

- 1. Riesgo: concepto y clasificación**
- 2. Planificación de riesgos geológicos**
- 3. Riesgos geológicos ligados a los procesos internos**
  1. Riesgo sísmico
  2. Riesgo volcánico
- 4. Riesgos geológicos relacionados con los procesos externos**
  1. Avenidas o inundaciones
  2. Movimientos gravitacionales
  3. Riesgos menores
- 5. Riesgos geológicos inducidos**

El **riesgo** es toda condición, proceso, fenómeno o evento que, debido a su localización, severidad y frecuencia, pueda potencialmente causar heridas, enfermedades o la muerte a los seres humanos, así como pérdidas económicas, al afectar a sus estructuras o a sus actividades, y daños al medio ambiente.

TIPOS DE RIESGOS			
<b>Antrópicos</b>	<b>Culturales</b>		Provocados por estilos de vida no saludables: accidentes de tráfico, consumo de drogas, dietas no equilibradas, aglomeraciones humanas, atentados terroristas, guerras.
	<b>Químicos</b>		Debidos a la contaminación de la atmósfera, las aguas, los suelos y los alimentos a causa de los anabolizantes, colorantes, conservantes y demás sustancias químicas presentes en las cadenas alimentarias.
	<b>Tecnológicos</b>		Ocasionados por fallos técnicos: mareas negras, accidentes nucleares, rotura de presas...
<b>Naturales</b>	<b>Biológicos</b>		Causados por virus, bacterias, polen, plagas, picaduras de animales...
	<b>Químicos</b>		Originados por la producción de toxinas por descomposición de ciertas sustancias.
	<b>Físicos</b>	<b>Climatológicos</b>	Causados por huracanes, tornados, monzones, sequías, lluvias torrenciales, olas de calor, heladas, rayos...
		<b>Geológicos</b>	Provocados por terremotos, volcanes, inundaciones, movimientos del terreno, subsidencias, arcillas expansivas, avance de dunas...
		<b>Cósmicos</b>	Debidos al aumento de la radiación solar, meteoritos...
<b>Inducidos</b>	Originados cuando la acción humana induce la aparición de un riesgo natural o aumenta su peligrosidad. Por ejemplo, la desertización originada por la deforestación masiva.		

**Identificación**

La constatación de la existencia de un riesgo ( $R$ ) requiere del estudio de tres factores:

Peligrosidad ( $P$ )  
Exposición ( $E$ )  
Vulnerabilidad ( $V$ )

$$R = P \cdot E \cdot V$$

**Peligrosidad**

Probabilidad de que suceda un determinado riesgo de magnitud e intensidad definidas.

Estudio histórico del radio de acción, del tiempo de retorno y de la magnitud e intensidad del riesgo.

**Mapas de peligrosidad**

**Exposición**

Cantidad de personas o bienes materiales susceptibles de ser afectados por un determinado riesgo.

**Vulnerabilidad**

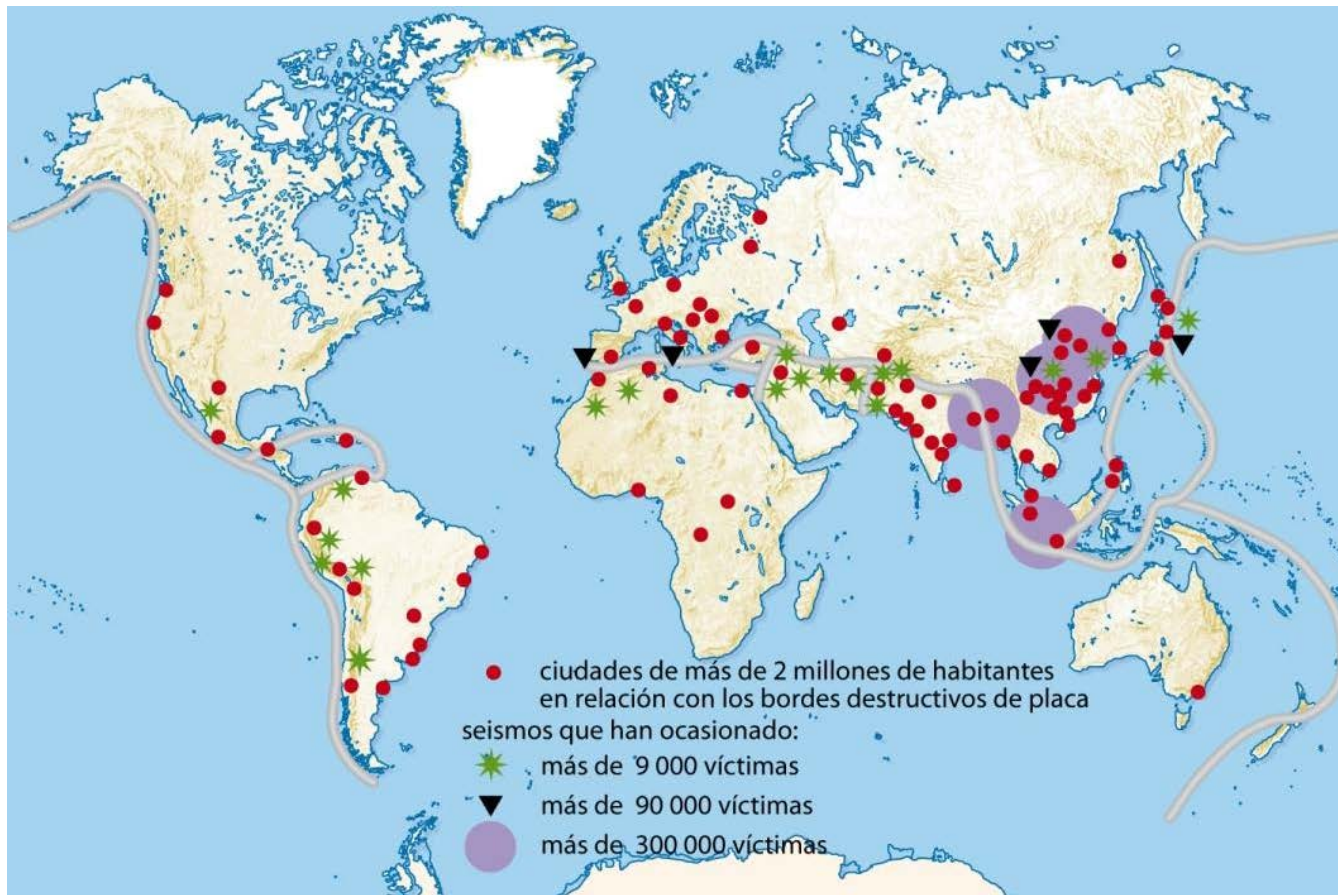
Porcentaje de víctimas humanas o pérdidas materiales respecto a la exposición total a un determinado riesgo.

**Predicción**

Pretende localizar de forma anticipada y en términos de probabilidad estadística, **dónde, cuándo y con qué intensidad** va a ocurrir un determinado riesgo.

**Prevención y corrección**

- ▶▶ Reducen la peligrosidad, la exposición y / o la vulnerabilidad:
  - Las medidas estructurales.
  - Las medidas no estructurales: **ordenación del territorio.**
  - La protección civil.
  - La contratación de seguros.
- ▶▶ Análisis de costes.



Riesgo sísmico en el mundo y seísmos que han ocasionado mayor número de víctimas desde el año 1000.



## Intensidad y magnitud

### Intensidad sísmica

La intensidad de un seísmo se establece en función de sus efectos.

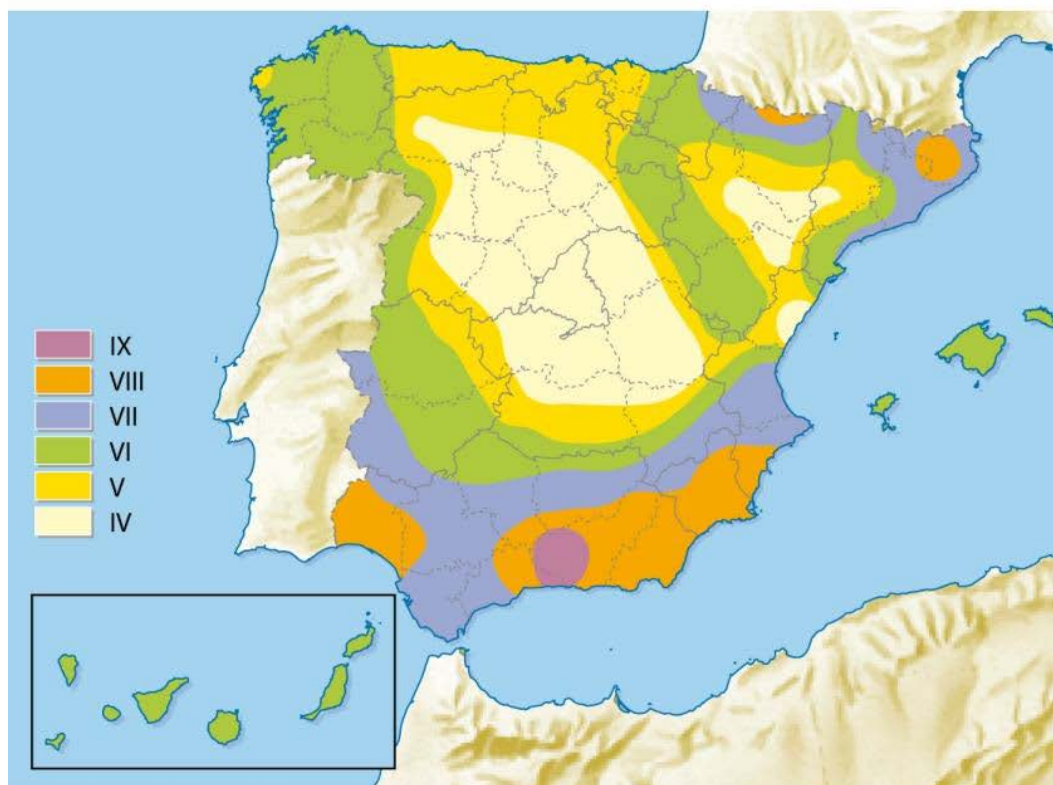
ESCALA DE INTENSIDAD EMS-98	
Grados de intensidad	Descripción
I	No sentido
II	Apenas sentido
III	Débil
IV	Ampliamente observado
V	Fuerte
VI	Levemente dañino
VII	Dañino
VIII	Gravemente dañino
IX	Destructor
X	Muy destructor
XI	Devastador
XII	Completamente devastador

### Magnitud sísmica

La magnitud de un seísmo se establece en función de la energía elástica liberada. Se puede obtener aplicando la siguiente fórmula:

$$\log E_s = 11,8 + 1,5 \cdot M$$

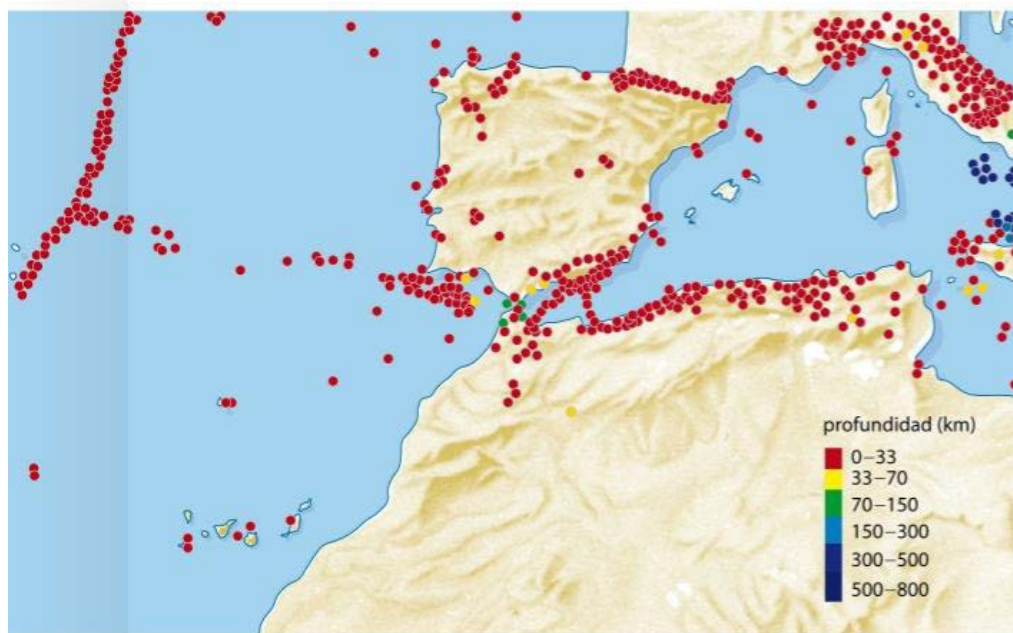
ESCALA DE RICHTER		
Magnitud	Efectos	Energía liberada (ergios)
2	Es la magnitud mínima detectada por personas.	$600 \cdot 10^6$
2,1-3,4	Son perceptibles en zonas próximas. Ocurren unos 100 000 al año.	$20\,000 \cdot 10^6$
3,5-5,4	Causan daños menores localizados.	$20\,000 \cdot 10^9$
5,5-6	Provocan daños ligeros en edificios. Se producen unos 100 al año.	$600 \cdot 10^{12}$
6,1-6,9	Pueden ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.	$20\,000 \cdot 10^{12}$
7-7,9	Son terremotos mayores que causan graves daños. Ocurren unos 15 al año de esta magnitud.	$600 \cdot 10^{15}$
> 8	Pertenecen a la categoría de gran terremoto. Provocan la destrucción total en comunidades cercanas.	$20\,000 \cdot 10^{15}$

**Mapa de peligrosidad sísmica en España según la escala de Mercalli**

Tiempo de retorno: 500 años.

### Métodos de predicción de seísmos

#### Estudio de la historia sísmica



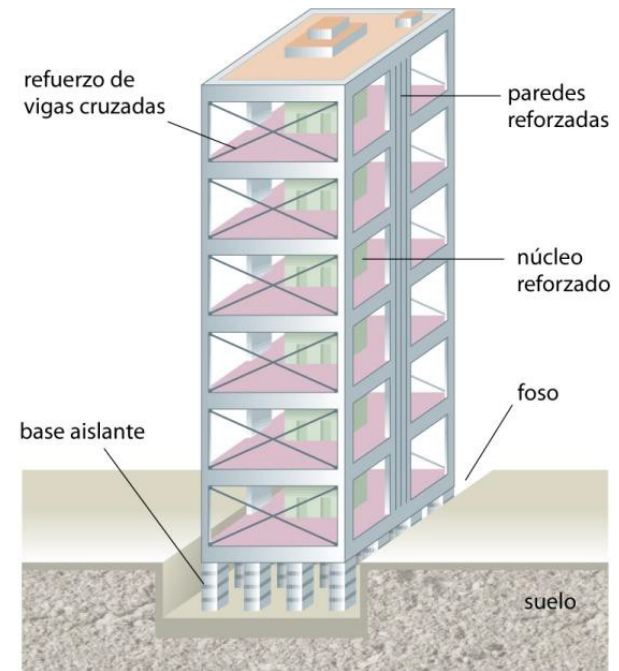
Mapa de peligrosidad de terremotos con magnitudes superiores a 3,5 grados ocurridos en el entorno de la península ibérica en el período 01/01/1995-01/01/2002.

#### Análisis de los precursores sísmicos

- ▶▶ Elevaciones del terreno.
- ▶▶ Cambios en la conductividad eléctrica del terreno.
- ▶▶ Variaciones en el campo magnético local.
- ▶▶ Disminución de la relación  $v_p/v_s$ .
- ▶▶ Incremento (hasta el triple del valor inicial) de la cantidad de radón en el agua de pozos profundos.
- ▶▶ Aumento de la cantidad de microseísmos locales.
- ▶▶ Cambios en el comportamiento de algunos animales.

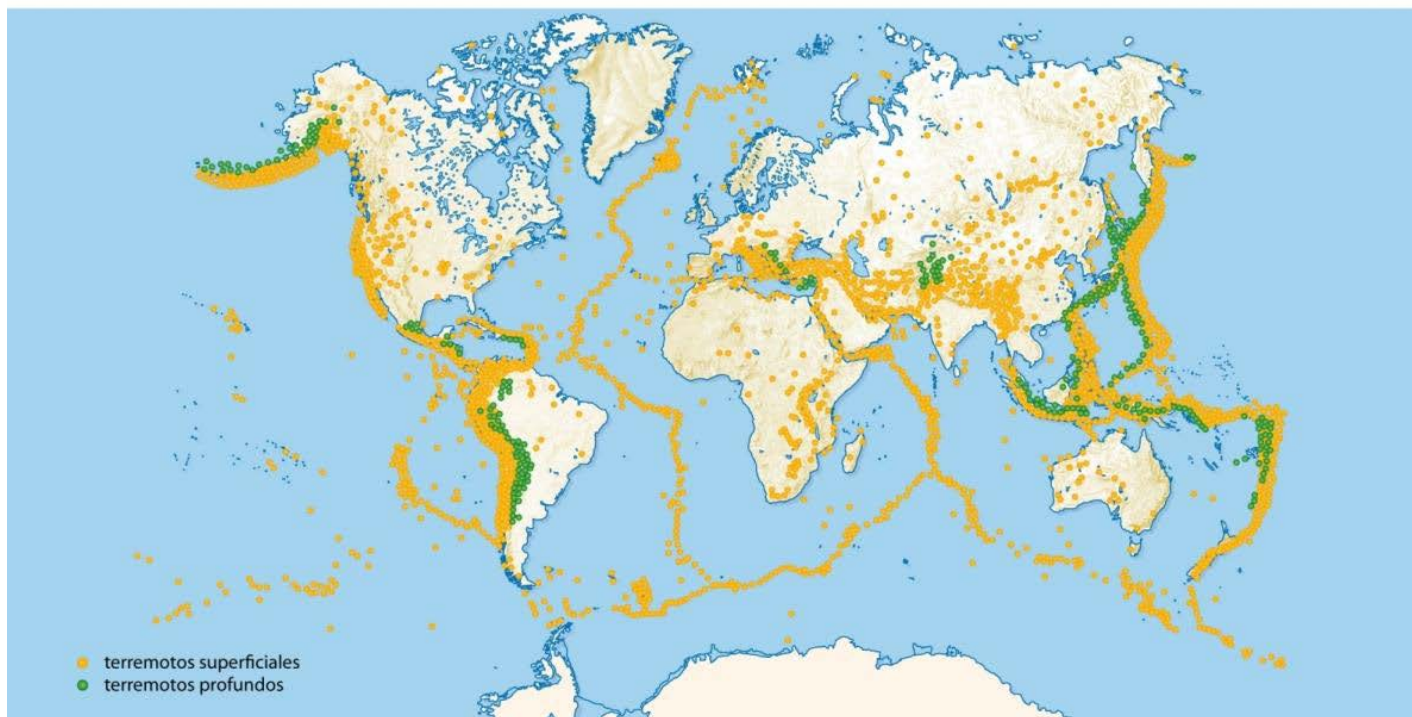
**Medidas preventivas antisísmicas****Normas de construcción sismorresistentes**

- ▶▶ Construir con hormigón armado, acero o madera.
- ▶▶ Cimentar en sustrato rocoso. En caso contrario, las casas deben ser ligeras y de poca altura.
- ▶▶ Reforzar las paredes y el núcleo de los edificios con hormigón reticulado con barras de acero.
- ▶▶ Asegurar los muros exteriores con vigas de acero cruzadas en diagonal.
- ▶▶ Colocar amortiguadores entre los cimientos y la estructura.
- ▶▶ Anclar los rascacielos profunda y fuertemente al sustrato, simétricos y equilibrados, con estructuras doblemente reforzadas.
- ▶▶ En viviendas, centros públicos y de trabajo, fijar al suelo las estructuras pesadas.
- ▶▶ Reforzar especialmente las conducciones de agua y gas.

**Construcción sismorresistente.**



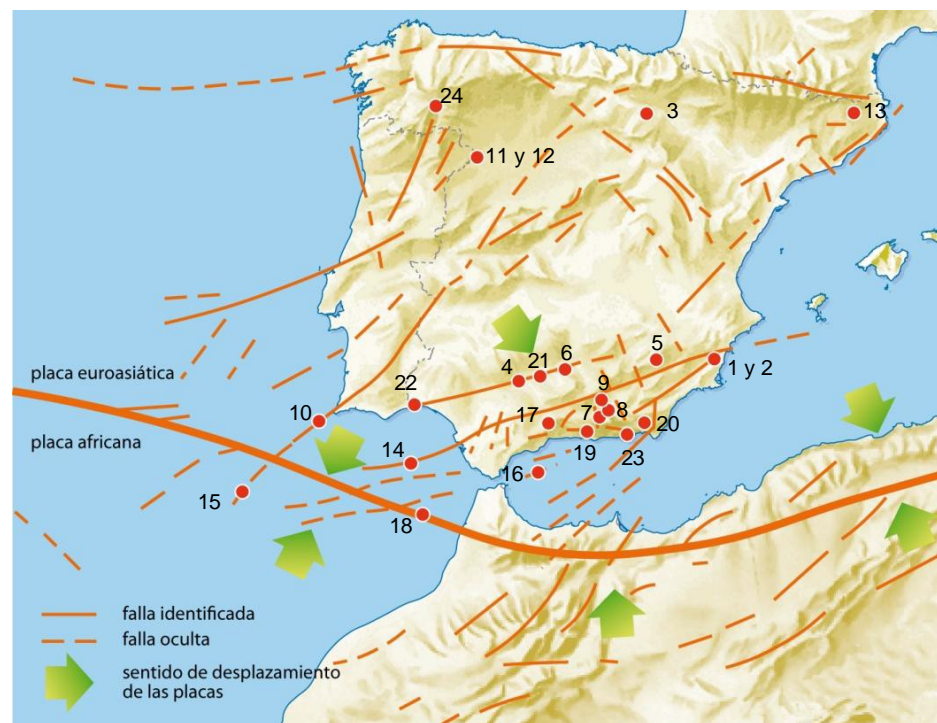
### Áreas de riesgo sísmico en el mundo



Principales cinturones de riesgo sísmico mundiales.

Epicentro	Año	Magnitud
1 Jacarilla	1919	5,2
2 Jacarilla	1919	5,1
3 Tumuncún	1929	5,1
4 Benamejí	1935	5,0
5 Cehegín	1948	5,0
6 Alcaudete	1951	5,1
7 Durcal	1954	7,0
8 Zúbia	1955	5,1
9 Albolote	1956	5,0
10 Cabo San Vicente	1956	5,0
11 Zamora	1961	5,2
12 Zamora	1961	5,2
13 San Juan de las Abadesas	1962	5,1
14 Golfo de Cádiz	1964	6,2
15 Cabo San Vicente	1969	7,3
16 Mar de Alborán	1975	5,2
17 Alora	1976	5,4
18 Golfo de Cádiz	1978	5,0
19 Almuñécar	1984	5,0
20 Sierra Alhamilla	1984	5,0
21 Montilla	1985	5,1
22 Ayamonte	1989	5,0
23 Adra	1993	5,0
24 Baeza	1997	5,1

### Áreas de riesgo sísmico en España



Situación tectónica y sismicidad en la península ibérica.  
Véase la numeración en la tabla.

**Factores que intensifican el riesgo volcánico**

El incremento de población que se asienta en el área de influencia de un volcán aumenta el factor de **exposición**.

La **peligrosidad**, determinada por el tipo de erupción, el número de volcanes y la frecuencia de las erupciones.

**Tipos de erupción en función de los tipos de magma****▶▶ Magmas básicos**

Son pobres en sílice y muy fluidos.

Generan erupciones tranquilas, dominadas por la emisión de coladas de lava.

**▶▶ Magmas ácidos**

Son ricos en sílice y viscosos.

Impiden el escape de los gases, lo que da lugar a erupciones explosivas.

**Índice de explosividad volcánica (IEV)**

Cuantifica la peligrosidad de un aparato volcánico.

**Fenómenos asociados a las erupciones**

▶▶ Lahares o coladas de barro.

▶▶ Erupciones freáticas o freato-magmáticas.

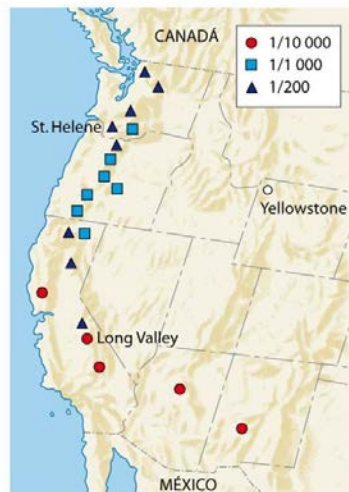
▶▶ *Tsunamis*.

▶▶ Movimientos del terreno.

## Métodos de predicción

## Estudio de la historia eruptiva

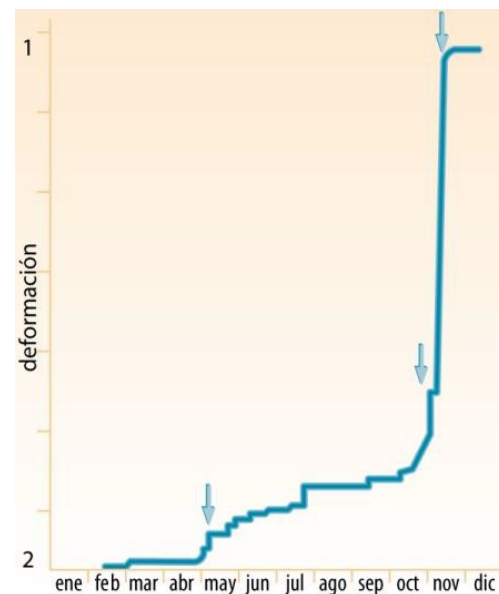
Tiempos de retorno de la  
región pacífica de EE UU.



Expresados en número  
de erupciones volcánicas por  
número de años.

## Análisis de los precursores volcánicos

- ▶▶ Movimientos sísmicos de origen tectónico, volcánico o explosivo.
- ▶▶ Elevaciones del terreno.
- ▶▶ Aumento del potencial eléctrico.
- ▶▶ Alteraciones en el campo magnético local.
- ▶▶ Emisión de gases (vapor de agua,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{Rn}\dots$ ).
- ▶▶ Cambios en la temperatura de los lagos del cráter.



Deformación del terreno en la erupción  
del Shiveluch, en Kamchatka, en 1964.



**Medidas preventivas contra las erupciones**

- ▶▶ Cambio del curso de las coladas de lavas, mediante la construcción de zanjas o muros, enfriándolas con agua o bombardeándolas desde aviones.
- ▶▶ Distribución de mascarillas si se sospecha de la presencia de gases tóxicos.
- ▶▶ Drenaje de los lagos formados en los cráteres, si los hubiera, a fin de evitar coladas de barro.
- ▶▶ Construcción de edificios semiesféricos o de tejados muy inclinados que impidan su hundimiento por acumulación de cenizas y piroclastos.
- ▶▶ Habilitación de refugios incombustibles contra las nubes ardientes.
- ▶▶ Contratación de seguros para cubrir la pérdida de propiedades.

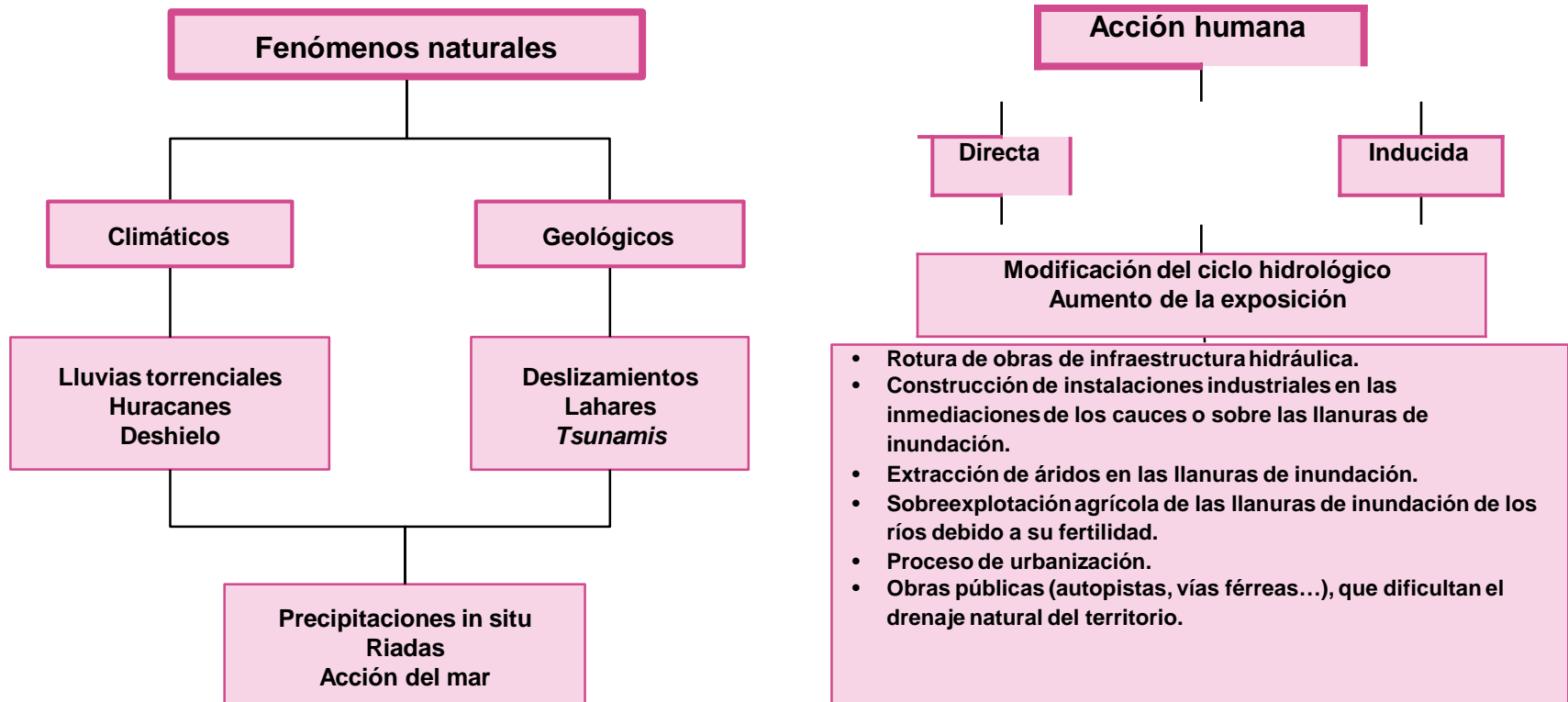


Edificio construido contra la caída de piroclastos.

**Áreas de riesgo volcánico en el mundo**

Distribución de los volcanes activos en relación con las placas litosféricas.

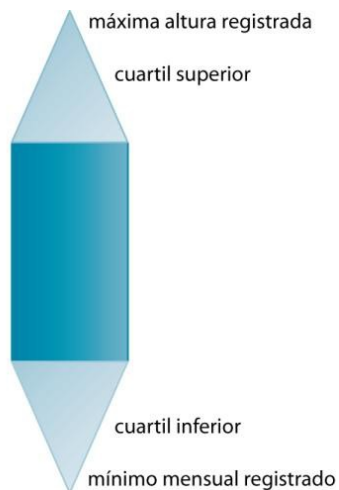
Una **inundación** es la anegación temporal de terrenos normalmente secos, como consecuencia de la aportación inusual y más o menos repentina de una cantidad de agua superior a la que es habitual en una zona determinada.



## Métodos de predicción de avenidas

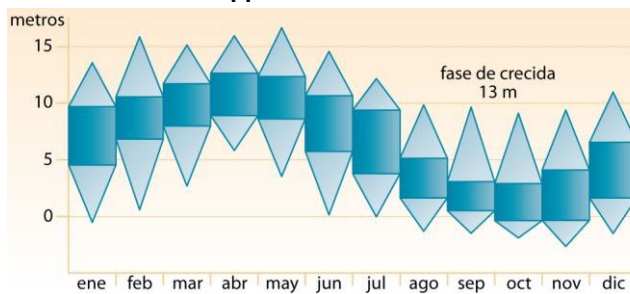
Predicción meteorológica

Predicción de crecidas fluviales

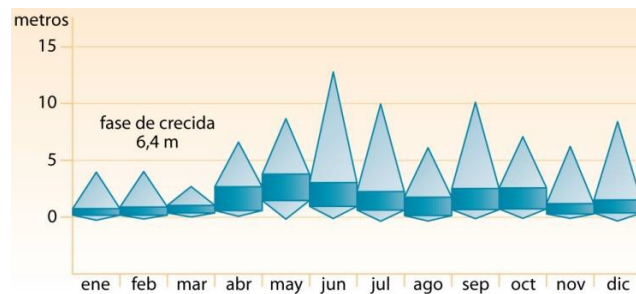


Barra utilizada en las gráficas de predicción de crecida.

Gráfica río Mississippi



Gráfica río Colorado



Gráfica río Sacramento



Gráfica río Connecticut





**Medidas preventivas****Estructurales****Corrección y regulación de cauces:**

- Limpieza.
- Dragado.
- Desvío.
- Acortamiento de meandros.

**Obras de protección de riberas y de encauzamiento:**

- Diques artificiales.

**Construcción de embalses.****Conservación de suelos.****Corrección de las cuencas hidrológicas:**

- Reforestación.
- Ordenación de cultivos.
- Conservación de la vegetación de ribera.



Diques de contención en la ribera del Ebro a su paso por Miranda de Ebro (Burgos).

**No estructurales****Elaboración de mapas de riesgo.****Aplicación de la normativa legal.****Contratación de seguros.****De planificación****Sistema de Alerta e Información Hidrológica (SAIH).****Protección Civil.**

### Áreas de riesgo de inundaciones en España

#### Cuencas del norte

- Valles estrechos y profundos.
- Red fluvial poco jerarquizada y regularizada.
- Poblaciones muy cerca de los cauces.
- Fuertes lluvias ocasionales.

#### Cuencas de los grandes ríos (Ebro, Tago, Duero y Guadiana)

- Largos períodos de lluvias.
- Lentas subidas del nivel de las aguas.
- Inundaciones de tipo permanente.
- Menor entidad de los caudales resultantes.
- Proliferación de obras de regulación y laminación.
- Avenidas prácticamente controladas.

#### Vertiente meridional de los Pirineos

- Condiciones climáticas muy similares a las que se producen en la vertiente mediterránea, dando lugar también a repentinas avenidas.
- Cobertura vegetal más desarrollada.
- Mayor jerarquización y longitud de sus cauces.
- Frecuente regularización de los cauces.

#### Área mediterránea

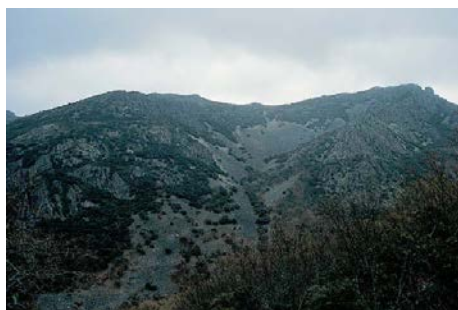
- Lluvias torrenciales de final de verano y otoño.
- Suelo fácilmente erosionable.
- Tasa de deforestación muy elevada.
- Ausencia de obras de protección en las ramblas.
- Uso de las ramblas como vías de comunicación.
- Falta de planificación urbanística.
- Asentamientos en las llanuras de inundación.

Puntos conflictivos  
por inundaciones en  
España.



Los **movimientos gravitacionales** son procesos erosivos ocasionados cuando cualquier material de la superficie terrestre es empujado por la gravedad hacia niveles inferiores, donde adquiere nuevas posiciones de reposo.

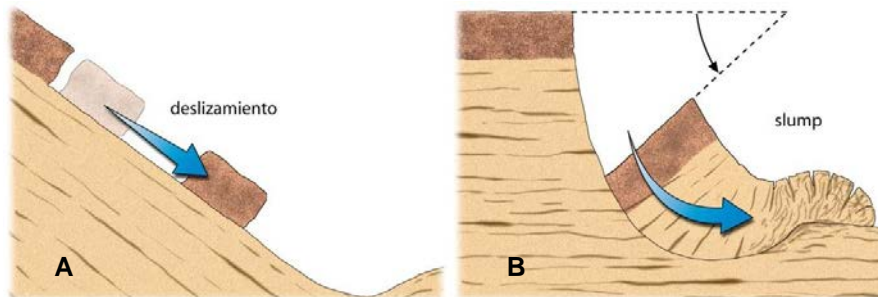
### Desprendimientos



Conos de derrubios caídos por desprendimientos debidos a la acción del hielo.

Deslizamientos:  
A de rocas;  
B corrimiento de tierras.

### Deslizamientos



### Coladas de barro



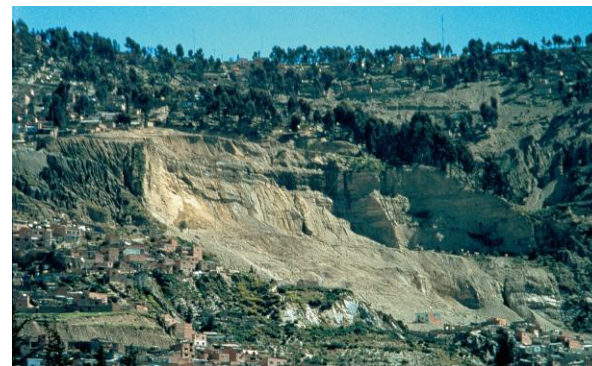
Nevado de Huascarán.

### Reptación del suelo



Puede afectar a sustratos rocosos, como las pizarras.

### Manto de solifluxión



Manto de solifluxión en La Paz (Bolivia).



### Métodos de predicción

#### Localización de áreas potencialmente inestables

##### Existencia de movimientos previos

- **Formas de relieve**
  - Cabeceras arqueadas.
  - Hondonadas y encharcamientos.
  - Acarcavamientos.
- **Características de los depósitos desplazados**
  - Análisis granulométricos.
  - Morfología de los depósitos.
- **Indicadores de actividad**
  - Daños estructurales.
  - Inclinación de la vegetación.
  - Inclinación de los postes del tendido eléctrico.

##### Índices morfológicos de inestabilidad

- **Topografías cóncavas**
- **Laderas con mayor ángulo de pendiente**



#### Alcance de los movimientos

##### **Volumen de roca desplazado**

Al aumentar este, disminuye el coeficiente de fricción (caída vertical/distancia horizontal).

##### **Litología**

- Materiales alterados.
- Litologías poco consolidadas.
- Alternancia de estratos con diferente permeabilidad.

##### **Tipo de movimiento**

Los desprendimientos tienen menor alcance que los deslizamientos.

##### **Superficie de desplazamiento**

- Prados o sustratos rocosos.
- Planos de falla, de estratificación o de esquistosidad.



#### Predicción de la rotura

##### **Factores desencadenantes**

##### **Climáticos**

- Períodos de máxima intensidad de lluvia.
- Períodos de deshielo.
- Variación del nivel freático.

##### **Estructurales**

- Fallas.
- Movimientos sísmicos.





## Medidas preventivas

### Medidas reductoras de la peligrosidad

#### Modificación de la geometría original

Descarga de la cabecera de la ladera.

Disminución de las pendientes.

- Aterrazamiento.
- Relleno de las zonas más bajas.

#### Drenaje de las laderas

- Recogida y evacuación de agua.

#### Contención de la ladera

- Muros, contrafuertes o escolleras.

#### Mejora de la resistencia del terreno

- Redes metálicas.
- Gunitado.
- Repoblación forestal.
- Bulones y anclajes.



### Medidas reductoras de la exposición

Ordenación del territorio apoyada en los mapas de riesgo.

Protección Civil.

### Medidas reductoras de la vulnerabilidad

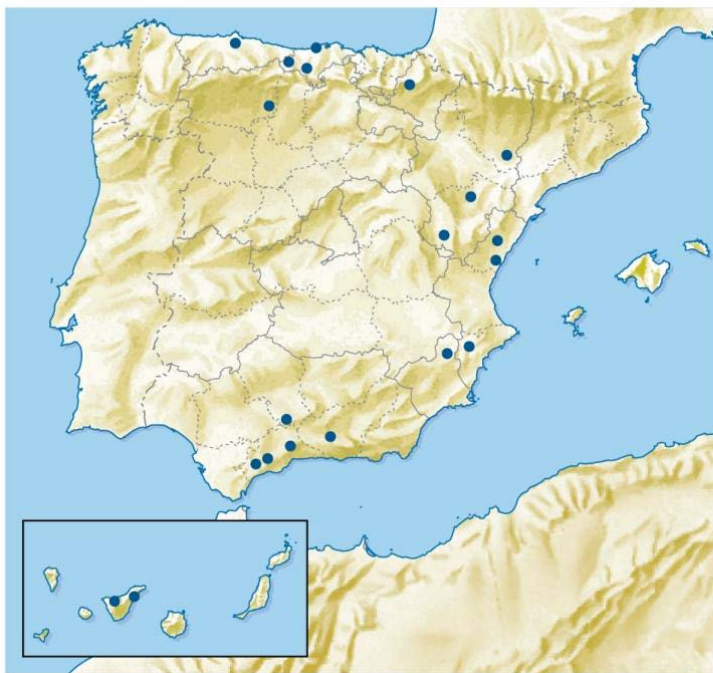
Retención de la masa en movimiento.

- Barreras y muros transversales.
- Piscinas de recepción de derrubios.
- Barreras de arbolado.

Desvío de la trayectoria.

**Áreas de riesgo**

**Localización de los movimientos de ladera en los que tuvo que intervenir la Dirección General de Protección Civil en 1989.**



**La catástrofe de Biescas (Huesca).**



**Localización del barranco de Arás (Biescas).**

1. Cuenca de recepción.
2. Canal de desagüe.
3. Cono de deyección (localización del *camping* de Las Nieves).

**Riesgo por diapiros**

Los diapiros pueden afectar a la estabilidad de las construcciones asentadas sobre ellos.

**Riesgo de subsidencia kárstica**

La ocupación humana de terrenos donde subyacen formaciones karstificables origina riesgos, como colapsos y hundimientos de la superficie.

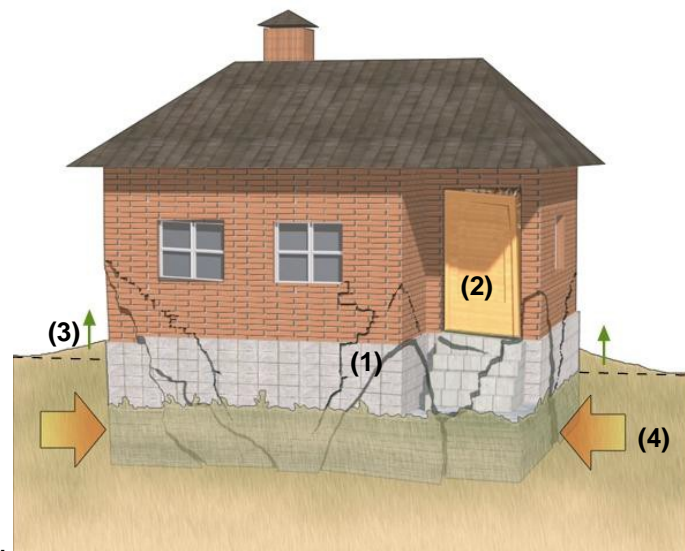
**Avance de dunas**

La movilidad de las dunas puede afectar a edificaciones y vías de comunicación.

**Expansividad de arcillas**

El cambio de volumen de las arcillas puede ocasionar daños en construcciones y obras civiles asentadas sobre esos terrenos.

- (1) grietas en la paredes
- (2) deformación de marcos de puertas y ventanas
- (3) expansión del suelo húmedo
- (4) daño en los cimientos por la presión lateral



Efecto de las arcillas expansivas sobre las construcciones.

**Son los provocados por la intervención y modificación directa del ser humano sobre el medio geológico o la dinámica de diversos procesos geológicos naturales.**

**Acentuación de la expansividad de las arcillas debido a:**

- ▶▶ Un exceso de riego.

**Subsidencias debidas a:**

- ▶▶ Extracción de petróleo y gas natural.
- ▶▶ Actividades mineras subterráneas.
- ▶▶ Sobreexplotación de acuíferos.

**Erosión y desertificación acelerada a causa de:**

- ▶▶ Las talas masivas.
- ▶▶ Los incendios forestales.
- ▶▶ La impermeabilización del terreno debida a procesos urbanísticos.

**Deslizamientos inducidos por:**

- ▶▶ La construcción de obras civiles.
- ▶▶ La rotura de muros de contención.