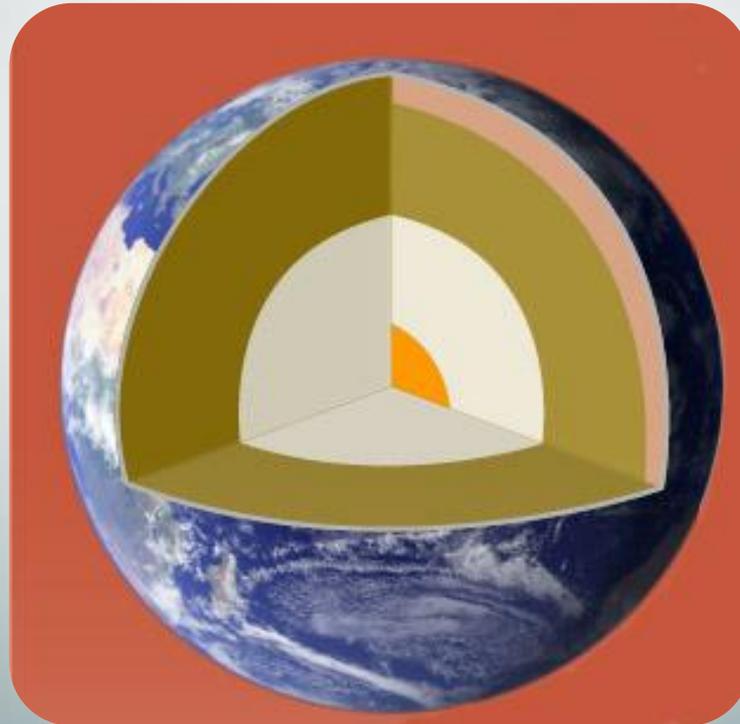


Geología

Tema 13. La Tierra. Los procesos geodinámicos internos y su reflejo en la morfología.



- El Vulcanismo.
- Volcán deriva de la pequeña isla de Vulcano, en el mar Tirreno, al norte de Sicilia, donde los romanos de la antigüedad situaban la fragua de Vulcano, el herrero de los dioses Júpiter y Marte.
- Existen unos 500 volcanes activos en el mundo; es decir volcanes que han tenido erupciones durante los últimos 25.000 años.
- La energía liberada en una erupción volcánica es enorme. El volcán Santa Helena (EE.UU), inactivo durante los últimos 150 años, en 1980 entró en erupción durante unas horas, liberando una energía equivalente a 27.000 bombas atómicas como la de Hiroshima, explotando a razón de una bomba cada segundo (murieron 57 personas).

Algunas de las erupciones volcánicas más dañinas

CUADRO I. RELACION DE ERUPCIONES VOLCANICAS OCURRIDAS DESDE 1700 QUE HAN ORIGINADO MAS DE 1.000 VICTIMAS DIRECTAS
(Los números de orden indican su localización en el mapa de la figura 1).

ERUPCION	PAIS	AÑO	VICTIMAS		
			FLUJO DE PIROCLASTOS	LAHARES	TSUNAMIS
1 Krakatoa	Indonesia	1883			36.417
2 Mt. Pelee	Martinica	1902	29.000		
3 Nevado del Ruiz	Colombia	1985		25.000	
4 Unzen	Japón	1792			15.188
5 Tambora	Indonesia	1815	12.000		
6 Sta. María	Guatemala	1902	6.000		
7 Kelut	Indonesia	1919		5.110	
8 Chinchón	Mejico	1982	5.000		
9 Galunggung	Indonesia	1822		4.000	
10 Awu	Indonesia	1701		3.000	
Awu	Indonesia	1856		3.000	
11 Papandajan	Indonesia	1772	2.957		
12 Lamington	Nva. Guinea	1951	2.942		
13 Makian	Indonesia	1760		2.000	
14 Agung	Indonesia	1963	1.870		
15 Soufriere	St. Vicent	1902	1.565		
Awu	Indonesia	1892		1.532	
16 Maypn	Filipinas	1825		1.500	
17 Oshima	Japón	1741			1.475
18 Taal	filipinas	1911	1.332		
19 Merapi	Indonesia	1915	1.300		
Mayon	Filipinas	1814	1.200		
20 Asama	Japón	1783	1.151		
21 Cotopaxi	Ecuador	1741		1.000	
Cotopaxi	Ecuador	1877		1.000	
Nevado del Ruiz	Colombia	1845		1.000	

Origen y distribución del vulcanismo

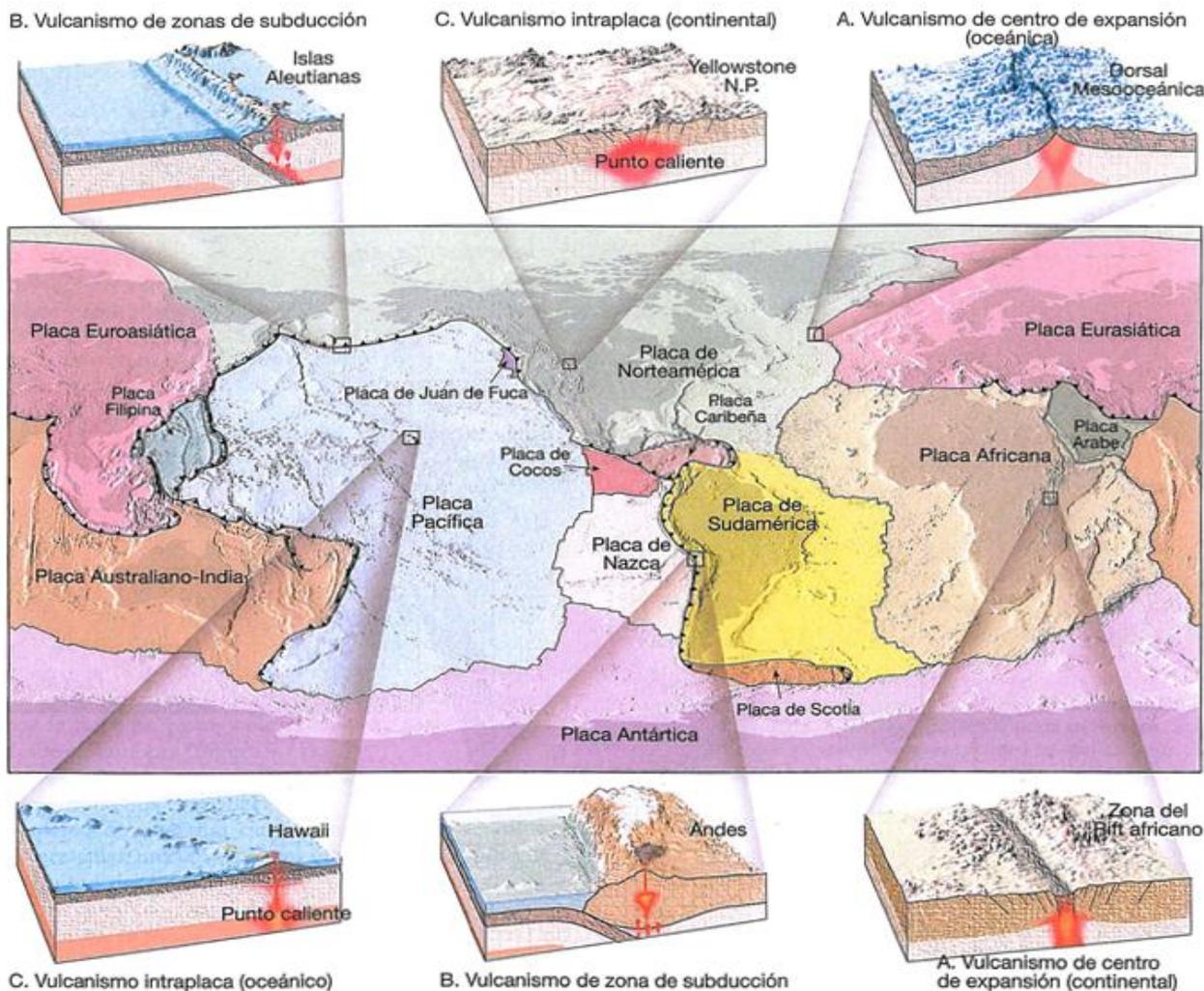
Al igual que en los seismos, **la distribución y comportamiento de los volcanes están controlados por la geometría global de las placas tectónicas**, existiendo volcanes en todos los continentes excepto en Australia.



Bordes de placas y situación de los volcanes

La mayoría (95%) de los volcanes se sitúan en los bordes de las placas litosféricas y sólo una fracción (5%) lo hacen en el interior de las placas.

Bordes de placas y situación de los volcanes



Los volcanes aparecen en tres contextos tectónicos distintos

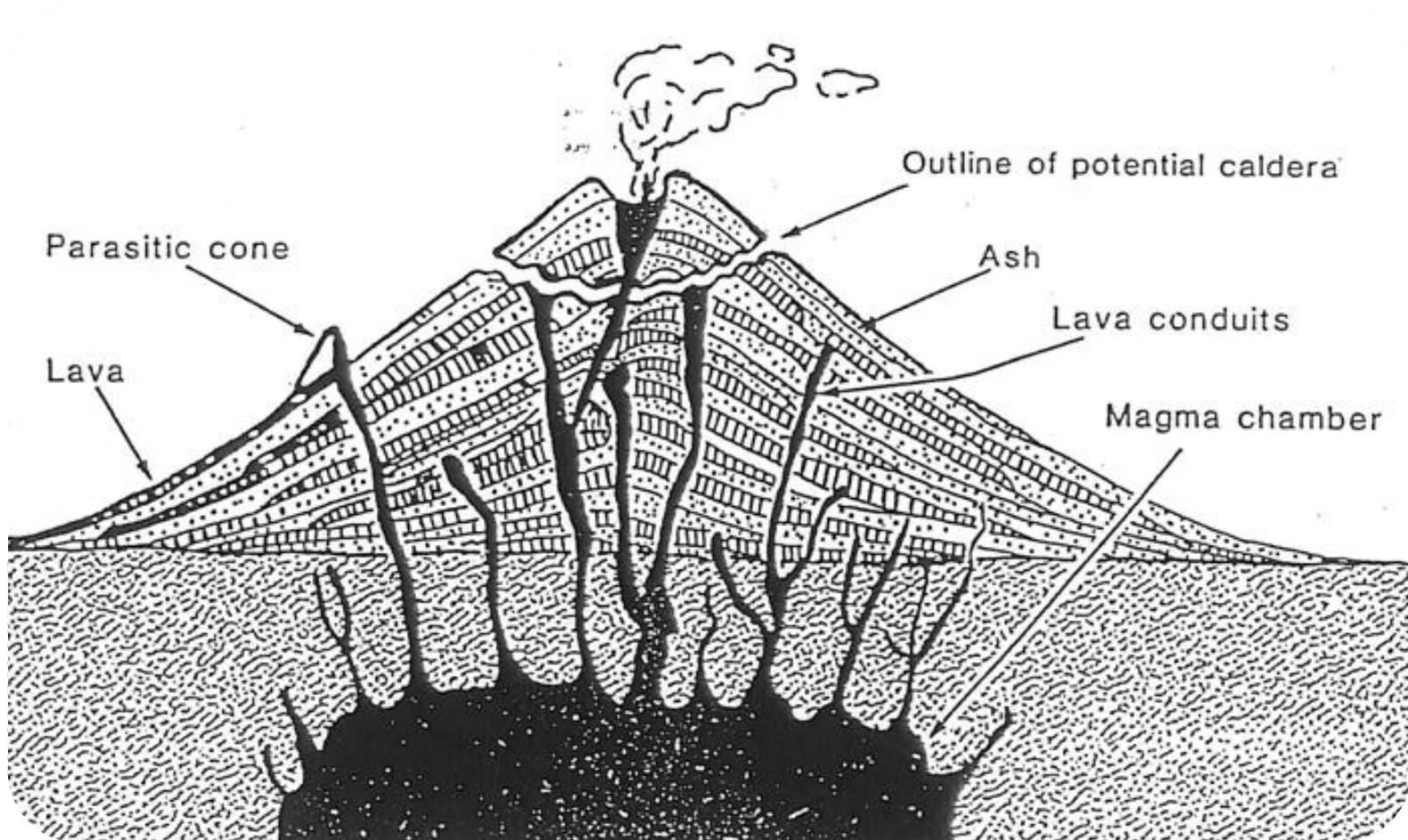
Bordes de placas convergentes:

- Aproximadamente el 80% de los volcanes activos del mundo están situados en bordes de placas convergentes o zonas de subducción.
- En este tipo de bordes, los magmas generados suelen ser muy viscosos, atrapando a los gases disueltos hasta alcanzar enormes presiones en la cámara magmática que se liberan en la erupción de forma explosiva.
- A este tipo de magmas viscosos pertenecen la mayoría de los grandes volcanes activos del Planeta, concretamente el llamado Cinturón de Fuego del Pacífico (aproximadamente el 75% del volcanismo activo y los más peligrosos).

Los estratovolcanes

- Una característica del vulcanismo de borde convergente es la permanencia de la actividad eruptiva concentrada en un punto durante largos periodos de tiempo, lo que origina estratovolcanes, o cono compuesto, la forma más característica y predominante de los volcanes en las zonas de subducción.
- El estratovolcán está formado por la acumulación de materiales de sucesivas erupciones a base de estratos alternantes de cenizas y lavas, generando edificios de gran altura.
- El aumento progresivo de la altura de estos edificios hace aumentar correlativamente su peligrosidad al volverse mecánicamente inestables, facilitando su colapso y desencadenando erupciones catastróficas al liberarse instantáneamente la presión en el interior del edificio.
- Independientemente de la latitud del volcán, la gran altura que alcanzan hace que se cubran de casquetes de hielo, lo que supone un peligro adicional al fundirse total o parcialmente y generar flujos de lodo muy destructivos.
- En algunos casos, las explosiones son de tal magnitud que remueven la parte superior del cono produciendo una cavidad central llamada caldera.

Esquema de un estratovolcán



Bordes de placas divergentes

En los bordes de placas o volcanes de rift, los magmas generados son poco viscosos, dando lugar a erupciones de baja explosividad y de naturaleza efusiva, especialmente cuando ocurren en las profundidades oceánicas.

Volcanes intraplaca:

- Un porcentaje mínimo de los volcanes (5%) se sitúan en el interior de las placas, volcanes de punto caliente, originados por el ascenso de material fundido desde el interior terrestre. Estos magmas son poco viscosos.

Clasificación de las erupciones volcánicas

La violencia de las erupciones volcánicas depende fundamentalmente de la presión de los gases en la cámara magmática y de la viscosidad de los magmas.

En función de estas dos variables se establece una escala de 7 tipos de erupciones progresivamente más explosivas:

1. Tipo islándico. Erupciones efusivas de lava muy poco viscosa. Característica de regiones sujetas a tensiones corticales que originan fisuras muy profundas a través de las cuales la lava fluye libremente para formar extensos casquetes de lava.
2. Tipo hawaiano. Similar al tipo islándico. La efusión de lava es predominante y los gases son liberados despacio.
3. Tipo estromboliano. Presentan cierto carácter explosivo debido a que la lava tiene cierta viscosidad. Los gases escapan con moderadas explosiones que pueden ser rítmicas o incluso continuas. Durante las explosiones pueden ser proyectadas bombas volcánicas.

4. Tipo vulcaniano. La lava presenta alta viscosidad. Los gases acumulados explotan durante prolongados intervalos de tiempo con gran violencia, dando lugar a nubes volcánicas de material eyectado.
5. Tipo vesubiano. Después de largos periodos de inactividad el magma se carga con altas concentraciones de gases dando lugar a erupciones con nubes negras que se extienden dentro de la atmósfera hasta considerable altura cubriendo de cenizas volcánicas extensiones muy amplias.
6. Tipo plineano. Estas erupciones dan lugar a las expulsiones de gas más violentas. La pluma volcánica se puede extender en la atmósfera hasta varios kilómetros de altura.
7. Tipo peleano. Son las erupciones potencialmente más desastrosas. El escape de material altamente explosivo está impedido por un domo obstructivo de lava sólida en el conducto (chimenea) principal. La presión del magma abre nuevas salidas en los flancos del volcán, originando una explosión lateral cuyos materiales se desplazan pendiente abajo arrasando todo a su paso.

Esquemas de principales tipos de erupciones volcánicas

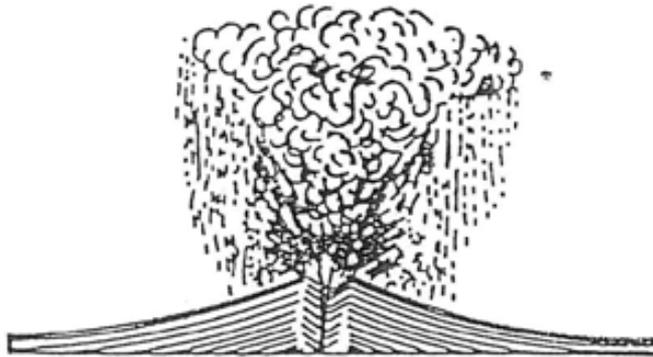
ICELANDIC TYPE



VESUVIAN TYPE



VULCANIAN TYPE



PELEAN TYPE

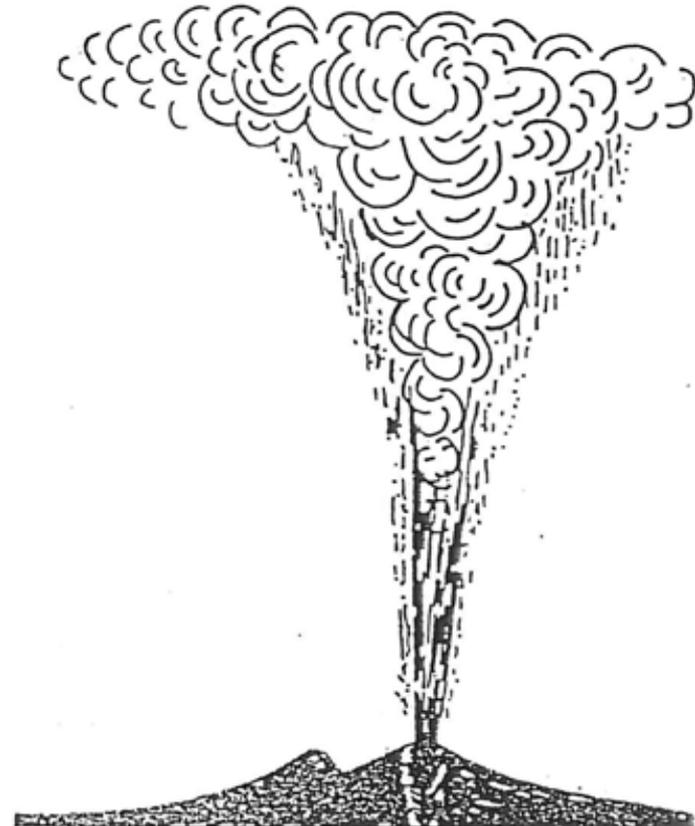


Esquemas de principales tipos de erupciones volcánicas

HAWAIIAN TYPE



PLINIAN TYPE



STROMBOLIAN TYPE



Procesos volcánicos y factores de riesgo

Erupciones con magmas de baja viscosidad. El gas disuelto en estos magmas tiene pocas dificultades para escapar a la atmósfera. La tendencia a la obturación del conducto de salida por enfriamiento de la lava se resuelve con explosiones rítmicas de baja energía que fragmentan la lava y provocan la dispersión de piroclastos en un área reducida alrededor del punto de emisión.

El riesgo de este tipo de erupciones está ligado a la caída de piroclastos (lapilli, bombas) en un reducido entorno del punto de emisión y al flujo de coladas de lava que pueden alcanzar a veces grandes velocidades y distancias a favor de la pendiente. El daño sólo afecta a las estructuras que no pueden desplazarse.

Tema 13. Los procesos geodinámicos internos y su reflejo en la morfología.

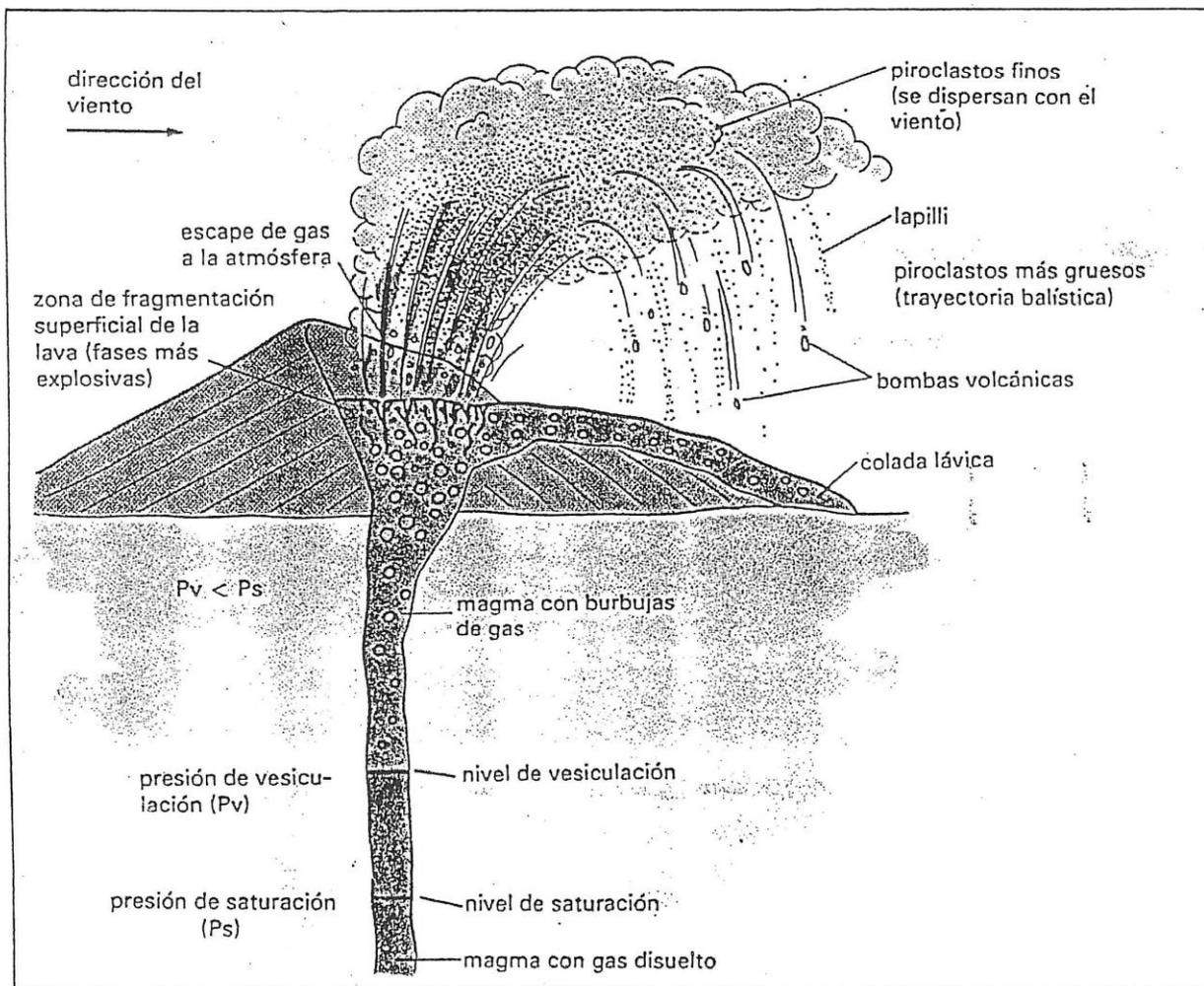


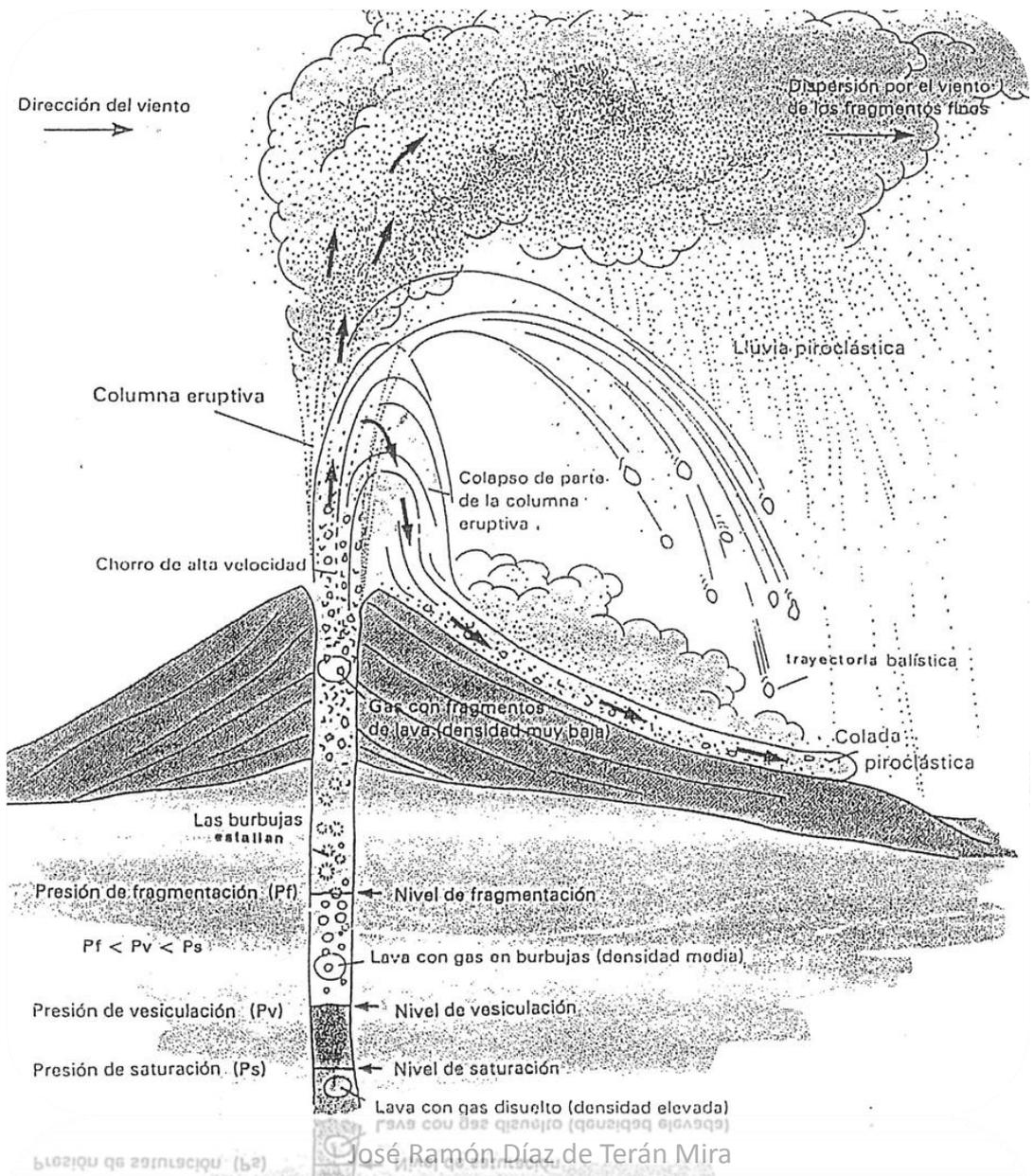
Figura 2. Esquema que ilustra el mecanismo eruptivo usual de los magmas de baja viscosidad. Este tipo de erupciones se caracteriza por la emisión de piroclastos de diverso tamaño en un entorno reducido y de coladas lávicas que discurren por las pendientes, con bajo o nulo riesgo para la población.

Erupciones con magmas de elevada viscosidad

En estos casos, el conducto volcánico suele estar taponado por lava solidificada de anteriores emisiones. La presión de los gases adquiere valores muy elevados, sobre todo si el magma en su ascenso encuentra agua freática que se transforma en vapor de agua a gran presión.

Cuando los gases consiguen liberarse, lo hacen de manera explosiva rompiendo el edificio volcánico, a veces por sus flancos laterales, dando lugar eyección de materiales y a la generación de avalanchas que pueden alcanzar velocidades de varios cientos de km/hora, produciendo una destrucción total en el área afectada.

Tema 13. Los procesos geodinámicos internos y su reflejo en la morfología.



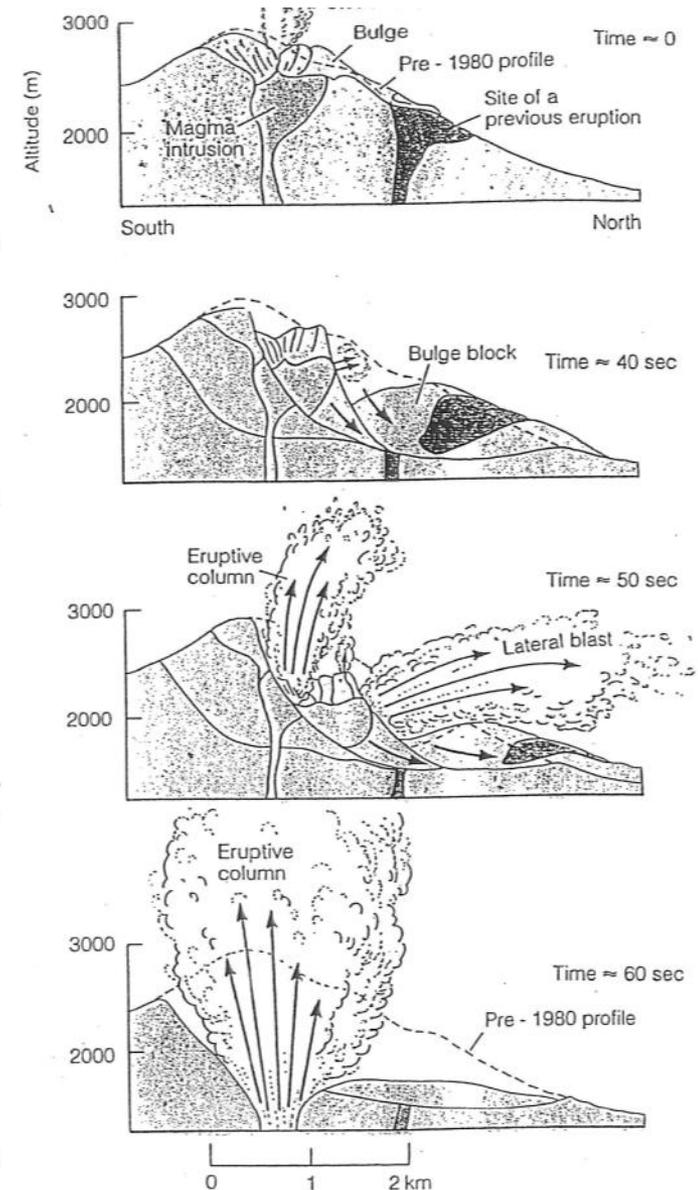
Lluvias piroclásticas

- La erupción da lugar a un chorro o columna eruptiva que se dispara verticalmente hacia arriba a velocidades de hasta 600 m/s y en expansión continua, arrojando a la atmósfera gases sobrecalentados, fragmentos de lava y trozos de las paredes del conducto, todo ello en grandes volúmenes del orden de km³.
- La columna se eleva hasta incluso decenas de km de altura hasta llegar a la zona de inversión de temperatura, en el límite estratosfera-troposfera adquiere la forma de hongo y después por efecto de los fuertes vientos laterales el aspecto característico de pluma.
- Según la altura que alcance la pluma y la dirección del viento, los fragmentos se dispersan por una amplia zona. Los de granulometría fina (cenizas) se mantienen durante largo tiempo en suspensión y alcanzan grandes distancias (en la erupción del Nevado del Ruiz, Colombia, se registraron cenizas en Venezuela a 400 km de distancia).

- Estas caídas de cenizas no representan un grave riesgo para la población ni para las infraestructuras de la zona, sin embargo producen trastornos serios en los núcleos de población (hundimiento de techos de viviendas, reducción de la visibilidad), perjuicios en la agricultura (destrucción de la vegetación) y ganadería (contaminación de los pastos y envenenamiento de los animales).
- Coladas piroclásticas.
- Las erupciones más explosivas van asociadas a coladas piroclásticas, llamadas nubes ardientes. Constituyen el proceso más destructivo de las erupciones volcánicas. Su génesis está ligada al ascenso del chorro eruptivo hacia la atmósfera, en el que se diferencian dos fases: una superior convectiva (que origina después la lluvia de cenizas) y otra inferior en la que la gravedad frena rápidamente el ascenso de los piroclastos, provocando un colapso de estos materiales que descienden a gran velocidad por las laderas del volcán con temperaturas de centenares de grados.

Sus elevadas temperaturas y su gran movilidad (favorecidas por la fluidificación del sistema por efecto de los gases calientes que mantienen en flotación las partículas sólidas) les dotan de una tremenda letalidad, arrasando y quemando todo a su paso sin que se puedan tomar otras medidas de defensa que la evacuación previa de las zonas amenazadas.

Es el mayor riesgo cuando se producen explosiones laterales en los volcanes de tipo peleano, siendo capaces estas **nubes ardientes** de avanzar a velocidades superiores a los 100 km/hora, hasta 30-40 km de distancia.



Flujos de lava

- Aunque en la concepción popular estos flujos están asociados a las catástrofes volcánicas, en realidad las lavas están siempre confinadas a los fondos de los valle y su discurrir es fácil de predecir.
- Con pendientes fuertes y lavas muy poco viscosas las velocidades de flujo pueden llegar hasta los 50 km/h. Los volcanes de tipo hawaiano, que producen basaltos muy fluidos, son los que presentan con más frecuencia este tipo de erupción.
- Flujos de lodo o lahares.
- Lahar es palabra indonésica que designa un movimiento rápido de masas de rocas y lodo provocado por el agua en las laderas de un volcán. Son flujos extremadamente móviles (50-80 km/h) y capaces de transportar grandes volúmenes de materiales a grandes distancias. Los lahares son comunes en los estratovolcanes y pueden ocurrir tanto antes como durante o después de la erupción.

Tema 13. Los procesos geodinámicos internos y su reflejo en la morfología.

- Una intensa lluvia puede desencadenar un flujo de lodo fluidificado que canalizado por los barrancos y debido a su densidad y velocidad va arrancando material del cauce, aumentando su densidad y su poder destructivo.
- Otras veces, los volcanes de gran altura están coronados por casquetes de hielo permanentes con volúmenes de millones de m³ que, en caso de erupción, se pueden licuar rápidamente y generar los devastadores flujos de lodo.
- El 13 de noviembre de 1985, el volcán Nevado del Ruiz (5.200 m de altitud, Colombia) entró en erupción produciendo la caída piroclastos sobre el casquete glaciar y provocando la rápida fusión de 17 millones de m³ de agua, lo que generó un lahar que se desplazó hasta 80 km de distancia, arrasando la localidad de Armero, donde perecieron 22.000 habitantes. El desastre hubiera podido ser mayor, considerando que sólo se fundió el 6% de la masa total de hielo.
- Una erupción similar del Vesubio, en el año 79 a.C., sepultó a la ciudad de Herculeano bajo 20 m de lodos, permaneciendo oculta durante siglos.

Gases volcánicos venenosos.

La emisión de gases está relacionada con erupciones explosivas y con los flujos de lava.

Durante una erupción se emiten gases como vapor de agua, hidrógeno, ClH , SH_2 , CO , FH , CH_4 y NH_3 , etc. Algunos de estos gases, como el SH_2 , CO , CO_2 y SO_2 pueden ser peligrosos y tóxicos para las plantas y la vida animal. Estos gases se acumulan en zonas deprimidas, conocidas como ***valles de la muerte***, tal y como ocurrió en 1986, en el cráter del llamado Lago Nyos, en Camerún, donde murieron 1.746 personas como consecuencia de la presencia de CO_2 .

Deslizamientos y movimientos de masas en laderas

- Los deslizamientos y las caídas de rocas están relacionados con erupciones de magmas de relativa alta viscosidad y con un alto contenido en gases disueltos.
- Tsunamis.
- Grandes olas oceánicas relacionadas con los seismos generados por erupciones volcánicas, en la mayoría de los casos, y en otros, originadas por desplazamiento del agua durante erupciones explosivas. La explosión de la isla de Krakatoa, entre Java y Sumatra, en 1883, es el ejemplo más conocido. Enormes explosiones, audibles a 5.000 km de distancia, generaron olas de hasta 30 m que devastaron 295 poblaciones con 36.000 muertos (estas cifras han quedado empequeñecidas por el tsunami del 26 de diciembre de 2004, en el Pacífico, que dejó 150.000 muertos, en Sri Lanka, Tailandia, Indonesia, India, etc).

Predicción y prevención del vulcanismo

La predicción está basada en la observación de los llamados fenómenos precusores, aunque hay que tener en cuenta que cada volcán es diferente y que no existe un método universal de predicción aplicable a todos los volcanes.

Las mayores erupciones volcánicas no ocurren espontáneamente. Una erupción es el resultado de toda una serie de procesos previos provocados por el ascenso a la superficie de una gran masa a muy elevada temperatura y que produce una serie de efectos físicos y químicos que pueden ser detectados.

Los fenómenos precusores más frecuentes son:

- Seismos. El magma en su ascenso, antes de la erupción, provoca numerosos pequeños seismos, aumentando su número a medida que se acerca la fecha de la erupción. Una red de sismógrafos permite conocer la secuencia de seismos y la profundidad de su foco.
- Deformaciones del terreno. Estos desplazamientos se controlan mediante los distanciómetros, que detectan desplazamientos de hasta 1 mm sobre 1 km de distancia horizontal.

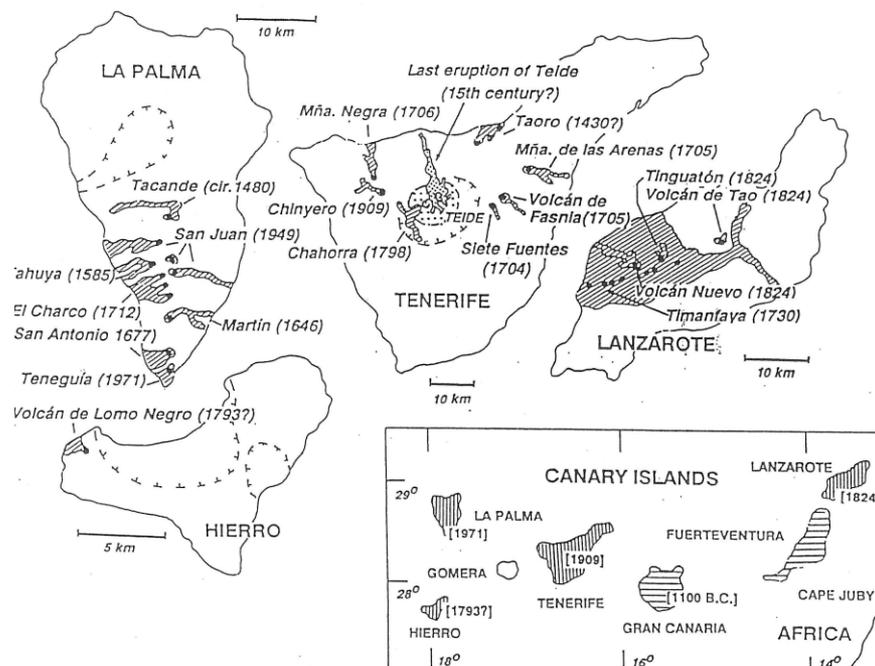
Tema 13. Los procesos geodinámicos internos y su reflejo en la morfología.

- Emisión de gases. Antes de las erupciones se han detectado cambios significativos en el volumen y tipo de los gases emitidos por los volcanes. Tales como incremento de las cantidades de Cl_2 , FH y SO_2 , así como un incremento en la proporción S/Cl . Estos cambios en el volumen o composición están relacionados con cambios en las condiciones de equilibrio de la cámara magmática.
- Anomalías térmicas. Incrementos de temperaturas detectados en las emisiones de aguas termales, en las fuentes y caudales subterráneos. Sensores de infrarrojo o radiómetros pueden ser usados también para detectar cambios en la temperatura de la superficie, especialmente por medio de satélites artificiales.
- Anomalías magnéticas. Antes de las erupciones se han detectado cambios acusados en el campo magnético local.
- Propiedades eléctricas. Cambios similares se han detectado en los campos eléctricos antes de las erupciones. Según parece, el ascenso de magma caliente modifica la resistividad de las rocas de la zona, así como su susceptibilidad magnética.

- Anomalías de la gravedad. Los gravímetros detectan variaciones locales de la gravedad cuando los magmas con diferentes densidades reemplazan a las rocas de la zona, o cambian de posición antes de una erupción.
- Modelos del comportamiento de los animales. El instinto de muchos pájaros y de otros animales les han salvado de muchos desastres. Días antes de que la erupción del Monte Pelee, en 1902, produjera una nube ardiente que causó 30.000 víctimas, se produjo una inusual y significativa desaparición de las aves y otros animales de la zona.

El vulcanismo activo en España

- Las Islas Canarias son la única región donde existe vulcanismo activo.
- Las islas tienen origen volcánico, relacionado con una actividad ígnea que se inicia a finales del Mesozoico y todavía continúa.
- Este vulcanismo parece estar asociado a zonas de rift.
- El registro del vulcanismo histórico comienza en el siglo XV y durante estos 500 años la actividad volcánica ha afectado a las islas de La Palma, Tenerife, Lanzarote y, probablemente, Hierro.



Factores de riesgo volcánico en Canarias

- Volcanismo asociado a zonas de rift, aunque de baja magnitud.
- Posibilidad de erupciones freatomagmáticas, muy explosivas (durante el Cuaternario hay evidencias en Tenerife, La Palma, Hierro y Lanzarote)
- Los esfuerzos gravitacionales de desgarre y la intrusión de diques en la zona de rift producen gigantescos desplazamientos de los edificios insulares a consecuencia del incremento de volumen. Muchas de las calderas o depresiones circulares frecuentes en Canarias tienen este origen
- Presencia de un estratovolcán (El Teide), activo desde el Pleistoceno y a lo largo de los últimos 160.000 años hasta el siglo XV.

Sismicidad

- Cada año ocurren en el mundo más de un millón de terremotos desde apenas perceptibles hasta los catastróficos.
- Un seísmo o terremoto es un súbito movimiento o temblor del substrato producido por un abrupto desplazamiento de masas de rocas, normalmente a unos 15-50 km de profundidad. Estos movimientos se producen en respuesta a fuerzas tectónicas.
- Las rocas tienen un comportamiento elástico y pueden acumular tensiones como consecuencia de la actuación de fuerzas sobre la zona. Cuando estas tensiones vencen la consistencia de las rocas sobreviene la rotura de las mismas a través de fracturas planas llamadas fallas.

Epicentro e hipocentro de un seísmo

La rotura se extiende a lo largo del plano de falla, desde su origen, o **foco**, o **hipocentro**. El **epicentro** de un terremoto es el punto de la superficie terrestre que se encuentra justo encima del foco.

Durante el proceso de rotura las superficies de la falla friccionan una sobre otra desprendiendo considerable energía que es emitida desde el punto de rotura por medio de **ondas sísmicas**.

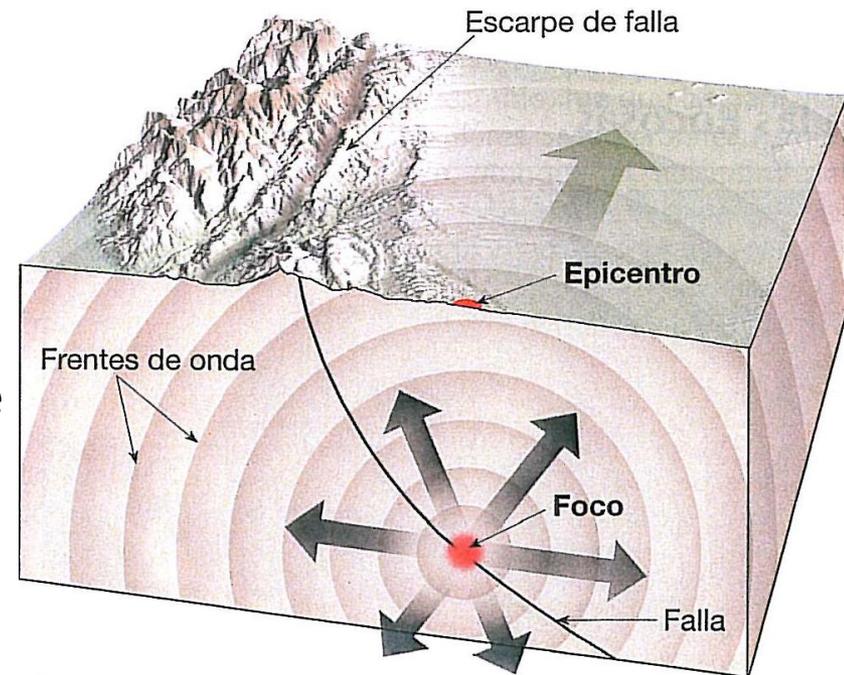


Fig. 16.1 // pp. 360. Tarbuck y Lutgens (2000)

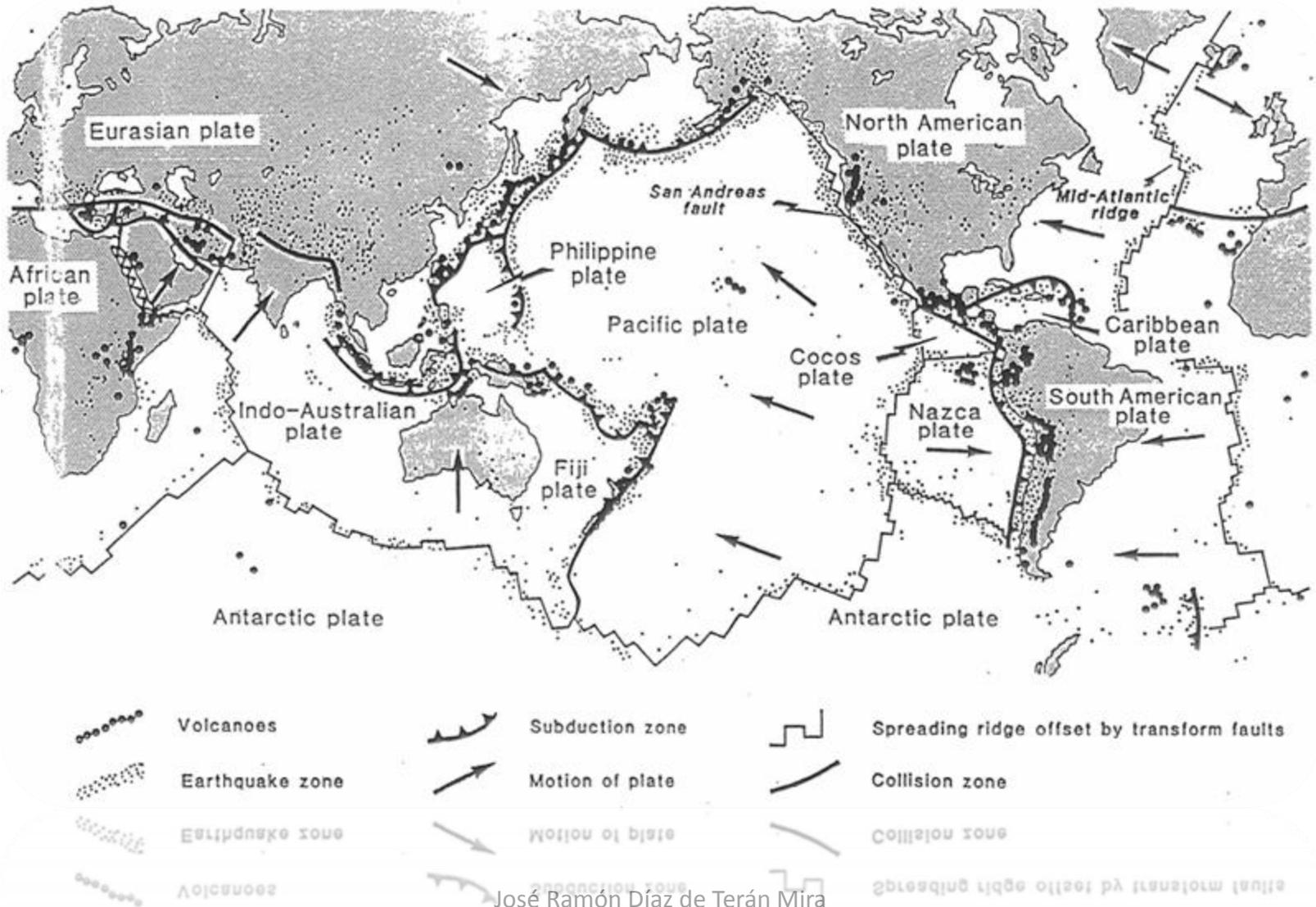
Figura 16.1 Foco y epicentro de un terremoto. El foco es la zona del interior de la Tierra donde se produce el desplazamiento inicial. El epicentro es la localización superficial que está directamente encima del foco.

Distribución geográfica y contexto tectónico

La distribución geográfica no es aleatoria. Casi 2/3 de los seismos mayores se localizan en el Cinturón de Fuego del Pacífico, en relación con la actividad de las placas tectónicas.

La corteza terrestre está dividida en más de 15 placas litosféricas de unos 60 km de espesor que se desplazan sobre el globo con velocidades del orden de 2-3 cm/año. La mayoría de los seismos se localizan sobre los márgenes activos de las placas, aunque también algunos seismos se producen en el interior de las placas.

Tema 13. Los procesos geodinámicos internos y su reflejo en la morfología.



Características de los seismos en función de los bordes de placa

Cada uno de los tres tipos de límites entre placas (divergente, convergente y transformante) está caracterizado por terremotos con distintos movimientos de las fracturas, con profundidades de foco distintas y con magnitudes diferentes. Incluso, en el normalmente estable ambiente de intraplaca suceden terremotos de grandes dimensiones.

- A. Bordes divergentes: Las fallas al estar asociadas a esfuerzos tensionales son de tipo normal. Los focos son someros (a menos de 100 km de profundidad, normalmente a menos de 20 km). Bajas magnitudes Richter.
- B. Bordes de fallas transformantes: Focos someros (menos de 100 km de profundidad). Altas magnitudes Richter.

C-D) Bordes convergentes (pueden ser de dos tipos):

+ C) Bordes de subducción: Pueden diferenciarse 3 áreas en cuanto a profundidad de foco y magnitud de seismos:

- * focos muy someros y seismos de magnitudes Richter bajas, asociados a fallas normales.

- * focos someros (hasta 100 km de profundidad) y magnitudes altas, asociados a fallas inversas.

- * focos profundos (desde los 100 km hasta los 700 km), magnitudes altas a muy altas según la profundidad.

+ D) Bordes de colisión: Colisión de dos placas continentales. Focos hacia 300 km de profundidad y altas magnitudes.

Terremotos intraplaca: Seismos infrecuentes de gran magnitud. En algunas ocasiones se deben a la reactivación de fallas profundas; en otras, están relacionados con incipientes zonas de rift; en otras ocasiones, se ignora su mecanismo.

Tipos de ondas sísmicas

Los efectos destructivos de los terremotos se deben a las sacudidas o vibraciones sísmicas debidas a tres tipos de ondas:

- **Ondas P (Primarias)**. Llamadas también **compresionales**. Son ondas de compresión-dilatación longitudinales que **viajan a gran velocidad** (5-8 km/s) dependiendo de la densidad y elasticidad de las rocas que atraviesan. Las ondas P, al igual que las ondas sónicas, se transmiten tanto a través de rocas sólidas como de líquidos, como en el agua de los océanos.
- Ondas S (Secundarias) o de cizalla.

Ondas S (Secundarias) o de cizalla

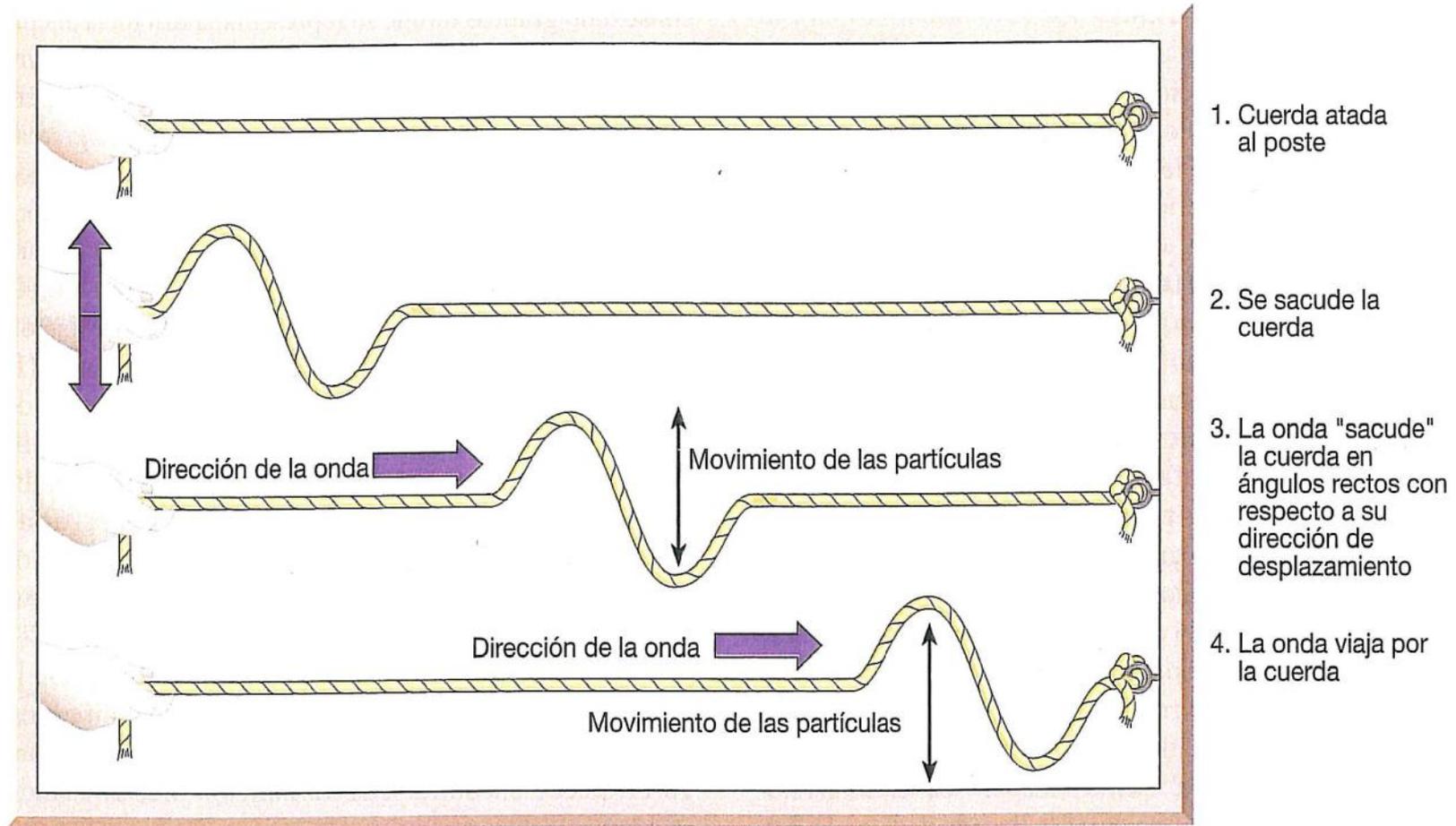
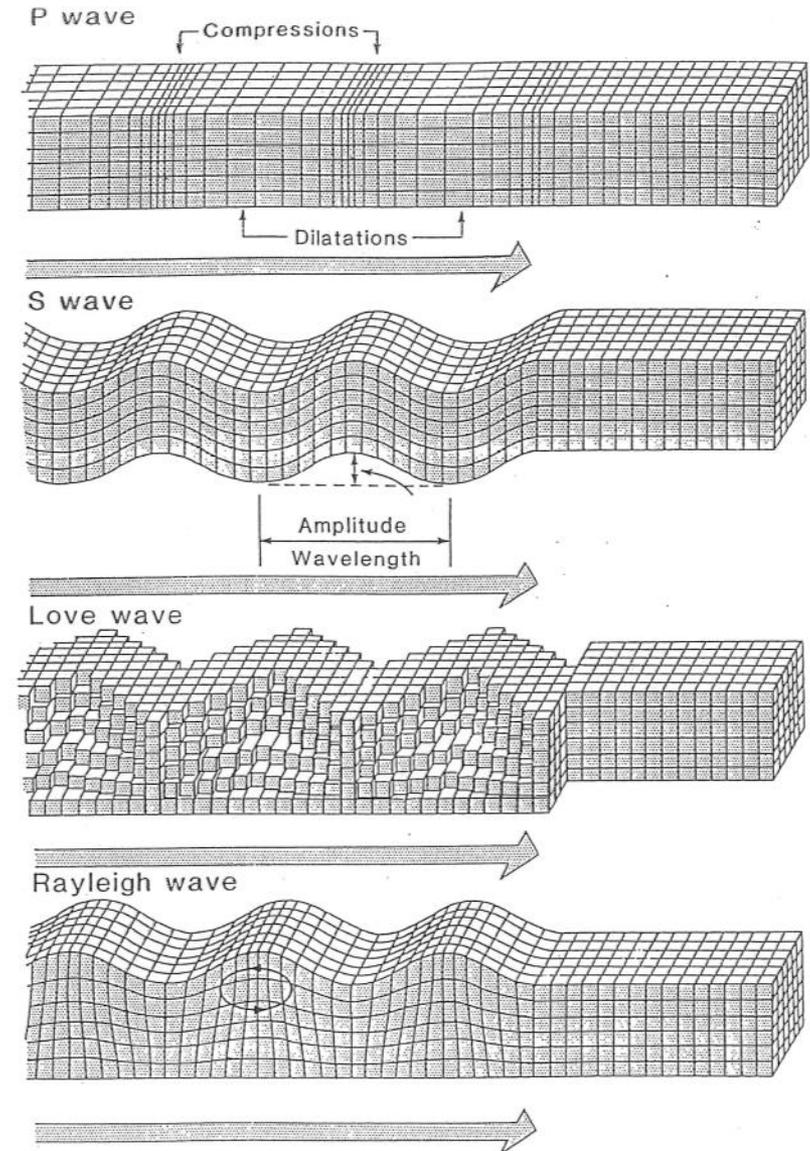


Fig. 16.7 // pp. 365. Tarbuck y Lutgens (2000)

Ondas Rayleigh y ondas Love.

Son las ondas más lentas (menos de 3 km/s) y también las más dañinas. Su profundidad de penetración depende de su longitud de onda. No poseen movimiento vertical pero sacuden el terreno horizontalmente en ángulo recto a la dirección de propagación.



Los mecanismos causantes del daño sísmico.

Las ondas profundas (P y S) y las superficiales (Rayleigh y Love) se propagan en todas las direcciones desde el foco.

La severidad de las sacudidas en un punto cualquiera depende de una combinación compleja de la magnitud del seísmo, de la distancia al origen del mismo y de las condiciones geológicas locales que pueden ampliar o reducir las ondas sísmicas.

Generalmente, la severidad se incrementa con la magnitud y decrece con el aumento de la distancia al epicentro.

Las ondas P y las S producen vibraciones de alta frecuencia más eficientes que las ondas de baja frecuencia a la hora de causar daños a las estructuras.

Las ondas más rápidas (P) son las primeras en causar la vibración de un edificio, las S llegan después y originan la vibración de un lado a otro. Las ondas S son las más destructivas, porque los edificios están diseñados para soportar esfuerzo verticales (su peso) pero no horizontales.

Las ondas superficiales (Rayleigh y Love) llegan después y causan vibraciones de baja frecuencia, más eficaces que las de alta para hacer vibrar los edificios de más altura, por lo que aún en zonas alejadas del epicentro los edificios altos pueden sufrir daños.

Aceleración del suelo.

- Las sacudidas se expresan en función de la velocidad y de la cantidad de movimiento del terreno (aceleración del suelo).
- La aceleración del suelo expresa el valor a partir del cual el terreno se mueve tanto horizontalmente como verticalmente por efecto de un seísmo.
- Se mide por unos aparatos especiales (acelerómetros) y se expresa en unidades de 0,1g de aceleración debido a la gravedad (9,8 m/s²).
- La aceleración máxima para terrenos estables es del orden de 0,5g. Con terremotos de magnitudes 3,5, las aceleraciones son del orden de 0,8g y las máximas detectadas no han superado el valor de 2,0g.

Frecuencia de las ondas.

La frecuencia de las ondas influye también en la generación de los daños. Esta frecuencia se expresa por el número de vibraciones (ciclos) por segundo, medida en Herzios (Hz).

Ondas de alta frecuencia tienen altas aceleraciones pero relativamente pequeñas amplitudes de desplazamiento. Ondas de baja frecuencia tienen pequeñas aceleraciones pero grandes velocidades de desplazamientos.

Durante los seismos el terreno puede vibrar con frecuencia de 0,1 a 30 Hz.

Las ondas P y S son responsables de vibraciones de alta frecuencia (superiores a 1 Hz), muy efectivas en edificios de baja altura. Las ondas Rayleigh y Love, por el contrario, causan vibraciones de baja frecuencia, efectivas en edificios de gran altura. Las ondas de más baja frecuencia pueden tener valores inferiores a 1 ciclo/hora y longitudes de onda de 1.000 km o más.

El tiempo de duración de las sacudidas es el factor de daño más reconocido, como responsable del número acumulativo de ciclos y también de la amplitud de estos ciclos.

Magnitud e intensidad: escalas sísmicas.

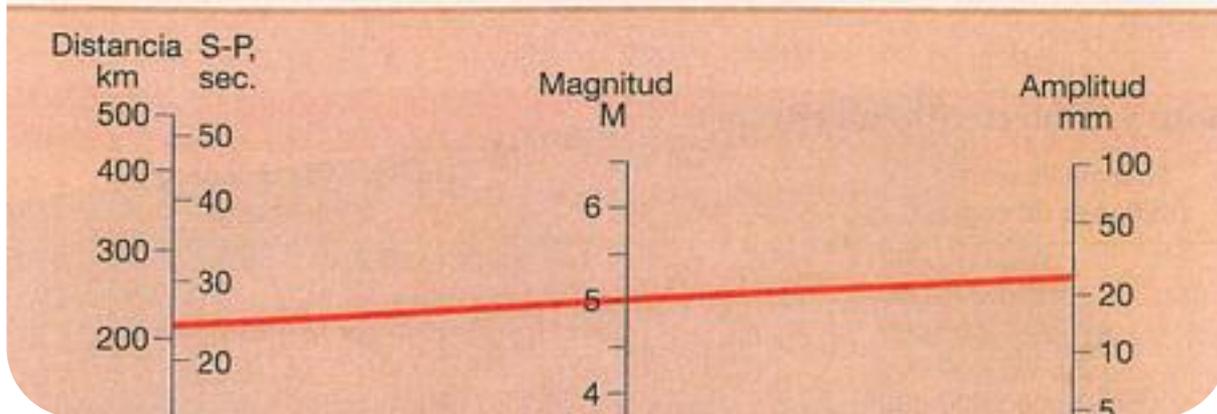
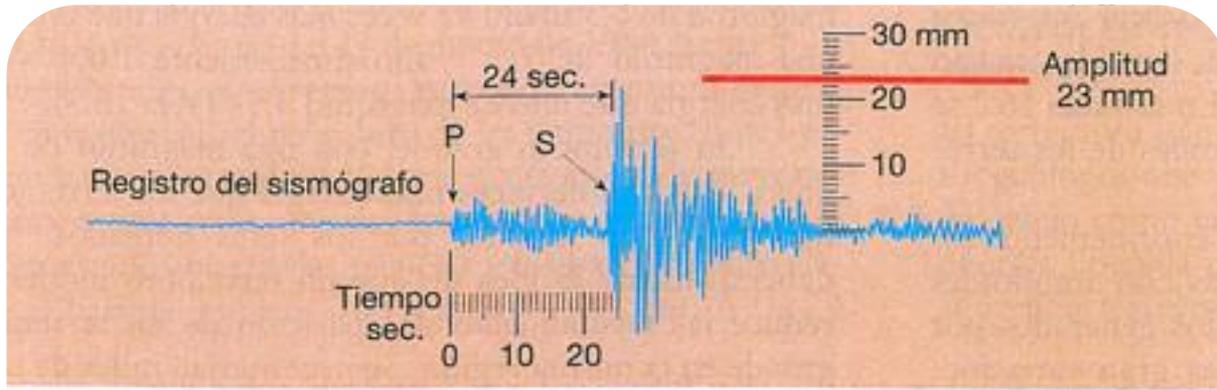
Los terremotos se describen en función de su **magnitud** e **intensidad**. La mayoría de los seismos tienen una duración inferior al minuto por lo que hay una gran dificultad para estimar su escala y su impacto. Existen dos métodos para evaluar ambos aspectos:

- **Magnitud.** Mide la energía liberada por un seísmo.

En 1.935 el sismólogo Charles F. Richter definió la magnitud así:

El logaritmo, en base 10, de la amplitud en mm de la máxima amplitud de las ondas sísmicas que pueden ser observadas en un sismógrafo estandar de torsión a una distancia de 100 km del epicentro.

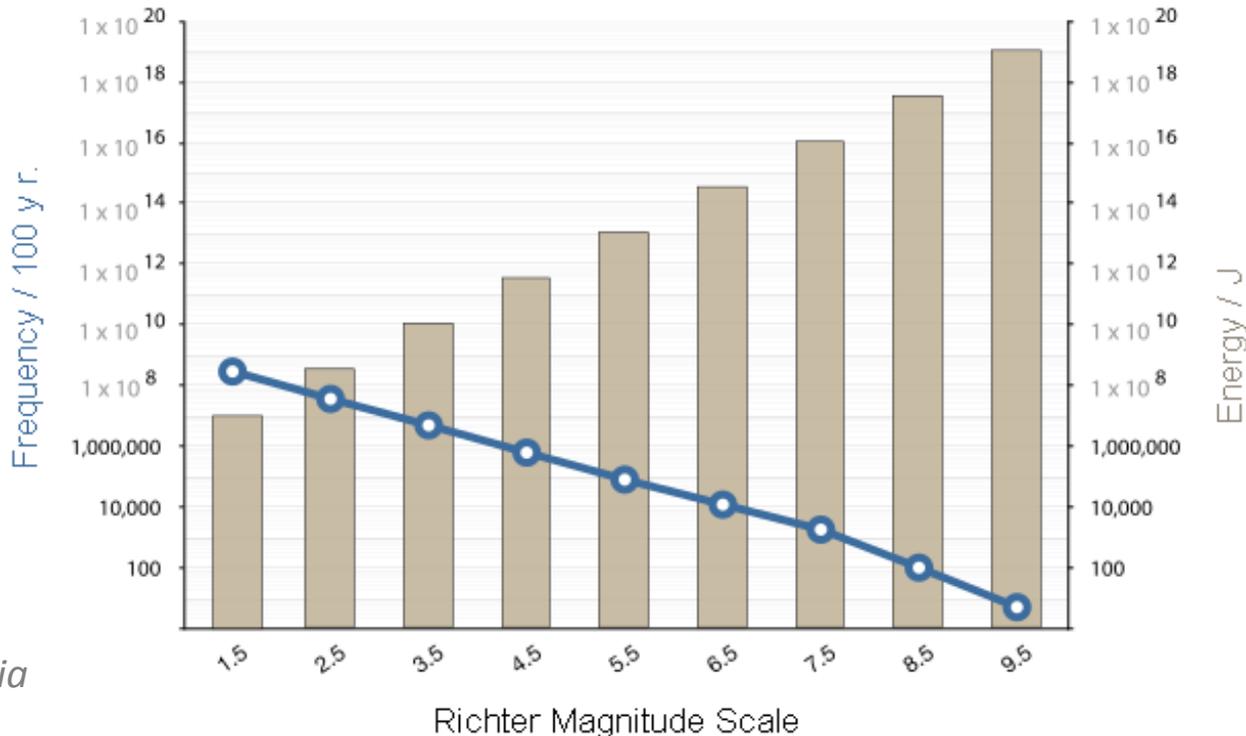
Magnitud e intensidad: escalas sísmicas.



Como la escala es logarítmica, la energía asociada a un incremento de un grado en la magnitud no es de 10 unidades superior, sino 30 veces. Así, por ejemplo, un terremoto de magnitud 7 tiene aproximadamente 900 veces más energía relacionada que otro de magnitud 5.

La energía liberada en un terremoto es enorme. En 1.964, durante el terremoto de Anchorage (Alaska) de magnitud 8,5, se liberaron $45 \cdot 10^{25}$ ergios. Es decir, el equivalente al consumo energético total de USA durante un año.

La magnitud se mide mediante la escala Richter que teóricamente no tiene límite superior, aunque el seismo de **magnitud máxima registrado no sobrepasa el valor 9**. La evidencia empírica muestra que para que un seismo tenga carácter catastrófico debe tener una magnitud superior a 5,5.



Wikipedia

Intensidad.

Mide los efectos (los daños) provocados por un terremoto en un lugar determinado.

Se trata de una **determinación cualitativa**, de **apreciación subjetiva**, y no de una medida objetiva como es la magnitud.

La escala consta de 12 términos, siendo el grado de intensidad superior igual a 12 (XII).

Magnitude	Description	Earthquake effects	Frequency of occurrence
Less than 2.0	Micro	Micro earthquakes, not felt.	About 8,000 per day
2.0–2.9	Minor	Generally not felt, but recorded.	About 1,000 per day
3.0–3.9		Often felt, but rarely causes damage.	49,000 per year (est.)
4.0–4.9	Light	Noticeable shaking of indoor items, rattling noises. Significant damage unlikely.	6,200 per year (est.)
5.0–5.9	Moderate	Can cause major damage to poorly constructed buildings over small regions. At most slight damage to well-designed buildings.	800 per year
6.0–6.9	Strong	Can be destructive in areas up to about 160 kilometres (100 mi) across in populated areas.	120 per year
7.0–7.9	Major	Can cause serious damage over larger areas.	18 per year
8.0–8.9	Great	Can cause serious damage in areas several hundred kilometres across.	1 per year
9.0–9.9		Devastating in areas several thousand kilometres across.	1 per 20 years
10.0+	Massive	Never recorded, widespread devastation across very large areas; see below for equivalent seismic energy yield.	Extremely rare (Unknown)

La intensidad se determina por observación de expertos de los efectos (daños) provocados por un seísmo sobre las estructuras humanas.

La primera escala de intensidad fue desarrollada en Europa, en 1883, por M.S. DeRossi (Italia) y F.G. Forel (Suiza). La escala Rossi-Forel tenía 10 términos.

En 1902, Giuseppe Mercalli introduce otra escala con 10 grados de intensidad (luego aumentados a 12).

En la actualidad se utilizan dos escalas de intensidad:

- La Escala Modificada de Mercalli (versión 1931) o escala MM, que se utiliza sobre todo en USA y Europa occidental.
- La escala de Medveded- Sponheuer- Karnik (1964), conocida como escala MSK, que se utiliza en Europa oriental. La escala MSK es mucho más elaborada y explícita que la MM.

- Aunque la escala MM sea de apreciación cualitativa, no por eso deja de ser menos “científica” que la Ritchter, ya que los simólogos son capaces de precisar con gran exactitud su utilización.
- Además, la escala MM tiene la ventaja sobre la Ritchter de que puede ser aplicada a terremotos históricos, permitiendo establecer comparaciones entre ellos y con los actuales, ampliando así el espectro del registro de datos para su tratamiento estadístico de cara al establecimiento de predicciones.

Periodo de retorno (frecuencia), magnitud e intensidad

Existe una relación entre la frecuencia o número de terremotos/año y la magnitud e intensidad de los mismos. De manera que cuanto mayor es la magnitud (e intensidad) de un seísmo tanto menor es su frecuencia de aparición para un área dada. También al aumentar la frecuencia aumenta el número de seísmos, mientras que disminuye el área afectada y la distancia al epicentro.

Magnitude	Expected Annual Incidence	Felt Area (km ²)	Distance Felt (km)	Intensity (Modified Mercalli Scale)
3.0-3.9	49,000	1,940	25	II-III
4.0-4.9	6,200	8,850	50	IV-V
5.0-5.9	800	38,850	110	VI-VII
6.0-6.9	120	165,350	200	VII-VIII
7.0-7.9	18	518,000	400	IX-X
8.0-8.9	1	2,072,000	725	XI-XII

Source. U.S. Geological Survey Earthquake Information Bulletin, 1974, V. 6, p. 14.

Efectos asociados a los seismos.

- Además de los efectos derivados de la sacudidas y vibraciones sísmicas (efectos/riesgos primarios), hay una amplia variedad de fenómenos asociados (efectos/riesgos secundarios) tales como:
- Aparición de fracturas superficiales. Aparecen como consecuencia del movimiento diferencial de las fallas, pudiéndose extender la red de fracturas subsidiarias inducidas hasta varios km (10-30 km) desde la falla principal. Estas fracturas pueden afectar a edificios, carreteras, vías férreas, túneles, conducciones de agua y energía, afectando sobre todo a las estructuras que discurren enterradas.
- Aparición de escarpes topográficos y subsidencia. El movimiento de las fallas origina distorsiones horizontales y verticales en la superficie del terreno que se pueden extender sobre centenares de km², provocando asientos diferenciales y hundimientos y afectando a canales, puertos, etc.

Tema 13. Los procesos geodinámicos internos y su reflejo en la morfología.

- Deslizamientos, caídas de rocas y avalanchas de nieve. Las sacudidas pueden provocar la inestabilización del terreno y la aparición de deslizamientos, estimándose que magnitudes del orden de 4,0 pueden generar el proceso.
- Licuefacción de suelos. Las sacudidas sísmicas pueden provocar que determinados sedimentos limoarcillosos o arenoarcillosos saturados en agua, se comporten como un fluido. Algunos de los mayores deslizamientos ocurridos a consecuencia de un terremoto han sido provocados por este proceso (Alaska, 1964).
- Cambios en el nivel freático. Observables en extensas áreas.
- Tsunamis. Generados por seismos submarinos.
- Inundaciones. Provocadas por roturas de presas, tsunamis o por la aparición de lagos por procesos de subsidencia.
- Incendios. Originados por rotura de conducciones de gas, cortocircuitos, etc.

Predicción sísmica y Fenómenos precursoros

Charles Richter dijo: Sólo los locos, los charlatanes o los embusteros predicen terremotos. A pesar de ello, hoy se dispone de instrumental y técnicas muy avanzadas para controlar las zonas sísmicas, aunque no es posible predecir la magnitud exacta y el momento de ocurrencia, el conocimiento de los mecanismos sísmicos y ambientes tectónicos ha progresado mucho desde Richter.

Predicción sísmica. Existen dos posibles aproximaciones:

- Predicción a largo plazo. Fundada en el estudio de los rangos de sismicidad y de los periodos de recurrencia de los seismos en un área dada, a partir de cuyo tratamiento estadístico pueden inferirse conclusiones sobre la ocurrencia en el futuro.
- Predicción a corto plazo. Basada en la observación de fenómenos precursoros constituidos por fenómenos físicos anómalos que se detectan antes de que ocurran los seismos.

Los fenómenos premonitorios principales son:

- Reducción de la velocidad de las ondas sísmicas justo varios meses antes de la aparición de un seísmo. La reducción de esta velocidad es proporcional a la magnitud del seísmo.
- Deformaciones del substrato detectadas mediante instrumental de alta precisión capaz de medir desplazamientos de hasta 1 mm en distancias considerables (hasta de varios miles de km).
- Cambios en la composición de las aguas de los manantiales. Por ejemplo, aumentos significativos en las concentraciones de Radón.
- Aparición de series de microseísmos antes del seísmo principal.
- Cambios en el régimen de mareas. Algunos seísmos han sido atribuidos a determinadas alineaciones de la Tierra con la Luna y el Sol.
- Cambios en la resistividad eléctrica y en la susceptibilidad magnética. Las rocas modifican su resistividad eléctrica ante la actuación de esfuerzos y también se han observado aumentos en el campo magnético terrestre de una zona antes de un seísmo.

- Aparición de luminosidades. Algunos científicos han sugerido que ciertas áreas de la corteza terrestre ricas en cuarzo, sujetas a deformación elástica, pueden desarrollar fenómenos de piezoelectricidad. De esta forma se explicarían los “cielos luminosos” que han sido observados en algunos seismos.
- Anomalías en el comportamiento de ciertos animales. Se han observado en todas partes del mundo. Por ejemplo, los pájaros vuelan en círculo, los reptiles salen de la hibernación durante el invierno, etc. Las causas no están claras, pero parece que están relacionadas con las variaciones de los campos magnéticos que alteran el funcionamiento de los organismos. En otras ocasiones, pueden deberse a que ciertos animales son capaces de detectar las ondas sonoras de alta frecuencia emitidas por las rocas al fracturarse.

Normativa sismorresistente

El diseño y sistemas de construcción sismo-resistentes son tan antiguos como la civilización.

El templo de Hephaistos, en Atenas, que es contemporáneo del Partenón, fue construido de manera que los bloques que constituyen sus columnas están unidos por unos clavos de plomo.

Normativa sismorresistente.

- Existen también desde antiguo, así como ciertas prácticas artesanales y tradiciones que se ha mantenido hasta la actualidad, como los “pozos de aire” en Granada. Estos pozos responden a la ideas aristotélicas que atribuyen los terremotos al aire, al vapor de agua y gases atrapados en el interior de la Tierra, que pugnan por salir al exterior, por lo que facilitando su salida se mitigaban los seismos.
- Las Normas Sismorresistentes de obligado cumplimiento en ciertas zonas, aparecen a finales de los años 50 del siglo XX.

Las normas sismorresistentes incluyen fundamentalmente:

- Zonificación del territorio con las características de los seismos máximos (expresados mediante las aceleraciones del terreno máximas previsibles).
- Métodos de cálculo estáticos y dinámicos.
- Recomendaciones sobre tipos constructivos y refuerzos.

La Norma Sismorresistente Española.

- Se denomina Norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación (NCSE-02). Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre (B.O.E. 11 de octubre de 2002).
- Norma de construcción sismorresistente: puentes (NCSP-07). Real Decreto 637/2007, de 18 de mayo de 2007.

La sismicidad en España.

España se sitúa en la región mediterránea en la que existe una apreciable actividad sísmica.

Según el Instituto Geográfico Nacional (IGN), cada 100-150 años se produce en España un terremoto destructivo, con intensidades IX-X.

Zonas sísmicas:

- Extremo sur-sureste. Comprende el Golfo de Cádiz, Estrecho de Gibraltar y Mar de Alborán. Es la zona de colisión entre la subplaca Ibérica y la placa Africana.
- Pirineos. Se orienta a lo largo de la falla Pirenaica que constituye la zona de sutura de la subplaca Ibérica con la Euroasiática.
- Islas Canarias. Como consecuencia del origen volcánico del archipiélago.

Mapa de epicentros en Península Ibérica

Mapa de sismicidad - INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

