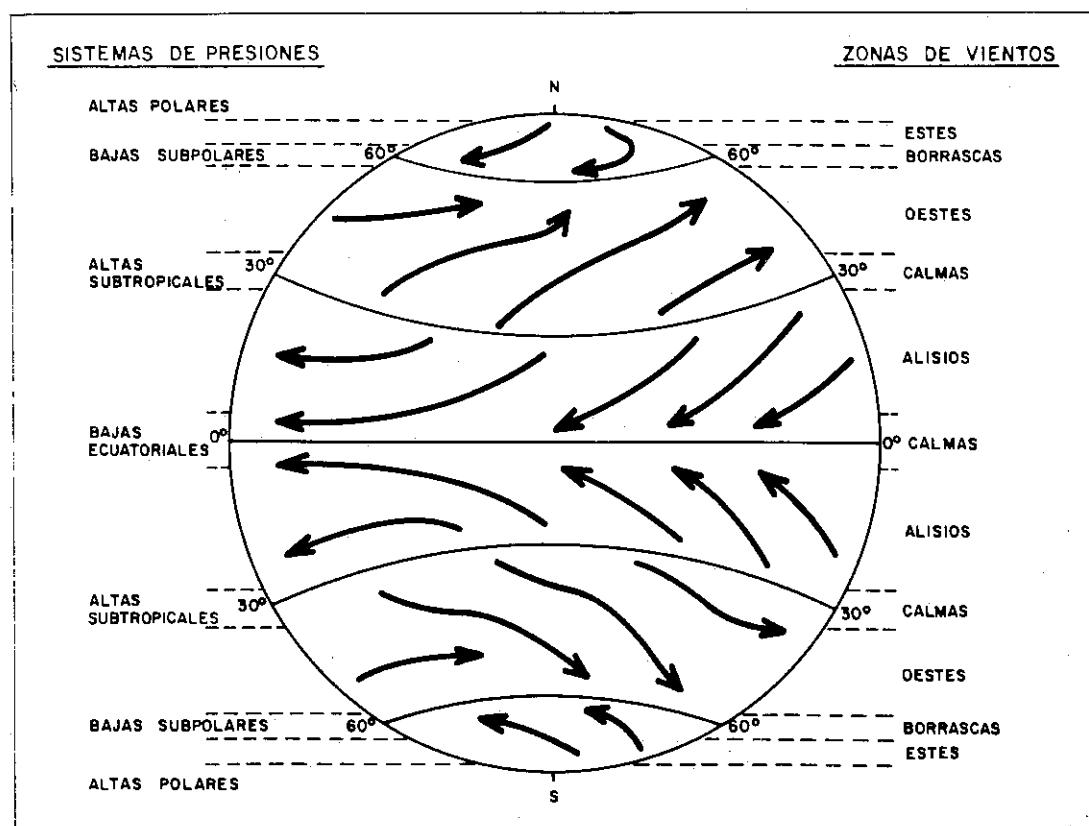


Fig. 2.1 Esquema de la circulación general de la atmósfera.

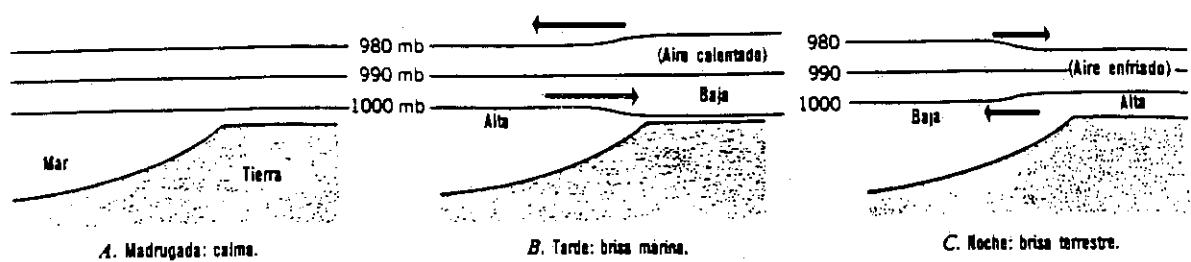


Fig. 2.2 Brisas marinas y terrestres.

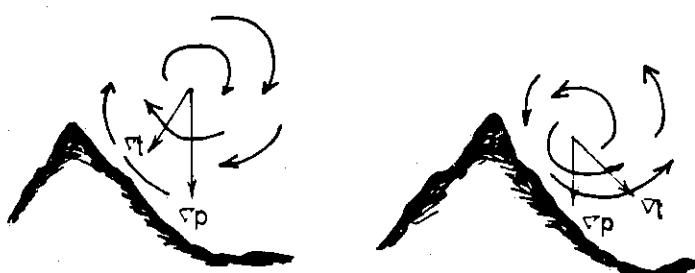


Fig. 2.3 Brisas de montaña y valle.



# VIENTOS

## CAPÍTULO 3. DINÁMICA ATMOSFÉRICA

### 3.1 MASAS DE AIRE

Para entender el concepto de frentes, es necesario conocer su estructura. La idea de masa de aire fue desarrollada por el meteorólogo danés T. Bergeson en 1928. Según Hare (1963), una masa de aire se define como un gran cuerpo horizontal y homogéneo, que se desplaza como una entidad reconocible, con origen polar o tropical.

Grupo Principal	Subgrupo	Región de origen	Propiedades originales
Polar (P) (incluyendo la Ártica A)	Polar marítimo (mP)	Océanos, más allá de la latitud 50° en ambos hemisferios	Fría, húmeda e inestable
	Polar Continental (cP)	1. Continentes alrededor del círculo Ártico 2. Antártica	Fría, seca y muy estable
Tropical (cT) (incluyendo la ecuatorial E)	Tropical marítimo (mT)	Océanos de los Trópicos y Subtrópicos	Caliente y húmeda, muy estable en la parte de los Océanos y más inestable en la parte Oeste
	Tropical continental (cT)	Desiertos de baja latitud, particularmente el Sáhara y los desiertos australianos	Caliente y muy seca, bastante estable

Tabla 3.I Esquema simplista de las masas de aire. Tomado de J.O. Ayoade, (1983).

La tabla 3.I describe de manera esquemática, las características más importantes de las masas de aire de Europa central, según su origen. Son grandes masas horizontales y uniformes en reposo, que absorben las características de humedad y temperatura propias de las superficies subyacentes, o también llamadas «regiones manantiales».

Aire	Región manantial	Época	Espesor aproximado	Viento		Temperatura	Visibilidad
				Direc.	Intensidad		
Ártico marítimo (Am)	Groenlandia Spitzberg	Todo el año menos verano	3 a 5km	NO ó N	Moderado turbulentó	-5° a 9°	50 km
Ártico continental (Ac)	N. de Rusia	Id.	< 2km	N ó E	Fuerte o borrascoso	-3° a 10°	20 a 50 km
Polar frío marítimo (PfM)	Canadá, Atlántico norte	Todo el año	3 a 6km	O ó NO	Moderado o racheado	0° a 17°	20 a 50 km
Polar frío continental (Pfc)	Rusia central	Invierno	< 1km	SE ó E	Moderado o algo fuerte	5° a 15°	10 a 50 km
Polar caldeado marítimo (Pcm)	Atlántico debajo de 50°N	Todo el año		O	Fuerte	10° a 15°	< 10 km
Polar caldeado continental (Pcc)	Sur de Rusia Balcanes	Verano		S	Poco fuerte	14° a 20°	Variable
Tropical marítimo (Tm)	Islas Azores	Todo el año		SO ó O	Fuerte	14° a 19°	< 4 km
Tropical continental (Tc)	N. de África S. de Balcanes	Id.		SE ó S	Frecuentemente fuerte	15° a 20°	Variable

Tabla 3.II. Masas de aire que actúan sobre de Europa occidental y central, responsables del tiempo y clima. Tomado de J.M. Lorente (1945).

Según Thewartha (1968), las zonas más importantes para la génesis de estas masas de aire son:

- 1) Las llanuras Árticas y Antárticas.
- 2) Los océanos tropicales y subtropicales.
- 3) El desierto del Sáhara.
- 4) Las grandes zonas continentales del interior de Asia, Europa y Norteamérica.

Cuando las grandes masas de aire abandonan su lugar de origen, se producen modificaciones térmicas al desplazarse hacia zonas con diferentes características, mientras que las modificaciones dinámicas tienen lugar cuando la masa de aire entra en contacto con anticiclones y depresiones próximas. La dinámica de las grandes masas de aire es importante, pues sirve para entender el tiempo y clima del área en que predominan.

### 3.2 FRENTES CÁLIDOS Y FRENTES FRÍOS

El concepto de frente surgió después de la I Guerra Mundial, y fue propuesto por la Escuela Noruega como precursora de la moderna meteorología. Se define «Frente frío o polar», como una zona de separación y enfrentamiento de masas de aire cálido tropical y masas de aire polar. Su localización varía entre los paralelos 30° y 60° de los dos hemisferios, y su funcionamiento depende de los gradientes térmicos que existen en la dirección de los polos. En el invierno, los gradientes son dos veces más fuertes que en verano, por este motivo, la formación de borrascas es más intensa en invierno que en verano.

La representación de los frentes en un mapa sinóptico, es la siguiente: si es una línea festoneada representa un frente cálido y una linea dentada, representa un frente frío; un frente se dice que está **ocluido** cuando ambas líneas se superponen. Un frente es **estacionario** cuando se representa por una línea con festones y dientes alternados y dirigidos en sentidos contrarios.

En Europa, el frente más importante es aquél que separa el aire polar del tropical, y se denomina frente polar. Sobre él, se desarrollan importantes borrascas.

A continuación, se describen esquemáticamente las diferencias más importantes que existen entre un frente frío y un frente cálido (tabla 3.III).

	EN LA VANGUARDIA DEL FRENTE	EN EL DOMINIO DEL FRENTE	EN LA RETAGUARDIA DEL FRENTE
<b>FRENTE CÁLIDO</b>			
PRESIÓN	Disminución constante	Cesa la disminución	Pequeña variación
VIENTO	Retrocede y aumenta la velocidad	Cambia la dirección. Disminuye la velocidad rápidamente	Constante
TEMPERATURA	Constante o con un aumento gradual	Aumenta lentamente	Pequeña variación
HUMEDAD	Aumento gradual	Rápida elevación	Pequeña variación
NUBES	Cl, Cs, As, Ns en sucesión	Nimbo y estratos bajos	Estratos y estratocúmulos
TIEMPO	Lluvia continua (o nieve en invierno)	Las precipitaciones casi cesan	Buenas condiciones o lluvias ligeras intermitentes o llovizna
VISIBILIDAD	Buena, excepto en la zona de lluvias	Mala, nieblas y nubes bajas provocan mala visibilidad	Frecuentemente mala, con nubes bajas y nieblas
<b>FRENTE FRÍO</b>			
PRESIÓN	Disminución	Rápida elevación	Lenta elevación, pero continua
VIENTO	Retrocede y aumenta la velocidad	Cambios bruscos en la dirección, generalmente acompañados por ráfagas	Con ráfagas y posteriormente estable
TEMPERATURA	Constante, algunas veces hay ligeras caídas durante la lluvia	Caida acentuada	Pequeños cambios

HUMEDAD	Sin cambios significativos	Caída acentuada	Generalmente reducida
NUBES	Altos cúmulos y estratocúmulos seguidos por cumulonimbos	Cumulonimbos, con fractocúmulos o bajos nimboestratos	Ascensiones rápidas, pero pueden desarrollarse cúmulos o cumulonimbos
TIEMPO	Con alguna lluvia y posibles tormentas	Aguaceros generalmente acompañados de granizo y tormentas	Aguaceros de corta duración
VISIBILIDAD	Mala, con la posible presencia de nieblas	Deterioro temporal, rápida mejoría	Muy buena

Tabla 3.III. Diferencias entre frente frío y frente cálido. Tomado de J.O., Ayoade, (1983).

### 3.3 CICLOGÉNESIS

Cuando el frente polar avanza hacia la masa de aire cálido tropical, el frente se curva y se produce una ondulación. A tal fenómeno, se le conoce como **«ciclogénesis»**, proceso por el cual se forma una borrasca. Esta borrasca se conoce como **borrasca ondulatoria del frente**, y no aparece de forma independiente, sino formando grupos que duran varios días (cuatro a siete días).

Las etapas de la ciclogénesis o ciclo de vida de una depresión frontal observadas en los masas sinópticos, según Solberg y Bjerkner, son seis:

- 1) En esta primera etapa, en el frente no existe ninguna perturbación.
- 2) Se inicia una perturbación en el frente con el desarrollo de una onda de baja amplitud.
- 3) Se introduce una cuña de aire cálido en la masa de aire frío. En esta etapa, los frentes están perfectamente definidos.
- 4) La masa de aire frío, por ser más densa que la masa de aire cálido, adquiere más velocidad y va envolviendo al frente cálido. Llega un momento en que el frente frío rodea por un flanco, al frente cálido dejándolo aislado del resto de la masa de aire. Se observan precipitaciones delante del frente cálido y detrás del frente frío, las primeras son las lluvias generales, mientras que las segundas son lluvias de tipo tormentoso.
- 5) El frente cálido ha sido alcanzado por el frente frío y está en vías de desaparecer, se producen abundantes precipitaciones. El aire caliente asciende y desaparece.
- 6) En esta etapa, ha desaparecido la depresión, ahora se observa un vórtice de aire frío.

En un corte transversal de una depresión madura (ver figura 3.1), se distinguen dos tipos de frentes: el frente cálido y el frente frío. En el frente cálido, el aire asciende suavemente sobre el aire frío, mientras que en el frente frío, la ascensión del aire cálido es más brusca y está provocada por el empuje de una cuña de aire frío (más denso) sobre el cálido (más ligero).

La velocidad del desplazamiento de estos frentes, oscila entre los 50 y 80 kilómetros/hora, pero el frente frío, como se ha visto, se desplaza más rápidamente que el cálido.

### 3.4 CENTROS DE ACCIÓN

La radiación solar no calienta la Tierra de una manera uniforme. La diferencia de temperaturas superficiales que existe entre el planeta, actúa como un motor térmico que origina los vientos.

Los vientos que se desplazan hacia el oeste en las latitudes medias, no son regulares como los alisios. Estos vientos generan remolinos y vórtices en altura, de algunos miles de kilómetros de diámetro. Por debajo, se generan otros vórtices más pequeños que giran durante horas o varios días, y son los que determinan las condiciones inestables en las latitudes medias.

Las perturbaciones en la circulación atmosférica que producen variaciones diarias y semanales en el tiempo atmosférico, son provocadas por grandes ondas, vórtices y torbellinos de aire, insertados en la circulación atmosférica (ver figura 3.2).

Las perturbaciones más importantes de la atmósfera, son los ciclones o borrascas y anticiclones de las latitudes medias, y los ciclones tropicales. Los términos «anticiclones» y «ciclones» son términos utilizados para describir la presión atmosférica que existe en una determinada área (ver figura 3.3).

#### 3.4.1 Depresiones

Las depresiones consisten básicamente en un conjunto de isobaras cerradas, circulares o elípticas, con valores decrecientes del exterior hacia el interior, y valores de presión mínima en el centro, con diámetro muy variable (desde centenares de kilómetros, a algunos miles).

Existen dos clases de depresiones: las «fijas» y las «móviles». Las primeras permanecen inmóviles en su lugar de origen, mientras que las segundas tienden a desplazarse. También se suelen denominar «borrascas» o «ciclones» a las depresiones móviles, aunque el término ciclón se debe reservar para designar las depresiones tropicales. Las depresiones móviles están asociadas a vientos fuertes en los sectores S y O, y mal tiempo, acompañadas de abundantes chubascos y tormentas.

Las denominadas depresiones secundarias, se forman en las proximidades de una principal. Son más pequeñas, y las borrascas asociadas suelen ser más violentas que las principales. España, y en particular las costas gallegas, está afectada por este tipo de ciclones satélites. En ocasiones, se forman a partir

de los ciclones tropicales del Atlántico y afectan a las costas gallegas con bastante intensidad.

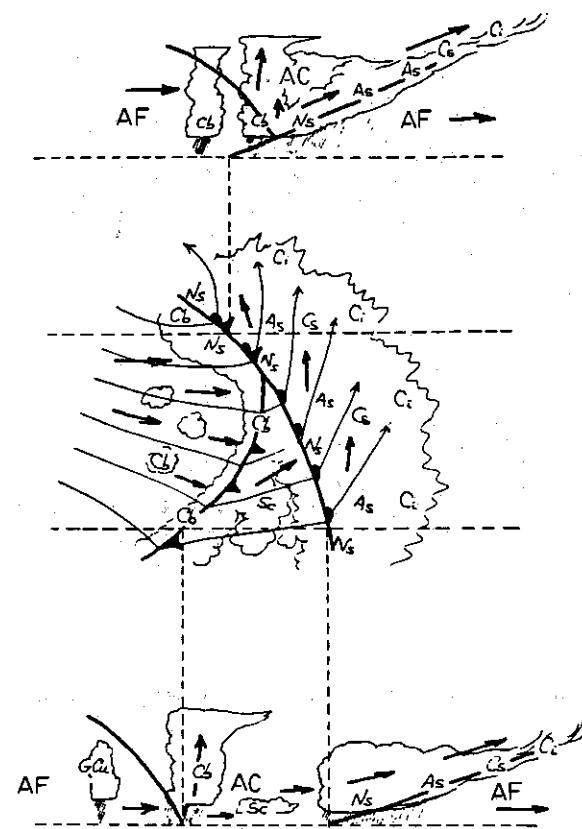
### 3.4.2 Anticiclones

Los **anticiclones** son el fenómeno contrario al ciclón, pues en su centro domina una masa de aire de mayor presión que el aire circundante. Así, el flujo del aire se desplaza desde el interior hacia el exterior, girando en el sentido contrario de los ciclones, según el hemisferio.

El aire desciende por el centro del anticiclón calentándose, y origina como consecuencia una zona despejada de nubes. El tamaño de los anticiclones suele ser bastante mayor que el de las depresiones. La fuerza del viento es menor que en las depresiones y en su región central, puede haber una zona de calma.

Existen anticiclones fijos y móviles. Los más importantes en tamaño y efecto sobre el clima son los fijos, mientras que los móviles se mueven entre dos borrascas de la misma familia.

El buen tiempo y cielos despejados es la tónica general cuando el tiempo está bajo los efectos de un anticiclón.



**Fig. 3.1** Circulación de vientos y tiempo asociado a los frentes. Caso de un sistema frontal típico (alzados, arriba-frente ocluido- y abajo-frente frío y cálido-, planta, en el centro) Af: aire frío; AC: aire cálido, según A. Jansa, (1980).

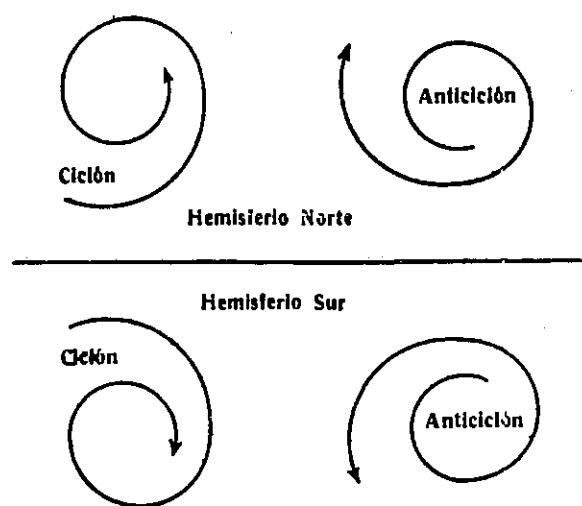


Fig. 3.2 Sentido de giro de los ciclones y anticiclones de los hemisferios norte y sur.

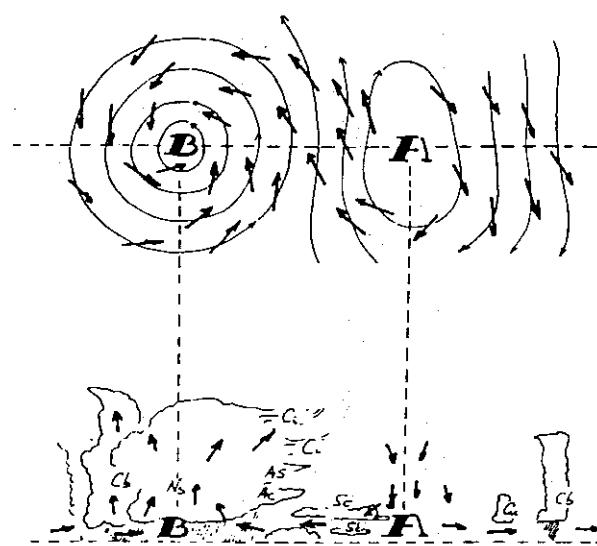


Fig. 3.3 Circulación de vientos y tiempo asociado a los anticiclones y borrascas, según A. Jansa, (1980).

## VIENTOS

### CAPÍTULO 4. FENÓMENOS ATMOSFÉRICOS EXCEPCIONALES

#### 4.1 CICLONES TROPICALES

Los ciclones que aparecen en las regiones tropicales, reciben el nombre de **ciclones tropicales**. Hoy en día se sabe que un ciclón tropical es un gran vórtice ciclónico que se forma en las proximidades de los trópicos, en casi todos los océanos, exceptuando el Atlántico meridional (ver figura 4.1).

Recibe distintos nombres, según la zona geográfica de influencia. Así, en el Caribe, recibe el nombre de huracán, palabra que parece tener su origen en el nombre del dios maya de las tempestades «Hunraken». En el Pacífico, reciben el nombre de «Baguños» en Filipinas y «Tifones» en Asia occidental y océano Índico. «Tifón» quizás proviene de la expresión china *Taifung* o «viento que golpea», aunque también puede relacionarse con el monstruo griego «Typhoeus» responsable de los vientos violentos. En Australia, recibe el nombre de «Willy - Willy». En el cuadro siguiente, se puede ver dónde y cuándo ocurren los ciclones tropicales:

NOMBRE LOCAL	ÁREA	ÉPOCA DEL AÑO
HURACANES	Islas del Caribe, golfo de México, Florida y costas meridionales de los E.U.A	junio-octubre
TIFONES	Mar de China, Filipinas y sur de Japón	julio-octubre
CICLONES	Océano Índico Meridional, Madagascar	noviembre-abril
CICLONES	Océano Índico septentrional, golfo de Bengala y sur de India	abril-diciembre
WILLY-WILLY	Océano Pacífico meridional, costa norte de Australia	diciembre-abril

Tabla 4.I Lugares y períodos de ocurrencia de los ciclones tropicales.

Para entender la intensidad de estas perturbaciones atmosféricas, se han realizado estudios que determinan la evolución de estos vórtices:

Perturbación tropical (*Tropical disturbance*). Es una débil circulación del tipo ciclónico. En superficie, los vientos son de flojos a moderados, aproximadamente 37 km/h (fuerza 5 Beaufort).

Depresión tropical (*Tropical Depression*). Son aquéllas formadas por una o varias isobaras cerradas. Se observa una circulación ciclónica en superficie, los vientos alcanzan una velocidad de 62 km/h (fuerza 8 Beaufort).

Borrasca tropical (Tropical storm). Se produce una circulación ciclónica acusada. Los vientos tienen velocidades que oscilan entre los 62 km/h a 117 km/h (entre 9 y 11 Beaufort).

Huracán (Hurricane). Las isobaras están cerradas y existe una fuerte circulación ciclónica, los vientos son superiores a los 118 km/h (superiores a fuerza 12).

G	Clasificación	Velocidad del viento en:			Presión dinámica W(kg/m <sup>2</sup> )
		m/s	km/h	nudos	
1	Flojo	32,7-42,6	118-153	64-82	66,6-112,8
2	Mediano	42,7-49,5	154-177	83-96	112,9-151
3	Fuerte	49,6-58,5	178-209	97-113	152-210
4	Muy fuerte	58,6-69,4	210-249	114-134	211-299
5	Devastador	>69,5	>250	>135	>301,4

Tabla 4. II. Escala Saffir-Simpson de huracanes.

Puesto que se han registrado velocidades del viento superiores a los 118 km/h, se necesitó ampliar la escala de Beaufort hasta los 250 km/h y se creó la escala de huracanes Saffir Simpson (ver tabla 4.II).

#### 4.1.1 Formación

Para el desarrollo de los sistemas ciclónicos, son necesarias dos condiciones fundamentales: que exista calor y humedad en abundancia. Estas condiciones sólo se reúnen en la franja que oscila entre las latitudes 5° y 20° de ambos hemisferios, donde la temperatura del agua es superior a los 27°C. Los vientos alisios son los benefactores de numerosas islas tropicales, como portadores de humedad y temperaturas más frescas. Los alisios del norte y del sur convergen o chocan en las Zonas de Convergencia Intertropical (ITZ), creando una superficie de fricción. De marzo a noviembre, las condiciones fundamentales existen en la ITZ y las turbulencias generadas en la zona de fricción, son alimentadas por un bombeo continuo de calor y humedad.

Si el suministro de calor y humedad no es suficiente, la perturbación tiende a morir. Pero si continúa creciendo para llegar a ser un **ciclón**, la acumulación de energía puede alcanzar los 10<sup>12</sup> kilovatios/hora por día, o el equivalente a 1.000 veces la energía eléctrica consumida en un día en Estados Unidos.

El sentido de giro de estos ciclones está determinado por la fuerza de Coriolis, así, en el hemisferio Norte girará en el sentido contrario a las agujas del reloj, mientras que en el Sur girará en el sentido horario.

Los violentos vientos que producen estos fenómenos, son provocados por la gran diferencia de presión que existe entre los alrededores y el núcleo u «ojo» (ver figura 4.3). Durante el tristemente famoso tifón «Tip» de 1979, que arrasó la isla de Guam, se registró una presión de 870 milibares con vientos superiores a 85 m/s (360 km/h). Como en el centro de esa violencia se encuentra una zona donde los vientos permanecen en calma, las aves marinas, conscientes de ello, vuelan en el interior rodeadas de murallas de nubes, en una relativa tranquilidad.

Las datos de precipitaciones más impresionantes se registraron en 1928, cuando un huracán se abatió sobre Puerto Rico y descargó un volumen de  $2,6 \times 10^9 \text{ m}^3$  de agua. Tal volumen de agua provocó graves inundaciones que afectan notablemente a las poblaciones, destruyendo cosechas, ganado y viviendas (ver figura 4.3).

Además del viento y las abundantes precipitaciones, otro efecto destructivo producido por los huracanes es el embate de las olas generadas por el viento, y por las bajísimas presiones circundantes. El tamaño de las olas es proporcional a la fuerza del viento de modo que, vientos superiores a 118 km/h generan olas con alturas mayores de 14 metros. La lámina de agua tiende a recuperar su posición original cuando la perturbación atmosférica ha pasado, produciendo elevaciones del nivel del mar que llegan a inundar zonas costeras. Si esto ocurre en aguas cercanas a zonas pobladas, y junto con el oleaje producido por el viento, se puede entender la devastación que producen, llegando a barrer las más sólidas estructuras. Un ciclón puede cambiar la geografía de una isla o destruir un arrecife de coral de miles de años, en breves instantes.

#### 4.2 CICLONES EXTRATROPICALES

También se les conoce como **borrascas frontales**, aunque la palabra **borrasca** es más adecuada para no confundirla con **ciclón**, que son propias de las regiones tropicales.

Su diámetro puede ser superior a los 1.000 km. Nacen en las zonas de transición de las masas de aire polar y subtropical, entre las latitudes  $35^\circ$  y  $70^\circ$  de ambos hemisferios. Se forman a finales de otoño, en invierno y al principio de la primavera.

El tiempo atmosférico viene condicionado por la formación de mínimos barométricos o ciclones, y los máximos o anticiclones. Las borrascas y los cambios de tiempo, que van asociados en la zona templada, y en nuestro caso a Europa, vienen determinados por la dirección y posición de su trayectoria.

Estos sistemas de bajas presiones pueden producir tormentas que afectan de forma muy violenta al continente europeo en forma de fuertes temporales que desencadenan inundaciones en amplias zonas costeras. Las borrascas que afectan al continente europeo ya fueron descritas en 1703, por el escritor inglés Daniel Defoe, al narrar los efectos de un devastador temporal que afectó a Inglaterra, hundiendo cientos de barcos, destruyendo 400 molinos y ahogando miles de personas y cabezas de ganado. Otro de estos temporales fue la causa del hundimiento de la Armada Invencible en 1588, enviada en misión de guerra a Inglaterra, y que acabó con la hegemonía española en el mar.

En 1953, un posible temporal azotó a varias poblaciones costeras de Gran Bretaña y Países Bajos, que se vieron gravemente afectadas. En Gran Bretaña, murieron 307 personas ahogadas, mientras que en Holanda los daños fueron bastante mayores, las olas invadieron 200.000 hectáreas de tierras ganadas al mar, dejando un saldo de 1.800 víctimas mortales y cuantiosos daños materiales.

Es muy frecuente confundir un **ciclón tropical** con una **borrasca** en base a las velocidades del viento, ya que en las borrascas se han podido registrar velocidades superiores a 200 km/h, pero su génesis es distinta a la de los ciclones tropicales, y las áreas afectadas también.

Un ejemplo reciente es el ciclón Hortensia (1984), que se transformó en un sistema depresionario y originó una violenta borrasca que dejó sentir sus efectos en el norte de la Península. Hay que recalcar que los ciclones tropicales y las borrascas son dos perturbaciones totalmente distintas (ver figuras 4.4; 4.5; 4.6).

#### 4.3 TORNADOS

Otro tipo de viento violento es el producido por los tornados, cuyo nombre proviene de la palabra castellana «tornar», cuyo significado es girar. Un **tornado** es un violento vórtice que hace girar el aire rápidamente alrededor de un eje (ver figura 4.7).

4.3.1 Formación: Para que se formen los tornados, es necesario que se cumplan una serie de condiciones:

- 1) Que se produzca una inestabilidad que genere una fuerte corriente de aire ascendente. Ésta puede ser intensificada por una corriente en chorro (*Jet Stream*).
- 2) Esta corriente ascendente debe interactuar con vientos que tienen una componente de cizalladura vertical, tanto en dirección, como en velocidad.

- 3) En la troposfera media, el aire empieza a girar y forma un mesociclón que se va estrechando e intensificando, a medida que se extiende hacia el suelo y se estira hacia arriba.
- 4) En esta fase, se forman los tornados en una pequeña zona en donde se ve favorecida la convergencia del aire dentro del ciclón. A medida que se va aproximando al suelo se observa una rápida caída de la presión atmosférica que puede disminuir en un 10% con respecto a la que ejerce la presión atmosférica de los alrededores, y un aumento significativo de la velocidad del viento.

El diámetro de estos vórtices puede llegar a 100 m de diámetro, con velocidades de desplazamiento de hasta 200 km/h.

El sentido de giro, al igual que en los ciclones, va a depender del hemisferio en el que se encuentra, así en el hemisferio Norte, girarán en el sentido antihorario, y en el Sur en el sentido de las agujas del reloj. El tiempo de su duración es variable, pueden durar de unos pocos minutos a varias horas. Las velocidades del viento suelen ser superiores a los 200 km/h, pero no es raro que sean superiores a los 400 km/h, produciendo efectos desastrosos por donde pasan.

G	Calificación	Velocidad del viento en:			Presión dinámica W(kg/m <sup>2</sup> )
		m/s	km/h	leguas/h	
0	Flojo	17,2-32,6	62-117	39-72	18,4-66,5
1	Mediano	32,7-50,1	118-180	73-112	66,6-156
2	Fuerte	50,2-70,2	181-253	113-157	157-308
3	Destructor	70,3-92,1	254-332	158-206	309-532
4	Devastador	92,2-116,2	333-418	207-260	533-843
5	Catastrófico	>116,3	>419	>261	>844

Tabla 4.III. Escala Fujita de clasificación de los tornados.

#### 4.3.2. Efectos

Los tornados generan innumerables destrozos a su paso. Se han descrito numerosos casos de tornados destructivos, aunque quizás el que peores efectos causó, fue el producido en el medio oeste de los E.U.A. en 1925, dejando un saldo de 489 muertos y una destrucción a lo largo de 352 kilómetros.

Los tornados suelen aparecer en enjambres, y se han descrito casos de hasta 37 tornados en un día. Muchas veces se originan tras el paso de un huracán, ya que se ven favorecidos por las condiciones de bajas presiones y fuertes vientos.

Hay casos interesantes descritos, en los que el embudo subió y descendió arrancando de cuajo pisos superiores en las viviendas, sin causar daños en los pisos inferiores. La fuerza del viento puede arrancar casas enteras, transportándolas a distancias bastante considerables, y puede hacer que pequeñas piedras y granos de arena se conviertan en auténticos proyectiles, por no hablar de troncos, ramas, vigas, tejas y demás escombros que son arrastrados por el vórtice.

Las consecuencias del descenso brusco y repentino de la presión sobre un edificio, son notables ya que pueden llegar a hacer estallar las ventanas y puertas por la diferencia de presión que existe entre el interior del edificio y el exterior.

Los testimonios de personas que han sobrevivido al paso de uno de estos tornados, son sorprendentes. Uno de los más llamativos y curiosos, según el informe publicado en el *Monthly Weather Review*, del Servicio Meteorológico de los Estados Unidos, describe que en 1982, un automovilista norteamericano que se encontraba circulando por una carretera de Nebraska, observó un espesa nube de polvo. Al darse cuenta que no era una tormenta de polvo, paró el coche y según el informe «...se produjo un fragor de los cristales del parabrisas y las ventanas del coche se rompieron..... El automovilista tiró de la cabeza de su mujer hacia el regazo y se curvó para proteger los rostros de ambos. Hubo un momento de relativa calma, y levantó la cabeza para mirar a través del parabrisas roto. Alrededor del coche «flotaban» grandes tablones, ramas de árboles y una piedra del tamaño de la cabeza de un hombre.... Hubo un estruendo y era todo lo que el conductor recuerda hasta poder recobrar el conocimiento en un hospital. Los dos ocupantes fueron lanzados fuera del coche... la mujer parece haber muerto instantáneamente. El auto quedó reducido a una uniforme masa de metal».

Pese a todo, también se han descrito tornados «delicados» tras los cuales se han encontrado espejos y varios objetos frágiles, a varios kilómetros del lugar de origen, sin estar dañados.

#### 4.3.3 Localización

Normalmente, se asocia la existencia de tornados a los estados del medio oeste norteamericano, pero no es así. Se han reconocido tornados en muchos otros lugares como África, China, Bangladesh e incluso Europa, y todos con consecuencias desastrosas. En España, también se han observado algunos tornados, como el registrado por el Instituto Nacional de Meteorología (I.N.M.) en Sevilla, el 27 de diciembre de 1978, que provocó cuantiosos daños materiales en el aeropuerto y alrededores.

#### 4.4 TROMBAS MARINAS

Una **tromba marina** es una prolongación en forma de tromba o tubo nebuloso, que enlaza la base de un cumulonimbo con la superficie del mar. Tienen un diámetro que puede llegar a alcanzar los 200 metros, y una altura superior a los 1000 m. En su interior, la presión desciende considerablemente, producen abundantes precipitaciones y suelen aparecer en familias de tres a cuatro. Su duración no suele ser superior a los 30 minutos.

##### 4.4.1 Efectos

Sus efectos suelen ser devastadores en la zona de paso, y eran muy temidas por los antiguos marinos, ya que los veleros se veían muy indefensos ante estos fenómenos, al ser muy difícil la maniobra para esquivarlos. Se propusieron métodos muy curiosos para dispersarlas, y el más común era disparar balas de cañón, aunque no debía de ser de mucha utilidad. Las pequeñas embarcaciones que no dispongan de cubierta, no resisten el paso de una tromba e incluso embarcaciones mayores pueden sufrir numerosos daños, provocados por la violencia del viento, las abundantes precipitaciones o el vacío relativo de presión que existe en su interior.

Cuando una de estas trombas llega a tierra, no suele durar mucho, aunque su trayectoria es muy fácil de seguir observando los destrozos que deja a su paso.

##### 4.4.2 Localización

Se suelen presentar en aguas cálidas de todos los mares, especialmente en el golfo de México. En el Mediterráneo también se producen y son conocidas por los pescadores de las Baleares como «fiblo» o «agujón». También se han observado en otras zonas del litoral peninsular.

#### 4.5 TEMPESTADES DE POLVO

Una **tempestad de polvo** es por definición, un viento fuerte que transporta nubes de polvo. Son muy famosas las tormentas de arena del desierto del Sáhara. Muchos de los vientos del desierto conocidos, van asociados al movimiento del polvo y de la arena del desierto, como el «Harmattan», en África occidental y el «Siroco» en el Oriente próximo.

Aunque puede parecer lo contrario, no son exclusivas de estos desiertos, y soplan en otros lugares de la Tierra e incluso en otro planeta del Sistema Solar, que es Marte (ver figura 4.8).

#### 4.5.1 Efectos

El peligro que conlleva una tempestad de polvo es alto, incluso para la propia vida. La muerte por asfixia de personas y animales, no es algo inusual. Se sabe además, que las tempestades de polvo pueden llegar a diseminar gérmenes patógenos para el hombre, como la fiebre del valle del sudoeste de los Estados Unidos.

Otro efecto muy dañino del viento, es la **erosión eólica** que actúa sobre el suelo sin cubierta vegetal y hace que desaparezca tierra agrícola de buena calidad, por el arrastre del viento. Las labores de labranza y la ganadería intensiva, favorecen la pérdida de la cubierta vegetal e indirectamente favorecen la formación de tempestades de polvo.

#### 4.5.2 Formación

Están causadas por una corriente de aire frío descendente, que procede de un cumulonimbo. En la medida que esta nube crece hasta que se produce la precipitación, el aire se va enfriando rápidamente. El aire frío es más denso que el circundante, y empieza a bajar con una velocidad que es proporcional a la altura de la nube. Choca con el suelo y forma una lengua de aire que fluye hacia adelante, y si el suelo está seco y cubierto de materiales sueltos, éstos son barridos por la lengua y levantados en el aire.

En el desierto, se forma en períodos de inestabilidad convectiva, y recibe el nombre en árabe de «Habood» que significa «viento violento». El volumen de material desplazado por estas tempestades, puede llegar a ser significativo llegando a acumularse en ciertas zonas de Sudán (lugar donde son muy frecuentes), hasta cinco metros de espesor de materiales sueltos, en dos meses.

La altura de un cumulonimbo oscila entre los 12.000 y 18.000 metros. El polvo que es levantado por el aire frío, puede llegar a alcanzar una altura que varía entre los 2.500 y 4.500 metros sobre el nivel del suelo. En España, en el sur peninsular y archipiélago Canario, se producen unas precipitaciones rojizas conocidas como «lluvia de sangre». Son generadas por nubes de arena y polvo, procedentes del desierto del Sáhara.

La velocidad de desplazamiento de esta lengua, es de aproximadamente 45 km/h, y en su interior se alcanzan velocidades superiores a los 85 km/h. Se han podido observar torbellinos con características de tornados, que pueden llegar a ser altamente destructivos de todo aquello que encuentran a su paso. Son de vida muy corta, y se forman al frente de las tempestades por el violento desplazamiento del aire cálido por el aire frío.

La masa de aire frío descendente, produce un aumento de la humedad relativa del aire y un descenso de la temperatura, que puede llegar a ser del orden de 15ºC.

#### 4.5.3 Localización

A.A. Grigor'yev y V.B. Lipatov, de la Universidad Estatal de San Petesburgo, localizaron cinco grandes regiones de África y Eurasia donde se observan este tipo de fenómenos:

- \* La primera región abarca Mauritania, Nigeria, Sáhara, África central y occidental.
- \* En la costa meridional del Mediterráneo, los vientos cálidos y secos transportan polvo desde el desierto hacia Europa.
- \* Otra zona importante se localiza al nordeste de Sudán, desde la Nilo hasta el mar Rojo.
- \* La península Arábiga.
- \* La zona circundante del bajo Volga y Cáucaso septentrional.

Otros investigadores también han descrito tempestades de polvo considerables en otras zonas del planeta como China, Australia, E.U.A, etc.

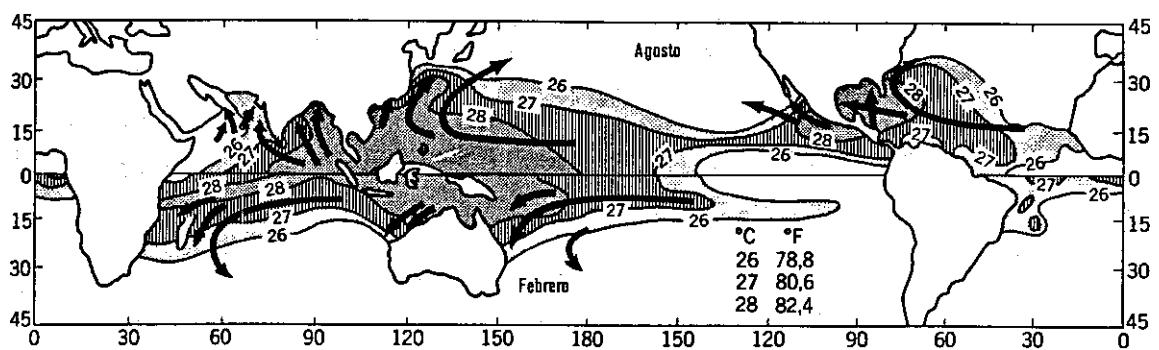


Fig. 4.1 Recorridos típicos de los ciclones tropicales, en relación con las temperaturas de la superficie del mar en el verano del hemisferio respectivo, según Palmen, (1948).

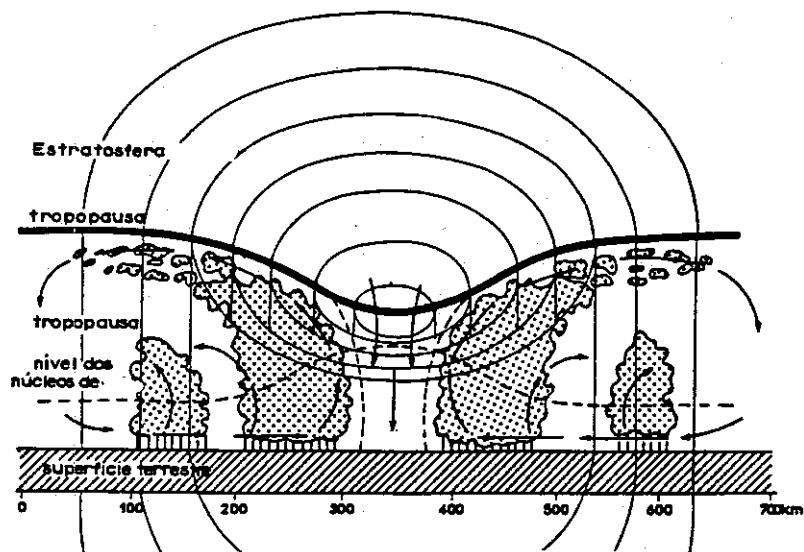


Fig. 4.2 Sección transversal a través de un ciclón tropical, según Chandler, (1972).

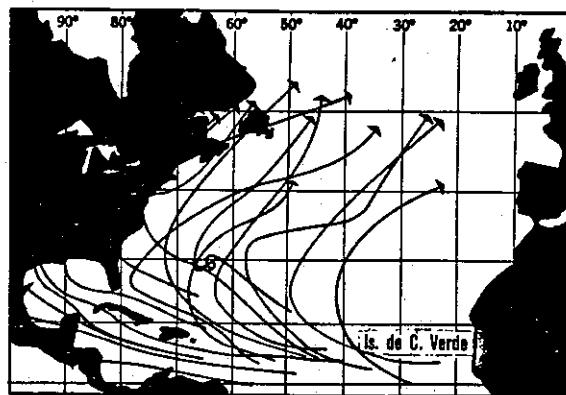


Fig. 4.3 Las trayectorias de los huracanes típicos del mes de agosto, seguidas durante varios años, son igualmente seguidas por las borrascas. Su trayectoria inicial con dirección noroeste, gira hacia el noreste penetrando en la zona de los vientos del oeste, según la Oficina Hidrográfica de la Marina de los E.E.U.U.

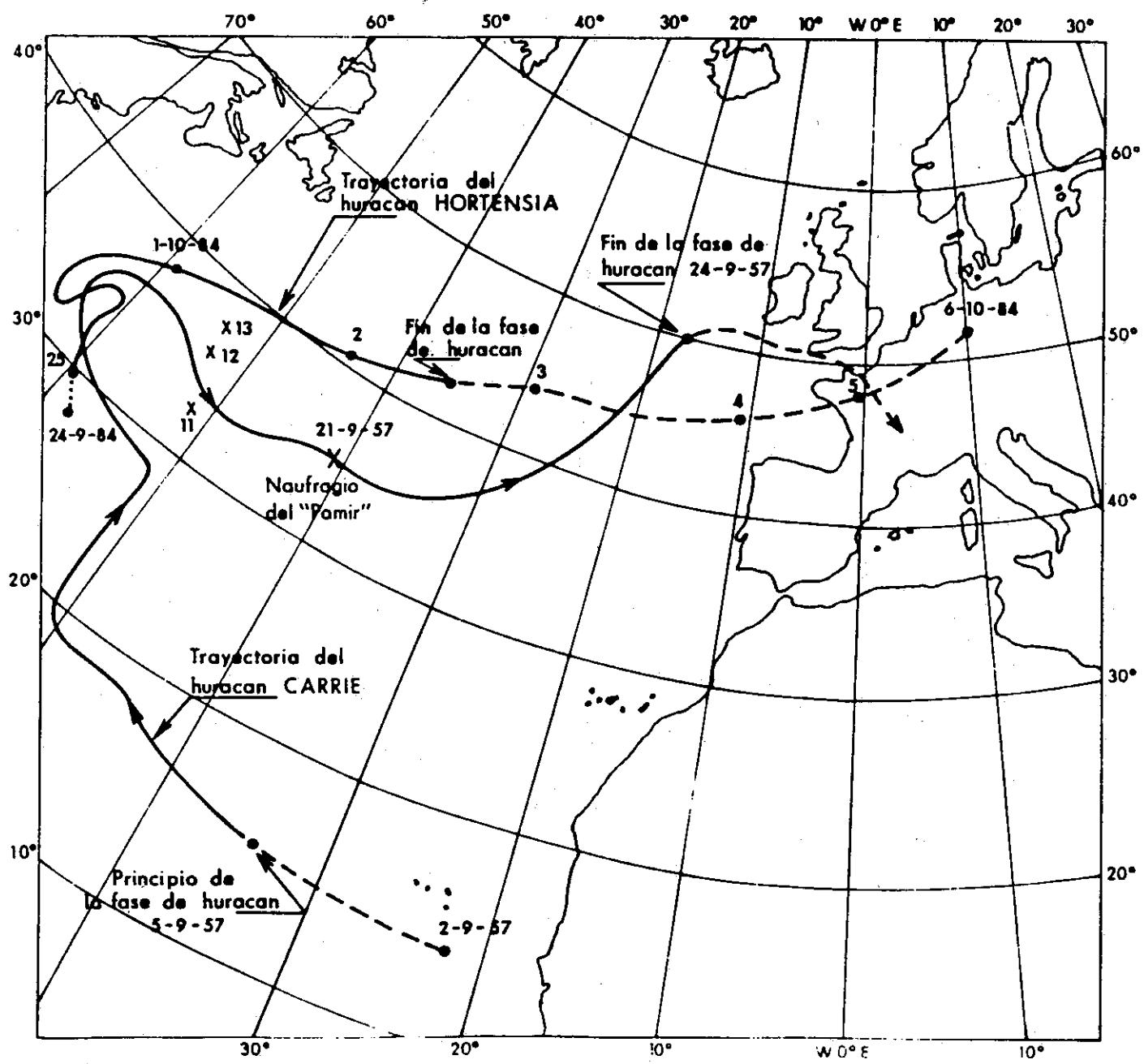


Fig 4.4 Trayectorias seguidas por los huracanes Carrie entre los días 2 y 24 septiembre de 1957, y Hortensia entre el 24 de septiembre y el 2 de octubre de 1984. Los trazos discontinuos corresponden a la fase final una vez transformados en depresiones extratropicales, según Font Tullot, (1989).

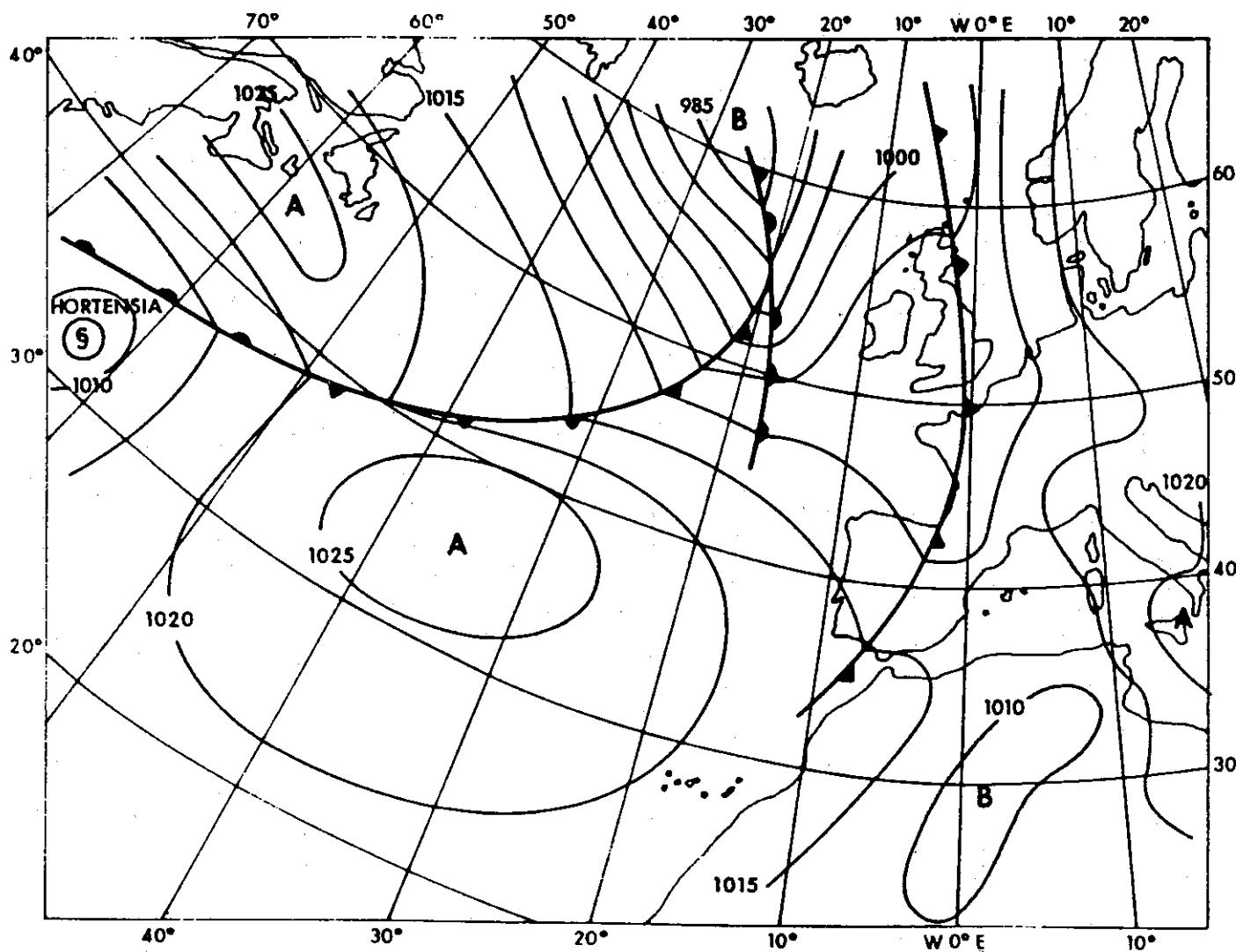


Fig. 4.5 Situación meteorológica a las 00 TMG del día 29 de septiembre de 1984, en la que puede observarse la posición del huracán Hortensia al oeste del meridiano 60°O.

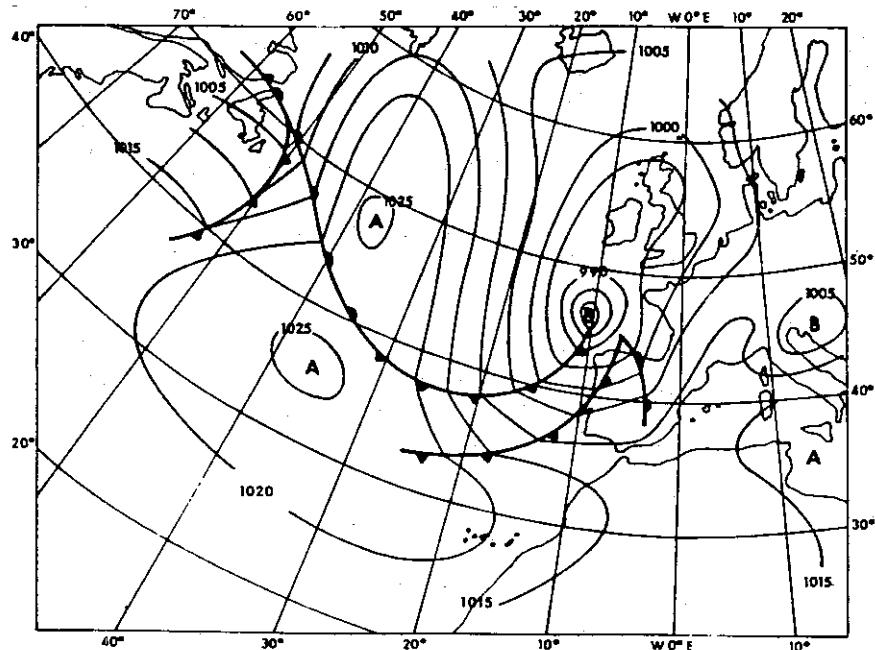
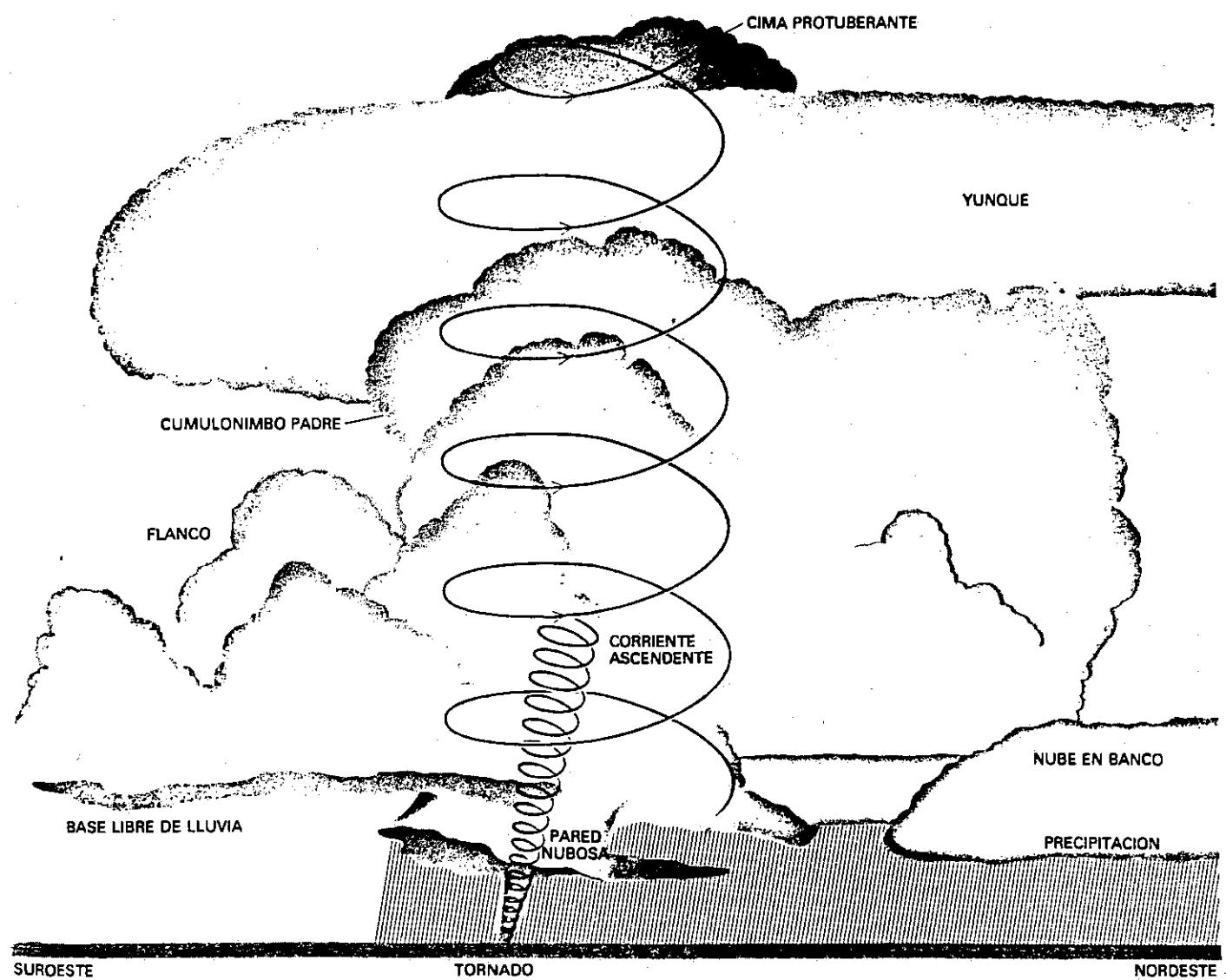
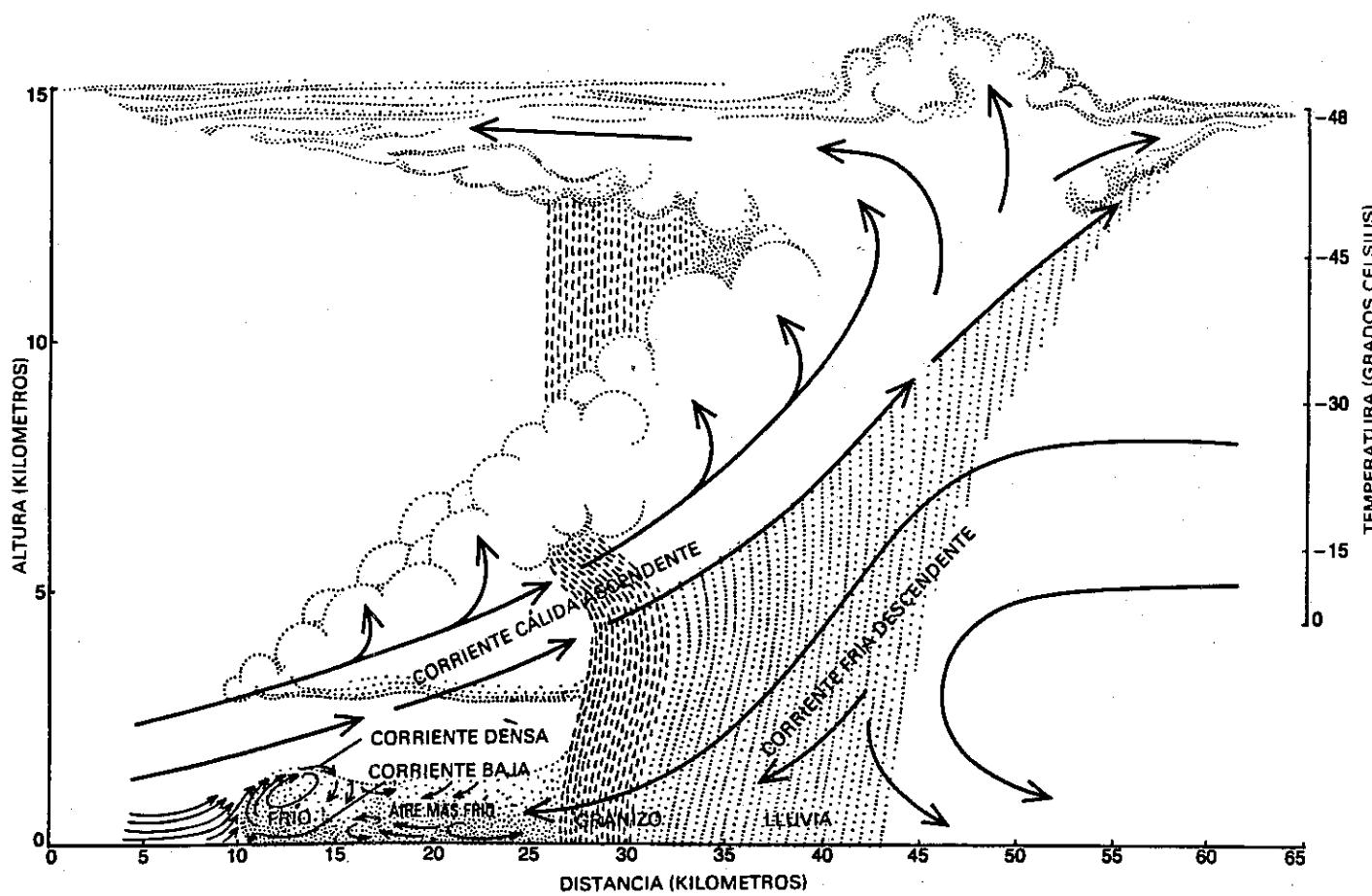


Fig. 4.6 Situación meteorológica a las 00 THG del día 4 de octubre de 1981. El huracán se transformó en una borrasca y, treinta y seis horas después pasó a ser una violentísima galerna que afectó al extremo noroccidental de la península y litoral cantábrico, según Font Tullot, (1989).



**Fig. 4.7** Anatomía de un tornado, con sus principales características. Avanza hacia el Nordeste; el influjo de aire tiene lugar sobre todo hacia su flanco meridional. El aire cálido e inestable asciende sobre el aire frío que sale de la tormenta para formar la línea de turbonada, que se fusiona con la nube cumulonimbo madre. La parte de la base libre de lluvia, del borde posterior, está a la altura del nivel de condensación; la parte plana de la cima de la nube se encuentra en el nivel de equilibrio. Como la corriente ascendente es fuerte, el aire sobrepasa el nivel del equilibrio antes de caer de nuevo en el «yunque». El extremo inferior de mesociclón giratorio es la pared de nubes. El banco de nubes marca la posición del frente de turbonada, donde una corriente descendente fría, ocasionada por la precipitación, penetra por debajo del aire caliente situado delante de la tormenta, según Snow (1989).



**Fig. 4.8** El mecanismo generador de una tempestad de polvo de tipo de línea de turbonada se representa aquí esquemáticamente. Las incidencias atmosféricicas, como la lluvia y el granizo, producen una corriente descendente de aire frío que se extiende sobre el suelo y se mueve hacia adelante en forma de corriente densa, es decir, una masa de aire en movimiento que es más pesada que el aire circundante porque es más fría. Esta corriente arrastra consigo el polvo y arena de la superficie. Además, el aire frío y denso, impulsa hacia arriba el aire más cálido y ligero que se encuentra, reforzando la corriente cálida ascendente que crea nubes de lluvia y renueva el ciclo, según Idso (1976).

## VIENTOS

### CAPÍTULO 5. EFECTOS DE LOS VIENTOS HURACANADOS

Los vientos huracanados, producidos por condiciones meteorológicas excepcionales, son causa de enormes destrozos en las construcciones, la agricultura, y las comunicaciones.

#### 5.1 CONSTRUCCIONES

El viento actúa en cualquier dirección, ejerciendo una fuerza en forma de presión sobre los objetos que encuentra a su paso. El daño producido por el viento, depende del grado de resistencia del cuerpo, y estará condicionado por la velocidad y dirección del viento, duración de las ráfagas, forma del cuerpo afectado y de su superficie.

Por todo ello, se han regulado en diversos países, normas y códigos de construcción apropiados para que, en la medida de lo posible, se eviten los efectos destructivos de las rachas de vientos huracanados.

La preocupación por los efectos del viento en las estructuras, empezó a finales del siglo pasado, concretamente en 1879, con la rotura del puente sobre el río Tay (Escocia). La violencia del viento provocó la caída de un tren de pasajeros con todos sus ocupantes. Este hecho propició que los ingenieros empezaran a determinar los valores de las cargas del viento. Accidentes posteriores, como la rotura, en 1940, del puente colgante sobre el estrecho de Tacoma (Seattle, E.U.A.), suscitaron un mayor interés hacia este problema.

Los proyectos realizados en túneles de viento para estudios de aviación, sirven para construir estructuras más aerodinámicas y seguras de acuerdo con maquetas a escala. Estos estudios son necesarios, ya que muchas estructuras son vulnerables a la fuerza ejercida por los vientos. En muchos países, se empezó a redactar normas y códigos de construcción para mitigar y evitar los efectos destructivos de las rachas de viento huracanado. En España, la normativa vigente está incluida en la Norma Básica de la Edificación, en el apartado E.C.V.- 88 Viento.

Es sabido que la resistencia ejercida por un cuerpo, es proporcional al cuadrado de la velocidad. Por ejemplo, cuando la velocidad se duplica, la resistencia aumenta en cuatro veces y así, sucesivamente (ver figura 5.1). De esta manera, un viento con una velocidad dada  $V$  en m/s, produce una presión dinámica  $W$  en  $\text{kg/m}^2$  sobre la superficie en que actúa, y viene dada por la fórmula:

$$W = \frac{V^2}{16}$$

PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO				
Altura de coronación del edificio sobre el terreno en m, cuando la situación topográfica es:		Velocidad del viento V		Presión dinámica W (kg/m <sup>3</sup> )
Normal	Expuesta	m/s	Km/h	
De 0 a 10	—	28	102	50
De 11 a 30	—	34	125	75
De 31 a 100	De 0 a 30	40	144	100
Mayor que 100	De 31 a 100	45	161	125
	Mayor que 100	49	176	150

Tabla 5.I. Presión dinámica del viento. Tornado de la Norma Básica de Edificación E.C.V. - 88

Como situaciones expuestas, se consideran: las costas, crestas topográficas, valles estrechos, desfiladeros, acantilados etc...; mientras que las normales son zonas llanas.

También se pueden originar otras fuerzas dinámicas que pueden ser positivas o negativas (presión o succión respectivamente), y se representan por la expresión

$$P = C \cdot W$$

siendo P la sobrecarga unitaria medida en kg/m<sup>2</sup>, W la presión dinámica del viento y C el coeficiente eólico, que varía según las características geométricas de construcción.

Coeficiente eólico de sobrecarga total, en una construcción	
Clase de construcción	Coeficiente eólico c
<b>Construcciones prismáticas</b>	
De planta rectangular o combinación de rectángulos	1,2
De planta octogonal o análoga	1,0
<b>Construcciones cilíndricas</b>	
De superficie rugosa o nervada	0,8
De superficie muy lisa	0,6
<b>Construcciones esféricas</b>	
Esferas o semiesferas	0,4
Casquetes esféricos de relación altura: diámetro $\leq 1:4$	0,2

**Tabla 5.II.** Coeficiente eólico de sobrecarga total, en una construcción.

Tomada de la Norma Básica de Edificación E.C.V. - 88

Si el valor de P es positivo, resultará una presión y si es negativo, una succión.

Además de estos valores, las características del terreno y la topografía pueden modificar de manera significativa, la velocidad del viento. En los terrenos llanos, habrá velocidades de viento más reducidas que en las zonas montañosas. En estas últimas, las líneas de flujo del aire convergen, aumentando la velocidad, mientras que en la zona llana, las líneas son divergentes, reduciendo la velocidad del viento.

Los vientos pueden afectar la seguridad del emplazamiento de las obras, tanto en la fase de construcción, como en la fase de vida útil de la misma. A la hora de edificar se deben tener en cuenta las velocidades del viento máximas esperadas, su dirección y su intensidad.

## 5.2. COMUNICACIONES

Los vientos huracanados pueden afectar las vías de comunicación, ya sean aéreas, marítimas o terrestres.

En el caso de los transportes terrestres, el viento puede llegar a obstruir, dañar o derribar señales de tráfico, tendidos eléctricos, árboles, puentes, así como balancear vehículos, con el consiguiente riesgo de accidente.

En las vías férreas, hay que estar alerta para retirar de ellas los árboles o postes derribados. Estas labores necesitan un tiempo de reparación que repercute en el retraso de los trenes. A continuación, se describe el número de trenes afectados y el

retraso producido en minutos en el período 1980 - 1985, en los transportes por ferrocarril en España:

ANOS	TRENES AFECTADOS	MINUTOS DE RETRASO
1980	69	2880
1981	235	15790
1982	40	3055
1983	21	348
1984	26	4392
1985	365	22128
TOTAL	756	48593

Tabla 5.III. Número de trenes afectados y minutos de retraso en los trenes españoles. Fuente: RENFE.

El transporte aéreo puede verse muy afectado por tormentas o fenómenos similares que provocan rachas de vientos huracanados. Los vuelos sufren retrasos importantes por la imposibilidad de despegar, o tienen grandes dificultades durante las fases más críticas del vuelo, es decir, las maniobras de despegue y aterrizaje, dificultándolas o incluso provocando accidentes.

La importancia que adquieren los vientos huracanados para la navegación es muy significativa. En la actualidad, se dispone de barcos mejor diseñados y dotados que en la antigüedad, y de partes meteorológicos vía satélite, pero se siguen produciendo naufragios durante huracanes o situaciones parecidas del mal tiempo, como las borrascas en nuestras latitudes.

El viento actúa en el agua del mar produciendo la **mar de viento**. La altura de las olas y su longitud de onda, van a ser proporcionales a la velocidad del viento; la persistencia y el recorrido del viento, van a determinar las características de las olas. Para determinar la altura de las olas, se utiliza la escala de Douglas.

Grado	Nombre	Altura (metros)
0	Calma	0
1	Rizada	0 a 0,1
2	Marejadilla	0,1 a 0,5
3	Marejada	0,5 a 1,25
4	Fuerte Marejada	1,25 a 2,5
5	Gruesa	2,5 a 4
6	Muy Gruesa	4 a 6
7	Arbolada	6 a 9
8	Montañosa	9 a 14
9	Enorme	más de 14

Tabla 5.IV Escala Douglas para el oleaje (alturas significativas).

Los violentos temporales forman olas que pueden propagarse hasta centenares de kilómetros de distancia. En estas condiciones tan peligrosas para la navegación, ocurren buena parte de los accidentes marítimos.

		VELOCIDAD EN			CARACTERÍSTICAS EN LA MAR			
GRADO	NOMBRE	Nudos	m/s.	km/h.	Efecto en el Mar	Altura de las olas en metros	NOMBRE	SÍMBOLO
8	DURO	34-40	17,2 - 20,7	62-74	Olas alargadas; torbellinos de salpicaduras	5,5 - 7,5	MAR MUY GRUESA	
9	MUY DURO	41-47	20,8 - 24,4	75-88	Olas grandes; crestas rompen en rollos	7,5 - 10	ARBOLADA	
10	TEMPORAL	48-55	24,5 - 28,4	89-102	Olas muy grandes; crestas en penacho; poca visibilidad	10 - 12,5		
11	BORRASCA	56-63	28,5 - 32,6	103-117	Olas altísimas; todo el mar espumoso	21,5 - 14	MONTAÑOSA	
12	HURACÁN	> 64	> 32,7	> 118	Aire lleno de espuma; visibilidad reducida	> 14	DE ENORME PELIGRO	

Tabla V. Grados de la escala Beaufort con condiciones difíciles de navegación.

Según datos de la Subdirección General de Seguridad Marítima y Contaminación (S.G.S.M.C.), durante el período comprendido entre 1976 y 1978, el 7,22% de los accidentes marítimos ocurridos en los buques pesqueros españoles, con pérdida total o avería de consideración, fueron provocados por el mal tiempo; y, el 34% de las víctimas mortales fueron producidas por la misma causa.

### 5.3. AGRICULTURA

El viento puede constituir un serio riesgo para la agricultura, si se presenta de forma violenta o con ciertas características de humedad y temperatura:

- 1) A velocidades elevadas, la presión dinámica actúa mecánicamente sobre los cultivos, dañándolos gravemente.
- 2) Si el viento es cálido y seco, provoca altas tasas de evapotranspiración y puede producir deshidratación en personas, animales y plantas con su golpe de calor, además de verse favorecido el riesgo de incendios. Si las temperaturas son muy bajas, el viento puede acelerar el enfriamiento de plantas.
- 3) Si el suelo carece de cubierta vegetal, el viento puede ejercer un efecto erosivo, arrastrando consigo sus nutrientes, perdiendo así su fertilidad. En climas áridos, los tallos y hojas de los cultivos pueden sufrir la abrasión del viento por impacto de partículas de arena, y en algunos casos, los cultivos se cubren de arena.

Algunos de estos daños pueden prevenirse y minimizar, con el uso del rompevientos naturales, como la cubierta vegetal de árboles y arbustos, o artificiales: muros, tapias etc...

Las pérdidas económicas en la agricultura, pueden llegar a ser muy cuantiosas. En España, el organismo responsable de indemnizar los daños producidos por el viento en la agricultura, AGROSEGURO, define un viento dañino como: «*aquel que por su intensidad, produzca la caída por efecto mecánico del fruto en su caso, o deterioro en general, de la calidad del producto*».

Durante el período de 1987 a 1990, se han producido 39.064 siniestros en la agricultura provocados por el viento, que representan un 10% de todos los siniestros producidos en ésta (388.273) por otras causas, tales como: pedrisco, heladas, lluvias y sequía, entre otras.

AÑO	SINESTROS PRODUCIDOS POR EL VIENTO	SINESTROS PRODUCIDOS POR OTRAS CAUSAS
1987	12,7%	87,3%
1988	10,5%	89,5%
1989	9,8%	90,2%
1990	8,1%	91,9%

**Tabla 5.VI.** Porcentaje anual de los siniestros provocados por el viento en la agricultura.

Fuente Agroseguro.

## RELACION VELOCIDAD DEL VIENTO CON LA PRESION DINAMICA W

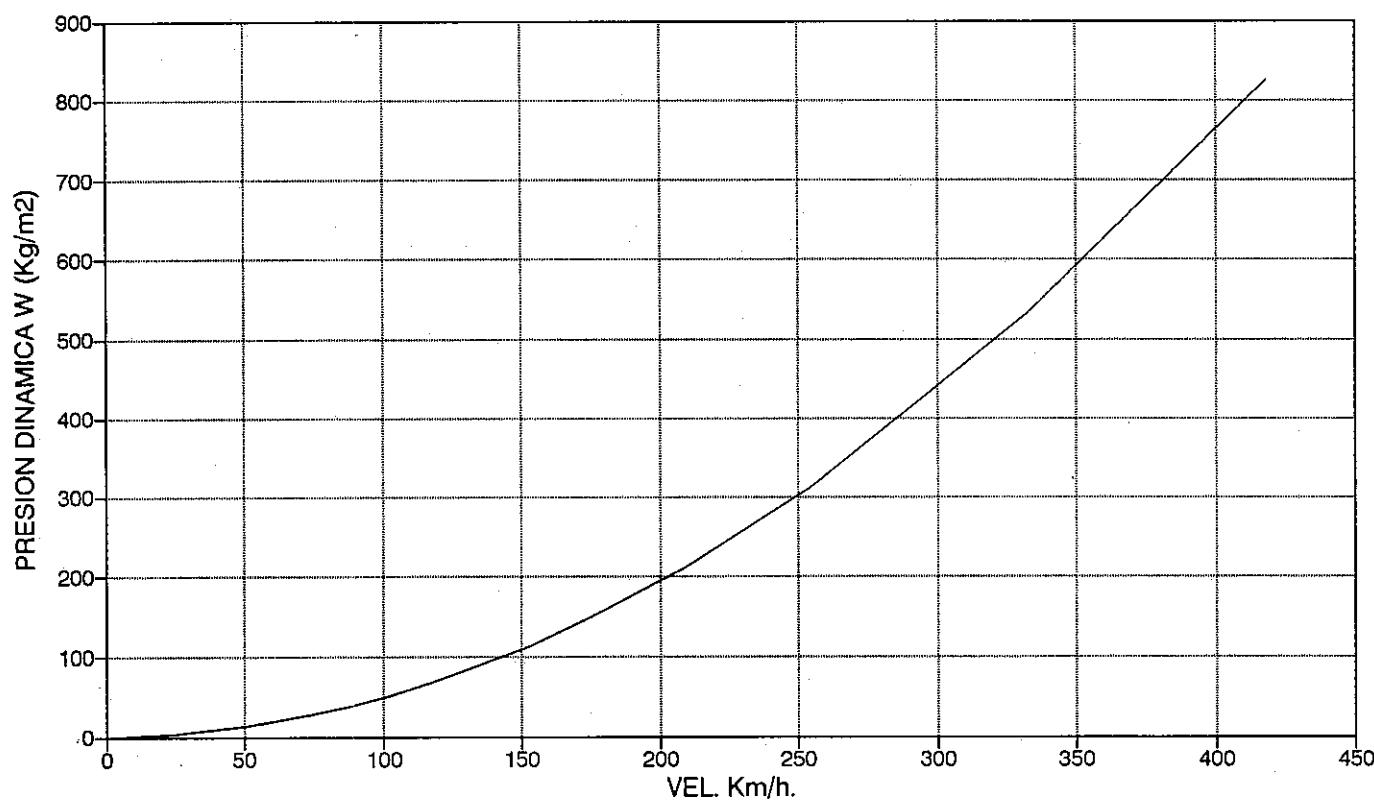


Fig. 5.1 Relación entre la velocidad del viento (V) y la presión dinámica (W).

## VIENTOS

### CAPÍTULO 6. LA PENÍNSULA IBERICA Y SU RELACIÓN CON LOS VIENTOS VIOLENTOS

#### 6.1 FACTORES CLIMÁTICOS

La península Ibérica se encuentra localizada entre los paralelos 36º y 44º latitud norte, en el extremo suroeste del continente europeo. Sus características geográficas y fisiográficas condicionan el clima peninsular.

##### **Continentalidad.**

Geográficamente, la península Ibérica puede ser considerada como un mini continente. La extremosidad de los elementos climáticos está condicionada por el relieve, área y naturaleza del suelo. De tal forma, se observan oscilaciones térmicas de hasta 60ºC, típicas de las zonas templadas y subtropicales.

##### **Fisiografía**

La península Ibérica es una de las regiones más accidentadas del continente europeo (ver figura 6.1). Las altitudes medias superan los 500 metros en buena parte del territorio, lo que hace que la climatología adquiera una elevada complejidad. Según Font Tullot (1983), las principales repercusiones del relieve en la circulación general son:

- A) La Meseta Sur queda doblemente protegida gracias al importante obstáculo que los Sistemas Galaico, Cantábrico y Pirenáico ofrecen a la penetración en la Península de las masas de aire marítimo, procedentes del cuarto cuadrante, y al Sistema Central. Esta protección efectiva durante todo el año, se acentúa en verano, cuando los vientos atlánticos dominantes soplan del Noroeste.
- B) La apertura por el oeste y el suroeste a la penetración del aire atlántico, es especialmente efectiva en invierno y en las estaciones intermedias, cuando es mayor la frecuencia de los vientos del tercer cuadrante.
- C) Los Pirineos, y en menor grado el Sistema Ibérico, funcionan como barrera a las invasiones invernales por el noreste, de masas de aire frío continental.
- D) El Sistema Ibérico y la parte norte del Penibético, delimitan las influencias de las masas de aire atlántica y mediterránea.

E) Las regiones climáticas quedan definidas por factores orográficos coincidentes con áreas geográficas, como el caso de las dos mesetas y la depresión del Ebro.

### **Oceanidad**

La península Ibérica se encuentra totalmente rodeada por agua, a excepción de los Pirineos. El océano Atlántico actúa como moderador de la corriente del Golfo en la vertiente Atlántica, mientras que el Mediterráneo es un mar cerrado y cálido que baña su vertiente oriental. Estas características determinan la variabilidad climatológica peninsular, ya que el enriquecimiento de calor y vapor de agua de las masas de aire que alcanzan a la Península, le confieren un carácter de **oceanidad**, uno de los factores más importantes del clima (ver figura 6.2).

### **Proximidad a África**

La proximidad geográfica al norte de África, separada del continente europeo sólo por los 14 km del Estrecho de Gibraltar, repercute notablemente en el área mediterránea, principalmente por la influencia del desierto del Sáhara.

### **Balance radiactivo**

La Península Ibérica, por su privilegiada situación geográfica en el continente Europeo, goza de un alto número de horas del Sol. Resulta un balance de radiación positiva, que oscila desde valores superiores a las 3.000 horas anuales en la depresión del Guadalquivir, a algo menos de 1.700 horas en la Cornisa Cantábrica. Este hecho condiciona las características térmicas y favorece altas tasas de evapotranspiración.

### **Precipitaciones**

Las precipitaciones se presentan con valores muy desiguales en la Península, con cifras superiores a los 3.000 mm anuales en la vertiente atlántica, hasta mínimos que alcanzan los 150 mm de lluvia en la zona del cabo de Gata (Almería). Esto va a condicionar el clima y la cubierta vegetal propia de cada región (ver figura 6.3).

España se divide en tres regiones-tipo, en función de las precipitaciones:

- I. La España húmeda es aquélla con precipitaciones anuales iguales o superiores a los 800 mm. Se localiza en el norte y noroeste peninsular.
- II. La España de transición es aquélla en la que las precipitaciones anuales están comprendidas entre los 800 mm y 300 mm. Se localiza en las grandes cuencas de los ríos Tajo, Duero, Guadiana, Guadalquivir, Ebro y zonas del Levante.

III. La España árida es aquélla en la que se registran valores iguales o inferiores a los 300 mm anuales. Las provincias de Almería y Murcia, y algunos otros puntos localizados dentro de la Península, se incluyen dentro de este tipo.

## 6.2 MASAS DE AIRE QUE AFECTAN A LA PENINSULA

La península Ibérica es afectada por tres tipos principales de masas de aire: tropical, polar y ártica. Las características de esas masas de aire, están condicionadas por su naturaleza continental o marítima cuando abandonan su lugar de origen y se desplazan a lo largo de miles de kilómetros cuadrados hasta su destino. Para identificar las masas de aire, se suelen añadir unos indicativos en letras minúsculas, que indican su origen. Así «m» significa marítima y «c» continental, y en mayúsculas se representa el carácter térmico de la masa de aire, siendo «T» la masa de aire de tipo tropical, y «P» y «A» masas de aire frío polar y ártico (ver figura 6.4).

MASAS DE AIRE QUE AFECTAN A LA PENINSULA				
Naturaleza		Origen	Indicativo	Meses en que son más frecuentes
Masas Frias	Marítimas	- Océano Ártico	mA	Invierno y abril.
		Groenlandia, Norte de Canadá	mP	Invierno y ocasionalmente, en el resto de año.
	Continentales	- Rusia, Siberia	cP	Febrero, diciembre, enero.
Masas Cálidas	Marítimas	- Atlántico subtropical	mT(sub.)	Verano y ocasionalmente el resto del año.
		- Atlántico tropical	mT	Otoño, invierno y ocasionalmente, en primavera.
	Continentales	- Norte de África	cT	Verano, y menos definida en el resto del año.

Tabla 6.I. Masas de aire que afectan a la península Ibérica. Tomado de Font Tullot, (1983).

### 6.2.1 Masas de aire frío

#### **Aire polar marítimo mP.**

Se origina en el Atlántico norte entre Europa occidental y el continente norteamericano, entre los paralelos 60° y 70° latitud N. Según la trayectoria que siguen, variarán sus características térmicas y de humedad, convirtiéndose en una masa de aire inestable, principalmente de marzo a octubre. La diferencia de temperatura entre la Península (masa cálida) y la masa de aire polar, produce una fuerte inestabilidad, que en consecuencia origina las temibles galernas, que afectan al mar Cantábrico y golfo de Vizcaya. En invierno, se presenta relativamente estable sobre la Península.

También se deben considerar las condiciones dinámicas de la atmósfera, pues es muy diferente que la masa de aire polar lleve circulación ciclónica o anticiclónica. La circulación ciclónica producirá inestabilidad en cualquier época del año, en forma de chubascos intensos; si tiene circulación anticiclónica, se produce una estabilidad climática sobre la Península, exceptuando la vertiente cantábrica.

#### **Aire ártico marítimo m.A.**

Se origina entre Groenlandia y el archipiélago de Spitzberg (Noruega). Sólo existe en invierno y al principio de primavera, tiene características similares a la mP, aunque es más fría y menos húmeda. Produce intensas olas de frío que se abaten sobre la Península, descargando abundantes chubascos y nevadas.

#### **Aire Polar cP.**

Nace en Rusia y Siberia y se suelen producir durante el invierno. Su origen está relacionado con un largo estancamiento de una masa de aire sobre el continente euroasiático, en el anticiclón ruso. Es un aire muy frío y seco y origina las olas de frío continental que por su intensidad y duración, afectan a la Península muy gravemente. Su período de recurrencia es aproximadamente, 10 años en febrero y diciembre, y en enero, cada 16 años.

<u>Olas de frío asociadas a esta masa de aire polar</u>	
Enero	1941, 1945, 1952, 1957, 1971
Febrero	1901, 1902, 1907, 1938, 1954, <u>1956</u> , 1982
Diciembre	1926, 1933, 1946, 1962, 1970, 1980.

En Febrero de 1956, se batieron mínimos térmicos en una buena parte del territorio español, registrándose temperaturas inferiores a cero durante casi todo este mes.

### 6.2.2 Masas de aire cálido

#### Aire tropical marítimo mT

La fuente de origen de esta masa de aire, es el anticiclón subtropical marítimo de las Azores. Es una masa de aire cálido y húmedo, y su acción sobre la Península es muy variable según el tiempo que le acompañe.

Según Capel Molina (1981), la masa de aire tropical marítima que afecta a España, está caracterizada por:

- \* Elevados índices de humedad; por su recorrido sobre el océano.
- \* Temperaturas siempre altas en cualquier estación del año, lo que se traduce en una gran capacidad higrométrica del aire, al contener bastante vapor de agua en suspensión.
- \* Débil gradiente térmico vertical e incluso negativo, con inversiones que paralizan la convección.
- \* Esta masa aerológica está perfectamente definida, con una tropopausa de 13.000 a 15.000 m.
- \* Enfriamiento (relativo) de las capas bajas, en su recorrido hacia latitudes más elevadas.
- \* Todo ello se traduce en una estratificación estable de la masa tropical marítima.

Cuando los vientos que acompañan a estas masas de aire tienen una componente sur se denomina marítima tropical mT, y cuando los vientos tienen una componente norte o oeste, se denomina marítima subtropical mT (sub), predominando la primera mT durante los meses invernales y equinocciales, y la segunda mT durante el verano.

#### Masa de aire continental tropical cT

Es una masa bastante estable de aire cálido y seco, que tiene su origen sobre el norte de África. Produce estabilidad y buen tiempo durante el invierno, y en verano, forma nubes de desarrollo vertical por las altas temperaturas reinantes en la Península. También puede producir intensas olas de calor.

Si sigue una trayectoria sobre el Mediterráneo, antes de alcanzar a la Península, se enriquece en vapor de agua. Cuando el enriquecimiento es importante, es correcto referirse a ella como «masa Mediterránea» Font Tullot I, (1983).

### 6.3 DISCONTINUIDADES FRONTALES QUE AFECTAN A LA PENÍNSULA

Un frente es la superficie de discontinuidad que separa dos masas de aire. Los frentes se forman (proceso de frontogénesis) cuando los movimientos de las masas de aire tienden a apretarlas una contra la otra (J. Guardiola, 1968).

La península Ibérica está afectada por cuatro tipos de frentes, que en orden de importancia son: el Frente Polar, el Frente Mediterráneo, el Frente de los Alisios y muy raramente, el Frente Ártico.

#### **Frente Polar Atlántico**

Es el que afecta más habitualmente a la Península. Se forma en la costa del continente norteamericano, y se desplaza a través del Atlántico hacia Europa.

#### **Frente Mediterráneo**

Es una rama secundaria del Frente Polar Atlántico y se produce en los meses de octubre y mayo, siendo muy activo en otoño. Los temporales invernales mediterráneos son, en gran parte, perturbaciones del Frente Polar. Están originados por el contraste térmico y dinámico que existe entre la Península y el mar Mediterráneo.

La Península Ibérica actúa como un pequeño continente y se enfriá, en determinadas épocas del año, más rápidamente que el agua del mar que la rodea. Esta diferencia de temperaturas, hace que se originen condiciones atmosféricas muy adversas, como puede ser la situación de gota fría.

#### **Frente de los Alisios**

Se localiza sobre las costas occidentales de África, desde Gibraltar a Mauritania. Suelen producir fenómenos de tipo convectivo sobre el sur y el sureste peninsular.

#### **Frente Ártico**

Se forma entre las costas de Islandia y el archipiélago Spizberg (Noruega), de forma excepcional, se desplaza hacia el Mediterráneo y cuando ocurre en invierno producen inviernos muy fríos y rigurosos.

## 6.4 CENTROS DE ACCIÓN QUE AFECTAN A LA PENÍNSULA

### 6.4.1 Anticiclones

#### **Anticiclón de las Azores**

Es la fuente fundamental del aire cálido de toda la península Ibérica y según Capel Molina (1981), es el responsable durante buena parte del año, de nuestro «tiempo y clima». La influencia de este anticiclón puede durar más de dos semanas. Es de tipo dinámico y térmico a la vez, y cuando llega al sur de la Península con elevadas temperaturas y valores relativamente altos de humedad, origina un tiempo seco y estable. El desplazamiento del Anticiclón de las Azores, sigue el movimiento aparente del Sol de norte a sur.

Cuando esta masa de aire permanece inmóvil durante largos períodos de tiempo, puede dar origen a las «olas de calor», que son las principales responsables de las sequías.

#### **Anticiclones Polares Atlánticos**

Tienen un origen dinámico y se desarrollan en los meses de noviembre a mayo. Prolonga las altas presiones subtropicales marítimas de las Azores, a latitudes septentrionales.

#### **Anticiclones Continentales Europeos**

Se originan durante el invierno en el centro y norte de Europa. A la Península Ibérica, le afectan el anticiclón de Europa Central y el anticiclón Escandinavo, siendo su origen masas de aire polar de temperaturas muy bajas durante el invierno.

#### **Anticiclón Peninsular**

Es muy discutido por diferentes autores, se cree que está originado por un enfriamiento sobre la Península, favorecido por su continentalidad. Se piensa que parte de un anticiclón alógeno (que tiene su origen en otra zona) cambia sus características originarias, y se transforma en el interior peninsular. Es muy poco frecuente y se presenta en invierno en forma de buen tiempo, generando frecuentes heladas en el interior y nubes en la Meseta Norte.

## **Anticiclón Atlántico - Mediterráneo**

Se localiza al suroeste de las Azores y puede extenderse en forma de cuña, hasta el Mediterráneo occidental. Se puede presentar en cualquier época del año, excepto en verano, siendo al final del invierno y principio de primavera cuando es más frecuente. Produce buen tiempo con débiles lluvias en el norte peninsular.

### **6.4.2 Depresiones**

#### **Depresión del Golfo de Vizcaya**

Tienen su centro de acción al norte o noroeste de la Península. Su duración oscila entre 3 y 6 días, y al aparecer durante el invierno y principio de la primavera.

#### **Depresión de Islandia**

Se localiza sobre el Atlántico norte y se produce en la zona de fricción de las altas presiones de aire polar y subtropical. Tienen un origen de tipo dinámico. Afecta a la Península en los meses de noviembre a abril.

#### **Depresión del Golfo de Génova**

Se produce por advención de masas de aire frío. Cuando el Frente Polar pasa sobre la Península, la orografía multiplica la inestabilidad vertical. Suelen formarse de octubre a abril, siendo rara en verano.

#### **Depresión Balear**

Es una depresión mediterránea que se localiza entre las Baleares y Cerdeña. Es una depresión fría que está desprendida del vórtice circumpolar. Estas condiciones atmosféricas combinadas con las existentes en la superficie del mar (humedad y temperatura), son las que originan las denominadas «gotas frías», tan temidas en el litoral mediterráneo.

Tiene una duración de 4 a 10, días pudiendo presentarse en cualquier época del año, siendo al final del verano y en otoño cuando, por las condiciones locales, pueden originar fuertes temporales.

## Depresión de las Azores

Se produce por advención de aire polar marítimo, que forma una masa de aire frío en altura que depende de la circulación general.

Puede darse en cualquier época del año, siendo más frecuente desde octubre a finales de mayo. Afectan principalmente la zona del Estrecho de Gibraltar y Andalucía.

TEMPORALES QUE AFECTAN A LA PENÍNSULA				
	Subgrupos	Porcentaje	Duración media	Estaciones más frecuentes
A) Atlánticas Total 54%	A.1 Grandes B. Borrascas	18%	8 días	Otoño, invierno y principio primavera
	A.2 B: media	36%	8 días en series 3-4 días	Otoño, invierno y primavera
	B.1 NO Península	8%	6 días	Otoño, invierno y primavera
	B.2 SO (G. Cádiz)	6.5%	7 días	Otoño, invierno y primavera
B) Peninsular Total 25%	B.3 Medir. y NE	3.5%	6 días	Otoño, invierno
	B.4 Tormentosos	7%	3-6 días	Verano
C) Norte 17%		17%	3-4 días	Otoño, invierno, primavera, verano
D) Mediterráneo 4%		4%	6 días	Otoño, invierno

Tabla 6. II, Temporales que afectan a la Península.

## 6.5 VIENTOS HURACANADOS EN ESPAÑA

La localización de la península Ibérica determina las condiciones atmosféricas locales y las variaciones estacionales y diurnas de los vientos.

Aunque España sea una zona poco ventosa, donde las velocidades medias raramente son superiores a los 50 km/h, en zonas muy concretas y con condiciones atmosféricas excepcionales, se alcanzan vientos con velocidades superiores a los 100 km/h. Se han podido incluso observar rachas de viento superiores a los 180 km/h en diversos observatorios, y en algunos casos, rachas superiores a los 260 km/h en el observatorio de Izaña (Santa Cruz de Tenerife).

Ciclones extratropicales, temporales, tormentas violentas e incluso tornados y trombas marinas, han afectado a la Península dejando efectos desastrosos a su paso.

A continuación, se describen los fenómenos meteorológicos que pueden producir vientos violentos en la península Ibérica.

#### 6.5.1 Temporales Mediterráneos

##### **Llevant.**

El temporal de Llevant es una especie de galerna mediterránea que ocurre en las costas catalana y balear (G. Pedraza, 1987), (ver figura 6.5). Aparece de diciembre a mayo y se presenta de forma rápida e inesperada.

Se pasa de un viento del suroeste (SO) con un cielo despejado y agradables temperaturas, a un nordeste (NE) alimentado por aire frío procedentes de tierras lejanas, que produce violentos vientos fríos que pueden superar los 198 km/h (1960), produciendo intensos oleajes que afectan a la costa catalana y balear. Estos temporales son muy temidos en los puertos, estando sus escolleras dispuestas en la dirección NE, y abriendo su entrada hacia el O para evitar el oleaje. Como hecho anecdotico, se recuerda un intenso temporal de Llevant en febrero de 1920, que abrió una brecha de 250 metros en la escollera del puerto de Barcelona. En febrero de 1948, un temporal muy violento destruyó 50 metros de escollera, haciendo desaparecer 4.000 bloques de hormigón de 60 toneladas cada uno.

Se podría clasificar los temporales de Llevant según su intensidad, denominándolos:

«Llevant menores» a aquéllos cuya duración no es superior a un día, produciendo una agitación en la mar que llega a marejada.

«Temporales de Llevant o llevantada» son aquéllos en que la intensidad y violencia del viento persiste durante varios días.

Algunos de estos temporales más intensos se pueden observar en la tabla 6:III.

TEMPORALES DEL LLEVANT	
FECHA	EFFECTOS
3/11/1617	Temporal de viento, agua y granizo en el mar, ofreciendo un grave peligro a los barcos amarrados en el muelle.
18/1/1639	Noticias de que en el muelle de Barcelona, las galeras de su Majestad sufrían mucho por la gran tormenta que se había levantado en la mar.
9 y 10/1/1645	Un temporal en la mar causó lluvias y vientos, registrándose algunos daños de consideración.
20/2/1920	Inundaciones en los barrios bajos de Barcelona. El oleaje derribó 250 metros de la escollera del puerto.
27/2/1948	Inundaciones en Barcelona, una considerable extensión del puerto fue derribada por el fuerte oleaje. Se registraron rachas de viento de 180 Km/h.
4/4/1951	Inundaciones en Barcelona y Badalona. La velocidad del viento fue superior a los 180 km/h.
8/12/1960	Se registraron rachas de viento superiores a los 198 km/h.
25/9/1962	Una pequeña «llevantada» originó «por efecto disparo» una terrible inundación que dejó un saldo de 1000 muertos y dos mil seiscientos millones de pesetas (1962).
19 y 20/7/1971	Una catastrófica riada provocada por un temporal de llevant en las costas catalanas. provocó 19 muertos y cientos de familias damnificadas, e importantes daños en la industria y agricultura.

Tabla 6.III. Algunos temporales de Llevant que produjeron daños.

El peligro que conlleva este tipo de temporales, es notable por su carácter violento e imprevisto, y pueden ser un serio peligro para las embarcaciones y costas que afectan. Por ello, la mejor medida evitar sus desastrosos efectos, es un sistema de predicción a corto plazo, que determine la posibilidad de ocurrencia de este tipo de fenómenos.

### Tramutana

La Tramontana es un viento frío del nordeste o norte, que sopla sobre las costas de las islas Baleares y Cataluña. Cuando este viento se convierte en temporal, se le denomina «tramuntanada». Se transcribe el informe del Centro Meteorológico Zonal de Barcelona (1967), de uno de estos temporales.

*«En Marzo de 1967, se sufrió en Menorca la «tramuntanada» más dura de las que se han podido registrar instrumentalmente. Con breves intervalos de calma intercalados, el viento estuvo soplando fuerte desde el día 13 al 22. En cuatro días seguidos, se superaron los 100 km/h y en otros tres alcanzaron los 120 km/h, de velocidad máxima midiéndose los 133,2 km/h los días 18 y 20. Este último día el recorrido del viento fue de 1.414 km, lo que da un medida real de 59 km/h. El resto de las islas se vio muy poco afectado, si se exceptúan los 80 km/h registrados en el Puerto de Pollença el día 19»* (C.M.Z).

## El Levante

El Levante es un viento persistente que sopla desde el este. Son vientos muy frecuentes y persistentes en el mar de Alborán, que pueden durar diez días o más. Cuando existe un anticiclón sobre el golfo de Vizcaya y Baleares, y bajas presiones en Canarias y Marruecos, se puede desencadenar un temporal de Levante en la zona del mar de Alborán y Estrecho, pudiendo alcanzar los vientos velocidades superiores a los 120 km/h, con condiciones muy difíciles para la navegación. El levante sopla en un estrecho sector entre los 70º - 100º y puede crear malas condiciones de oleaje que impiden la navegación del transbordador Algeciras - Ceuta.

### 6.5.2 Temporales Atlánticos

#### Borrascas

A las costas gallegas, llegan intensos temporales con vientos violentos de fuerza 9 y 10 en la escala Beaufort. Estas borrascas están generadas por diversas causas. En verano, existe una baja térmica al sur de la península Ibérica y soplan vientos violentos del NE que afectan a la zona de Estaca de Bares y otros puntos aislados de Galicia. En relación con la fase final de ciclones tropicales, surgen intensas borrascas que generan temporales, como el caso del Hortensia y Klaus (1984), cuando se registraron rachas de 150 km/h. En invierno, las profundas borrascas que se forman a lo largo del Atlántico, producen fuertes vientos del SO que afectan al litoral gallego (ver figura 6.6). Algunas de estas borrascas intensas fueron:

- \* Paso de una mar trizada a tremenda marejada o mar gruesa.
- \* Fuertes chubascos, llegando a ser precipitaciones tormentosas superiores a 25 mm.
- \* Paso a un cielo despejado, y con él, una cortina de cumulonimbos asociados al frente.
- \* Salto de la dirección del viento de un S moderado a un NO huracanado.
- \* Existe una caída de temperatura de 10°C.
- \* Se produce un descenso moderado de la presión antes de llegar el frente y una brusca subida después de cruzar.
- \* La galerna es un temporal repetitivo, que afecta la costa Cantábrica y el golfo de Vizcaya. Aparece de forma subita, y produce vientos rachados tipo de tempestades según G. de Pedraza (1987), son (ver figura 6.10):

### Galerías

Tabla 6.IV. Algunas borrascas que han afectado el litoral gallego.

EFECTOS		FECHA
		1724
		Diciembre 1909
		Diciembre 1914
		Febrero 1939
		15 febrero 1944
		Febrero 1972
		Octubre 1984

Este tipo de fenómeno meteorológico se produce de mayo a octubre siendo el mes de junio el de mayor actividad (ver figuras 6.9).

Algunas de las galernas más intensas con víctimas y pérdidas materiales, fueron:

FECHA	EFFECTOS
Diciembre 1688	Una impresionante tormenta en el mar, inundó San Sebastián, rebasando las aguas los muros que miran al muelle.
1864	Un violento temporal marino provocó una extraordinaria mareja que convirtió San Sebastián en una isla, inundando gran número de sus calles.
Abril 1878	Una terrible galerna que se conoce como la «Galerna del Sábado de Gloria», azotó las costas cántabras, provocando cientos de muertos entre los pescadores y cuantiosos daños materiales.
1883	Un temporal en el mar unido a las mareas, hizo que las aguas penetraran en la ciudad de Gijón, inundándolo parcialmente.
Abril 1890	Una galerna azotó las costas cántabras, provocando la muerte a 55 pescadores.
Agosto 1912	Una violenta galerna provocó la muerte a más de 100 pescadores en el puerto de Bermeo.
Enero 1924	A causa de una intensa galerna que se produjo en el Cantábrico, se inundaron varias ciudades costeras. En Gijón, se registraron importantes daños en el puerto.
Octubre 1979	Una violenta galerna descargó sobre Bilbao una gran tromba de agua en el casco viejo de la ciudad que hizo que el agua subiera 0.6 m de altura. Hubo cuantiosos daños materiales.
19-Diciembre 1980	Se produjeron fuertes lluvias, acompañadas de vientos huracanados que afectaron amplias zonas del norte peninsular, produciéndose desbordamientos en varios ríos que coincidieron con la pleamar, lo que intensificó los daños materiales.
Agosto 1983	Un violento temporal afectó la totalidad del País Vasco y varias provincias limítrofes. Se produjeron más de medio billón de pesetas pérdidas y algunas víctimas mortales.
Junio 1987	Una galerna azotó las costas cántabras, provocando algunas víctimas y cuantiosos daños materiales.

Tabla 6. V. Algunas galernas que han afectado a la Península ibérica.

### Vendaval

Es un viento racheado y violento del SO que se localiza en el golfo de Cádiz y bajo Guadalquivir. Está asociado al sector cálido de una profunda borrasca que se aproxima a la Península por las costas portuguesas, generando vientos huracanados y abundantes aguaceros en Extremadura, valle del Guadalquivir y La Mancha.

FECHA	EFFECTOS
1489	Un fuerte temporal provocó inundaciones en Sevilla.
1507	Una nave, la Señora de Santa Ana, fue desplazada por un violento temporal en Sevilla.
3/1608	Una tormenta de viento y agua afectó a Sevilla, arrancando del Castillo de Triana cinco almenas.
1626	Un fuerte temporal impidió la salida de los barcos a la mar en Sevilla.
12/1738	Un violento vendaval con fuertes vientos y lluvia torrencial, provocó una riada en el Guadalquivir.
8/1805	En Sevilla, un violento vendaval produjo una intensa tormenta que duró cuatro horas, produciendo una espectacular riada.
8/1899	En Córdoba, Écija y Sevilla, se registró un violento vendaval que provocó muertes por rayos y fuertes avenidas.
2/1955	LLuvias y fuertes vientos afectaron a Jaén produciendo inundaciones.
2/1962	Un violento temporal afectó a Sevilla, registrándose rachas de viento de 181 km/h.

Tabla 6.VI. Algunos vendavales que han afectado a la Península Ibérica.

### 6.5.3 Torbellinos locales

Además de los típicos temporales, existen otros meteoros que son capaces de producir vientos huracanados en la Península, como los torbellinos locales, es decir, los tornados y las trombas marinas.

#### Tornados

Aunque sea un meteoro poco común en España, existen ciertas descripciones de algunos de estos fenómenos. Quizás, la mejor documentada fue la realizada por Sáez Rivilla, del Centro Meteorológico Zonal de Sevilla, de un tornado en diciembre de 1978.

«*Se formó un tornado en las proximidades del Aeropuerto de Sevilla-San Pablo, que siguió una trayectoria OSO-ENE hasta la localidad de Carmona. Los instrumentos de registro del observatorio meteorológico detectaron su presencia y, milagrosamente, las actuaciones de los aviones no se vieron afectadas. El meteorólogo que escribe estas líneas viajaba en un avión comercial, que despegó instantes antes de que el fenómeno destrozara a su paso la estructura metálica del aparcamiento que se convirtió en un amasijo de coches. A bordo causó una extrañeza la casi total oscuridad por la ventanilla izquierda en contraste con la luminosidad casi normal del lado opuesto. En tierra dejó lluvia muy intensa sobre la terminal durante breves instantes*

» (C.M.Z).

## Trombas marinas

Cuando los torbellinos locales se producen sobre el agua del mar, se generan las trombas marinas (también se las conoce como Mangas de Agua), que aunque son meteoros poco frecuentes, son bien conocidos por los efectos que dejan en el litoral. En las islas Baleares, de les denomina «fiblo», que significa aguijón. Estas trombas son capaces de hundir pequeñas embarcaciones con suma facilidad, y cuando se introducen tierra adentro, ocasionan inundaciones y numerosos daños. Algunas de las trombas se pueden observar en la tabla siguiente:

Fecha	Efectos
Julio 1878	Una repentina avenida provocada por una manga de agua que descargó en Peña de Ordene y Las Encarnaciones. La Ría de Bilbao se desbordó inundando Bilbao, el nivel del agua subió 0,5 m de altura sobre el Paseo del Arenal. Se produjeron algunas víctimas y se ahogaron un gran número de cabezas de ganado, aparte de los cuantiosos daños materiales.
Abri 1918	Entre Oyarzun y Rentería, cayó una fuerte manga de agua, produciendo abundantes daños materiales
7 octubre 1947	«El día 7, una tromba marina, inicialmente situada cerca de la costa, penetró en tierra hacia las 16,45 horas TMG, llegando al Aeropuerto de Barcelona (El Prat) con chubascos de lluvia, aparato eléctrico y vientos racheados. En este temporal, la racha máxima del viento este alcanzó los 131 km/h, derribando la garita meteorológica, rompiendo los termómetros de su interior y estrellando contra una casamata de hormigón una avioneta estacionada en su proximidad» (C.M.Z.)
2 septiembre 1962	Se observó en la Costa Brava una espectacular tromba marina.
Noviembre 1980	Una manga de agua torrencial descargó entre Gijón y Villaviciosa (Asturias) produciendo cuantiosos daños materiales en inmuebles y vehículos

Tabla 6.VII. Algunas trombas marinas que se han registrado en la península Ibérica.

## 6.6 TOPONIMIA DE LOS VIENTOS PENINSULARES

La etimología de los vientos se relaciona con los nombres con que se denominan en las distintas regiones de España. Las características de estos vientos, es decir, frecuencia, intensidad, temperatura y grado de humedad, condicionan en buena parte, las condiciones climáticas de cada zona.

A continuación se definen algunos de los vientos típicos de la Península más conocidos y algunas de sus características más relevantes, según García de Pedraza y otros autores.

### ÁBREGO

Viento templado y húmedo del O y SO que presenta en ambas Castillas, Extremadura y valle del Guadalquivir. Se produce cuando una borrasca móvil se desplaza desde la zona de Azores - Canarias hacia el litoral peninsular, produciendo nubosidad y lluvias.

## **ALISIOS**

Son vientos secos del NE, que soplan en las islas Canarias desde abril a septiembre.

## **BOCHORNO**

Viento del SE de procedencia mediterránea, que en verano entra por la desembocadura del Ebro y sube río arriba, produciendo lluvias en las cuencas medias y bajas. Se suele presentar delante de una borrasca que entra por el golfo de Cádiz. Aporta lluvias a las tierras de Aragón.

## **CIERZO**

Es un viento frío y seco del NO, que sopla con frecuencia en el valle del Ebro. Se produce cuando existen altas presiones en las islas Británicas y el golfo de Cádiz, y bajas presiones sobre las Baleares.

## **GALERNA**

Ráfaga súbita y borrascosa que se forma en las costas septentrionales de España, suele soplar del NO, detrás del paso de un frente frío. Son vientos fríos y húmedos que producen un intenso temporal en la mar.

## **GALLEGO**

Viento frío y racheado muy penetrante, del NO, que sopla en España y Portugal. En Castilla, dícese del viento «Cauro» o noroeste porque viene de Galicia.

## **GARBI**

Brisa del mar húmeda y muy regular, que constituye un «reloj de viento» que proviene del E en el Mediterráneo, soplando del SE en las costas de Valencia y SO en las costas de Cataluña.

## **GUARA**

Es un viento muy frío del NE que sopla en Zaragoza, por tener la dirección en que se encuentra la sierra del mismo nombre.

## **GREGAL**

Viento que viene de entre Levante y Tramontana. Los antiguos navegantes a vela catalanes y aragoneses, lo utilizaban en sus viajes mediterráneos de ida hacia Grecia, y de ahí su nombre.

Es un viento fuerte del NE en el Mediterráneo central y occidental, más fuerte que el Levante. Se produce con altas presiones sobre el centro de Europa, y bajas presiones sobre Libia. En Menorca se denomina Guergal.

## **JALOQUE**

Palabra que deriva del árabe. Es un viento que sopla del SE. Es el nombre español del Siroco.

## **IRIFI**

Es un viento seco y racheado, que en ocasiones llega a las islas Canarias con componente SE. Se produce con bajas presiones al Sur de Canarias y con un anticiclón sobre la Península.

## **LEVANTE**

Es un viento persistente del E, moderado, fresco y húmedo, sopla en el mar de Alborán y en el Estrecho de Gibraltar. Se origina con altas presiones sobre las islas Baleares y bajas presiones entre Canarias y el golfo de Cádiz.

## **LEBECHE**

Viento con componente ESE, con un recorrido sobre el Mediterráneo que sopla en las costas de Murcia y Alicante. Es un viento húmedo y produce sensación de bochorno.

## **LLEBETJADO**

Es el nombre dado en Cataluña a un viento cálido y turbulento, que desciende de los Pirineos y dura algunas horas.

## **LLEVANT**

Viento fresco y húmedo del NE con fuerte temporal, con aguaceros en las costas catalanas y baleares.

## **LLEVANTA**

Es la denominación que se da en la región valenciana al viento que sopla del NE.

## **MISTRAL**

Es un viento frío y racheado que sopla del N o NO en el golfo de León, afectando a las islas Baleares.

## **MIGJORN**

Viento irregular y ligero que se transforma en un viento seco, una vez atravesados los Pirineos.

## **MONCAYO**

Se llama así en Zaragoza al viento Cierzo, porque antiguamente se creía que se originaba en la Sierra del Moncayo.

## **MARINADA**

Nombre local que recibe el «Marín» de las costas de Cataluña y Rosellón. En Aragón, recibe este nombre el viento del levante o aquél venido del mar.

## **NOROESTE**

Son vientos del NO y N fríos y húmedos, que son los responsables de las lluvias en la Cornisa Cantábrica y Rías Altas.

## **PONIENTE**

Es un viento húmedo y templado del O, que entra por las costas portuguesas y arrastra las borrascas atlánticas hacia el interior de la Península.

## **SOLANO**

Es un viento del E con carácter terral, de La Mancha y Extremadura en verano. Está provocado por el caldeo solar en las horas centrales del día.

## **TRAMONTANA**

Es un viento frío y turbulento de componente norte, que sopla en el noroeste de Cataluña y en la isla de Menorca.

## **TRAMUTANADA**

Cuando la tramontana se convierte en temporal.

## **VENDAVAL**

Es un viento del SO temporalado, que sopla en la costa meridional del Mediterráneo de España y en el Estrecho de Gibraltar.

## **VIZARÓN**

Se denomina, al cambio repentino del viento en Santander, especialmente cuando al del sur huracanado, sucede el noroeste.

## **VIZARONES**

Brisas de tierra y mar alternantes.

## **XALOC**

Son vientos cálidos y algo húmedos del SE, que proceden del Sáhara y se cargan de humedad al atravesar el Mediterráneo. Son del tipo Siroco. Origina algunas lluvias en las costas del Levante, Murcia y en Baleares.

## **ZOFRINA**

En Huesca, es un viento fuerte acompañado de lluvias.

## **ZURRUSCO**

Se denomina en Murcia, a un viento muy penetrante.

## **CONSEJOS DE PROTECCIÓN CIVIL EN CASO DE VIENTOS FUERTES**

Protección Civil ha difundido una serie de consejos de autoprotección en caso de vendavales, con el fin de contribuir a la prevención de las posibles situaciones de riesgo para la población. Estas recomendaciones son:

1. Aléjese de las playas y otros lugares bajos que puedan ser barridos por el mar o ríos.
2. Asegure puertas y ventanas, especialmente las exteriores.
3. Abra una de las ventanas o puertas de su casa del lado opuesto al que sopla el viento, para equilibrar presiones.
4. Guarde todos los objetos que puedan ser llevados por el viento, tales como toldos, tiestos, muebles, etc, ya que pueden convertirse en armas destructivas durante el vendaval.
5. No se proteja del viento en zonas próximas a muros, tapias o árboles.
6. No salga de su casa o refugio durante el vendaval, por el peligro de desprendimiento de cornisas u otros materiales.
7. Si trabaja en un edificio de oficinas, diríjase al sótano o algún pasillo interior del piso bajo.
8. No viaje, porque estará en peligro de ser alcanzado por escombros desprendidos, arrastrados por el viento, encontrar carreteras inundadas, etc.
9. Si se encuentra viajando, no se quede dentro del coche, refúgiese en lugar seguro.
10. No toque cables ni postes del tendido eléctrico.
11. Haga reserva de agua potable, así como de linterna y un equipo de radio con pilas de repuesto para ambas.

## **INFORMACIÓN**

No utilice el teléfono para obtener información o instrucciones, ya que saturaría las líneas telefónicas. Sólo en caso de que se encuentre en situación comprometida, llame al servicio de emergencia necesario (bomberos, servicios sanitarios, servicios técnicos de los ayuntamientos, etc.). Para obtener información, sintonice preferentemente la emisora local, a través de la cual recibirá noticias.

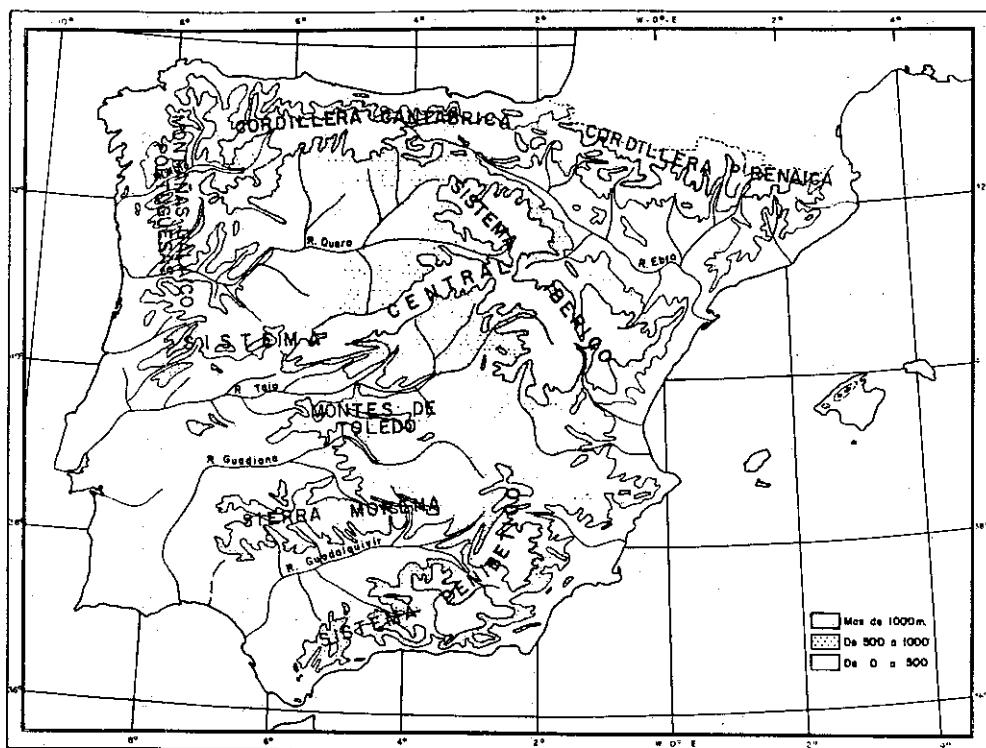


Fig. 6.1 Configuración geográfica de la península Ibérica, según Font Tullot, (1983).

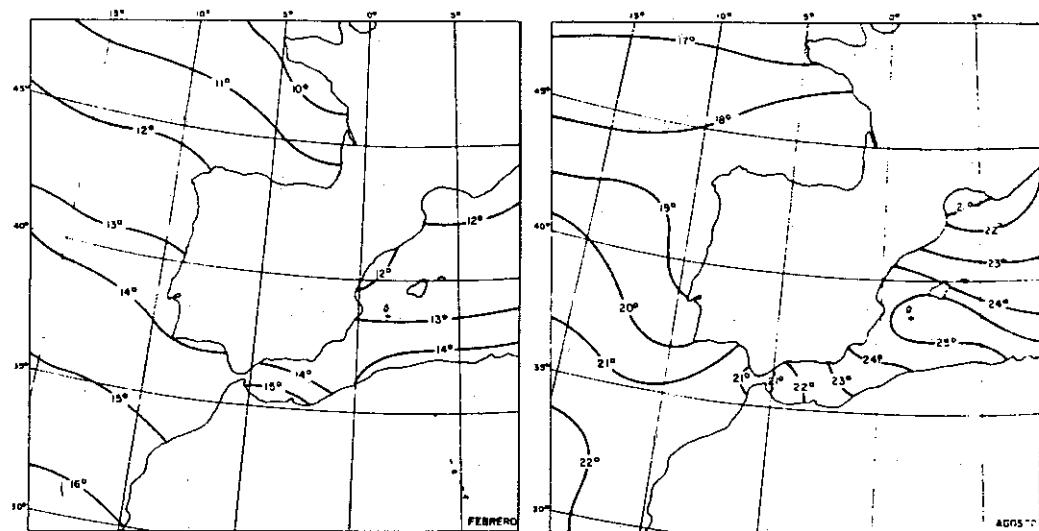


Fig. 6.2 Temperatura de la superficie del mar en los meses de febrero y agosto, según el «Atlas de climatología marina». S.M.N.

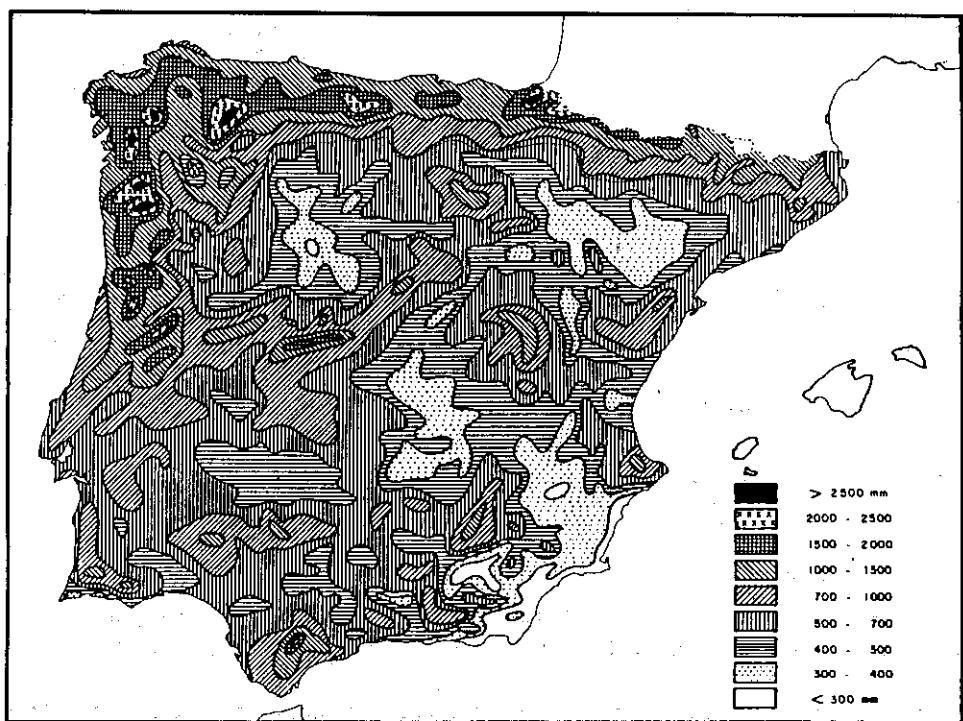


Fig. 6.3 Mapa pluviométrico de la península Ibérica, según Font Tullot, (1983).

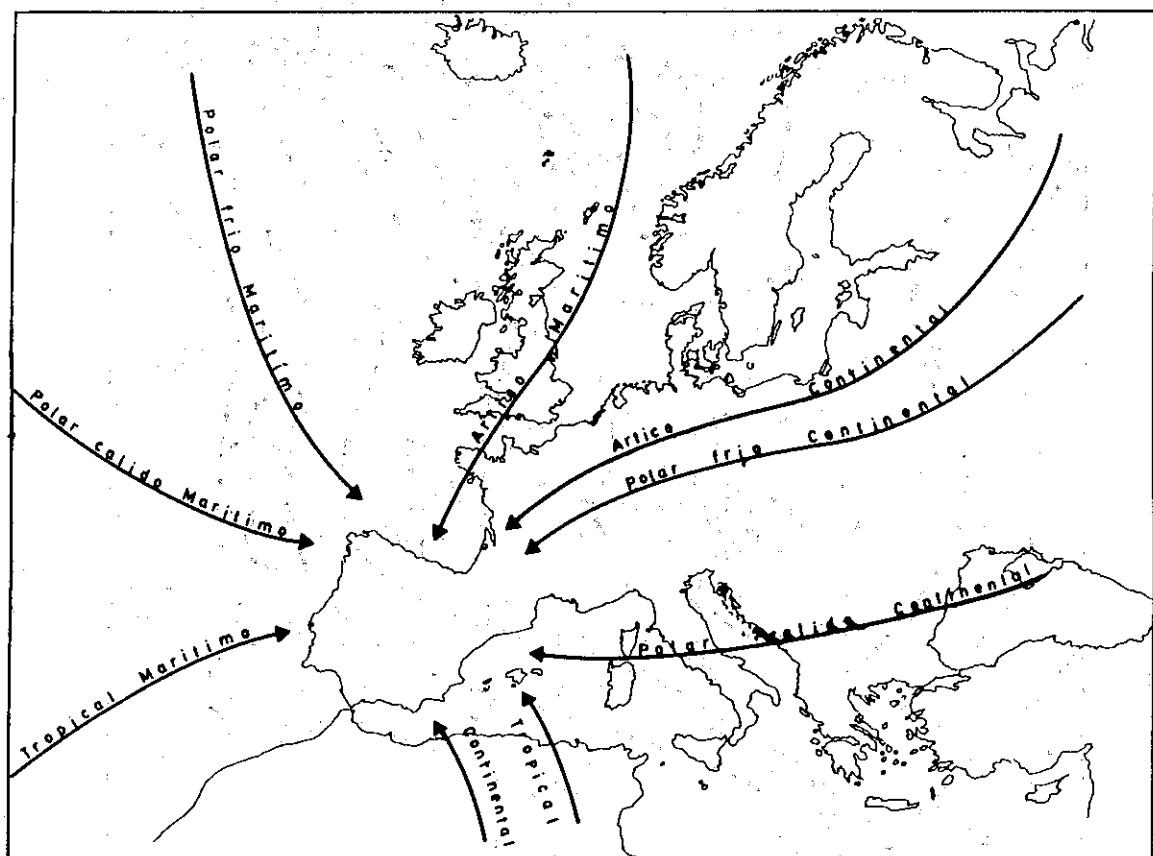


Fig. 6.4 Trayectoria de las masas de aire que afectan a la Península Ibérica, según Biel Lucea (1943).

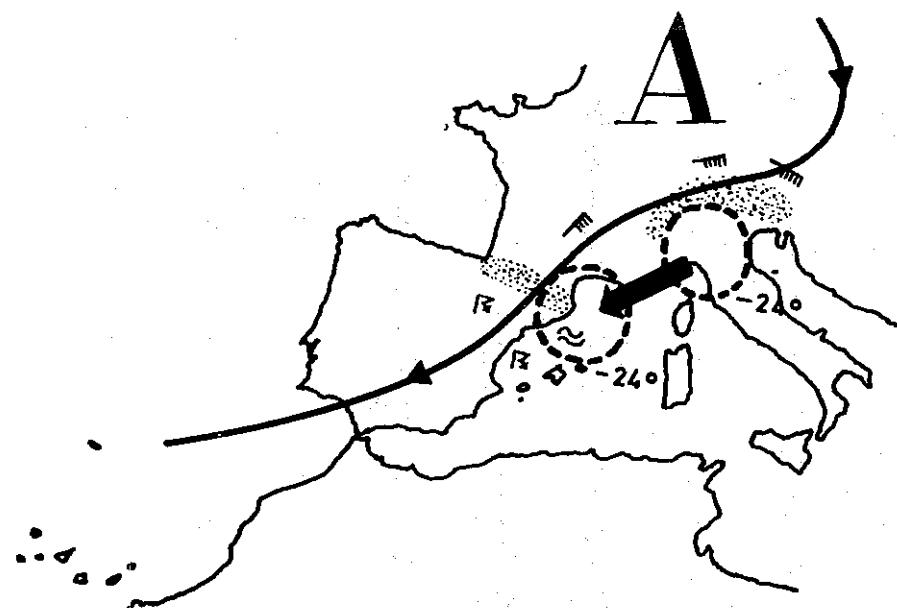


Fig. 6.5 Esquema de inicio de una situación de «Llevant» a 500 mb. Gota fría con freno y marcha atrás. Desde el golfo de Génova y los Alpes, hacia el golfo de León y los Pirineos, según García de Pedraza, (1980).

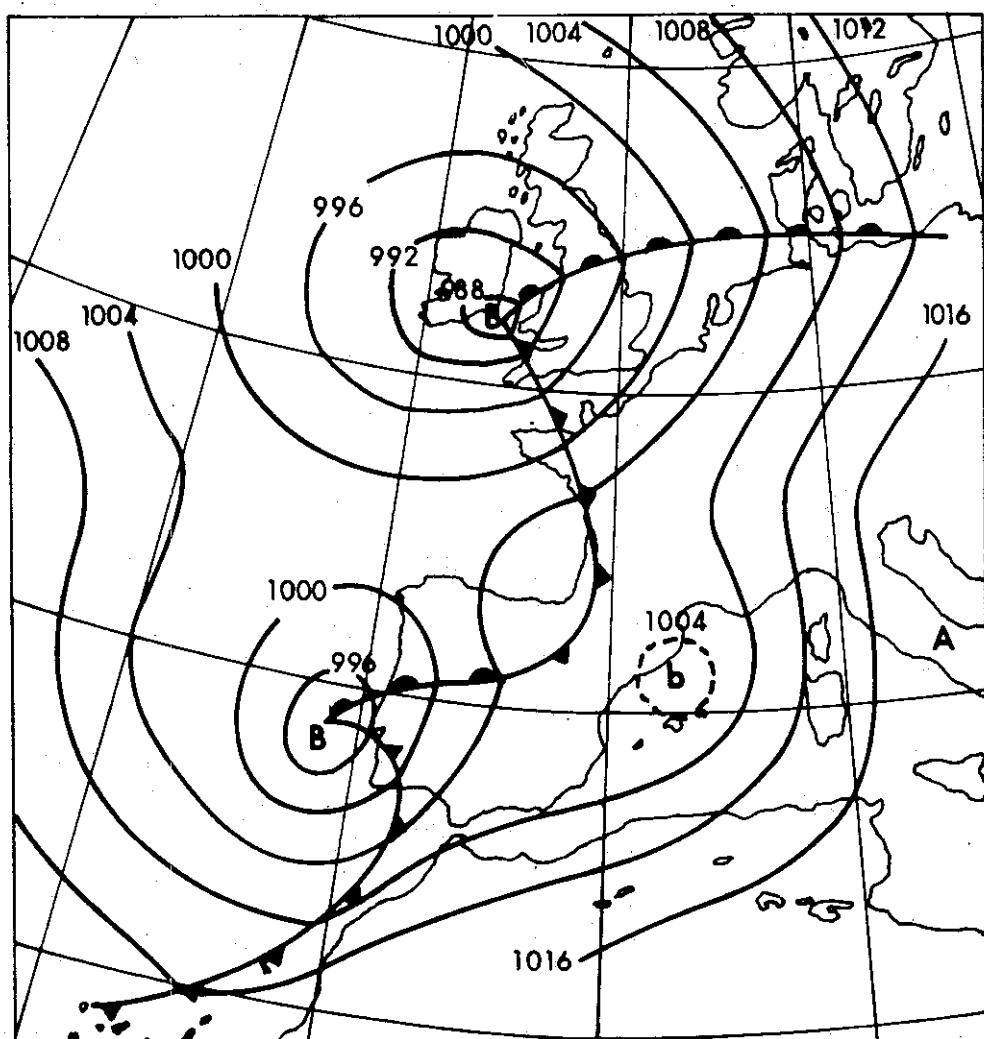


Fig 6.6 Situación meteorológica a las 8 TMG del día 10 de Marzo de 1895, unas siete horas antes del naufragio del crucero «Reina Regente», según Font Tullot, (1988).

# VIENTOS

## CAPÍTULO 7. ZONIFICACIONES.

### 7.1 ZONIFICACIÓN DE NIVELES DE PELIGROSIDAD POR VIENTO

Para la realización de un mapa de niveles de peligrosidad de viento en España, se ha contado con información del Instituto Nacional de Meteorología (I.N.M.) y del Instituto de Energías Renovables del C.I.E.M.A.T. Esta información se presenta sin depurar, ya que el I.N.M. a través de sus estaciones climatológicas, recibe datos de temperaturas, precipitaciones y velocidades de viento, entre otras, y los almacena para cada observatorio y año, de forma que se publica anualmente un calendario meteorológico que resume las condiciones climatológicas más significativas del año anterior.

El viento es un fenómeno atmosférico muy condicionado por la morfología del relieve y la topografía, ya que la presencia de montañas, valles encajonados, bordes de mesetas y otros accidentes orográficos, modifica la dirección y velocidad del flujo de los vientos. Teniendo en cuenta la imposibilidad de asignar niveles de riesgo/peligrosidad a la unidad mínima geográfica escogida en este estudio (código postal o código del término municipal), el método de trabajo se dirigió hacia el análisis de los datos de velocidades extremas, para cada una de las 38 estaciones climatológicas de las que el I.M.N. suministró información. Estos datos abarcan 38 fichas que contienen:

- Media de las velocidades máximas mensuales durante el período de observación (los períodos de observación no son iguales para todas las estaciones).
- Velocidad mensual del viento esperable, para períodos de recurrencia de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50 y 100 años.
- Velocidad de la racha máxima mensual, para el período de observación dado (datos de 104 estaciones).

Tal y como afirma García de Pedraza (comunicación personal), la máxima velocidad de cada mes es sólo una referencia. Resultaría mucho más adecuado conocer la frecuencia con que se presentan las velocidades superiores a un determinado umbral (por ejemplo 80 km/h ó 96 km/h). Para conseguir resultados concluyentes, habría que consultar día a día las bandas de los anémocinemógrafos, labor realmente improba. Para dar una idea del volumen de datos a manejar, para un período de 20 años y 40 observados, serían 292.000 bandas a calibrar y controlar.

## OBSERVATORIOS CON DATOS DE RACHAS MÁXIMAS DE VIENTO

Aerop. El Altet, C. Jardín y la Rabassa (Alicante); C. Jardín y A. de Almería; Avila; A. de Foronda y Aeródromo (Alava); Obs. Especial y Los Llanos (Albacete); El Cristo, Gijón, Avilés (Asturias); B.A. Talavera la Real (Badajoz); Palma de Mallorca, A. de Son San Juan en Mallorca, Jefatura, Centro Met. de Puerto Pi, Pollensa, A. de San Luis y Mahón en Menorca, A. de San José en Ibiza (Baleares); Traverser d'Alt, Roura, Granollers, Montseny, Centro Met. Zonal, A. del Prat de Llobregat y ciudad (Barcelona); Villafría (Burgos); Cáceres; Tarifa, Puerta Tierra, San Fernando, (Cádiz); A. Reina Sofía y Los Rodeos de Tenerife, Izaña, Santa Cruz, A. de Hierro, A. de Mazo en la Palma, A. Arrecife en Lanzarote, A. de Gando y La Luz en Gran Canaria (Canarias); Almazora (Castellón); Ciudad Real; Ceuta; Córdoba; Monteventoso, A. Alvedro, A. Labacolla en Santiago y ciudad (La Coruña); Cuenca; A. Cabo Bagur (Gerona); B.A. la Armilla, A. Granada y la Cartuja (Granada); Molina de Aragón (Guadalajara); Monte Iguelo y Fuenterrabía (Guipúzcoa); Ronda Este y ciudad (Huelva); Monflorite (Huesca); Jaén; Lérida; B.A. Virgen del Camino (León); Punto Centro y Rozas (Lugo); Est. Agrometeorológica, Agoncillo (Logroño); A. Barajas, Cuatro Vientos, Ciudad Universitaria, Retiro, P. de Navacerrada, Torrejón de Ardoz, Getafe, y Alcalá de Henares (Madrid); A. el Rompedizo (Málaga), Melilla; Guadalupe, Alcantarilla y San Javier (Murcia); Orense; Palencia; A. de Noaín (Navarra); Marín y Peinador (Pontevedra); B.A. Matacán, Obs. I.O.A.T.O. y Muñovela (Salamanca); Parayas y ciudad (Santander); Tablada y A. San Pablo (Sevilla); Segovia; Ceder-Lubia y ciudad (Soria); Vandellós y Reus (Tarragona); Teruel; Toledo; A. Manises, Los Viveros y ciudad (Valencia), Universidad y B.A. de Villanubla (Valladolid); A. Sondica (Vizcaya); Zamora; A. de Sanjurjo (Zaragoza).

Además de esta información no depurada, el I.M.N. ha publicado en 1988, el *«Mapa Eólico Nacional»*, cuyo objetivo es realizar un análisis del viento para el aprovechamiento energético. Esta documentación cuenta con tablas de frecuencias, velocidades de viento en nudos superiores a ciertos valores y ha servido también como apoyo del Sistema de Zonificación para vientos, propuesto en el estudio.

Dentro de la Norma Básica de la Edificación NTE-AE-88 del M.O.P.U., se ha publicado un mapa de zonas eólicas con cuatro zonas: Z, Y, X, W (de mayor a menor peligrosidad). Sobre el mapa se delimitan dos núcleos calificados como «Z»: uno sobre la provincia de Salamanca y otro sobre la cordillera Pirenaica. Como zonas de peligrosidad «Y», se sitúa una banda concéntrica a los Pirineos, que se prolonga por toda la cornisa cantábrica, una orla concéntrica alrededor de la zona «Z» de la provincia de Salamanca, todo el valle del Ebro y la costa atlántica de Cádiz y Huelva.

Una vez analizada toda la información anteriormente detallada, con la colaboración y supervisión de la Asociación Meteorológica de España y el Instituto de Energías Renovables del C.I.E.M.A.T., se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- \* En los observatorios continentales del interior, las máximas de viento se presentan en verano, (julio, agosto, septiembre) asociadas a fuertes turbonadas

y rachas que acompañan a las nubes tormentosas (por ejemplo Madrid, Pamplona, Palencia, Logroño, Jaén y Huesca, entre otras).

- \* En los observatorios cercanos a la costa cantábrica, los máximos suelen presentarse en invierno (diciembre, enero, febrero). Es el caso de Santander, Oviedo y Bilbao.
- \* En los observatorios de las zonas costeras del Mediterráneo, las máximas se registran en primavera y/u otoño. Como ejemplos representativos cabe citar Tarragona, Barcelona, Castellón, Almería, etc.
- \* En cuanto a direcciones de flujo de viento, se registran vientos fuertes y frecuentes del N y NO en la provincia de Zaragoza, en Menorca, Gerona, Albacete, Asturias, Cantabria, Guipúzcoa y Vizcaya, concretamente.
- \* Hay vientos violentos del O y SO, pero poco frecuentes en las provincias de Huelva, Cádiz, Sevilla, Badajoz, Valencia y Barcelona entre otras.
- \* Como regla general, en las regiones donde soplan vientos dominantes y persistentes a lo largo de año, son vientos ocasionales de otra dirección y notable intensidad, los que producen grandes daños. Así ocurre en el valle del Ebro, donde el viento persistente es el «cierzo» del NO, pero el que causa grandes desperfectos es el racheado del S y SE, asociado a nubes tormentosas. En el caso de las islas Canarias, los vientos «alisios» del NE soplan entre mayo y octubre; pero las intensas ráfagas vienen asociadas a vientos del O y SO, con borrascas muy ocasionales.
- \* En cuanto a la tipología de la información obtenida, se carece de una red de estaciones densa y completa, distribuida sobre el territorio nacional, que permita llegar a una diferenciación objetiva de las zonas. Para algunas áreas más o menos extensas, no existen datos en rachas máximas, mientras que las series de años de observación son excesivamente cortas (Segovia 1987-1990). Existen por tanto, lagunas de información en zonas susceptibles de sufrir los efectos de perturbaciones locales, acompañadas de vientos huracanados (tornados, tormentas intensas de carácter local, etc.)
- \* Los primeros registros de rachas máximas de viento, datan de 1870 y pertenecen al Observatorio de San Fernando (Cádiz), pero fue a mediados de los años 30, en las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional, actual Instituto Nacional de Meteorología, cuando se empezaron a instalar los observatorios que integran la red operativa.

Tras estas conclusiones, se ha construido la tabla 7.I. de capitales de provincia con niveles de riesgo de vientos fuertes de 1 (máximo) a 3 (mínimo).

Los niveles de riesgo de vientos fuertes, tienen aún un carácter subjetivo y están sometidos actualmente a revisión, aunque los mapas de peligrosidad por viento han sido aprobados por expertos del Instituto de Energías Renovables del C.I.E.M.A.T. y la Asociación Meteorológica de España.

PROVINCIA	NIVEL DE RIESGO	ZONA DE CONTROL
ÁLAVA	2	2
ALBACETE	1	8
ALICANTE	1	8
ALMERÍA	2	8
AVILA	3	4
BADAJOZ	3	7
BALEARES	1	10
BARCELONA	1	13
BURGOS	2	4
CÁCERES	2	7
CÁDIZ	2	9
CASTELLÓN	2	5
CIUDAD REAL	3	6
CÓRDOBA	3	9
CORUÑA (LA)	1	1
CUENCA	3	6
GERONA	1	13
GRANADA	3	8
GUADALAJARA	3	6
GUIPÚZCOA	1	2
HUELVA	2	9
HUESCA	2	3
JAÉN	2	9
LEÓN	2	4
LÉRIDA	2	3
LOGROÑO	2	4
LUGO	2	2
MADRID	2	6

MÁLAGA	3	8
MURCIA	2	8
NAVARRA	2	3
ORENSE	2	4
OVIEDO	1	2
PALENCIA	3	4
PALMAS (LAS)	1	11
PONTEVEDRA	2	1
SALAMANCA	1	4
SANTA CRUZ DE TENERIFE	2	11
SANTANDER	1	2
SEGOVIA	3	4
SEVILLA	1	9
SORIA	3	4
TARRAGONA	1	5
TERUEL	3	5
TOLEDO	2	6
VALENCIA	1	8
VALLADOLID	2	4
VIZCAYA	1	2
ZAMORA	3	4
ZARAGOZA	1	5

Tabla 7.1. Asignación de nivelés de riesgo y zonas de control para vientos.

## 7.2 COMPATIBILIZACIÓN DEL MAPA DE RIESGO DE VIENTOS FUERTES CON UNA DIVISIÓN TERRITORIAL

La unidad mínima de información para los fenómenos de terremoto e inundación, ha sido el término municipal. Esta aproximación ha sido posible dada la fiabilidad de la información de base utilizada para el estudio. En cuanto al mapa de riesgo de vientos, se puede considerar como preliminar, susceptible de revisión y cambio de criterios. Se está realizando una validación del mismo, cuantificando e introduciendo parámetros objetivos, que será publicado en 1992.

Aclarada pues la calidad del mapa de riesgo de vientos fuertes que se propone el estudio, se comprende por qué el nivel mínimo de información ha sido la provincia. Se han asimilado, los datos de la capital de provincia o aeropuerto correspondiente, a toda la provincia. Se parte de la hipótesis de que en los núcleos de población y núcleos industriales, es donde se pueden producir los mayores daños por viento, luego el dato de una de las estaciones citadas, es el que se considera como válido.

### **7.3 CONTROL DE ACUMULACIÓN: JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA UTILIZADA.**

Para diseñar el mapa de control de acumulación por terremoto, se ha tenido en cuenta que en el Manual del C.R.E.S.T.A (Catastrophe Risk Evaluating and Standardizing Target Accumulations), se definen las **Zonas de Exposición a Terremoto** (Earthquake Exposure Zones) como áreas basadas en la actividad sísmica observada o esperada dentro de un país. Por otra parte, las **Zonas de Distribución de la Acumulación por Terremoto** (Earthquake Accumulation Assesment Zones) consideran la distribución dentro de un país, de los valores asegurados a partir de límites administrativos o políticos, para facilitar la asignación de un nivel de riesgo.

De la misma forma que se han seguido estos criterios para definir zonificaciones de terremoto, se tratará de definir los patrones **Zonas de Exposición a Vientos** y **Zonas de Distribución de Acumulación por Vientos**.

### **7.4 MAPA DE CONTROL DE ACUMULACIÓN Y CRITERIOS DE REALIZACIÓN**

El objetivo de esta zonificación ha sido compatibilizar criterios **fisiográficos** y criterios de **división administrativa**. Se han tenido en cuenta los conjuntos de provincias que suelen ser afectadas en bloque, por grandes perturbaciones atmosféricas. Así, han resultado 14 zonas:

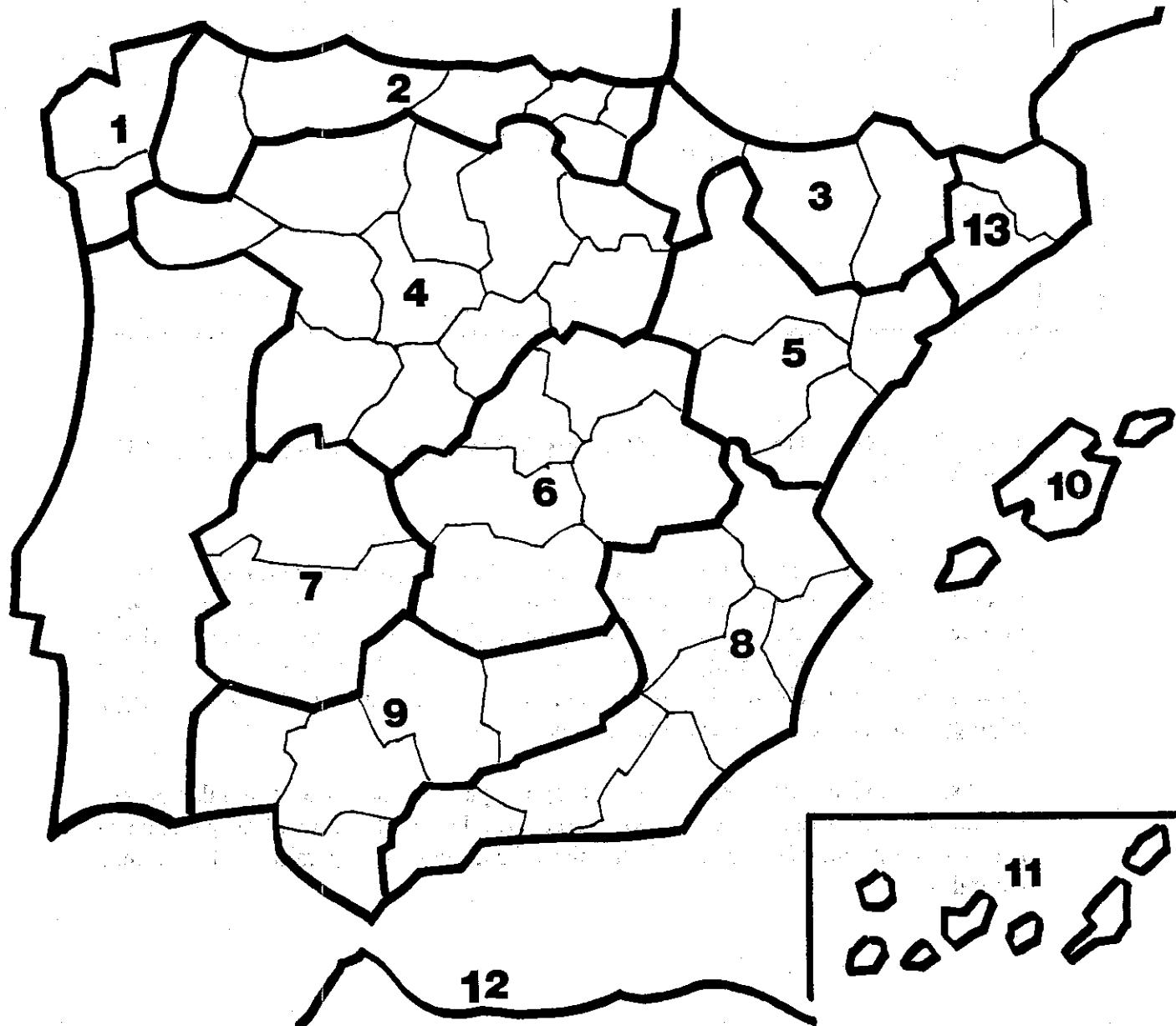
ZONA 1: La Coruña, Lugo, Pontevedra.  
ZONA 2: Lugo, Asturias, Cantabria, Vizcaya, Álava Guipúzcoa.  
ZONA 3: Navarra, Huesca Lérida.  
ZONA 4: La Rioja, Soria, Segovia, Ávila, Salamanca, Valladolid, Burgos, Palencia, León.  
ZONA 5: Zaragoza, Teruel, Castellón Tarragona.  
ZONA 6: Guadalajara, Toledo, Cuenca, Ciudad Real, Madrid.  
ZONA 7: Cáceres, Badajoz.  
ZONA 8: Albacete, Alicante, Murcia, Valencia, Almería, Granada, Málaga.  
ZONA 9: Jaén, Córdoba, Sevilla, Cádiz, Huelva.  
ZONA 10: Islas Baleares  
ZONA 11: Islas Canarias.  
ZONA 12: Ceuta y Melilla.  
ZONA 13: Barcelona y Gerona.  
ZONA 14: Pólizas globales y flotantes.

## 7.5 FUTURAS OPCIONES DE ZONIFICACIÓN O CONSONANCIA CON C.R.E.S.T.A.

A pesar de que en el criterio de división política ya ha sido tenido en cuenta, es posible que la forma más fácil de realizar el control de acumulación, sea el mapa propuesto con respecto a provincias, que es una división fácilmente manejable desde fuera de España. Sin embargo, si se siguen las pautas del C.R.E.S.T.A para las nuevas zonificaciones de los países europeos, habrá que mantener una única zonificación para todos los eventos naturales.

Así, la división de España que se propone para el control de acumulación por viento, sería útil para hacer estudios de «escenario de siniestro», mientras que la única zonificación permitiría trabajar con la misma base geográfica para todos los eventos naturales.

## ZONAS DE CONTROL DE ACUMULACION POR VIENTOS FUERTES



- ZONA 1: La Coruña, Lugo, Pontevedra
- ZONA 2: Lugo, Asturias, Cantabria, Vizcaya, Alava, Guipuzcoa
- ZONA 3: Navarra, Huesca, Lérida
- ZONA 4: La Rioja, Soria, Segovia, Ávila, Salamanca, Zamora, Valladolid, Burgos, Palencia, León
- ZONA 5: Zaragoza, Teruel, Castellón, Tarragona
- ZONA 6: Guadalajara, Toledo, Cuenca, Ciudad Real, Madrid
- ZONA 7: Cáceres, Badajoz
- ZONA 8: Albacete, Alicante, Murcia, Valencia, Almería, Granada, Málaga
- ZONA 9: Jaén, Córdoba, Sevilla, Cádiz, Huelva
- ZONA 10: Islas Baleares
- ZONA 11: Islas Canarias
- ZONA 12: Ceuta y Melilla
- ZONA 13: Barcelona, Girona
- ZONA 14: Pólizas globales y flotantes

## VIENTOS

### CAPÍTULO 8. EL SEGURO CONTRA EL VIENTO

#### 8.1. LA ACTUAL COBERTURA POR EL CONSORCIO DE COMPENSACIÓN DE SEGUROS

##### 8.1.1. Modalidad de cobertura

El Proyecto de Reglamento de Cobertura de Riesgos Extraordinarios, pendiente de aprobación por el Consejo de Ministros, tiene sin definir el fenómeno, ya que el Instituto Nacional de Meteorología no ha finalizado su estudio sobre intensidades y períodos de retorno.

En todo caso, existe acuerdo sobre identificación de la Tempestad Ciclónica Atípica con dos fenómenos independientes, huracán y lluvia torrencial, cuyas condiciones se fijarán en el momento en que esté disponible el estudio meteorológico.

Existe una propuesta, basada en la cobertura francesa, que define así el fenómeno:

Daños producidos por la acción directa del viento o impactos de objetos derivados o proyectados por el mismo, cuando éste tenga una potencia tal que destruya, rompa o dañe un cierto número de edificios de buena construcción, árboles y otros objetos, en un radio de 5 Km. alrededor del riesgo asegurado y, en cualquier caso, cuando el viento sobrepase la velocidad de 100 Km./h.

##### 8.1.2. Exclusiones

Sin definir.

##### 8.1.3. Franquicias

Rigen los mismos criterios de franquicia, cláusula horaria y porcentaje de cobertura, que para los otros fenómenos naturales.

## 8.2. LA COBERTURA EN REINO UNIDO

### 8.2.1. Modalidad de cobertura

La cobertura de tempestad es una garantía complementaria a la Póliza de Incendios, en contraposición a las Pólizas Todo Riesgo o Multirriesgo, en las cuales se incluye expresamente.

### 8.2.2. Exclusiones

- Desbordamientos de los cauces normales de agua, tanto naturales como artificiales, incluso los del agua del mar.
- Daños producidos por cambios de nivel en las aguas.
- Daños producidos por heladas, hundimientos, movimientos o deslizamientos del terreno.
- Daños sufridos por bienes muebles situados al aire libre, vallas y puertas.

### 8.2.3. Franquicias

Existe una franquicia discrecional, aun después de la aplicación de una posible regla proporcional.

## 8.3. LA COBERTURA EN ITALIA

### 8.3.1. Modalidad de cobertura

La modalidad de cobertura en Italia para FENOMENOS ATMOSFÉRICOS en la modalidad de viento, ampara:

- Daños materiales y directos causados a los bienes asegurados por huracán, tormenta, tempestad, granizo, ciclón, cuando la violencia de estos fenómenos atmosféricos se deje sentir sobre una pluralidad de bienes, estén o no asegurados.

### 8.3.2. Exclusiones

Las exclusiones referidas al riesgo de tormenta, son:

- Árboles, arbustos, cultivos florales y agrícolas, en general.
- Cercas, vallas, grúas, canteras, chimeneas, rótulos, antenas e instalaciones externas.
- Bienes al aire libre.
- Edificios abiertos.
- Cierres, vidrieras y lucernarios.

### 8.3.3. Franquicias

Las franquicias y formas de cobertura, son iguales que las del resto de fenómenos atmosféricos.



## VIENTOS

### CAPÍTULO 9. RIESGO DE VIENTOS. PAUTAS BÁSICAS DE EVALUACIÓN Y TARIFICACIÓN

Los aspectos básicos a considerar se refieren a:

#### 9.1 ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD

- Definición precisa del fenómeno, en orden a sucesos primarios y secundarios.
- Experiencia histórica de sucesos ocurridos. Velocidades medias y máximas del viento observadas anualmente en cada región, y áreas de afectación en función de la trayectoria de los vientos.

#### 9.2 ANÁLISIS DE EXPOSICIONES Y LOCALIZACIÓN. (CATEGORÍAS DE RIESGO)

- Viviendas, actividades comerciales y plantas industriales.
- Diseño, altura y ocupación de los edificios.
- Contenidos expuestos.
- Bienes especialmente expuestos, como tanques y depósitos metálicos, grúas, invernaderos, etc.
- Concentración-dispersión de las exposiciones, en áreas de trayectorias frecuentes de viento.

### 9.3 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD.

- Establecimiento de modelos de estimación de vulnerabilidad, basados en observaciones empíricas, que relacionen las categorías de riesgo con la vulnerabilidad de las mismas, según la estimación del porcentaje promedio de exposiciones afectadas y grado o nivel de pérdida de esas exposiciones, para distintos niveles de velocidad de viento.
- Estimación de la función de pérdida promedio, por tipos de exposiciones (categorías de riesgo), en función del grado de pérdida y de la frecuencia, obtenida como porcentaje de exposiciones afectadas para una determinada trayectoria y velocidad del viento.

### 9.4 ANÁLISIS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO.

- Zonificación del territorio nacional en áreas de peligrosidad uniforme, para la aplicación de tarifas, según criterios manejados en el análisis de vulnerabilidad.
- Estimación de la pérdida máxima esperada por:
  - Zonas de evaluación de cúmulos de exposiciones, para un suceso de máxima intensidad.
  - Acumulación de diferentes zonas de evaluación de cúmulos de exposiciones, para un suceso posible de intensidad dada.

Con frecuencia, la relativa regularidad en la manifestación de los vientos, produce cierta estabilidad en las estimaciones de frecuencia de siniestralidad y niveles de pérdida promedio por evento. Sin embargo, los modelos de simulación, con representación de distintos escenarios, son precisos a efectos de contrastar la validez empírica, y limitar las incertidumbres relativas a la estimación de pérdidas máximas esperadas (por catástrofe potencial).

## 9.5 CRITERIOS DE SUSCRIPCIÓN

### Información de entrada módulo de tarificación

<b>VIENTOS</b>				
ZONA DE TARIFICACIÓN	1	2	3	4
CATEGORÍA DE RIESGO		A	B	C
TIPO DE CONSTRUCCIÓN		A	B	C
RIESGOS SECUNDARIOS	SI	NO		
FRANQUICIA (% SOBRE VALOR ASEGURADO)				



## V. APLICACIONES INFORMÁTICAS

### 1. NECESIDAD DE DISEÑAR UN PROGRAMA INFORMÁTICO

La idea de diseñar un programa informático de suscripción, surge de la necesidad de relacionar los tres sectores que alimentan el contenido del estudio (la ciencia, el seguro y el reaseguro), mediante una fórmula operativa que optimice administrativamente la cobertura. Un segundo programa informático, en estrecha relación con el de suscripción, será el de siniestros.

Una vez finalizada la fase de adaptar la información científica avalada por datos oficiales, a un patrón de división territorial, la siguiente fase trata de transformar toda esta información en un instrumento operativo para el seguro y el reaseguro. Tras las cuestiones científicas, el siguiente eslabón en la cadena de información, es el **seguro**, cuyas necesidades fundamentales en el campo de los riesgos de la naturaleza, son las de ubicar los bienes asegurados, cuantificarlos para determinar su exposición y fijar los niveles de riesgo y peligrosidad. Por último, el **reasegurador** es el último beneficiario de las aplicaciones del programa informático. Necesita conocer de forma más global, aunque precisa, la distribución geográfica de los riesgos asumidos por la aseguradora, de forma que sea capaz de realizar sus propios estudios de «máxima exposición». El proceso queda esquematizado como sigue:

#### INFORMACIÓN CIENTÍFICA DATOS TÉCNICOS

*Adaptación de la información e interpretación de los datos*

#### SEGURO

Identificación del peligro  
Vigencia de la póliza  
Sumas aseguradas  
Límites de responsabilidad  
Situación  
Interés asegurado  
Código de actividad  
Distribución de Reaseguro

*Transferencia de información de acumulaciones*

#### REASEGURO

Estudios de máxima exposición

## 2. OBJETIVOS A CUBRIR POR EL PROGRAMA INFORMÁTICO

El planteamiento de los objetivos que debe cubrir el programa informático, se ha realizado tras fijar los siguientes aspectos fundamentales:

- \* Información técnica existente para los tres peligros de la naturaleza estudiados: terremotos, inundaciones, vientos.
- \* Divisiones geográficas mínimas disponibles, para definir la «célula de información» útil.
- \* Necesidades del sector asegurador y reasegurador en el campo de los riesgos de la naturaleza.

Una vez considerada la información disponible, junto con las necesidades de cada sector, se plantearon los objetivos del programa informático, que son:

- Solucionar el problema de la localización geográfica de las sumas aseguradas del asegurador, y distribución en los contratos de reaseguro.
- Conocer, en el ámbito de la célula mínima de información, el nivel de riesgo o peligrosidad de los fenómenos estudiados, de forma que sirva de referencia en la suscripción, en el momento de conocer el entorno del riesgo.
- Desarrollar una base histórica de eventos catastróficos que contenga los datos fundamentales (fecha, localización geográfica, descripción, pérdidas económicas, etc).
- Disponer de una base de información técnica por provincias, procedente de mapas de peligrosidad por vientos, peligrosidad por terremoto con períodos de recurrencia de 100, 500 y 1.000 años, nieve, granizo, tormentas, precipitaciones máximas esperables según diferentes períodos de retorno, días de sol al año, y otros muchos datos.
- Esquematizar un sistema orientativo de suscripción y tarificación, para los tres fenómenos.

## 3. ENTRADAS DE DATOS: INPUTS

El asegurador suministra los datos de entrada en forma de capitales asegurados que se distribuyen en los contratos de reaseguro. La forma de localizarlos geográficamente es el código postal, que ha de corresponder a la ubicación exacta del objeto asegurado, en todos aquellos casos que sea posible (ver figuras. V.1, V.2, V.3).

## INUNDACION

PROVINCIA: Valencia

FECHA: 16-12-91

## NIVEL DE RIESGO Y ZONA DE CONTROL

CÓDIGO POSTAL	CÓDIGO MUNICIPAL	NOMBRE CABEZA TÉRMINO MUNICIPAL	NIVEL RIESGO	ZONA CONTROL
46178	46262	YESA (LA)	0	J
46179	46041	ARAS DE ALPUENTE	0	J
46180	46051	BENAGUACIL	0	J
46181	46067	BENISANO	0	J
46183	46116	ELIANA (LA)	0	J
46185	46202	PUEBLA DE VALLBONA	0	J
46188	46234	SOT DE CHERA	1	J
46190	46214	RIBARROJA DE TURIA	3	J
46191	46256	VILLAMARCHANTE	0	J
46192	46172	MONTSERRAT	0	J
46193	46176	MONTROY	0	J
46194	46212	REAL DE MONTROY	0	J
46195	46156	LLOMBAY	1	J
46196	46093	CATADAU	0	J
46197	46026	ALFARP	1	J
46198	46115	DOS AGUAS	1	J
46199	46099	CORTES DE PALLAS	1	J
46199	46167	MILLARES	2	J
46200	46186	PAIPORTA	0	J
46210	46193	PICAÑA	3	J
46220	46194	PICASENT	2	J
46230	46031	ALGINET	1	J
46250	46019	ALCUDIA DE CARLET	3	J
46260	46011	ALBERIQUE	3	J
46266	46040	ANTELLA	3	J
46267	46130	GABARDA	3	J
46269	46246	TOUS	3	J
46270	46257	VILLANUEVA DE CASTELLÓN	2	J
46290	46015	ALCACER	1	J
46291	46063	BENIMODO	3	J
46292	46162	MASALAVES	0	J
46293	46016	ALCÁNTARA DEL JUCAR	3	J
46293	46053	BENEGIDA	3	J
46294	46084	CARCER	3	J
46294	46100	COTES	0	J
46295	46225	SELLENT	0	J
46295	46236	SUMACÁRCEL	0	J
46300	46249	UTIEL	2	J
46310	46254	VENTA DEL MORO	1	J
46312	46050	BENGEBER	0	J
46314	46129	FUENTERROBLES	0	J
46315	46095	CAUDETE DE LAS FUENTES	0	J

Zonas de Control N=Norte  
 D=Duero T=Tajo Gn=Guadiana  
 Gq=Guadalquivir J=Júcar S=Sur  
 Sg=Segura E=Ebro B=Balear  
 P=Pirineo Oriental C=Canaria

Nivel Riesgo 0=nulo 1=bajo 2=medio 3=alto

Fig. V.1 Formato de salida de datos (nivel de riesgo y zona de control) para Inundaciones.

TERREMOTO				
PROVINCIA: Granada		FECHA: 16-12-91		
NIVEL DE RIESGO Y ZONA DE CONTROL				
CÓDIGO POSTAL	CÓDIGO MUNICIPAL	NOMBRE CABEZA TERMINO MUNICIPAL	NIVEL RIESGO	ZONA CONTROL
18184	18024	BEAS DE GRANADA	2	9
18190	18046	CENES DE LA VEGA	1	9
18191	18154	PINOS DE GENIL	1	9
18192	18069	DÚDAR	1	9
18192	18164	QUÉNTAR	1	9
18193	18026	BELICENA	2	9
18193	18131	MONACHIL	1	2
18193	18162	(PURCHIL) VEGAS DEL GENIL	1	9
18194	18019	AMBROZ	1	9
18194	18056	CULLAR VEGA	1	9
18194	18061	CHURRIANA DE LA VEGA	1	9
18195	18088	GUÁJAR ALTO	1	9
18195	18089	GUÁJAR FARGUIT	1	9
18195	18090	GUÁJAR FONDON	1	9
18197	18049	COGOLLOS DE LA VEGA	1	9
18197	18093	GÜEVÉJAR	1	9
18197	18141	NÍVAR	1	9
18197	18161	PULIANAS	1	9
18198	18036	CAJAR	1	9
18198	18099	HUÉTOR VEGA	1	9
18200	18125	MARACENA	1	2
18210	18150	PELIGROS	1	9
18220	18003	ALBOROTE	1	9
18230	18022	ATARFE	2	9
18240	18155	PINOS PUENTE	1	9
18247	18129	MOCLÍN	1	2
18260	18100	ILLORA	1	9
18270	18132	MONTEFRÍO	1	2
18270	18044	ATIENZA	1	9
18280	18012	ALGARINEJO	2	2
18290	18037	CALICASAS	2	9
18300	18120	LOJA	1	2
18310	18167	SALAR	1	9
18320	18171	SANTA FE	1	9
18327	18113	LACHAR	1	9
18329	18060	CHIMENEAS	1	9
18330	18058	CHUCHINA	1	9
18339	18047	CIJUELA	2	9
18340	18077	FUENTE VAQUEROS	1	9
18360	18098	HUÉTOR TAJAR	1	9
18369	18185	VILLANUEVA DE MESÍAS	1	9
18370	18135	MORALENA DE ZAVALLONA	1	2
18370	18136	(MOREDA) MORELABOR	1	2
18400	18144	ORGIVA	1	9

Nivel de Riesgo 1=alto 2=medio 3=bajo

Zonas de Control = 1 a 13

Fig. V.2 Formato de salida de datos (nivel de riesgo y zona de control) para Terremotos.

## V I E N T O

PROVINCIA: Guipúzcoa

FECHA: 16-12-91

## NIVEL DE RIESGO Y ZONA DE CONTROL

CÓDIGO POSTAL	CÓDIGO MUNICIPAL	NOMBRE CABEZA TÉRMINO MUNICIPAL	NIVEL RIESGO	ZONA CONTROL
20248	20012	ARAMA	1	2
20248	20037	GAÍNZA	1	2
20249	20047	ISASONDO	1	2
20250	20052	LEGORRETA	1	2
20260	20005	ALEGRÍA DE ORIA	1	2
20267	20044	IRUERRIETA	1	2
20268	20008	AMEZQUETA	1	2
20269	20001	ABALCISQUETA	1	2
20270	20010	ANUETA	1	2
20270	20046	IRURA	1	2
20280	20036	FUENTERRABÍA	1	2
20300	20045	IRÚN	1	2
20308	20039	GUETARIA	1	2
20400	20042	IBARRA	1	2
20400	20071	TOLOSA	1	2
20490	20054	LIZARZA	1	2
20490	20060	ORJA	1	2
20491	20021	BELAUNZA	1	2
20491	20050	LEAGURU	1	2
20492	20022	BERASTEGUI	1	2
20493	20023	BERROBI	1	2
20493	20031	ELDUAYE	1	2
20494	20006	ALQUIZA	1	2
20494	20041	HERNIALDE	1	2
20495	20004	ALBÍSTUR	1	2
20496	20024	BIDEGOYAN	1	2
20500	20055	MONDRAGON	1	2
20530	20068	SALINAS DE LENIZ	1	2
20540	20034	ESCCORIAZA	1	2
20550	20013	ARECHAVALETA	1	2
20560	20059	ONATE	1	2
20570	20011	ANZUOLA	1	2
20570	20074	VERGARA	1	2
20590	20065	PLACENCIA	1	2
20600	20030	EIBAR	1	2
20690	20033	ELGUETA	1	2
20700	20077	VILLARREAL DE URRECHU	1	2
20700	20080	ZUMARRAGA	1	2
20709	20035	ESQUIOGA	1	2
20720	20017	AZCOITIA	1	2
20730	20018	AZPEITIA	1	2
20737	20066	REGIL	1	2
20739	20020	BEIZAMA	1	2
20740	20027	CESTONA	1	2

Nivel de Riesgo 1=alto 2=medio 3=bajo

Zonas de Control = 1 a 14

Fig. V.3 Formato de salida de datos (nivel de riesgo y zona de control) para Vientos.

Se ha constatado que en el proceso de emisión de la póliza, no se indica el código postal adecuado, por falta de tiempo, falta de información o aplicación práctica del mismo hasta el momento. Por ejemplo, indicar con el código 28000 todos los riesgos que se sitúan en Madrid y su provincia, no llevaría más que a errores a la hora de localizarlos. Cuando un riesgo se encuentra en un núcleo de población que está parcelado en diferentes códigos postales, es más conveniente situarlo con su código postal correspondiente. Además de las capitales de provincia, las siguientes poblaciones tienen más de un único código postal:

Elche, Gijón, Mahón, Badalona, Hospitalet de Llobregat, Mataró, Sabadell, Santa Coloma de Gramanet, Tarrasa, Algeciras, Ceuta, Jerez de la Frontera, El Ferrol, Santiago de Compostela, Alcalá de Henares, Alcorcón, Getafe, Leganés, Móstoles, Melilla, Cartagena, La Laguna, Reus y Baracaldo.

Núcleos de población (exceptuando capitales de provincia) que se corresponden con más de un código postal.

El programa también permite localizar los riesgos por el nombre del término municipal donde está situado el riesgo, y por el código numérico correspondiente al término municipal (I.N.E., 1972).

El usuario del programa también tiene la posibilidad de crear una base de datos de eventos catastróficos, donde cada registro incluya la fecha, localización, descripción y pérdidas económicas producidas.

#### 4. SALIDAS DE DATOS: OUTPUTS

La salida de datos principal es la información impresa de los cúmulos por unidades geográficas. Éstas pueden ser: por provincia, por tipo de contrato de reaseguro, por zona de exposición y por zonas de control (futura zonificación aceptada por el C.R.E.S.T.A), (ver figura V.4).

#### 5. INFORMACIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA

El programa cuenta con una base de datos técnicos, cuya unidad básica de información es la provincia. Cubre aspectos relacionados con los terremotos, vientos, precipitaciones y otros fenómenos atmosféricos. El formato que tiene la pantalla de entrada de datos, aparece en la figura V.5.

# Control de Cúmulos de (terremoto, viento, inundación)

Compañía:  
 Fecha:  
 Ramo:  
 Contrato:  
 Moneda:

ZONAS	EDIFICIOS		CONTENIDOS		PERDIDA DE BENEFICIOS		TOTAL	
	primas	sumas aseguradas	primas	sumas aseguradas	primas	sumas aseguradas	primas	sumas aseguradas
ZONA 1								
ZONA 2								
ZONA 3								
ZONA 4								
ZONA 5								
ZONA 6								
ZONA 7								
ZONA 8								
ZONA 9								
ZONA 10								
ZONA 11								
<b>TOTAL</b>								

Fig. V.4 Formato de salida de datos para control de cúmulos.

# PROGRAMA INFORMATICO DE CONTROL DE RIESGOS DE LA NATURALEZA (España)

## DATOS TECNICOS

### PROVINCIA/CODIGO

#### VIENTO HURACANADO

- \* Nombre de la estación climatológica más cercana: (nombre completo de estación)
- \* Media (Km/h) de las velocidades máximas del mes de Enero/Máxima -----/-----
- \* Media (Km/h) de las velocidades máximas del mes de Febrero/Máxima -----/-----
- \* Media (Km/h) de las velocidades máximas del mes de Marzo/Máxima -----/-----
- \* Media (Km/h) de las velocidades máximas del mes de Abril/Máxima -----/-----
- \* Media (Km/h) de las velocidades máximas del mes de Mayo/Máxima -----/-----
- \* Media (Km/h) de las velocidades máximas del mes de Junio/Máxima -----/-----
- \* Media (Km/h) de las velocidades máximas del mes de Julio/Máxima -----/-----
- \* Media (Km/h) de las velocidades máximas del mes de Agosto/Máxima -----/-----
- \* Media (Km/h) de las velocidades máximas del mes de Septiembre/Máxima -----/-----
- \* Media (Km/h) de las velocidades máximas del mes de Octubre/Máxima -----/-----
- \* Media (Km/h) de las velocidades máximas del mes de Noviembre/Máxima -----/-----
- \* Media (Km/h) de las velocidades máximas del mes de Diciembre/Máxima -----/-----
- \* Altura topográfica aproximada (mts) -----/-----
- \* Velocidad (Km/h) de la racha máxima registrada -----/-----

#### OTROS FENOMENOS METEOROLOGICOS

- \* Número medio anual de días de nieve -----/-----
- \* Número medio anual de días de granizo -----/-----
- \* Número medio anual de días cubiertos -----/-----
- \* Número medio anual de días de sol -----/-----
- \* Número medio anual de días de niebla -----/-----
- \* Número medio anual de días de helada -----/-----
- \* Número medio anual de horas de sol -----/-----
- \* Número medio anual de días de tormenta -----/-----

#### TERREMOTOS

- \* Tipo de subsuelo (leyenda simplificada)
- \* Intensidad esperada para los próximos 100 años -----/-----
- \* Intensidad esperada para los próximos 500 años -----/-----
- \* Intensidad esperada para los próximos 1.000 años -----/-----

#### INUNDACIONES

- \* Media de las precipitaciones anuales (mm) -----/-----
- \* Precipitación máxima registrada (mm)/período de tiempo (horas) -----/-----
- \* Precipitación máxima esperable (mm) en 6 horas con período de retorno de 10 años -----/-----
- \* Precipitación máxima esperable (mm) en 1 hora con período de retorno de 10 años -----/-----
- \* Precipitación máxima esperable (mm) en 12 horas con período de retorno de 10 años -----/-----
- \* Precipitación máxima esperable (mm) en 24 horas con período de retorno de 10 años -----/-----
- \* Precipitación máxima esperable (mm) en 24 horas con período de retorno de 50 años -----/-----
- \* Precipitación máxima esperable (mm) en 24 horas con período de retorno de 100 años -----/-----

**Fig. V.5 Entrada de datos técnicos a nivel de provincia.**

La fuente de información que suministra los datos de la hoja anterior, son mapas y datos procedentes del Instituto Nacional de Meteorología e Instituto Geográfico Nacional. Los datos que figuran corresponden a las capitales de provincia. Dado que es en los núcleos de población donde se concentran las viviendas, personas y actividades humanas, se considera que los datos de la capital de provincia son los más interesantes y se pueden extrapolar a toda la provincia, para esta primera fase del programa. Es posible que existan lugares de mayor peligrosidad en una provincia que en su capital. Será un capítulo a completar.

## 6. **CRITERIOS DE SUSCRIPCIÓN**

La información de entrada que constituye el módulo de tarificación, es la siguiente:

### **TERREMOTO**

- \* Zona de tarificación (1,2,3,4)
- \* Categoría de riesgo (A,B,C)
- \* Tipo de construcción (A,B,C)
- \* Altura de edificación (hasta , más de )
- \* Estándar construcción Norma Sismorresistente (sí, no)
- \* Riesgos secundarios (sí, no)
- \* Franquicia (%sobre valor asegurado)

### **INUNDACION**

- \* Zona de tarificación (1,2,3,4)
- \* Categoría de riesgo (A,B,C)
- \* Tipo de construcción (A,B,C)
- \* Altura sobre el cauce más próximo (más menos)
- \* Distancia al cauce más próximo ( )
- \* Riesgos secundarios (sí, no)
- \* Franquicia (%sobre valor asegurado)

### VIENTOS

- \* Zona de tarificación (1,2,3,4)
- \* Categoría de riesgo (A,B,C)
- \* Tipo de construcción (A,B,C)
- \* Riesgos secundarios (sí, no)
- \* Franquicia (%sobre valor asegurado)

## 7. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA INFORMATICO: ORGANIGRAMA

De manera esquemática, el funcionamiento del programa se puede ver en forma de los módulos ya descritos (figura V.6).

## ESQUEMA DEL PROGRAMA INFORMÁTICO

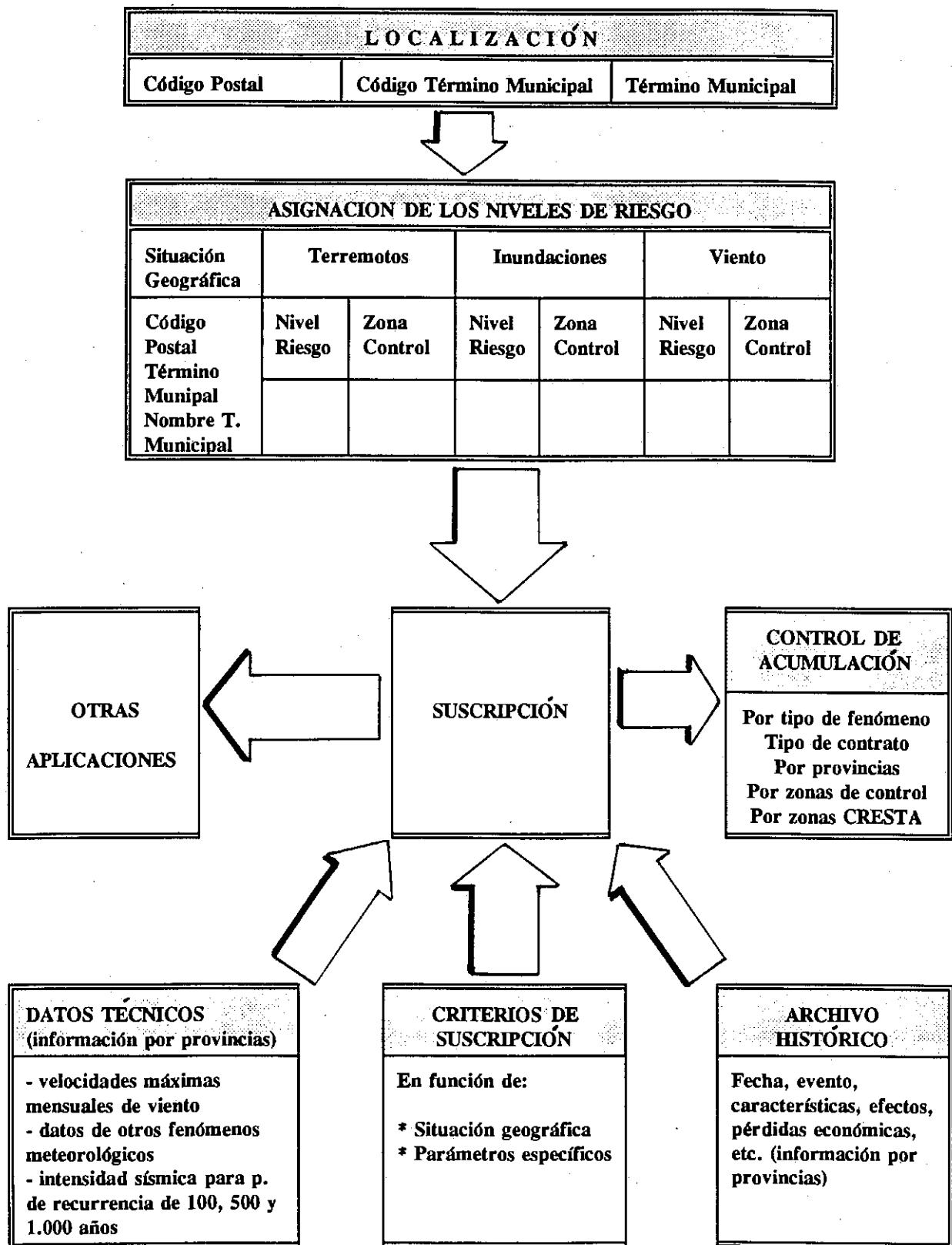


Fig. V.6 Organigrama del programa informático.



## VI. GLOSARIO

Las siguientes definiciones corresponden a términos representativos del estudio de los terremotos, los vientos y las inundaciones que, o figuran en el texto o están íntimamente relacionados con los tres temas fundamentales.

Se han tomado de las siguientes fuentes:

ASCASO, A., CASALS, M., *Vocabulario de Términos Meteorológicos y Ciencias Afines*, Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, 1986.

BOLT, B., *Terremotos*, Ed. Orbis, Barcelona, 1985.

HAYS, W., «Glosario de términos para análisis probabilísticos de los riesgos y peligros sísmicos» en «Aspectos fundamentales de la geología y la sismología para la microzonación sísmica». *Física de la Tierra. Movimientos fuertes del suelo y riesgo de terremotos*, A. Udías y D. Muñoz coordinadores, Depto. de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica, U.C. M, Cap. 9, Madrid 1989. pgs 246 - 250.

U.N.D.R.O., *Natural disasters and vulnerability analysis*, Ginebra, 1979.

WHITTEN D.G.A., BROOKS J.R.V., *Dictionary of Geology*, Penguin Books, Ed. Harmondsworth, Inglaterra, 1972.



## GLOSSARIO

**abanico aluvial.** Llano de la desembocadura de un río, donde se separan sus aguas en diversos brazos, entre los que se forman depósitos aluviales. El delta es un caso particular y extremo.

**acelerómetro.** Sismómetro para medir aceleraciones del suelo en función del tiempo.

**acuífero.** Formación porosa (capa o estrato), de roca permeable, arena o gravilla, capaz de almacenar o transmitir cantidades apreciables de agua.

**advención.** Del latín *ad* (hacia), *vehere* (llevar). Proceso de transporte de las propiedades de una masa de aire, por el campo de velocidades de la atmósfera.

**aforo.** Medida del caudal o volumen de agua que pasa por una sección transversal determinada, en unidad de tiempo. Es función de la sección y de la velocidad media.

**agua.** Fase líquida de un compuesto químico formado, aproximadamente, por dos partes de hidrógeno y diecisésis de oxígeno, en peso. La naturaleza contiene pequeñas cantidades de agua pesada, gases y sólidos (principalmente sales) en disolución. Su punto de fusión es 0°C y el de ebullición 100°C. Su densidad, a 0°C, es de 0,9999 gr/cm<sup>3</sup> a 0,9584 gr/cm<sup>3</sup>.

**aguacero.** Lo mismo que chubasco de lluvia. Lluvia repentina, abundante, impetuosa y de poca duración.

**alisios.** Vientos persistentes, principalmente de la atmósfera inferior, que soplan sobre amplias zonas, desde un anticiclón subtropical hacia las regiones ecuatoriales. Las direcciones predominantes de los alisios son del nordeste en el hemisferio Norte y del sudeste en el hemisferio Sur.

**aluvión.** Arcilla, lodos, arena, grava, guijarros u otro material de detritus, depositados por el agua.

**amplitud (de una onda).** Altura máxima de la cresta o del valle de una onda.

**anemocinemógrafo.** Es un aparato inscriptor múltiple que consta de un anemómetro neumático inscriptor, una veleta registradora y un anemómetro registrador de recorrido.

**anemómetro.** Instrumento para medir la velocidad del viento o para la observación simultánea de la dirección y de la velocidad del viento.

**ángulo del viento y las isobaras.** Ángulo que forman el viento real y el viento del gradiente tangente a las isobaras; este ángulo está ligado al rozamiento del aire sobre la superficie terrestre. Disminuye cuando aumenta la altura. Está orientado de tal manera, que los vientos convergen hacia los centros de baja presión y divergen a partir de los centros de altas presiones.

**anomalía.** En meteorología, este término significa, generalmente, la desviación de un elemento de su valor medio, en un largo período, para el lugar correspondiente. La distribución espacial de tales anomalías para un tiempo especificado, puede mostrarse como un patrón de anomalías.

**anticiclón.** Región de la atmósfera en donde la presión es más elevada que la de sus alrededores, para el mismo nivel. Sobre un mapa sinóptico, se observa a cada nivel. Sobre un sistema de isobaras - y para cada presión un sistema de isohipsas - que encierra los valores relativamente elevados de presión o de nivel, se llama también alta presión o, simplemente, alta.

**astenosfera.** La capa por debajo de la litosfera, caracterizada por velocidades sísmicas bajas y gran atenuación de las ondas. Es una capa «blanda», probablemente en estado de fusión parcial.

**avenida.** Lo mismo que crecida.

**baguio.** Derivado del nombre de la ciudad de Baguio, es la denominación que recibe en Filipinas un ciclón tropical.

**barra.** Banco de sedimentos, por ejemplo, arena o gravilla, depositado en el lecho del río o en su desembocadura, que obstruye el flujo o navegación.

**blizzard.** Viento violento y muy frío, cargado de nieve, una de cuyas partes, al menos, ha sido levantada de un suelo nevado. Este término es originario de América del Norte, pero se ha extendido a vientos semejantes de otras regiones.

**borrasca.** 1) Tempestad, tormenta de mar. 2) Temporal fuerte o tempestad que se levanta en tierra. 3) Lo mismo que depresión atmosférica.

**brisa.** 1) En general, un viento ligero. 2) En la escala Beaufort, un viento cuya velocidad está comprendida entre 4 y 27 nudos. 3) Palabra española aplicada a los vientos nororientales que soplan desde el mar.

**brisa de mar.** Viento de las regiones costeras que sopla durante el día, desde una gran superficie de agua (mar o lago) hacia tierra, a consecuencia del recalentamiento diurno del suelo. Se llama también brisa diurna.

**brisa de montaña.** Viento catabático que sopla por la noche y a primeras horas después del orto solar, a lo largo de las pendientes, desde las montañas hacia los valles o llanuras.

**brisa de tierra.** Viento de las regiones costeras que sopla por la noche, desde los campos hacia una gran superficie de agua, a consecuencia del enfriamiento nocturno del suelo.

**brisa del valle.** Viento anabático que sopla por el día a lo largo de las pendientes, desde los valles hacia las montañas.

**caída de esfuerzos.** La reducción súbita de esfuerzos a través de un plano de falla, durante la ruptura.

**canal de derivación.** Canal destinado a transportar el exceso de agua procedente de las crecidas (excepto con respecto al caudal que puede llevar la corriente en condiciones de seguridad). A veces se denomina canal de desagüe o canal de *by - pass*.

**captura.** En hidrología, modificación de la parte superior de un curso de agua, por captación de la cabecera de otro curso.

**carga de diseño sísmico.** La representación (historia cronológica, espectro de respuestas o desplazamiento de la base estática equivalente) de un movimiento sísmico del terreno, que se utilizará para el diseño de una estructura.

**caudal de punta.** Valor máximo del caudal para un período determinado. Se llama también caudal máximo instantáneo.

**célula de Hadley.** Circulación meridiana propuesta inicialmente por G. Hadley en 1735, para explicar los alisios. La circulación en cada hemisferio consiste en un movimiento de aire hacia el ecuador en los niveles inferiores, desde unos 30° de latitud hasta el ecuador, un movimiento ascendente de aire cerca del ecuador, una corriente hacia el polo en altitud, desde el ecuador hasta 30°C, y un movimiento descendente sobre la zona de latitud 30°C.

**ciclogénesis.** Proceso de aparición o de intensificación de una corriente ciclónica.

**ciclogénesis local.** Formación de un ciclón a consecuencia de la influencia directa del régimen térmico de la superficie del suelo, sobre la masa de aire.

**ciclólisis.** Proceso de debilitamiento o cese de una circulación ciclónica.

**ciclón.** 1) Lo mismo que ciclón tropical. 2) Lo mismo que depresión barométrica. 3) Lo mismo que huracán.

**ciclón extratropical.** Cualquier baja de extensión reducida a escala sinóptica, que no sea un ciclón tropical. Esta denominación se asigna, generalmente, a los ciclones frontales migratorios de latitudes medias y altas.

**ciclón frontal.** En general, cualquier ciclón asociado a un frente. A menudo, se usa como sinónimo de onda ciclónica o de ciclón extratropical (en contraste con los ciclones tropicales, que no son frontales).

**ciclón tropical.** Ciclón de origen tropical de pequeño diámetro (algunas centenas de kilómetros) con presiones mínimas a veces inferiores a los 900 mb en la superficie, con vientos muy violentos, lluvias torrenciales, a veces acompañadas de tormentas. Generalmente, presenta una zona frontal denominada «ojo» de ciclón, de un diámetro de alrededor de algunas decenas de kilómetros, en donde el viento es débil y el cielo está prácticamente despejado. Se llama también, simplemente ciclón.

**cinturón de calmas.** Un cinturón latitudinal en el que, generalmente, los vientos son suaves y variables. El principal cinturón es el de las latitudes de los caballos y las calmas ecuatoriales.

**circulación general.** Conjunto de configuraciones de circulación atmosférica que se extiende sobre todo el globo terrestre. A menudo, este término se refiere a las configuraciones de la circulación media relativa a un intervalo de tiempo determinado.

**convección.** Movimientos internos organizados en una capa de aire que producen transferencias verticales de calor, cantidad de movimiento, etc.

**cordónazo.** Un ciclón tropical (huracán) violento, pero de corta vida, próximo a la costa occidental de América Central y México que se mueve hacia el noroeste, al sur del paralelo 28° N, aproximadamente.

**cordónazo de san Francisco.** Entre los marineros españoles, temporal o borrasca que suele experimentarse hacia el equinoccio de otoño, alrededor del 4 de octubre, festividad de san Francisco.

**corrosión eólica.** La acción abrasiva de los materiales arrastrados por el viento, especialmente arena, polvo y cristales de hielo; una forma de meteorización.

**corteza (de la Tierra).** La parte rocosa más externa de la Tierra.

**crecida.** Aumento de agua en los ríos y arroyos por la abundancia de lluvias, fusión de nieves o ambas simultáneamente. Las crecidas pueden o no producir desbordamientos e inundaciones. Las crecidas pueden medirse y compararse bien por el caudal o por la altura sobre la escala. Se llama también avenida, riada, ejarbe, creciente.

**crecida anual.** 1) Punta máxima de caudal instantáneo en un año hidrológico. 2) Crecida igualada o superada una vez cada año como media. Se llama también avenida anual.

**crecida máxima posible.** Máxima crecida que cabe esperar, suponiendo una coincidencia total de todos los factores que producirían la precipitación máxima y la escorrentía máxima.

**crecida máxima probable.** Máxima crecida que cabe esperar, teniendo en cuenta todos los factores condicionantes: geográficos, meteorológicos, hidrológicos y geológicos.

**cuenca endorreica.** Zonas en las que el flujo de superficie se acumula en embalses o lagos no conectados, por cauces superficiales, con otras corrientes de la cuenca. Se llama también vertiente cerrada.

**cuenca vertiente.** Extensión de superficie que tiene una salida única para su escorrentía superficial. Se llama también cuenca de drenaje y cuenca receptora.

**curso de agua.** 1) Cauce natural o artificial a través del cual fluye el agua en forma continua o intermitente (por ejemplo, estacionalmente). 2) Corriente natural sin dependencia directa de las aguas superficiales contiguas, que fluye a lo largo de un lecho, entre orillas generalmente visibles o a través de una depresión en terrenos circundantes, que tienen una alimentación definida y permanente o periódica, y una corriente perceptible en una dirección determinada y que desemboca, en un punto fijo, en una masa de agua en reposo o en movimiento (lago, curso principal, mar) o que desaparece bajo tierra.

**chinook.** Es el nombre del *foehn* que se produce en la vertiente oriental de las Montañas Rocosas. Suele tener dirección suroeste, pero puede tener variaciones de dirección a causa de la orografía.

**chubasco de viento.** Golpe repentino de viento, cambiante en dirección y fuerza. Es término esencialmente marino.

**detección de huracanes.** Determinación de la posición de un ciclón tropical (huracán) en sucesivos instantes, por medio del radar o por cualquier otro medio, con el fin de poder trazar sobre un mapa su trayectoria y deducir sus posiciones futuras probables.

**detección de temporales por radar.** Detección y análisis, por medio de un radar, de los fenómenos meteorológicos que proporcionan un eco radioeléctrico (regiones de precipitación de chubascos).

**discontinuidad sísmica.** Superficie o capa delgada de la Tierra, a través de la cual la velocidad de las ondas P o S cambia rápidamente.

**dispersión (de ondas).** La expansión de un tren de ondas, debido a que cada longitud de onda viaja con su propia velocidad.

**dromocrónica (curva de tiempo de recorrido).** Gráfico del tiempo de recorrido y la distancia para llegada de ondas sísmicas de eventos distantes. Cada tipo de onda sísmica tiene su propia curva.

**duración (del temblor fuerte).** La duración (limitada) es el intervalo de tiempo entre el primer pico y el último de los picos del movimiento del suelo, por encima de una amplitud específica.

**elementos sujetos a riesgo.** Entendiendo como tales la población, edificios y obras de ingeniería civil, actividades económicas, servicios públicos, empresas públicas e infraestructuras, etc, consideradas como riesgo en un área dada. (U.N.D.R.O. 1979).

**enjambres (de terremotos).** Series de terremotos en el mismo lugar, ninguno de ellos de tamaño mucho mayor que los restantes.

**eólico.** Perteneciente a la acción o al efecto del viento. Deriva del nombre del dios griego de los vientos, Eolo, cuya arpa se creyó que producía los susurros de las suaves brisas, y cuya trompeta de concha se consideró como la fuente de los rugidos de la tempestad.

**epicentro.** El punto de la superficie de la Tierra directamente encima del foco (o hipocentro) de un terremoto.

**erosión eólica.** Erosión de las superficies terrestres por los polvos y arenas arrastradas por el viento.

**escala de Beaufort.** Escala de la fuerza del viento, basada en el estado de la mar, expresado por un número que varía de 0 a 12. Los distintos grados son: calma, ventolina, brisa muy débil, brisa débil, brisa moderada, brisa fresca, brisa fuerte, viento fuerte, duro, temporal, borrasca y huracán.

**escala de la fuerza del viento.** Escala numérica de velocidad del viento, en la cual los números crecen con la velocidad que representan.

**escarpe (de falla).** Acantilado o pendiente muy fuerte formada por desplazamiento de la superficie del suelo.

**escorrentía.** Corrientes de agua hacia los ríos por la superficie del suelo o en el suelo (escorrentía subterránea).

**escorrentía de una tormenta.** Parte de la escorrentía total procedente de la lluvia producida por una tormenta, que llega al punto de medida dentro de un plazo relativamente corto de tiempo, después de producirse la lluvia. Excluye esencialmente el flujo básico. Se llama también escorrentía directa.

**esfuerzo (elástico).** Medida de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, en unidades de fuerza por unidad de área.

**espectro de diseño.** Una serie de curvas para fines de diseño, que proporcionan la velocidad, aceleración o desplazamiento (de ordinario, la aceleración absoluta, la velocidad relativa o el desplazamiento relativo de una masa en vibración) en función del período de vibración y amortiguamiento.

**evento sísmico.** La liberación abrupta de energía en la litosfera terrestre, que ocasiona un terremoto.

**exposición.** La pérdida económica posible para todas las estructuras o algunas de ellas, como resultado de uno o más eventos catastróficos. Este término se refiere, de ordinario, al valor asegurado de las estructuras que mantiene uno o más aseguradores.

**falla.** Una fractura o zona de fractura en rocas, a lo largo de la cual los dos lados se han desplazado, el uno con relación al otro, paralelamente a la fractura. El desplazamiento total puede variar desde centímetros a kilómetros.

**falla activa.** Una falla que, tomando como base la evidencia histórica, sismológica o geológica, tiene una elevada probabilidad de producir un terremoto.

**flujo del gradiente.** Flujo horizontal sin rozamiento en el que coinciden las isobaras y las líneas de corriente o, de otra forma, en el que la aceleración tangencial es cero en todas las partes. El equilibrio de las fuerzas normales (fuerzas de presión, de Coriolis o centrífuga) está así dado por la ecuación del gradiente del viento. Casos especiales importantes del gradiente del flujo en los cuales dos de las normales fuerzas de viscosidad sean una parte significativa del campo total de fuerzas del fluido

**flujo.** Movimiento de agua, del aire y, en general de un fluido.

**foco (hipocentro).** Lugar donde empieza la ruptura.

**foehn.** Viento calentado y desecado por un movimiento descendente, en general, hacia abajo de una montaña. Su nombre procede de los Alpes, en donde se llama *foehn* del sur sobre las pendientes septentrionales. En las Montañas Rocosas, recibe el nombre de «chinook»; en la Argentina, «zonda»; en los Andes, «puelche»; en Yugoslavia, «ljuka»; «halny wiatr», en Polonia; «austru», en Rumanía, «favogn», en Suiza. En el Macizo Central francés, a un *foehn* que desciende del NE se le llama «aspre». En Mallorca, un viento seco del NO se llama «escoba del cielo».

**frecuencia de crecidas.** 1) Número de veces, por término medio, que se produce una crecida de caudal o nivel, dado a lo largo de cierto número de años. 2) Véase probabilidad de

crecidas y también período de retorno.

**frente.** 1) Superficie de separación de dos masas de aire (superficie frontal). 2) Línea de intersección de la superficie de separación de dos masas de aire con otra superficie o con el suelo. 3) Zona interfacial aire - agua en movimiento, generalmente en un medio poroso.

**frente activo.** Un frente o porción de él, que produce apreciable nubosidad y generalmente precipitación.

**frente cálido.** Frente no ocluido que se mueve de manera tal, que la masa de aire cálido sucede a la masa del aire frío.

**frente frío.** Frente no ocluido que se mueve de manera tal, que la masa de aire frío sucede a la masa de aire cálido.

**frente mediterráneo.** Frente que se forma en invierno en una zona de baja presión que cubre el Mediterráneo, entre el aire frío de Europa central y el aire cálido sahariano, y sobre el que se producen ondulaciones.

**frescachón.** 1) Lo mismo que viento fuerte. 2) En términos marinos, el viento muy recio, que impide llevar orientadas las velas menudas. Se llama también viento frescachón.

**frontogénesis.** Proceso de formación o intensificación de un frente o de una zona frontal, por ejemplo por influencias físicas (radiación) o cinemáticas (campo de movimiento de aire).

**galerna.** Ráfaga súbita y borrascosa que, en la costa septentrional de España, suele soplar entre el oeste y el noroeste. Procede del NO y es el viento frío, húmedo y chubasco que afecta también a las costas atlánticas de Francia.

**geodímetro.** Instrumento para medir la distancia entre dos puntos en la superficie de la Tierra.

**harmatan.** Viento seco del NE o del E acompañado de polvo, que sopla en África occidental, especialmente de finales de noviembre a mediados de marzo. Se origina en el sahara como un viento del desierto y se extiende hacia el sur hasta 5° N en enero y 18° N en julio, aproximadamente.

**huracán.** 1) Término derivado de una palabra del Caribe, aplicada primitivamente a los ciclones tropicales del mar de las Antillas. 2) Nombre dado por extensión, a todo ciclón tropical en donde el viento alcanza una gran violencia. 3) Nombre dado, por acuerdo, a todo viento de fuerza 12 de la escala Beaufort. 4) Cualquier viento de fuerza extraordinaria. Se llama también ciclón.

**huracanado.** Que tiene la fuerza o los caracteres propios del huracán.

**intensidad.** Una medida cualitativa o cuantitativa de la gravedad de un movimiento sísmico de tierra, en un emplazamiento específico (por ejemplo, intensidad Mercalli Modificada, intensidad Rossi-Forel, intensidad Espectral Housner, intensidad Arias, aceleración máxima, etc.).

**intensidad (de terremotos).** Una medida de temblor del suelo, obtenida del daño causado a estructuras edificadas por el hombre, cambios en la superficie de la Tierra e informes de campo.

**intervalo medio de incidencia, intervalo de incidencia promedio.** El tiempo promedio entre terremotos o eventos de falla con características específicas (por ejemplo, una magnitud de 6), en una región específica o en una zona de falla específica.

**isobara.** Línea, lugar geométrico de los puntos de la misma presión sobre una superficie dada (superficie de nivel, corte vertical, etc.). Se llama también línea isobárica.

**isosista.** Línea de entorno dibujada para separar un nivel de intensidad sísmica de otro.

**isotaca.** Línea que pasa a través de puntos que tienen el mismo valor de velocidad del viento.

**isoterma.** Línea o lugar geométrico de los puntos de un mismo valor de la temperatura del aire.

**isoyeta.** Línea que une, sobre un mapa, los puntos en los que la cantidad de precipitación recogida en el transcurso de un período dado, es la misma.

**lecho del río.** Parte inferior de un valle fluvial conformada por el flujo de agua, y a lo largo de la cual se mueven la mayor parte de los sedimentos y los caudales.

**levante.** 1) Oriente. 2) Término español ampliamente extendido para el viento del E o del NE que se produce en la costa y hacia el interior, desde el SE de Francia hasta el Estrecho de Gibraltar. Es moderado, fresco (no tan fuerte como el grepal), suave, muy húmedo y lluvioso y se produce con una depresión sobre el anticiclón ibérico. Es más frecuente desde febrero a mayo y de octubre a diciembre.

**ley de atenuación.** Una descripción del comportamiento de una característica del movimiento del suelo de un terremoto, en función de la distancia de la fuente de energía.

**licuefacción (del suelo).** Proceso en el que la tierra y la arena se comportan como un fluido denso, más que como un sólido húmedo, durante un terremoto.

**litosfera.** La parte externa, rígida de la Tierra, por encima de la astenosfera. Contiene la corteza, los continentes y las placas.

**longitud de onda.** Distancia entre dos crestas o dos valles de onda sucesivos.

**lluvia de sangre.** Lluvia formada por gotas de agua y limos rojizos, generalmente de origen desértico, elevados por las corrientes ascendentes y mezclados en las nubes con el vapor de agua, sirviendo, o no, de núcleos de condensación de las gotas de agua.

**magnitud (de terremotos).** Medida del tamaño de un terremoto, determinado, tomando el logaritmo (en base 10) del mayor movimiento del suelo registrado durante la llegada de un tipo de onda sísmica, y aplicando la corrección estándar por la distancia del epicentro. Tres tipos comunes de magnitud son: Richter (o local) ( $M_L$ ), onda de volumen P ( $m_b$ ) y onda superficial ( $M_s$ ).

**malecón.** Muro, habitualmente construido de hormigón armado, para limitar el paso de la corriente de agua en determinada zona, a lo largo de su curso, como protección contra las inundaciones.

**manga.** 1) Dispositivo que indica la dirección del viento sobre terrenos de la aviación, y está constituido por un tronco de cono de tela, cuya base tiene un anillo metálico que gira alrededor de un mástil de eje vertical. 2) En la mar, columna de agua que se eleva desde su superficie con movimiento giratorio, por efecto de un torbellino atmosférico. Se llama también manguera.

**manga de viento.** Remolino de viento; en este sentido, lo mismo que torbellino.

**máximo creíble, esperable, previsto, probable.** Estos términos se utilizan para especificar el valor máximo de una variable, por ejemplo, la magnitud de un terremoto, que pudiera esperarse razonablemente que ocurra. En opinión del Comité, son términos equívocos y no se recomienda su uso. (El U.S. Geological Survey y otros autores definen el terremoto máximo creíble como «el terremoto mayor que puede esperarse razonablemente que ocurra». La Oficina de Reclamación, el Primer Grupo de Trabajo Interministerial (setiembre de 1978), definió el terremoto máximo creíble como «el terremoto que ocasionaría el movimiento de tierra vibratorio más agudo, capaz de ser producido en el emplazamiento dentro del actual marco tectónico conocido». El U.S.G.S. define el terremoto máximo esperable o previsto como «el mayor terremoto que puede esperarse razonablemente que ocurra». El terremoto máximo probable es definido a veces, como el peor terremoto histórico. Como alternativa, se define como el terremoto que se produce periódicamente cada cien años o un terremoto que según la determinación probabilística de incidencia, ocurrirá durante la vida de la estructura.

**máximo posible.** El valor máximo posible para una variable. Sigue a una hipótesis explícita en la que no son posibles valores más grandes, o implícitamente, a hipótesis en las que el sentido de variables o funciones están limitadas en su alcance. El valor máximo posible puede expresarse determinista o probabilísticamente.

**microsismo.** Ondas sísmicas débiles y prácticamente continuas, o «ruido» de la Tierra que sólo puede ser detectado por sismógrafos. A menudo, está causado por olas del mar, viento o actividades humanas.

**microzona sísmica.** Una zona generalmente pequeña, dentro de la que los requisitos de diseño sísmico para las estructuras son uniformes. Las microzonas sísmicas pueden presentar la amplificación relativa del movimiento del terreno, debido a condiciones locales del suelo, sin especificar los niveles absolutos de movimiento o peligro sísmico.

**microzonación sísmica, microzonificación sísmica.** Es el proceso de determinar la peligrosidad sísmica absoluta o relativa, en muchos emplazamientos, tomando en cuenta los efectos de la amplificación geológica o topográfica del movimiento y de las microzonas sísmicas. Como alternativa, la microzonación es un proceso para identificar características geológicas, sismológicas, hidrológicas y geotécnicas detalladas del emplazamiento en una región específica, e incorporarlas en la planificación del uso de la tierra y el diseño de estructuras seguras, a fin de reducir el daño a la vida humana y la propiedad como resultado de los terremotos.

**momento (de terremoto).** Rígidez de la roca multiplicada por el área de la falla y por la cuantía de deslizamiento. Es una medida del tamaño de un terremoto.

**movimiento fuerte del suelo.** Temblor del suelo cerca de la fuente de un terremoto formado por ondas sísmicas de diferentes tipos y de gran amplitud.

**ojo de la tempestad.** En meteorología, es un área generalmente circular, que se encuentra en el centro de los violentos ciclones tropicales, caracterizada por vientos comparativamente débiles y tiempo en calma. La fuerza del viento es normalmente, de unos diez nudos o menos; no se producen precipitaciones y algunas veces se ve el cielo totalmente despejado. El diámetro del ojo varía desde unos ocho kilómetros a más de ochenta, siendo un promedio normal de entre veinte y cincuenta. Observaciones recientes indican que el ojo no permanece estacionario, sino que experimenta continuas modificaciones en su forma y tamaño.

**ola de calor.** Calentamiento importante del aire o invasión de aire muy cálido, que se extiende sobre un amplio territorio.

**ola de frío.** Fuerte enfriamiento del aire o invasión de aire muy frío, que se extiende sobre un amplio territorio.

**ondas Love.** Ondas sísmicas superficiales con un único movimiento horizontal de cizalla, normal a la dirección de propagación.

**ondas P.** La primera onda o la más rápida, que viaja desde el lugar del evento sísmico a través de las rocas, y consiste en un tren de compresiones y dilataciones del material.

**ondas Rayleigh.** Ondas sísmicas superficiales con movimiento del suelo sólo en el plano vertical, conteniendo la dirección de propagación de la onda.

**ondas S.** Ondas sísmicas secundarias, que viajan más lentamente que las ondas P y consisten en vibraciones elásticas transversales a la dirección de recorrido. No pueden propagarse en líquidos.

**onda sísmica.** Onda elástica en la Tierra, normalmente generada por un terremoto o una explosión.

**ondas superficiales (de terremotos).** Ondas sísmicas que sólo siguen la superficie de la Tierra, con una velocidad menor que la de las ondas S. Hay dos tipos de ondas superficiales, ondas Rayleigh y ondas Love.

**orografía.** 1) La naturaleza de una región con respecto a sus terrenos elevados. 2) La rama de la geomorfología que trata de la disposición y carácter de las colinas y montañas.

**peligro natural.** La probabilidad que ocurra, en un período de tiempo especificado y en una zona determinada, un fenómeno natural potencialmente perjudicial (U.N.D.R.O., 1979).

**período de retorno.** Intervalo medio de tiempo o número de años, al cabo de los cuales se igualará o superará un suceso; por ejemplo, el caudal de punta. Se llama también intervalo de recurrencia.

**período de retorno medio.** El tiempo promedio entre incidencias de movimientos de tierra con características específicas (por ejemplo, aceleración horizontal máxima = 0,1 g) en un emplazamiento. (Igual a la inversa de la probabilidad anual de superación).

**período de una onda.** Intervalo de tiempo entre dos crestas sucesivas en un tren de ondas sinusoidales. El período es el inverso de la frecuencia en un evento cíclico.

**placa tectónica.** Parte de la litosfera de la Tierra, grande y relativamente rígida, que se mueve en relación con otras partes de la litosfera, sobre zonas más profundas del interior de la Tierra. Las placas chocan en zonas de convergencia y se separan en zonas de divergencia.

**plano de falla.** Es el plano más coincidente con la ruptura en superficie de una falla.

**pluviómetro.** Instrumento para medir las alturas de agua de las precipitaciones, supuestas, uniformemente repartidas sobre una superficie horizontal estancada y no sujeta a evaporación. Lo inventó Castelli en 1641.

**precipitación.** Hidrometeoro constituido por un conjunto de partículas acuosas, líquidas o sólidas, cristalizadas o amorfas, que caen de una nube o de un conjunto de nubes y que alcanzan el suelo.

**precipitación máxima probable.** Cantidad de precipitación que constituye el límite superior físico para una duración determinada, sobre una cuenca particular. Se suele designar por sus siglas P.M.P.

**precipitación media anual.** Es la media aritmética de las alturas de precipitación anuales de una serie lo más larga posible, al menos de treinta años. Se llama también módulo pluviométrico anual.

**precipitación media mensual.** Es la media aritmética de las precipitaciones mensuales de una larga serie. Se llama también módulo pluviométrico mensual.

**premonitorios.** Terremotos pequeños que preceden al mayor de una serie concentrada, en un volumen de corteza restringido.

**presión atmosférica.** Presión (fuerza sobre unidad de superficie) ejercida por la atmósfera en virtud de su peso, sobre una superficie dada; es numéricamente igual al peso de una columna vertical de aire, por encima de la sección de base unidad, que se extiende hasta el límite superior de la atmósfera.

**presión del viento.** Presión total ejercida por el viento sobre una superficie plana, comprende el excedente de presión ejercido por el viento por la cara expuesta al mismo, y el déficit de presión sobre la cara abrigada. Viene expresada por la expresión  $P = KV^2$ , en donde P es la presión ejercida por el viento, V su velocidad y K una constante.

**primer movimiento.** En un sismograma, la dirección de movimiento al principio de la llegada de la onda P. Convencionalmente, un movimiento hacia arriba indica compresión del suelo y, hacia abajo, dilatación.

**profundidad focal (de un terremoto).** Profundidad del foco por debajo de la superficie de la Tierra.

**punta de crecida.** Valor máximo del caudal o nivel de las aguas, durante una crecida.

**quemadura del viento.** Inflamación de la piel, análoga al golpe de sol, causada por la exposición al viento, especialmente el viento cálido y seco, que produce una dilatación de los vasos sanguíneos superficiales; daño en las hojas de las plantas producido por vientos fuertes, cálidos y secos.

**ráfaga.** Desviación transitoria, positiva o negativa, durante un intervalo de tiempo relativamente corto, de la velocidad del viento (o de una componente de la velocidad del viento en una dirección dada) con relación a su valor medio (o al valor medio de la componente), en el transcurso de un intervalo de tiempo especificado. Se llama también racha; a veces, también, ramalazo.

**rafagosidad.** En general, una cualidad del flujo de aire caracterizado por las ráfagas.

**red hidrográfica.** Conjunto de ríos y otras corrientes, permanentes o intermitentes, de agua y de lagos y embalses situados en una zona determinada.

**red hidrológica.** Conjunto de estaciones hidrológicas y de puntos de observación situados en determinada zona (cuenca o región administrativa), que permite estudiar el régimen hidrológico.

**refracción (de una onda).** La desviación de una onda transmitida, de su dirección original de recorrido en una interfase, con un material de diferente velocidad de las ondas.

**región asísmica.** Aquella en que prácticamente no ocurren terremotos.

**regularización de un cauce.** Obras de ingeniería fluvial realizadas para dirigir la corriente, confinarla a un cauce determinado, o aumentar la profundidad del agua, para navegación u otros fines.

**réplicas.** Terremotos menores que siguen a uno mayor, concentrados en un volumen restringido de la corteza.

**riesgo.** Número esperado de víctimas (muertos y heridos), daños materiales y desorganización de la actividad económica, subsiguientes a un fenómeno natural y, por ende, producto del riesgo específico por los elementos de riesgo. (U.N.D.R.O., 1979).

**riesgo aceptable.** Probabilidad de consecuencias sociales o económicas debidas a eventos naturales catastróficos, que es suficientemente baja (por ejemplo, comparando unos riesgos con otros o con los riesgos naturales o creados por el hombre), para que las autoridades pertinentes juzguen que representan un análisis pragmático para determinar requisitos de diseño para estructuras de ingeniería, o para adoptar ciertas medidas sociales o económicas.

**riesgo específico.** Grado de pérdida esperado, debido a un fenómeno natural particular, y como función del peligro natural y de la vulnerabilidad. (U.N.D.R.O., 1979).

**riesgo (sísmico).** La probabilidad de que las consecuencias sociales o económicas de los terremotos sean iguales o superen valores específicos en un emplazamiento, en varios emplazamientos o en una zona, durante un período de exposición específico.

**rosa de los vientos.** En una estación y para un período dado, diagrama en estrella que indica las frecuencias relativas de las distintas direcciones del viento, teniendo en cuenta, eventualmente, las frecuencias de grupos de velocidades del viento en distintas direcciones.

**rosa de los vientos de Aristóteles.** Constaba de 8 rumbos: Aparctias, Kaikias, Apeliotes, Euros, Notos, Libo, Zephyros y Argestes. Eran irregulares.

**rosa de los vientos de Timosteno.** Tenía 12 rumbos: Septentrio, Aquilo, Kaikias, Apeliotes, Euros, Phoenicios, Notos, Libo-Notos, Libs, Zephyros, Argestes y Circius.

**rosa de los vientos de Vitrubio.** Tenía 24 rumbos: Septentrion, Gallicus, Supernas, Aquilo, Boreas, Carbas, Solanus, Ornithiae, Caecias, Euros, Vulturnus, Euro-Notos, Auster, Altanus, Libo-Notus, Africus, Subvesperus, Argestes, Favonius, Etesiae, Circius, Caurus, Corus y Thrascias.

**rosa de los vientos griega.** La más elemental fue la que consideraba sólo dos: Boreas y Notos. Posteriormente consideraron: Boreas, Euros, Notos y Zephyros. La llamada rosa de Homero era idéntica a la anterior, pero hacía la distinción de los vientos cuadrantales Boreas-Euros, Notos-Apeliotes, Argestes-Notos y Zephyros-Boreas.

**rotación anticiclónica.** Siguiendo una línea de corriente o una trayectoria, rotación que, vista desde un plano superior, es según el sentido de las agujas del reloj en el hemisferio Norte, y en sentido inverso en el hemisferio Sur.

**rotación ciclónica.** Siguiendo una línea de corriente o una trayectoria, rotación que, vista desde un plano superior, es en el sentido de las agujas de un reloj en el hemisferio Sur, y en sentido contrario en el hemisferio Norte.

**sedimento.** Material fragmentado transportado por el agua, de su lugar de origen al de depósito. En los cursos de agua, sedimento es el material aluvial que lleva en suspensión o como arrastre de fondo.

**seiche.** Oscilaciones (ondas estacionarias) del agua en una bahía o lago.

**sismicidad.** La ocurrencia de terremotos en el espacio y en el tiempo.

**sismógrafo.** Instrumento para registrar los movimientos de la superficie de la Tierra, en función del tiempo, que son causados por ondas sísmicas.

**sismología.** El estudio de terremotos, fuentes sísmicas y propagación de ondas, a través de la Tierra.

**sismómetro.** Parte sensora de un sismógrafo, normalmente un péndulo suspendido.

**sismoscopio.** Sismógrafo simple que registra en una placa sin señales de tiempo.

**socavación del cauce.** Erosión de cauces de tipo aluvial, en períodos de aguas altas.

**téctonica.** Gran deformación de la parte más extensa de la Tierra, resultante de fuerzas de la misma.

**téctonica de placas.** Teoría del movimiento e interacción de placas. Un intento de explicar terremotos, volcanes y formación de montañas, como consecuencias de grandes movimientos superficiales horizontales.

**tempestad.** 1) Perturbación del aire con nubes gruesas de mucha agua, granizo, truenos, rayos y relámpagos. 2) Perturbación de las aguas del mar, causada por el ímpetu y violencia de los vientos. 3) Antiguamente, tiempo determinado o temporada. 4) Figuradamente, tormenta.

**tempestad de arena.** Viento fuerte que transporta arena en el aire, siendo las partículas del orden de 0,08 a 1 mm. Comparativamente con la tempestad de polvo, la tempestad de arena no eleva las partículas más que a un nivel más bajo.

**tempestad de hielo.** Formación intensa de hielo sobre los objetos, por congelación, por impacto, de gotas de lluvia o gotitas de llovizna.

**tempestad de polvo.** Conjunto de partículas de polvo o arena levantadas con violencia del suelo, por un viento fuerte y turbulento, hasta grandes alturas.

**tempestad tropical.** 1) Expresión general para toda perturbación ciclónica tropical. 2) Ciclón tropical con vientos máximos entre 34 y 64 nudos (los criterios varían según las convenciones regionales entre los servicios meteorológicos nacionales).

**temporal.** 1) Viento cuya velocidad está comprendida entre 44 y 50 nudos (fuerza 10 de la escala Beaufort). 2) Lo mismo que tempestad. 3) Tiempo de lluvia persistente.

**temporal duro.** Viento cuya velocidad está comprendida entre 51 y 57 nudos (fuerza 11 de la escala Beaufort).

**temporal huracanado.** En la escala de Beaufort, un viento cuya velocidad es igual o superior a los 64 nudos. El empleo de este término conduce a alguna confusión para los vientos que ocurren en los huracanes.

**teoría de rebote elástico.** Es la teoría de generación de los terremotos que propone que las fallas permanecen fijas mientras se acumulan los esfuerzos lentamente en las rocas vecinas, y luego se desplazan de repente, desprendiendo la energía acumulada.

**terremoto.** Vibraciones de la Tierra causadas por el paso de ondas sísmicas irradiadas desde una fuente de energía elástica.

**terremoto nominal o de diseño.** Es una especificación del movimiento sísmico del suelo en un emplazamiento; se utiliza para el diseño resistente a los terremotos de una estructura.

**terremotos tectónicos.** Terremotos que resultan de la liberación súbita de energía acumulada por deformación de la Tierra.

**terremotos volcánicos.** Terremotos asociados con la actividad volcánica.

**tiempo de exposición.** El período cronológico de interés para cálculos de riesgos sísmicos, cálculos de la peligrosidad sísmica o diseño de estructuras. Para las estructuras, el tiempo de exposición se selecciona a menudo, de forma que sea igual a la vida de diseño de la estructura.

**tifón.** Nombre dado a los ciclones tropicales del mar de la China y más generalmente, del noroeste del Pacífico.

**tormenta.** Una o varias descargas bruscas de electricidad atmosférica que se manifiesta por su brevedad e intensidad (relámpago), y por el ruido seco o un rugido sordo (trueno).

**tormenta advectiva.** Tormenta resultante de la inestabilidad producida por la advección de aire frío a niveles superiores, o aire cálido a niveles inferiores, o la combinación de ambas.

**tormenta convectiva.** Tormenta que acompaña a una nube de convección, en particular, cuando esta nube se debe a condiciones locales (incendios forestales, montaña aislada, etc.).

**tormenta de calor.** En la terminología popular, una tormenta de tipo de masa de aire que se desarrolla a últimas horas de un día de verano caluroso y húmedo.

**tormenta de frente frío.** Tipo de tormenta que se produce en serie, a lo largo de un frente frío o a lo largo de una línea que precede a un frente frío.

**tormenta de masa de aire.** Tormenta que se produce en el seno de una masa de aire inestable dada, y no está producida por el paso de un frente.

**tormenta eléctrica.** Perturbación violenta de la atmósfera, ligada a los movimientos verticales del aire y acompañada de fenómenos mecánicos (viento y chubascos) y eléctricos (relámpagos, truenos).

**tornado.** Tormenta de pequeño diámetro que gira violentamente, se trata del fenómeno atmosférico más violento. Se produce en las tormentas eléctricas de gran calibre, y aparece como una nube en forma de túnel que se extiende desde la base de un cumulonimbo, hasta el suelo.

**torre de los vientos.** Torre octogonal de mármol erigida en Atenas en el año 350 de nuestra era, en la cual, en cada una de sus caras, personificados por: Boreas (N), Kaikias (NE), Apheliotes (E), Euros (SE), Notos (S), Lips (SO), Zephyros (O) y Skiron (NO). Esta torre no fue un observatorio meteorológico, si bien originalmente tuvo una rudimentaria veleta en su cima. Su empleo era más bien astronómico, pues medía la marcha del día - actuando como reloj de sol - según la iluminación en cada uno de sus ocho octantes.

**tromba.** Fenómeno que consiste en un torbellino de viento, a menudo intenso, cuya presencia se manifiesta por una columna nubosa, o un cono nuboso invertido en forma de embudo unido a la base de un cumulonimbo y por una «cepa» constituida por gotitas de agua levantadas de la superficie del mar, o por partículas de arena o de distintos despojos, levantados del suelo.

**tromba marina.** Tromba sobre una superficie de agua.

**travase.** Transferencia de agua de una corriente a otra, pudiendo ser estas corrientes naturales o artificiales. Se llama también desviación de las aguas.

**tsunami.** Una onda larga del océano, generalmente causada por movimientos del suelo oceánico en un terremoto.

**valor en riesgo.** La pérdida económica posible (asegurada o no) a todas las estructuras o cierto juego de estructuras, como resultado de uno o más terremotos en una región.

**vector racha.** Desviación vectorial transitoria, durante un período de tiempo relativamente corto, del vector con relación a su valor medio, en el transcurso de un intervalo de tiempo especificado.

**vector viento.** Vector trazado en la dirección y sentido del viento, y de longitud proporcional a la velocidad de éste.

**veleta.** Dispositivo que indica la dirección de donde viene el viento. Suele estar constituida por una pieza de metal, ordinariamente en forma de saeta, que puede girar alrededor de un eje vertical, impulsada por el viento. Se llama también gobierna.

**velocidad del viento.** Relación de la distancia recorrida por el aire, con respecto al tiempo empleado en recorrerla. La velocidad instantánea, o más brevemente velocidad, corresponde al caso de un intervalo infinitamente pequeño. La velocidad media corresponde al caso de un intervalo de tiempo finito.

**velocidad máxima de una racha.** Velocidad instantánea del viento en el momento en que se alcanza la amplitud de la ráfaga.

**vendaval.** 1) Un viento del SO atemporalado en la costa meridional del Mediterráneo de España y en el Estrecho de Gibraltar. Se produce con bajas presiones que avanzan desde el oeste, a finales de otoño, en invierno o a principios de primavera, y frecuentemente va acompañado por tormentas y violentas turbonadas. 2) Viento fuerte que sopla del sur, con tendencia al oeste, y por extensión cualquier viento duro que no llega a ser temporal declarado.

**ventifact.** Roca cuya forma ha sido modificada por los sedimentos y las arenas transportadas por el viento. Los ventifact son abundantes en las regiones periglaciares y en los desiertos.

**viento.** Movimiento del aire con relación a la superficie terrestre. Caso de no haber especificación contraria, se considera solamente la componente horizontal del conjunto de la corriente aérea.

**viento terral.** En términos marinos, es un viento que viene de tierra.

**virazón.** 1) Viento que en las costas sopla de la parte del mar durante el día, alternando con el terral, que sopla de noche, y sucediéndose ambos con bastante regularidad en todo el curso del año, mientras no hay temporal. 2) En Santander, cambio repentino del viento, especialmente cuando al viento del sur huracanado, sucede el viento del noroeste.

**volcán.** Apertura en la corteza que ha permitido al magma alcanzar la superficie.

**vórtice.** 1) En su más amplio sentido, cualquier flujo que posee vorticidad. Más frecuentemente, el término se refiere a un flujo con líneas de corriente cerradas, o al caso idealizado en que toda vorticidad está concentrada en un filamento de vorticidad.

**vulnerabilidad.** El grado de pérdida de un elemento de riesgo dado (o conjunto de elementos), como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de determinada magnitud, expresada en una escala de 0 (sin daño) a 1 (pérdida total), (U.N.D.R.O., 1979).

**vulnerabilidad sísmica.** El grado de pérdida de un elemento dado sujeto a riesgo, o una serie de esos elementos, como resultado de un terremoto de una determinada magnitud o intensidad, que de ordinario se expresa en una escala de 0 (sin daño) a 10 (pérdida total).

**willy-willy.** Torbellino que se origina sobre el mar de Timor, y se mueve primero hacia el SO y luego al SE a través del interior de Australia occidental.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

AFORS, J., BURNETT, J.L., GAY, T.E. «Urban geology. Master Plan for California: the nature, magnitude and cost of geologic hazards in California and recommendations for their mitigation», en *Bulletin of California Division of Mines and Geology*, núm. 198., Calif. Div of Mines and Geology, California, 1973, 112 pgs.

AGROSEGURO, *Memorias*, 1985, 1986, 1987, 1988 y 1989, Madrid.

ÁGUEDA VILLAR, J. *et al.*, *Geología*, Ed. Rueda, Madrid, 1983.

ANDRÉ IGLESIAS, G.R., *El seguro de terremotos en Latinoamérica*, Ed. Mapfre, Madrid, 1978.

ANGUITA VIRELLA, F., MORENO SERRANO F., *Geología, Procesos externos*, Ed. Edelvives, Zaragoza, 1980.

ASCASO LIRIA, A., CASALS MARCEN, M., *Vocabulario de Términos Meteorológicos y Ciencias Afines*, Ed. Instituto Nacional de Meteorología (I.N.M.), Madrid, 1986.

AYOADE, J., *Introduction to climatology for the tropics*, Ed. John Wiley & Sons Ltd., Londres, 1983.

BARD, P. *et al.* «Seismic microzonation as applied to risk-exposure plans (PER) in France». *Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering*, August 2-9, 1988, Tokio-Kyoto, Japón.

BERGA, L., «Las inundaciones: sistemas de alarma y previsión». *Riesgos Geológicos*, Ed. I.T.G.E., Madrid, 1988.

BERNAL, A., «Consideración del efecto del suelo en la Normativa Sismorresistente» *Seminario sobre sismicidad y riesgo sísmico. Comunicaciones y Ponencias*, nº1, I.G.N., Madrid, 1983, pgs. 183-196.

BERNAL, A., BARRERA, T., y SANTIAGO, J., «The Earthquake of March 10th and May 19th, 1951 occurred in the province of Jaen, Spain». *Earthquakes in Portugal in Seismicity, Seismotectonics and Seismic Risk of the Ibero Maghrebian Region*, Monografía nº8, I.G.N., Madrid, 1991, pgs. 149-161.

BERNSTEIN, J., «Tsunamis» *Scientific American*, Agosto, 1954.

BLÁZQUEZ MARTÍNEZ, R., *Instrumentación sísmica de Obras Civiles*, Monografías M.O.P.U., Curso de especialización en Ingeniería Sísmica, Módulo VII, Instituto de la Construcción y el Cemento Eduardo Torroja, Madrid, 1990.

BELES, A., IFRIM, M., GARCÍA YAGÜE, A., *Elementos de Ingeniería Sísmica*, Ed. Omega, Barcelona, 1975.

BOLT, B., *Terremotos*, Ed. Orbis, Barcelona, 1985.

BOLT, B., «Estudio de los movimientos sísmicos fuertes del suelo» *Rev. Física de la Tierra*, Ed. U.C.M., Nº1, Madrid, 1989, pgs. 11-50.

BOOTH, B., FITCH, F., *La inestable Tierra*, Ed. Salvat, Barcelona, 1986.

CAPEL MOLINA, J., *Los climas de España*, Ed. Oikos tau, Madrid, 1981.

CARREÑO, E., «Riesgo sísmico en España», Ponencia del ENTRE 91, Instituto de Estudios Superiores Financieros y de Seguros (INESE), Madrid, 1991.

COMISIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, *Estudio de inundaciones históricas. Mapa de riesgos potenciales. Cuenca del Duero*, Comisión Técnica de Inundaciones, 1985.

COMISIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, *Estudio de inundaciones históricas. Mapa de riesgos potenciales. Cuenca del Ebro*, Comisión Técnica de Inundaciones, 1985.

COMISIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, *Estudio de inundaciones históricas. Mapa de riesgos potenciales. Cuenca del Guadalquivir*, Comisión Técnica de Inundaciones, 1985.

COMISIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, *Estudio de inundaciones históricas. Mapa de riesgos potenciales. Cuenca del Guadiana*, Comisión Técnica de Inundaciones, 1985.

COMISIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, *Estudio de inundaciones históricas. Mapa de riesgos potenciales. Cuenca del Júcar*, Comisión Técnica de Inundaciones, 1985.

COMISIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, *Estudio de inundaciones históricas. Mapa de riesgos potenciales. Cuenca del Norte*, Comisión Técnica de Inundaciones, 1985.

COMISIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, *Estudio de inundaciones históricas. Mapa de riesgos potenciales. Cuenca del Pirineo Oriental*, Comisión Técnica de Inundaciones, 1985.

COMISIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, *Estudio de inundaciones históricas. Mapa de riesgos potenciales. Cuenca del Segura*, Comisión Técnica de Inundaciones, 1985.

COMISIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, *Estudio de inundaciones históricas. Mapa de riesgos potenciales. Cuenca del Sur*, Comisión Técnica de Inundaciones, 1985.

COMISIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, *Estudio de las acciones para prevenir y reducir los daños ocasionados por inundaciones. Cuenca del Duero*, Comisión Técnica de Inundaciones, Tomos I y II, 1985.

COMISIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, *Estudio de las acciones para prevenir y reducir los daños ocasionados por inundaciones. Cuenca del Ebro*, Comisión Técnica de Inundaciones, Tomos I y II, 1985.

COMISIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, *Estudio de las acciones para prevenir y reducir los daños ocasionados por inundaciones. Cuenca del Guadalquivir*, Comisión Técnica de Inundaciones, Tomos I y II, 1985.

COMISIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, *Estudio de las acciones para prevenir y reducir los daños ocasionados por inundaciones. Cuenca del Guadiana*, Comisión Técnica de Inundaciones, Tomos I y II, 1985.

COMISIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, *Estudio de las acciones para prevenir y reducir los daños ocasionados por inundaciones. Cuenca del Júcar*, Comisión Técnica de Inundaciones, Tomos I y II, 1985.

COMISIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, *Estudio de las acciones para prevenir y reducir los daños ocasionados por inundaciones. Cuenca del Norte*, Comisión Técnica de Inundaciones, Tomos I y II, 1985.

COMISIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, *Estudio de las acciones para prevenir y reducir los daños ocasionados por inundaciones. Cuenca del Pirineo Oriental*, Comisión Técnica de Inundaciones, Tomos I y II, 1985.

COMISIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, *Estudio de las acciones para prevenir y reducir los daños ocasionados por inundaciones. Cuenca del Segura*, Comisión Técnica de Inundaciones, Tomos I y II, 1985.

COMISIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, *Estudio de las acciones para prevenir y reducir los daños ocasionados por inundaciones. Cuenca del Sur*, Comisión Técnica de Inundaciones, Tomos I y II, 1985.

CONSORCIO DE COMPENSACIÓN DE SEGUROS, *Evolución General de las magnitudes económicas más representativas*, febrero, 1991.

CRESENZO- d'AURIAC, M.B, *Les risques catastrophiques*, L'Argus, París, 1988.

DAVENPORT, A., «Daños estructurales causados por el huracán Gilberto en Jamaica. Perspectivas de futuro para la reducción de desastres». *Rev. Gerencia de Riesgos* nº 28, 4º trimestre, 1989, Ed. ITSEMAP MADRID, 1989, pgs. 55-60.

D.G.H.O (M.O.P.U), *Ánalisis General de las Inundaciones en la Península*, Tomo I, 1984.

D.G.H.O (M.O.P.U), *Plan Hidrológico. Documentación Básica. Confederación Hidrográfica del Duero*, Memorias 1 y 2, Madrid, 1988.

D.G.H.O. (M.O.P.U), *Plan Hidrológico. Documentación Básica. Confederación Hidrográfica del Ebro*, Memorias 1 y 2, Madrid, 1988.

D.G.H.O. (M.O.P.U), *Plan Hidrológico. Documentación Básica. Confederación Hidrográfica del Guadalete y Barbate*, Memorias 1 y 2, Madrid, 1988.

D.G.H.O. (M.O.P.U), *Plan Hidrológico. Documentación Básica. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir*, Memorias 1 y 2, Madrid, 1988.

D.G.H.O. (M.O.P.U), *Plan Hidrológico. Documentación Básica. Confederación Hidrográfica del Júcar*, Memorias 1 y 2, Madrid, 1988.

D.G.H.O. (M.O.P.U), *Plan Hidrológico. Documentación Básica. Confederación Hidrográfica del Segura*, Memorias 1 y 2, Madrid, 1988.

D.G.H.O. (M.O.P.U), *Plan Hidrológico. Documentación Básica. Confederación Hidrográfica del Sur*, Memorias 1 y 2, Madrid, 1988.

D.G.H.O. (M.O.P.U), *Plan Hidrológico. Documentación Básica. Confederación Hidrográfica del Tajo*, Memorias 1 y 2, Madrid, 1988.

D.G.H.O. (M.O.P.U), *Plan Hidrológico I. Cuenca Norte. Documentación Básica. Confederación Hidrográfica del Norte*, Memorias 1 y 2, Madrid, 1988.

D.G.H.O. (M.O.P.U), *Plan Hidrológico II. Cuenca Norte. Documentación Básica. Confederación Hidrográfica del Norte*, Memorias 1 y 2, Madrid, 1988.

D.G.H.O. (M.O.P.U), *Plan Hidrológico III. Cuenca Norte. Documentación Básica. Confederación Hidrográfica del Norte*, Memorias 1 y 2, Madrid, 1988.

D.G.H.O. (M.O.P.U), *Plan Hidrológico I. Cuenca del Guadiana. Documentación Básica. Confederación Hidrográfica del Guadiana*, Memorias 1 y 2, Madrid, 1988.

D.G.H.O. (M.O.P.U), *Plan Hidrológico II. Cuenca del Guadiana. Documentación Básica. Confederación Hidrográfica del Guadiana*, Memorias 1 y 2, Madrid, 1988.

DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL, 1986, «Las inundaciones en España; pasado presente y futuro», *Cuadernos de Protección Civil*, núm. 14, sept-oct, 1986, pgs 4-10.

EARTHQUAKE INFORMATION BULLETIN, «Seismic Seiches», vol 8, 1976, pgs 13-15.

ELÍAS CASTILLO, F., RUIZ BELTRÁN, L., *Precipitaciones máximas en España*, Ed. I.C.O.N.A., Monografía nº21, Madrid, 1979.

ESTEVA, L., «La investigación y la práctica de la ingeniería sísmica en México despues de los sismos de 1985». Rev. *Ingeniería Sísmica*, sep-dic., nº34, 1988, pgs 5-82.

FERNÁNDEZ DÍAZ, A., PAREJO, J.A., *Aspectos económicos de la meteorología*, Ed. I.N.M., 1984.

FERNÁNDEZ DÍAZ, A., *et al.*, *Los efectos de la Meteorología sobre la Economía Nacional*, Ed. I.N.M., Madrid, 1987.

FERNÁNDEZ LAYOS, J.M., «La cobertura de los riesgos extraordinarios en diferentes países. Un análisis internacional comparativo». Seminario sobre Riesgos Extraordinarios, ICEA, 1990.

FONT TULLOT, I., *Atlas climático de España*, Ed. I.N.M., Madrid, 1983 a.

FONT TULLOT, I., *Climatología de España y Portugal*, Ed. I.N.M., Madrid, 1983 b.

FONT TULLOT, I., *Historia del clima en España*, Ed. I.N.M., Madrid, 1988.

FONT TULLOT, I., «Galernas y ciclones tropicales» Rev. de Meteorología en el mundo iberoamericano, nº2, octubre - diciembre, 1990, Madrid, Ed. I.N.M., 1990, pgs 21-24.

FRIEDMAN, D.G., «Natural Hazard Risk Assessment for an Insurance Program», *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, vol 9 nº 30, Enero, Ginebra, 1984.

GARCÍA RODRÍGUEZ, J.L., «Riesgos extraordinarios: las inundaciones», Ponencia del Congreso de Gerencia de Riesgos y Seguros Industriales 1989, CEGERS 89, Madrid.

GARCÍA DE PEDRAZA, L., «Los torrenciales aguaceros de la cuenca Mediterránea». *Calendario Meteorológico 1971*, Ed. Servicio Meteorológico Nacional, Madrid, pgs. 161-172.

GARCÍA DE PEDRAZA, L., «Los vientos marítimos y terrales en España». *Calendario Meteorológico 1972*, Ed. Servicio Meteorológico Nacional, Madrid, pgs. 161-171.

GARCÍA DE PEDRAZA, L., GARCÍA VEGA, C., «La galerna y el llevant, vientos atemporalados de las costas septentrionales de España». *Revista de Meteorología, A.M.E.*, junio, 1987, nº9, Madrid, pgs. 69-75.

GARCÍA DE PEDRAZA, L., «Vientos de la Península Ibérica. Notas sobre su carácter sinóptico, climatológico y orográfico». *Meteorología y Climatología Ibéricas*. Garmendia, J. Tomás, C. Labajo, J. (eds), Actas de las XVII. Jornadas de la A.M.E., Salamanca, 1989, pgs. 223-253.

GARCÍA DE PEDRAZA, L., GARCÍA VEGA, C., «Características de los vientos en la zona del Estrecho de Gibraltar». *Calendario Meteorológico 1991*, Ed. I.N.M., Madrid, pgs. 188-208.

GARCÍA YAGÜE, A., «Daños producidos por los terremotos». I Jornadas de Estudio del fenómeno sísmico, Comunicaciones y Ponencias, nº7, Ed. I.G.N., Madrid, 1986

GARCÍA YAGÜE, A., «Prevención de terremotos y diseño antisísmico». *Riesgos Geológicos*, Ed. I.T.G.E., Madrid, 1988, pgs. 109-114.

GARZÓN HEYDT, G., «Las avenidas como fenómeno geológico». *Geología y Prevención de daños por inundaciones*, I.G.M.E., Madrid, 1985.

GÓMEZ PALMERO, E., «Guion de directrices básicas para la elaboración de los planes de protección civil.» Seminario sobre Sismicidad y Riesgo Sísmico, Comunicaciones y Ponencias, nº1, Ed. I.C.N., Madrid, 1983, pgs. 205-207.

GONZÁLEZ DE FRUTOS, P., «Experiencias económicas del Consorcio de Compensación de Seguros Español» Rev. *Gerencia de Riesgos*, nº 28, 4º trimestre, 1989, Ed. ITSEMAP, pgs. 25-32.

GONZALO DE ANDRÉS, C., «La galerna del Sábado de Gloria». *Revista de Meteorología*, Ed. Asociación Meteorológica de España (A.M.E), 1990, nº 13, pgs. 144-124.

GRASES, J., *Pérdidas como consecuencias de Terremotos. Métodos para su estimación*, Ed. Seguros Caracas, Caracas, 1986.

GRASES, J., «Pérdidas debidas a terremotos». *Rev. Gerencia de Riesgos*, Año IX, nº 34, 1991, pgs. 17-26.

GRIBBIN, J. et al., *El libro del clima*, Ed. Hermann Blume, Madrid, 1982.

GUMBEL, E.J., *Statistics of extremes*, Columbia University Press, Columbia, 1958

GVISHIANI, A., et al. «Identification of seismically dangerous zones in the Pyrenees». *Annales Geophysicae 5B*, 1987, pgs. 681-690.

HAYS, W., «Aspectos fundamentales de la geología y sismología para la microzonación sísmica». *Rev Física de la Tierra*, Ed. U.C.M., nº1, 1989, Madrid, pgs. 217-250.

HUSID, R., «Evaluación de la severidad de terremotos» *Rev. de Geofísica*, vol XXIV, 1975, pgs. 117-134.

IDSO, S.B., «Tempestades de polvo» *Rev. Investigación y Ciencia*, nº 3, diciembre, 1976, Ed. Labor, Barcelona, pgs. 82-88.

I.G.M.E., *Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España*, Ed. F. Ayala, Madrid, 1988.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA, *Mapa Eólico Nacional. Análisis del viento para aprovechamiento energético*, Ed. I.N.M., Madrid, 1988.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA, *Calendario Meteoro-fenológico*, Años 1950-1960, 1962-1975, 1977-1982, Ed. Servicio Meteorológico Nacional, Madrid.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA, *Guía resumida del clima en España*, Ed. I.N.M., Madrid, 1982.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA, *Calendario Meteorológico*, Años 1984-1986, 1988-1991, Ed. I.N.M., Madrid.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, *Población de Derecho de los Municipios Españoles*, Rectificación del P.M.H. al 1.1.1991, Ed. I.N.E., 1991.

I.T.G.E., *Catálogo Nacional de Riesgos Geológicos*, F. Ayala y M. Ferrer Eds., Madrid, 1988.

JANSA GUARDIOLA, J.M., *Manual del observador de Meteorología*, Ed. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, 1968.

JANSA GUARDIOLA, J.M., «Tormentas». *Calendario Meteoro - fenológico 1972*, Ed. Servicio Meteorológico Nacional, Madrid, pgs. 172-177.

JANSA, A., *Apuntes de Meteorología*, Ed. Noray, Barcelona, 1980.

KANAMORI, H., «The size of Earthquakes» Rev. *Earthquake Information Bulletin*, nº 198, vol 12, 1978, pgs. 411-414.

KEILIS BOROK, V.I., «Integration of tectonic and seismological data for the study of Seismic Risk», *Proc. Shakeistic*, Roma, 1981.

KERR, R.A., «Earthquake prediction: Mexican quake shows one way to look for the big ones», *Science*, 203, 1979, pgs. 860-862.

LABORATORIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, «A sismicidad Histórica e a Revisao do catalogo sismico». Departamento de Estructuras L.N.E.C., Lisboa, 1986.

LAMAS ROMERO, J.L., «Factores climáticos e hidrológicos en la formación de avenidas». *Geología y Prevención de daños por inundaciones*, I.G.M.E, Madrid, 1985.

LIBRO JUBILAR J.M. RIOS, *Geología de España*, Tomo II, Ed. I.T.G.E., Madrid, 1983.

LÓPEZ ARROYO *et al.*, *El terremoto de Andalucía del 25 de diciembre de 1884*, Ed. I.G.N., Madrid, 1980.

LÓPEZ MARINAI, J., «Un deslizamiento de ladera convertido en un terremoto el 22 de octubre 1907» *Rev. de Geofísica*, nº 41, 1985, pgs. 295 - 300.

LORENTE, J.M., «Ráfagas máximas de viento en España». *Calendario Meteorofenológico 1951*, Ed. Servicio Meteorológico Nacional, Madrid, pgs. 131-137.

LORENTE, J.M., «Galernas en el Golfo de Vizcaya». *Calendario Meteorofenológico 1958*, Ed. Servicio Meteorológico Nacional, Madrid, pgs. 130-150.

LORENTE CASTELLÓ, J. Y REDAÑO XIPELL, A., «Análisis conceptual de términos meteorológicos correspondientes a situaciones atmosféricas extremas». *Revista de Obras Públicas*, Madrid, Enero, 1989, pgs. 39-48.

MARÍA LORENTE, J., *Meteorología*, Ed. Labor, S.A., Barcelona, 1945.

MARTÍN MARTÍN, A., *Riesgo sísmico en la Península Ibérica*, Tesis doctoral, 2 Tomos, I.G.N., Madrid, 1984.

MARTÍN MARTÍN, A., GARCÍA YAGÜE, A., *Estimación, para su aplicación a Protección Civil, de los daños que un terremoto catastrófico ocasionaría en Andalucía*, Publicación Técnica, nº 17, Ed. I.G.N., Madrid, 1986.

MARTÍN MARTÍN, A., «Problemas relacionados con la evaluación de la peligrosidad sísmica en España», *Rev. Física de la Tierra*, nº1, Madrid, 1989, pgs. 267-286.

MARTÍN MARTÍN, A., «Influence of the different seismic design levels on the expected damage and economical losses caused by an earthquake in Andalucia (Spain)». *Seismicity, Seismotectonics and Seismic Risk of the Ibero-Maghrebian Region*, Monografía nº8, Ed. I.G.N., Madrid, 1991, pgs 377-390.

MARTÍNEZ GOYTRE, J., «Las avenidas: un proceso geológico natural» *Riesgos*

*Geológicos*, I.G.M.E., Madrid, 1988.

MATEO GONZÁLEZ, P., *Vientos violentos en el Observatorio Meteorológico de Oviedo*, Ed. I.N.M., Madrid, 1984

MEDINA M., *Iniciación a la Meteorología*, Ed. Salvat, Barcelona, 1985.

MÉZCUA, J., *Catálogo General de Isosistas de la Península Ibérica*, Ed. I.G.N., Madrid, 1982.

MÉZCUA, J., MARTÍNEZ SOLARES, J., *Sismicidad del Área Ibero-Mogrebí*, nº 203, Ed. I.G. N., Madrid, 1983.

MIGUEL CANET, J. Y OÑATE IBÁÑEZ, E., «Causas y efectos del viento» *Riesgos Naturales en Ingeniería Civil 1986*, Ed. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 1986.

MIRÓ GRANADA, J., «Historias de Temporales Mediterráneos». VII Jornadas de la A.M.E. Tarragona, 1975, pgs. 139-147.

MUNCHENER RÜCK., *Mapa Mundial de los Peligros de la Naturaleza*, Ed. Munchener Rück, Múnich, 1988.

MUNCHENER RÜCK., *El Seguro y Reaseguro del Riesgo de Terremoto*, Ed. Munchener Rück, Múnich, 1991.

MUNCHENER RÜCK., *Vientos huracanados*, Ed. Munchener Rück, Múnich, 1991.

MUÑOZ, D., «Conceptos básicos en riesgo sísmico», *Rev. Física de la Tierra*, nº 1, Madrid 1989, pgs. 199-215.

NACIONAL DE REASEGUROS, «El terremoto en España», Estudio interno, Madrid, 1982.

NORMA BÁSICA DE LA EDIFICACIÓN NTE-AE-88, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo M.O.P.U., Madrid, 1988.

OLIVEIRA, C., SOUSA, M.L., «A contribution to reduce subjectivity in treatment of historical data. Application to 1531 and 1909 Earthquakes in Portugal» en *Seismicity, Seismotectonics and Seismic Risk of the Ibero Maghrebian Region*, Monografía, nº8, I.G.N., Madrid, 1991, pgs.97-114.

ONATE IBÁÑEZ, E. CANET, J., «Efecto de los terremotos en las estructuras», *Riesgos Naturales en ingeniería civil*. Ed. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, pgs 239-257, 1986.

ORSOLICH, E., «Daños catastróficos y cobertura de pérdida de beneficios», *Rev. Gerencia de Riesgos*, año IX, nº34, Ed. ITSEMAP, 1991, pgs. 27-36.

PERDOMO, C., 1988, «Variaciones climáticas. Avenidas e inundaciones», *Revista Obras Públicas M.O.P.U.*, Madrid, agosto, 1988, pgs. 779-778.

PÉREZ SAIZ, A., RUIZ, J., «Trabajos a realizar para la implantación de un sistema de prevención y aviso de catástrofes producidas por un sismo». Encuentro Internacional «Catástrofes y Sociedad», Ed. ITSEMAP, Madrid, 1989, pgs. 469-477.

PETROVSKI, J. MILUTINOVIC, Z., «Clasificación de daños en Edificaciones y Evaluación de Pérdidas». Seminario Desastres Sísmicos en Grandes Ciudades, Bogotá, 1990, pgs. 12-34.

PISERRA DE CASTRO, M.T., *Manual de Riesgos Catastróficos de la Naturaleza*, Estudio interno, Corporación Mapfre, 1989.

SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, J., *Instrumentos Meteorológicos*, Ed. I.N.M., Madrid, 1990.

RAHN, P., *Engineering Geology*, Ed. Elsevier, Nueva York, 1986.

RIKITAKE, T., «Earthquake prediction: an empirical approach» *Tectonophysics*, 148, Amsterdam, 1988, pgs. 195-210.

SAUTER, F., «Riesgos catastróficos en la naturaleza» VI TWIC, documento nº5, Quito, 1988, pgs., 35-65.

SIEVER, R., «Dinámica terrestre». *Rev. Investigación y Ciencia*, nº86, noviembre,

Barcelona, 1983, pgs. 14-24.

SNOW, J.T., «El Tornado» *Rev. Investigación y Ciencia*, nº93, junio, 1984. Ed. Labor, Barcelona, pgs. 48-59.

SOLANA, V., «Asignación de la probabilidad del tiempo o de recurrencia de un desastre». Encuentro Internacional «Catástrofes y Sociedad», Ed. ITSEMAP, Madrid 1989, pgs. 743-751.

STRAHLER, A., *Geografía física*, Ed. Omega, Barcelona, 1988.

SUIZA DE REASEGUROS, *Peligros de la Naturaleza y Siniestro Máximo*, Ed. Compañía Suiza de Reaseguros, Zurich, 1989.

TAKEUCHI, T., UYEDA, S., KANAMORI, H., *¿Qué es la Tierra?* Ed. Orbis, Barcelona, 1986.

TÉMEZ PELÁEZ, J.R., «Métodos estructurales y no estructurales de defensa contra las inundaciones», Riesgos Geológicos, I.T.G.E., Madrid, 1988.

TOMAS QUEVEDO, A., «Estudio del Llevant» *Memorias*, Ed. I.N.M., Madrid, 1966.

UDÍAS *et al.* «Seismotectonic of the Azores - Alboran Region», *Tectonophysics*, nº3 Amsterdam, 1976, pgs. 259-289.

UDÍAS, A., «Energía de la Tierra», *Rev. Investigación y Ciencia* nº86, Noviembre, Barcelona, 1983, pgs. 128-138.

VEGAS, R., «Present-day geodynamics of the Ibero-Maghrebian region», *Earthquakes in Portugal en Seismicity, Seismotectonics and Seismic Risk of the Ibero Maghrebian Region*, Monografía, nº8, I.G.N., Madrid, 1991, pgs. 193-203.

VEGAS, R., »Sismotectónica de la Península Ibérica, Fallas Activas«, Cursos de especialización en Ingeniería Sísmica, Ed. I.C.C.E.T., Madrid, 1990.

VIDAL, J.M., *Rachas máximas de viento en Barcelona, Prat de Llobregat y Roquetas*, Ed. I.N.M., Madrid, 1950.

ZUPKA, D., «Actividades de la UNDRO en la prevención y planificación previa a los desastres naturales», Encuentro internacional «Catástrofes y Sociedad», Ed. ITSEMAP, Madrid, 1989, pgs. 43-65

MAP 328.1 MIN EST  
33881

