



GEOSFERA

TEMA 2. PROCESOS GEOLÓGICOS INTERNOS Y SUS RIESGOS

2.1. Energía interna de la Tierra. Origen y transmisión. Deformación de las rocas. Deformación frágil: fallas.

Conceptos básicos: gradiente geotérmico, falla normal, falla inversa, falla de desgarre.

2.2. Sismicidad. Origen de los terremotos. Tipos de ondas sísmicas. Magnitud e intensidad de un terremoto. Distribución de terremotos según la Tectónica de Placas. Riesgo sísmico y planificación. Áreas de riesgo sísmico en España.

Conceptos básicos: ondas sísmicas, ondas sísmicas internas, ondas sísmicas superficiales, hipocentro (foco), epicentro, sismograma, tsunami.

2.3. Vulcanismo. Magmas ácidos y básicos. Tipos de erupciones. Distribución de áreas volcánicas según la Tectónica de Placas. Riesgo volcánico y planificación. Áreas de riesgo volcánico en España.

Conceptos básicos: magma, viscosidad de un magma, volcán, partes de un volcán (cráter, chimenea, cono volcánico, cámara magmática).

2.0. INTRODUCCIÓN

El calor interno de la Tierra es el responsable (en forma de corrientes de convección) del movimiento de las placas litosféricas. Estos movimientos suelen ser bruscos y suponen la liberación de enormes cantidades de energía. Los humanos, cosmopolitas y muy numerosos, nos vemos afectados por estos fenómenos naturales que en muchas ocasiones tienen efectos devastadores y que por eso hay que considerar como riesgo.

https://elpais.com/internacional/2018/11/19/actualidad/1542630574_558615.html (Volcán de Fuego de Guatemala)

<https://www.youtube.com/watch?v=dwWVaJZKevDw> (Volcán Merapi, Indonesia)

<https://www.eitb.eus/es/noticias/internacional/videos/detalle/5666524/video-erupcion-volcan-kilauea-hawai-15-junio-2018/> (Volcán Kilauea, islas Hawai)

Las zonas especialmente susceptibles de verse sorprendidas por sacudidas bruscas o salida de materiales magmáticos son aquellas donde contactan las placas y salvo las correspondientes a los bordes constructivos, situados bajo los océanos, las demás suelen ser lugares habitados y en ocasiones superpoblados.

Desde tiempo inmemorial el hombre ha tratado de predecir aquellos fenómenos que periódicamente le afectaban, tales como terremotos y erupciones volcánicas (no sólo predecir sino también evitar: desde ofrecer sacrificios y ofrendas a los dioses hasta sacar santos en procesión...). Hoy día se ha avanzado mucho en los conocimientos acerca de los fenómenos de la geodinámica interna, gracias en gran parte al avance tecnológico, pero aun así no es posible predecir cuándo, exactamente dónde y con cuánta intensidad va a desencadenarse uno de estos desastres naturales. No obstante, los estudios encaminados a establecer zonas y grados de riesgo (mapas de riesgo), así como las normativas elaboradas para minimizar los daños han hecho descender el número de víctimas y las pérdidas materiales (vulnerabilidad) en los países desarrollados.

2.1. Energía interna de la Tierra. Origen y transmisión. Deformación de las rocas. Deformación frágil: fallas.

Conceptos básicos: gradiente geotérmico, falla normal, falla inversa, falla de desgarre.

2.1. ENERGÍA INTERNA DE LA TIERRA.

2.1.1. Origen y transmisión

El origen de la energía interna de la Tierra ya ha sido tratado en el tema anterior por la necesidad de explicar la causa del movimiento de las placas, así como sus consecuencias (volcanes, terremotos y cordilleras). En cuanto a la transmisión de dicha energía, también fue descrita en el tema 1 de Geosfera, quedando explicado el fenómeno de las [corrientes de convección](#) (página 9) así como el concepto de [gradiente geotérmico](#) (página 9).

2.1.2. Deformación de las rocas. Deformación frágil: las fallas

La **Tectónica** es la parte de la geología que estudia las deformaciones de los materiales terrestres, así como las estructuras resultantes de dichas deformaciones, es decir, analiza tanto las causas (fuerzas) como las consecuencias (deformaciones).

Los esfuerzos que pueden sufrir las rocas tienen varios orígenes, aunque destaca como principal causa la acción de los **Agentes Geológicos Internos** (o agentes geodinámicos internos), al provocar el movimiento de las placas litosféricas. Estas fuerzas llevan una dirección predominantemente horizontal y bien pueden ser de tipo *compresivo* (tendiendo a acortar los materiales) o de tipo *distensivo* (tendiendo a alargar las rocas).

Otros esfuerzos están originados por reajustes **isostáticos**. Estas fuerzas tienen una dirección típicamente vertical y producen movimientos de *elevación* o de *hundimiento* (se conocen también como movimientos *epirogénicos*). El nombre alude al mantenimiento del equilibrio (iso-stasis= mismo puesto o lugar) de los bloques de corteza sobre el manto, de modo que la ganancia de materia por sedimentación, o por acumulación de hielo, producirá hundimiento en el terreno y la pérdida por erosión, o deshielo, provocará movimientos de ascenso.

Una tercera causa de deformación es la actuación de la **gravedad**, que produce en determinadas circunstancias deslizamientos de enormes masas de roca.

El comportamiento de los materiales ante los esfuerzos

Decimos que un cuerpo es **elástico** ante los esfuerzos cuando al ceder estos, recupera la forma y el tamaño, es decir, desaparece la deformación. Un material es **plástico** si no recupera la forma y el tamaño al ceder los esfuerzos. Dentro de ciertos límites, en los materiales elásticos la deformación es proporcional al esfuerzo (siguiendo la ley de Hooke). Una vez sobrepasado este límite de elasticidad, la fuerza aplicada producirá una deformación permanente, entrándose en el dominio de la deformación plástica. [La ley de Hooke suele explicarse poniendo como ejemplo un muelle].

Si continúa aumentando la magnitud de los esfuerzos, se sobrepasará el límite de plasticidad produciéndose la **rotura**.

Cuando un material no es elástico ni plástico, se romperá antes de deformarse, y diremos de él que tiene un comportamiento **rígido**.

Los límites de elasticidad y de plasticidad para un material dado, varían según lo hagan ciertas condiciones del medio, entre las que destacan la **presión, la temperatura y la presencia de agua**.

En una serie estratigráfica (conjunto de rocas estratificadas), se denominan rocas **competentes** aquellas que se comportan rígidamente, tendiendo a romperse, mientras que rocas



incompetentes son aquellas que se comportan plásticamente. Estos conceptos son relativos y un mismo material, dependiendo de las condiciones que imperen durante su deformación, podrá comportarse de una manera u otra.

Escala de los fenómenos tectónicos: dependiendo de la magnitud de las fuerzas actuantes, así como de otros factores, las deformaciones producidas en las rocas pueden presentar tamaños diversos, pudiendo distinguirse entre: **microtectónica**, deformaciones observables al microscopio; **minitectónica**: deformaciones que oscilan entre tamaños de milímetros hasta algunos metros y que ya son observables en el afloramiento a simple vista; **macrotectónica**: estructuras con tamaños que van desde decenas de metros hasta el millar de kilómetros: se estudian cordilleras o parte de ellas; **megatectónica**: estructuras de enorme tamaño, como las placas litosféricas.

Se distinguen tres tipos de deformaciones permanentes en los materiales: **PLIEGUES**, si no se ha sobrepasado el límite de plasticidad de las rocas y **fracturas**, cuando dicho límite ha sido superado. En este segundo supuesto aún caben dos posibilidades: si la rotura o fractura permanece como tal, hablamos de **DIACLASAS** y si los esfuerzos continúan, y se produce el desplazamiento de los bloques resultantes, nos estaremos refiriendo a **FALLAS**. (En muchos casos, fracturas y diaclasas son dos términos sinónimos).

Consideramos los pliegues como deformaciones CONTINUAS y a las diaclasas y fallas como deformaciones DISCONTINUAS.

Factores que influyen en la deformación.

Como ya se ha dicho anteriormente, ciertas condiciones del medio pueden modificar los límites de elasticidad y plasticidad de muchas rocas. Los factores que controlan la deformación son:

Intensidad de los esfuerzos. Evidentemente, a mayor intensidad, mayor deformación.

Tiempo. Las fuerzas se ejercen sobre las rocas a lo largo de enormes periodos de tiempo, en general millones de años. Esta "dosificación" del esfuerzo permite deformaciones plásticas en materiales aparentemente rígidos.

Presión confinante o litostática. Es la que soporta una roca situada a cierta profundidad y debido a la masa de roca suprayacente. Actúa por igual en todas direcciones y es semejante a la presión hidrostática (la que soporta un cuerpo sumergido en agua). En general a mayor profundidad las rocas se vuelven más plásticas o dúctiles.

Temperatura. En general, a mayor temperatura también las rocas se hacen más plásticas. (Hay sin embargo algunos tipos de rocas que no se ven influidos por el aumento de temperatura y aun otros que se vuelven más rígidos).

Fluidos. La presencia de fluidos es frecuente y ejerce una presión sobre las rocas. Normalmente estos fluidos favorecen la deformación plástica (el fluido habitual es agua).

Presiones dirigidas. Las mismas fuerzas de empuje, que lleven direcciones determinadas, también colaboran en la deformación [y son, por ejemplo, las responsables de que ciertas rocas presenten una ordenación laminar de sus minerales (esquistosidad)].

Estos y otros factores producen deformaciones en los estratos que con las condiciones que reinan en la superficie terrestre sería imposible lograr.

Pliegues: definición, elementos y clasificación.

Las deformaciones continuas o pliegues aparecen en materiales estratificados, bien sedimentarios o metamórficos (derivado estos últimos de rocas sedimentarias). Todas estas rocas se depositaron originalmente en capas paralelas y horizontales. Por eso, cualquier cambio de esa disposición es fácilmente reconocible.

Los pliegues son ondulaciones de los estratos, originados por deformaciones plásticas. (Los estratos dejan de ser estructuras planas y horizontales, para pasar a encontrarse curvadas e inclinadas).

Definimos la posición de un estrato no horizontal mediante dos coordenadas:

Dirección o rumbo u orientación: es el ángulo formado por una línea horizontal contenida en el estrato y la dirección Norte-Sur geográfica.

La dirección se mide con la brújula y se indica el nº de grados con respecto al norte.

Buzamiento o inclinación: es el ángulo formado por una línea de máxima pendiente del estrato y un plano horizontal.

El buzamiento se mide con el **clinómetro** y además de los grados debe indicarse el punto cardinal hacia el que se inclina dicho estrato (Ej.: 30° NE).

Puede definirse también pliegue como un sector de un conjunto de estratos en el que hay un cambio de buzamiento.

Se habla de pliegues **ANTICLINALES** cuando presentan su parte convexa hacia arriba y pliegues **SINCLINALES** cuando lo que nos presentan hacia la superficie es su parte cóncava.

En todo pliegue pueden definirse una serie de elementos imaginarios que ayudan en su estudio y caracterización; son los llamados **elementos de un pliegue**:

Plano axial: es el plano bisector del pliegue. Si el plano es vertical, el pliegue se dice recto y el buzamiento a ambos lados es el mismo.

Flancos: son cada una de las dos superficies del pliegue, situadas a ambos lados del plano axial.

Eje: es la línea de intersección del plano axial con la superficie de un estrato.

Cresta: es la línea más alta de un estrato, que en un pliegue recto coincide con el eje axial y con la charnela.

Charnela: zona del pliegue con mayor curvatura. Corresponde a una superficie, no a una línea.

Tipos de pliegues según su geometría:

1- Anticlinal: convexidad hacia arriba. El núcleo o zona más interna contiene los materiales más antiguos de la serie de estratos.

2- Sinclinal: concavidad hacia arriba. Núcleo con los materiales más modernos.

Según el buzamiento de sus flancos:

A. o S. simétrico o recto: plano axial vertical, flancos con igual buzamiento en grados, pero inclinación opuesta. Se producen por esfuerzos perpendiculares al eje similares en magnitud y sentido contrario.

A. o S. asimétrico: buzamientos opuestos, pero con distinto valor. Lógicamente el plano axial no es vertical. Formado por fuerzas de tipo horizontal y opuestas como en el caso anterior, pero de distinta intensidad.

A. o S. volcado o inclinado: presenta uno de los flancos invertido, es decir, con un buzamiento superior a 90°.

A. o S. tumbado: presenta los dos flancos horizontales e igualmente el plano axial es horizontal. Además de fuerzas de muy diferente intensidad colabora la gravedad.

(Hay muchos más tipos de pliegues si consideramos otros criterios de clasificación. Esto solo ha sido una muestra).



Deformación discontinua: Diaclasas, definición y tipos.

Cuando se sobrepasa el límite de plasticidad de los materiales, éstos se rompen o fracturan. También pueden aparecer grietas por otros motivos.

Si tras la fractura no se producen desplazamientos de los bloques resultantes, se habla de **diaclasas**. Las diaclasas son muy frecuentes en las rocas, en general no aparecen de forma aislada sino en gran número. Todas aquellas que son paralelas entre sí tienen un origen común y constituyen un **sistema** de diaclasas. En un mismo conjunto de rocas pueden aparecer varios sistemas de diaclasas entrecruzándose entre sí (es frecuente que se hayan formado en épocas diferentes). Las diaclasas no solo se producen por deformación (diaclasas tectónicas), también pueden aparecer debido a las siguientes causas:

-**Por descompresión:** una **roca plutónica** (dentro del grupo de las rocas ígneas o magmáticas) al asomar a la superficie por el motivo que fuere, sufre una descompresión y se expande, rompiéndose.

-**Por retracción:** una roca volcánica como el basalto (también dentro del grupo de las rocas ígneas), se enfría rápidamente en la superficie terrestre, lo que provoca contracciones que rompen la masa en unas formas muy típicas de prismas hexagonales de varios metros de longitud (se llama disyunción columnar por el aspecto de columnas que presentan las rocas: son los diques de basalto). También pueden darse diaclasas radiales, como las que afectan a las almohadillas de lava, formadas bajo el agua.

Las diaclasas pueden dejar un cierto espacio entre los fragmentos de roca que permite el relleno posterior con materiales de muy distinto origen (sedimentario depositado por agua o ígneo por enfriamiento de material fundido) formándose filones.

Deformación discontinua: Fallas, elementos y clasificación.

Los elementos que se definen en una falla para su mejor estudio son:

-**Plano de falla:** es la superficie de ruptura. Puede ser vertical o inclinado.

-**Labios de falla:** cada uno de los dos bloques que hay a ambos lados de la falla. Si ha habido desplazamiento vertical se habla de labio levantado y de labio hundido.

-**Espejo de falla:** Se llama así al plano de falla cuando debido al rozamiento las superficies de los dos bloques quedan pulidas. No es frecuente que esto ocurra y lo normal es que en la zona de fricción haya rocas destrozadas (milonitas).

-**Salto de falla:** Es la distancia que hay entre dos puntos que antes del desplazamiento estaban juntos. Suele distinguirse entre la distancia en vertical y la distancia en horizontal.

Una falla queda determinada por la dirección y el buzamiento de su plano de falla.

Tipos de fallas.

-**Falla normal:** se debe a **esfuerzos distensivos** (los dos bloques tienden a separarse).

-**Falla inversa:** Se debe a **esfuerzos compresivos** y frecuentemente va asociada a pliegues. Las encontramos con muy diferentes buzamientos, siendo corrientes las que presentan el plano de falla casi horizontal (pliegues-falla, cabalgamientos y mantos de corrimiento).

-**Falla vertical:** Es aquella que tiene el plano de falla vertical y el movimiento de los bloques también es vertical. Es poco frecuente.

-**Falla de desgarre (o direccional o de cizalladura u horizontal):** el movimiento de los bloques es en horizontal. El plano de falla puede ser vertical. Puede recordar a una falla transformante, pero no es lo mismo.

-**Falla de tijera o rotacional:** los bloques se desplazan alrededor de un punto fijo situado en el plano de falla.

-**Falla mixta u oblicua:** Es aquella cuyos bloques han sufrido un desplazamiento a la vez en sentido horizontal y en sentido vertical. Las más frecuentes son las que podríamos considerar normal y de desgarre conjuntamente.

- **Asociaciones de fallas:** en muchos casos se originan varias fallas del mismo tipo como consecuencia de los mismos esfuerzos. Incluso pueden coexistir varios sistemas de fallas de edades y tipos diferentes en las mismas rocas.

Son relativamente frecuentes los sistemas de fallas normales. Estas fallas son todas ellas paralelas (tienen la misma dirección). Dan un aspecto escalonado al paisaje.

Si un sistema de fallas deja una zona deprimida entre otras dos más elevadas, decimos que hay una **fosa tectónica o valle de Rift**. Como ejemplos podemos encontrar la que constituye el mar Muerto y en España la que forma el valle del Tajo, entre el Sistema Central y los Montes de Toledo (los materiales son granitos).

Si un sistema de fallas en sus desplazamientos forma una zona elevada, se trata de una estructura llamada **pilar tectónico, macizo tectónico o Horst**. Son pilares tectónicos la Sierra de Guadarrama, limitada por el valle del Tajo y por el valle del Duero.

Asociaciones de pliegues y fallas: mantos de corrimiento.

Como consecuencia de fuerzas tangenciales (aproximadamente horizontales) de sentido contrario y de tipo compresivo, se producen sobre las rocas estratificadas intensos plegamientos y sobrepasado el límite de plasticidad, roturas con desplazamiento o lo que es lo mismo, fallas inversas. Las roturas se producen en las zonas de máximo esfuerzo del pliegue que, como es lógico, corresponde a las zonas de charnela.

Si el plano de falla es más o menos horizontal (caso frecuente) el labio superior de la falla (que a la vez es un fragmento de pliegue) tiende a subir o "cabalgar" sobre el labio hundido.

Este desplazamiento o **cabalgamiento** puede ser enorme, de tal manera que cuando el movimiento ha superado los 5 kilómetros se denomina **manto de corrimiento**, llegando incluso al centenar de Km. Cuando se produce un manto de corrimiento, se da la circunstancia de que materiales más antiguos pueden encontrarse sobre otros más modernos.

Si la región en cuestión sufre un periodo erosivo, puede desaparecer gran parte de los materiales. A los restos aislados de material alóctono (que vino de otro lugar) que quedan sobre el material autóctono se les denomina **isleos tectónicos o klippes**.

Si por el contrario, los agentes geológicos externos en su labor nos dejan al descubierto ciertas zonas de materiales autóctonos bajo otros alóctonos diremos que se trata de **ventanas tectónicas**. Estas estructuras son muy llamativas cuando el material alóctono es de mayor edad que el autóctono y sin embargo se sitúa sobre éste. (El puerto de Coberteras es una ventana tectónica: dicen que la más grande de Europa).

Los mantos de corrimiento son estructuras muy típicas de las cordilleras Béticas, llegando a amontonarse unos sobre otros, dando una gran complejidad a este sistema montañoso y haciendo muy difícil el estudio de la historia geológica de la región. Sin ir más lejos, Jabalruz y la Pandera son mantos de corrimiento que llegaron cabalgando durante la orogenia Alpina desde zonas situadas más al sur.



2.2. Sismicidad. 2.2.1. Origen de los terremotos. 2.2.2. Tipos de ondas sísmicas. 2.2.3. Magnitud e intensidad de un terremoto. 2.2.4. Distribución de terremotos según la Tectónica de Placas. 2.2.5. Riesgo sísmico y planificación. 2.2.6. Áreas de riesgo sísmico en España.

Conceptos básicos: ondas sísmicas, ondas sísmicas internas, ondas sísmicas superficiales, hipocentro (foco), epicentro, sismograma, tsunamis.

2.2. SISMICIDAD

2.2.1. ORIGEN DE LOS TERREMOTOS

Los terremotos, seísmos o sismos pueden tener diferentes orígenes. Los más frecuentes son los de **tipo tectónico**, que tienen que ver con los movimientos asociados a los bordes de placas y ya fueron estudiados en el tema anterior (zonas de las dorsales, fallas transformantes, zonas de subducción). En estos casos, debido al rozamiento entre bloques, la energía se acumula hasta que se vence dicho rozamiento, liberándose entonces de forma brusca y produciendo perturbaciones en las rocas que se transmiten como ondas sísmicas. Los terremotos también pueden ser originados por erupciones volcánicas, por explosiones (naturales o artificiales) y por el movimiento de fallas activas (distintas de las transformantes). [El impacto de meteoritos o el colapso de cavernas también producen seísmos, pero son muy infrecuentes].

2.2.2. TIPOS DE ONDAS SÍSMICAS

De los seísmos ya se habló en el tema 1 del capítulo de GEOSFERA como introducción al estudio del interior del planeta ([método sísmico, página 1](#)) y al estudiar la tectónica de placas ([plano de Benioff, página 16](#)).

2.2.3. MAGNITUD E INTENSIDAD DE UN TERREMOTO

La observación y el análisis de los fenómenos sísmicos se realiza mediante **sismógrafos** y **acelerómetros**, pero también observando los **efectos causados** por estos movimientos. Se han establecido dos sistemas diferentes para cuantificar los movimientos sísmicos: el basado en la **intensidad** y el referido a la **magnitud** del seísmo. La intensidad se deduce de sus efectos y la magnitud de la energía liberada.

La **intensidad** se expresaba en la **escala de Mercalli**, elaborada en función de los daños originados a los bienes materiales humanos, siendo difícil poder comparar las intensidades de diferentes seísmos (dependerán de la solidez de las construcciones, de la proximidad del epicentro, del material sobre el que se asientan...). A lo largo del último siglo, la escala de intensidad se ha ido modificando para hacerla más útil. Así, han surgido sucesivamente otras, siendo la última **la Escala Macrosísmica Europea Modificada, EMS-98** (1.998). La escala posee doce grados que se expresan con números romanos. Para establecer esta nueva escala, se emplean más datos que en las antiguas (como el tipo de construcción, la altura de la misma, la naturaleza del sustrato atravesado por las ondas sísmicas -en sustratos poco consolidados se producen fenómenos de amplificación local-, etc.). [Sólo ideas generales].

La otra manera de cuantificar un seísmo, es midiendo la energía liberada en la sacudida; y nos referimos a la magnitud del terremoto. La **magnitud** se representa en la **escala de Richter** en función de la energía liberada en el foco. Esta escala va de **1 en adelante** y el número es el resultado de una fórmula **logarítmica**. (Como pasaba con el pH, la conversión logarítmica nos permite manejar números sencillos).

La magnitud se evalúa estudiando los sismogramas obtenidos en diferentes observatorios. Conociendo la amplitud de las ondas, la distancia al foco, el desfase entre ondas P y S y otros factores se puede conocer la energía liberada. Al tratarse de una relación exponencial (y no lineal), cada grado de más en magnitud representa 10 veces más la energía liberada. Así, en un seísmo

de magnitud 6 se libera muchísima más energía que en un seísmo de grado 5. El mayor terremoto registrado hasta la fecha ha alcanzado 9.6 (En la escala logarítmica, un terremoto de magnitud 10 es imposible porque significaría energía infinita). (Ver gráfica)

La magnitud de un seísmo se deduce del estudio de los **sismogramas**, que son las gráficas obtenidas mediante los sismógrafos (se ha visto varias veces en diferentes cursos). [Mediante el estudio de los sismogramas de, al menos, tres observatorios se puede conocer también la localización exacta del epicentro y del foco del terremoto.

El **hipocentro** o **foco** de un terremoto es el punto de origen de la perturbación. Ya sabemos que este punto del subsuelo puede encontrarse como mucho a una profundidad de unos 800 kilómetros. Desde el foco se transmiten las vibraciones de forma concéntrica y tanto las de tipo P como las S. Cuando llegan a la superficie terrestre (puede ser bajo el mar), el punto más próximo está situado en la vertical del foco y recibe el nombre de **epicentro**.

El epicentro tiene la particularidad de ser el punto de la superficie que comienza a emitir las ondas superficiales, tanto las de **tipo Rayleigh** como las de **tipo Love**. Ambos tipos de oscilaciones se expanden en círculos concéntricos como las ondas del agua al tirar una piedra a un estanque. Estas ondas son las que producen los daños propios de los terremotos.

Con los datos obtenidos (empleando uno u otro método) se trazan líneas curvas sobre un mapa, cada una de las cuales es una **isosista** o línea cerrada que une lugares geográficos de la misma intensidad o magnitud sísmica.

Los **acelerómetros** son sismógrafos modificados capaces de medir la aceleración del terreno cuando sufre un seísmo en diferentes direcciones. Los valores de la aceleración obtenidos por estos instrumentos, así como los deducidos de terremotos históricos por otros métodos (documentos escritos que se hayan conservado referentes a los mismos) se emplean para aplicar la **norma sismorresistente** en las construcciones.

Cuando el epicentro se encuentra bajo el mar y comienzan a producirse las ondas superficiales en el fondo oceánico, la masa de agua se ve perturbada y se origina un tren de ondas que pueden ser de gran magnitud y que, en tales casos, al llegar a una costa producen efectos devastadores. Estas olas gigantes reciben el nombre de tsunamis.

2.2.4. DISTRIBUCIÓN DE TERREMOTOS SEGÚN LA TECTÓNICA DE PLACAS

Las principales zonas sísmicas del mundo coinciden con los límites entre las placas tectónicas. En el caso de zonas de subducción, además hay una relación directa entre zona sísmica y presencia de volcanes.

Se suelen distinguir en todo el planeta tres grandes zonas (siguiendo el contorno de las placas) denominadas cinturones sísmicos. Éstos son: el **cinturón Circumpacífico**, que rodea toda la placa Pacífica; el **cinturón Transasiático** que comienza en la cordillera del Himalaya y continúa por Irán, Turquía, el mar Mediterráneo y que pasa por el estrecho de Gibraltar, llegando hasta la dorsal medio Atlántica y el **cinturón Centro Atlántico** situado en el Océano Atlántico siguiendo la dorsal (ver mapa).

2.2.5. RIESGO SÍSMICO Y PLANIFICACIÓN ANTISÍSMICA

Recuerda que todo acontecimiento que pueda producir daño a los humanos se considera un riesgo. Los seísmos causan graves daños a los bienes y a las propias vidas humanas.

Métodos de predicción: hoy por hoy, la predicción de un seísmo es un problema no resuelto, pero es importante tener en cuenta que los terremotos no se producen al azar, ni en el espacio ni a lo largo del tiempo.



La *predicción espacio/temporal* se realiza a partir de *precursores sísmicos* y de *datos estadísticos*. Ni el momento se puede predecir con fiabilidad ni en muchos casos el lugar exacto. A pesar de, ello, resultan eficaces los mapas de peligrosidad realizados en función de la **magnitud previsible** (Richter), en los que se demarcan las zonas mediante **isosistas** (que son líneas que unen puntos de igual magnitud sísmica previsible y calculadas a partir de daños ocurridos en el pasado). A partir de esos mapas con isosistas, se pueden elaborar mapas de exposición. ([Recuerda el tema nº 2 de introducción, página 4](#))

El 95 % de los seísmos son producidos por el movimiento de las placas litosféricas, que se desplazan a una velocidad de 1 a 10 cm. por año y aquí se incluyen las fallas transformantes.

Pero en el interior de los continentes también se dan seísmos relacionados con fallas. Son en general más difíciles de prever (que las relacionadas con límites de placas). Muchas fallas son de pequeño tamaño y suelen estar ocultas. [Los saltos de falla sólo se aprecian en una falla recién formada o activada. Con el paso del tiempo, la erosión tiende a igualar los dos labios]. Estas fallas que pueden provocar seísmos se denominan **fallas activas**.

Galicia es una región que por la antigüedad de sus rocas, no presenta problemas de movimientos isostáticos como los que se dan en la cordillera Penibética; tampoco está cerca de un límite entre placas, pero sus materiales graníticos están muy fracturados y hay numerosas fallas activas que hacen que esta región sea más inestable de lo que cabría esperar. El terremoto de Lorca (Murcia) de 2011 se debió a una falla considerada inactiva, pero activada por la disminución exagerada del nivel freático en las últimas décadas.

Otro método utilizado para la predicción de terremotos es la **detección de precursores sísmicos** que son modificaciones previas al terremoto que afectan a la estructura de las rocas. (Son precursores sísmicos los cambios en la conductividad de las rocas –varía la resistencia a una corriente eléctrica-, el aumento de gas radón en la baja atmósfera, la producción de gran cantidad de microseísmos, etc.).

Riesgos derivados: los efectos de un movimiento sísmico conllevan una serie de riesgos; entre los que destacan:

- Daños en los edificios por agrietamiento o desplome de los mismos.
- Inestabilidad de las laderas por deslizamientos, avalanchas o corrimientos de tierra.
- Rotura de presas y de conducciones de gas y de agua, con el consiguiente peligro de inundaciones o incendios.
- Licuefacción, que es el efecto producido sobre determinados terrenos formados por sedimentos poco consolidados, como arenas y limos sueltos, que se hacen más o menos fluidos durante un seísmo.
- Tsunamis, que son olas gigantes producidas por un maremoto. (Pueden tener otro origen, las erupciones de volcanes marinos).
- Desaparición de acuíferos y desviación del cauce de los ríos.
- Corrimientos de tierra submarinos por derrumbe de sedimentos a través de talud continental, lo que origina corrientes de turbidez. (En ocasiones han producido roturas en los cables telefónicos submarinos a miles de kilómetros de distancia de la costa).

(En realidad no son los terremotos los que matan a las personas sino más bien los efectos producidos por ellos).

Prevención: para prevenir los efectos sísmicos se toman una serie de medidas, entre las que destacan las **normas de construcción sismorresistente**. La seguridad de las edificaciones es de gran importancia, ya que el daño originado por un terremoto se debe principalmente a la **alta exposición** (grandes concentraciones de población en las ciudades) y a la **alta vulnerabilidad** (edificios no preparados para estos acontecimientos y cuyo derrumbe puede causar víctimas).

Así, la normativa básica para aplicar en la construcción en zonas sísmicas va encaminada a reducir la vulnerabilidad y la exposición, intentando construir evitando el hacinamiento de la población, dejando espacios amplios entre los edificios y haciendo que éstos no sean de gran altura.

[Hace no muchos años, un terremoto en la ciudad japonesa de Kobe, produjo unos daños enormes, a pesar de que las autoridades japonesas estaban orgullosas de las medidas antisísmicas que poseían sus edificaciones e infraestructuras, tales como puentes, autopistas y vías férreas. Se dieron dos circunstancias dramáticas: por un lado, sin ser un seísmo de una magnitud exagerada, el epicentro se situó en plena ciudad. El otro hecho fue la hora del suceso: tuvo lugar a medio día, a la hora en la que toda la gente estaba en sus casas comiendo y por ello los hornillos de gas que allí se emplean estaban encendidos. A la catástrofe se le sumó un incendio pavoroso que terminó de asolar la ciudad].

La elaboración de mapas de riesgo en zonas propensas a los seísmos sirve como medida de predicción y de prevención, ya que facilita la ordenación del territorio para poder aplicar medidas en los casos en que sea preciso: la protección civil (vigilancia, alerta y emergencia); establecimiento de seguros, aplicación de normas sismorresistente, etc.

Los sistemas de control de seísmos son bastante difíciles de aplicar, pero se están experimentando métodos de reducción de las tensiones acumuladas en las rocas, provocando pequeños seísmos mediante explosiones controladas que liberan tensiones e inyectando fluidos en las fallas activas para que deslicen sin brusquedad (no dejan de ser ensayos de dudosa eficacia).

Normas Antisísmicas.

En nuestro país existe una Norma sismorresistente, adecuada al estado actual del conocimiento sobre sismología e ingeniería sísmica, en la que se establecen las condiciones técnicas que han de cumplir las estructuras de edificación, a fin de que su comportamiento ante fenómenos sísmicos evite consecuencias graves para la salud y la seguridad de los ciudadanos, evite pérdidas económicas y propicie la conservación de servicios básicos para la sociedad en casos de terremotos de intensidad elevada.

Esta Norma debe aplicarse a todos los proyectos y obras de construcción que se realicen en el ámbito nacional. Para poder aplicar la norma, las construcciones deberán ser clasificadas de acuerdo al **uso al que se destinan**. Tipos:

- Construcciones de importancia moderada; sin probabilidad razonable de que su destrucción pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario, u ocasionar daños económicos a terceros. (Ej. una granja porcina).
- Construcciones ordinarias; pueden ocasionar víctimas, interrumpir un servicio necesario para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos. (Ej. bloques de pisos, talleres, oficinas, comercios).
- Construcciones de especial importancia; son aquellas cuya destrucción, puede interrumpir un servicio imprescindible o aumentar los daños del sismo por efectos catastróficos:
 - Edificios sanitarios, hospitales y clínicas.
 - Cuarteles de bomberos, policía y fuerzas armadas.
 - Construcciones que conserven el patrimonio artístico.
 - Depósitos de agua o gas.
 - Centrales eléctricas.
 - Puentes y vías de acceso a ciudades.
 - Emisoras de radio y televisión.
 - Albergues.
 - Grandes presas.
 - Edificios donde existan materiales tóxicos, inflamables o explosivos.
 - Centrales nucleares.



Criterios de aplicación de la Norma: la aplicación de la Norma depende del **valor de la aceleración sísmica de cálculo para movimientos horizontales en el municipio** en el que se vaya a realizar la construcción. (Esta aceleración se calcula estudiando sismogramas de distintos terremotos).

- No es obligatoria en: construcciones de importancia moderada ni en las demás construcciones cuando la aceleración de cálculo para movimientos horizontales sea inferior a 0.05g.
- En las construcciones ordinarias y de especial importancia, no deben utilizarse estructuras de tapial, adobe o mampostería en seco, si la aceleración de cálculo para movimientos horizontales es superior a 0.08g.
- Las construcciones soportadas por muros de fábrica de ladrillo, bloques de mortero y similares, sólo podrán poseer un máximo de cuatro alturas, si la aceleración sísmica de cálculo está comprendida entre 0.08g. y 0.12 g y un máximo de dos alturas, si dicha aceleración es igual o superior a 0.12 g

Sólo interesa captar la idea de las razones que llevan a elaborar una normativa antisísmica y que dicha normativa pretende disminuir el riesgo sísmico al rebajar la vulnerabilidad. Tampoco debe olvidarse que los criterios en los que se basa su aplicación son los de distinguir entre tres tipos de edificaciones en función del daño que su destrucción puede suponer a la sociedad.

[El término de Valdepeñas de Jaén tiene un valor de aceleración sísmica de **0,1g**. Jaén capital **0,07g** y Granada capital de **0,24g**. Los valores más altos de España los presentan los términos municipales de algunas poblaciones de los alrededores de Granada capital con **0,26g**.

La aceleración sísmica básica tiene un valor característico para cada punto de la geografía nacional, y se obtiene a partir de un mapa de peligrosidad sísmica con la información de la magnitud marcado en las isosistas. (0,1g significa una aceleración la décima parte de la de la gravedad, cuyo valor es $g = 9,81 \text{ m/s}^2$). La aceleración de cálculo se obtiene a partir de la aceleración básica pero tiene además en cuenta otros parámetros correctores.]

2.2.6. ÁREAS DE RIESGO SÍSMICO EN ESPAÑA

La península Ibérica se encuentra en el extremo sur de la placa Euroasiática, que limita con la placa Africana. Este hecho, en principio, supone que la peligrosidad debería ser alta, pero tenemos la suerte de que en la actualidad este contacto de acercamiento no muestra una gran actividad o lo que es lo mismo, la subducción de la placa africana bajo la otra está casi paralizada (no así en zonas como el centro y sur de Italia, donde el Etna y el Vesubio no duermen del todo y hay terremotos con cierta frecuencia en Italia, Grecia, Turquía, norte de Marruecos, norte de Argelia y Túnez).

Esto no quiere decir que no haya actividad sísmica o que no vaya a haberla. España presenta regiones donde el riesgo sísmico es mayor: son aquellas que se asientan sobre materiales más modernos y replegados más recientemente, zonas en las que todavía no se ha consolidado el equilibrio isostático. Así, en los Pirineos y sobre todo en las cordilleras Béticas, hay más probabilidades de que suceda un terremoto. Aquellas zonas situadas sobre materiales muy antiguos serán más estables. Esto sucede en toda la meseta española. Galicia, a pesar de la antigüedad de sus rocas, debido a la existencia de numerosas fallas activas, presenta una peligrosidad moderada. Por motivos concretos de tipo de material y, sobre todo, por estar en el núcleo más interior de las cordilleras Béticas, donde se dan los picos con mayores alturas, la provincia de Granada presenta el índice de peligrosidad más elevado (el mayor terremoto histórico de España tuvo lugar en esta provincia en el año 1.884 y causó 900 víctimas, pero en la península Ibérica, el terremoto de Lisboa de 1.755 causó la muerte a 70.000 personas (terremoto submarino que afectó a la ciudad y provocó grandes incendios. El tsunami producto del seísmo terminó de desbaratar la ciudad).

Las islas Canarias presentan un riesgo sísmico moderado debido a que su actividad volcánica no suele provocar temblores.

2.3. Vulcanismo. 2.3.1. Magmas ácidos y básicos. 2.3.2. Tipos de erupciones. 2.3.3. Distribución de áreas volcánicas según la Tectónica de Placas. 2.3.4. Riesgo volcánico y planificación. 2.3.5. Áreas de riesgo volcánico en España.

Conceptos básicos: magma, viscosidad de un magma, volcán, partes de un volcán (cráter, chimenea, cono volcánico, cámara magmática).

2.3. VULCANISMO (O VOLCANISMO)

Los volcanes son manifestaciones de la energía interna del planeta. Surgen allí donde un material fundido, procedente del interior terrestre, sale a la superficie.

Se denomina magma a la masa compuesta por **silicatos** fundidos a temperatura muy alta (entre 600°C y 1000°C) y **gases disueltos** entre los que destaca el agua y el dióxido de carbono. Los elementos químicos más abundantes son el oxígeno, el silicio, el aluminio, el calcio, el magnesio, el hierro, el sodio y el potasio, aunque también aparecen otros muchos elementos en cantidades muy pequeñas. El magma al salir pierde los gases y pasa a llamarse lava (Lava = magma sin gases y próximo a la superficie terrestre). El magma también posee una fracción sólida compuesta por cristales de minerales que coexisten en suspensión en la fase líquida.

Actividad volcánica.

Un magma puede ponerse en contacto con la superficie terrestre a través de una zona de fracturas. Este material se enfriará en las inmediaciones y se acumulará formando un edificio volcánico o volcán. El proceso de emisión del magma, suele ser intermitente e irregular y cada **erupción o paroxismo** contribuye al desarrollo del volcán, mientras que durante los periodos de inactividad los agentes geológicos externos erosionan y desmantelan dichas formas del relieve. Los volcanes “típicos” reciben el nombre de **estrato-volcanes** por su estructura en capas procedentes de las diferentes erupciones.

Generalmente cada erupción abre nuevas bocas, ya que la chimenea o canal interno del volcán queda taponado tras la última erupción. Estas “bocas” son grietas que se abren en los costados y forman pequeños conos llamados **conos adventicios**. En ocasiones uno de estos conos crece hasta cubrir el cráter primitivo, modificando la forma y la altura del volcán. La heterogeneidad de los materiales así como la poca consistencia de algunos de ellos (capas de cenizas y de otros piroclastos) son los responsables de la facilidad con la que los edificios volcánicos son erosionados. Incluso también es frecuente que parte del edificio se hunda o colapse (caldera). Al cabo de un tiempo sólo quedará en pie el material que se consolidó en la chimenea al terminar la última erupción.

Los volcanes que emiten lava muy fluida (como los de las islas Hawai) no suelen arrojar piroclastos por lo que sus edificios son más homogéneos en su estructura y composición. Se llaman **volcanes en escudo**. Por último, aquellos volcanes cuya chimenea rellena de lava solidificada de una antigua erupción, asoma por la presión ejercida por el magma, son llamados **domos o pitones**.

Bajo el volcán siempre hay a una cierta profundidad una **cámara magmática**, que es una zona en la que se encuentra el material fundido que cuando alcance una determinada presión ascenderá hacia la chimenea.

Si por una explosión o por un colapso del propio volcán se pierde una parte del edificio volcánico, quedará una gran oquedad, mayor que el cráter, denominada **caldera**. (Dibujar esquemas de todos los conceptos expuestos).

Se suele hablar de **volcanes activos**, como aquellos que periódicamente entran en actividad; **semiactivos o latentes**, aquéllos que pueden reiniciar su actividad en cualquier momento aunque quedara interrumpida incluso hace varios miles de años. Y por último, se habla de **volcanes extintos** cuando no hay pruebas de que quede actividad alguna. Cuando un volcán entra en erupción, arroja



distintos tipos de materiales, tanto sólidos, como líquidos y gaseosos y de ellos se hablará seguidamente. Pero vamos a referirnos ahora a ciertos fenómenos relacionados también con la actividad volcánica que pueden aparecer aun cuando un volcán esté "apagado" o incluso no exista ningún aparato volcánico en la superficie. Se trata del llamado **vulcanismo atenuado o manifestaciones volcánicas póstumas**. Algunos de estos fenómenos son: **Fumarolas**, se trata de emisiones de gases a través de grietas. Hay muchos tipos según sus composiciones (CO_2 , cloruros, HCl , H_2SO_4 , SO_2 , H_2S , etc.). **Aguas termales**, son aguas calientes, las cuales, en la mayor parte de los casos no son de origen volcánico, pero sí lo es la fuente de calor. **Geiseres**, son aguas subterráneas que por la especial configuración geológica de la zona se concentran en lugares donde el calor de origen volcánico las vaporiza, surgiendo al exterior en forma de chorro hasta que la presión cae. Este fenómeno vuelve a aparecer periódicamente, cuando se acumula y vaporiza un nuevo volumen de agua. (Ejemplos interesantes de este tipo de vulcanismo pueden encontrarse en la isla Canaria de Tenerife, en torno al Teide. Este volcán no está activo pero sí latente. También es famoso el vulcanismo atenuado del Parque Nacional de Yellowstone en USA.

[6 de marzo de 2011: en el [Campo de Calatrava](#) (Ciudad Real) ha surgido una especie de geiser o "hervidero de agua". Esta comarca de la Mancha es una antigua región volcánica y estos fenómenos, que surgen cada varios años, son manifestaciones volcánicas póstumas. En este caso es la presencia de gran cantidad de gas la responsable de la salida del agua subterránea y no la alta temperatura de la misma].

Productos volcánicos. (Líquidos, gases y sólidos).

El magma al ascender pierde presión y con ella gran parte de los gases que mantenía disueltos. A este magma sin gases y que por su fluidez puede correr sobre la superficie terrestre se llama **LAVA**. Y la masa de lava que forma una especie de río incandescente es una **COLADA**. La longitud de la colada así como la velocidad de su movimiento viene dada en gran medida por su grado de viscosidad.

Dependiendo de su viscosidad, las lavas pueden cubrir grandes distancias, llegando a alcanzar hasta 100 Km de extensión y velocidades iniciales de 100 Km/h en el caso de ser muy fluidas. Los tipos de lava en función de las coladas que originan son:

1- Lavas en bloque. Son lavas viscosas que solidifican con rapidez formando coladas poco extensas. Los gases escapan con brusquedad y fracturan la colada formando bloques, que se acumulan y entremezclan empujados por la lava que sigue fluyendo. El resultado es una colada de superficie muy irregular. [En Canarias las llaman "malpaís" por su dificultad para cultivar en ellas]

2- Lavas cordadas. Son lavas más fluidas que las anteriores. Solidifican lentamente y forman coladas más extensas. Los gases se desprenden con facilidad. La costra superficial de lava recién enfriada es arrugada por el avance de la masa líquida que corre bajo ella. Los repliegues, paralelos unos a otros, recuerdan a grandes cuerdas o sogas alineadas y de ahí el nombre de cordadas.

3- Lavas almohadilladas (o pillow-lavas). Se forman en erupciones submarinas. La lava conforme va fluyendo se enfría al contacto con el agua y se fragmenta en porciones con aspecto de bloques cúbicos de esquinas redondeadas que recuerdan vagamente a almohadones. Mientras que la costra externa se consolida como roca volcánica, hacia el interior y de forma concéntrica se aprecia un aumento de la cristalización. También debido a fenómenos de contracción por enfriamiento brusco se producen fracturas radiales.

Las erupciones volcánicas arrojan también gases y sólidos a alta temperatura a la atmósfera. Entre los gases destaca el vapor de agua.

Los materiales incandescentes al principio y sólidos al caer que han sido arrastrados por los fluidos más volátiles se denominan en conjunto **piroclastos**, diferenciándose por tamaños en:

-Bombas volcánicas: cuando tienen desde unos cm hasta varios metros y centenares de Kg de peso. Pueden tener forma fusiforme debido al giro en el aire.

-**Lapilli**: tamaños que oscilan desde algunos cm a pocos mm (poco más que granos de arena).

-**Cenizas volcánicas**: aun de menor tamaño, pueden permanecer en el aire durante días y ser arrastradas por los vientos a miles de Km de distancia. Las cenizas pueden oscurecer el cielo y si se mezclan con vapor de agua se originan lluvias de barro que llegan a hundir las techumbres de los edificios. [piroclastos: piro=fuego; clastos=fragmento de roca]

Factores que determinan el tipo de vulcanismo

Dos factores influyen en el tipo de erupción y también en el aspecto del volcán. Por un lado la **viscosidad del magma** y por otro la cantidad de **productos volátiles** que contenga (todo ello en las proximidades de la superficie).

Los magmas ácidos (ricos en sílice) son muy viscosos, tendiendo a solidificarse en las inmediaciones del cráter. Los magmas básicos son, por el contrario, muy fluidos y sus lavas pueden recorrer largos trechos antes de solidificarse. En ambos casos puede haber mayor o menor contenido en gases, pero siempre serán expulsados con más facilidad aquellos que se encuentren en lavas básicas que los que se encuentren en lavas ácidas. En este caso pueden provocar explosiones y piroclastos (son en realidad salpicaduras) de mayor tamaño.

2.3.1. MAGMAS ÁCIDOS Y BÁSICOS

Los magmas se clasifican según su contenido en SiO₂ (sílice) fundido, ya que la proporción de esta sustancia condiciona las propiedades físicas y químicas del magma. Los magmas ácidos contienen más del 66 % de sílice, los intermedios entre el 52 y 66 %, los básicos entre el 45 y 52 % y los ultrabásicos menos del 45 %. Generalmente se consideran dos tipos de magma: ácido y básico.

[A partir del enfriamiento de un magma se producirá una lava y de esta una roca que podrá tener la misma composición química que el primero o no si se producen fenómenos de [cristalización fraccionada y diferenciación magmática\(pag.15\)](#)].

2.3.2. TIPOS DE ERUPCIONES

Siguiendo este criterio, históricamente se clasificaban los volcanes en 4 grupos, cuyos nombres corresponden a volcanes tomados como tipo. Básicamente, los volcanes son el resultado del modo de producirse la erupción (de efusiva a explosiva siguiendo el orden que aparece a continuación). No interesa aprender los tipos de volcanes pero sí se debe comprender cómo en función de la viscosidad de la lava y de la concentración de gases, el aspecto del cono volcánico variará, e igualmente su peligrosidad.

TIPO HAWAIANO. (O volcanes en escudo). Sirven de modelo los volcanes que forman las islas Hawái. Sus lavas, muy fluidas, se derraman con facilidad formando coladas de gran extensión. Los gases escapan con facilidad y no forman apenas cenizas ni otros piroclastos. Por todo ello, son volcanes con pendiente suave, no muy altos pero sí con bases de un gran diámetro. (Existen extensas mesetas de lava basáltica en la India o en el centro de Estados Unidos de América (tan grandes como la península Ibérica) y sin que se aprecien restos de edificio volcánico).

TIPO STROMBOLIANO. (Este y los siguientes tipos de volcanes reciben el nombre de estratovolcanes). Toma el nombre del volcán existente en la isla de Strómboli, frente a Sicilia. Sus lavas son moderadamente fluidas. Los gases proyectan salpicaduras de lava que forman lapilli y bombas volcánicas. La erupción puede llegar a ser explosiva pero no de mucha potencia. Las coladas de lava no alcanzan gran extensión. El edificio es más alto y menos ancho en la base que el de los volcanes hawaianos.

TIPO VULCANIANO. La isla de Vulcano situada como la anterior en el archipiélago de las islas Eolias, frente a Sicilia, da nombre a aquellos volcanes de lava muy viscosa. Tanto que llega a taponar la chimenea del volcán, que puede ser arrastrada y destruida junto con parte del cono volcánico en emisiones siguientes. Debido a las presiones interiores, se producen explosiones al romperse las costras de lava recién endurecida que ciegan la salida. Es frecuente que dichas explosiones abran



grietas en el volcán y a partir de ellas se originen nuevos cráteres o “bocas”. Los volcanes de este tipo presentan las laderas más inclinadas que los anteriores, p.e. el Vulcano, el Vesubio y el Etna. Estos volcanes pueden originar también nubes ardientes.

TIPO PELEANO. Sus lavas son tan viscosas que solidifican en las propias chimeneas formando auténticos tapones. Estos tapones, pueden ser empujados hacia arriba lentamente por la presión interior, constituyendo en ocasiones un saliente llamado pitón o domo de aspecto muy característico. Cuando la presión aumenta lo suficiente, se produce una explosión que puede dismantelar una gran parte del edificio volcánico y los gases ardientes, así como todo el material que ha saltado, forman una nube incandescente (nube ardiente) que puede arrasarse grandes superficies de los alrededores. P.e. el Mont-Pelé de la isla Martinica (situada en el Caribe).

Resulta equivalente decir “erupción de tipo hawaiano”, “erupción de tipo vulcaniano”, etc. La mayor parte de los volcanes conocidos está entre los dos tipos extremos descritos.

2.3.3. DISTRIBUCIÓN DE LAS ÁREAS VOLCÁNICAS SEGÚN LA TECTÓNICA DE PLACAS.

Es necesario recordar el tema de la tectónica global o de las placas para poder entender que los volcanes no aparecen por azar en cualquier lugar: hay una relación directa con el calor interno de la tierra y con las discontinuidades que pueda presentar la litosfera. Por eso, los volcanes se distribuyen a lo largo de extensas zonas que coinciden básicamente con los límites de placa de separación (dorsales) y de aproximación, allí donde una placa subduce bajo otra. También aparecerán allí donde el calor generado por plumas de manto sea lo suficientemente intenso como para perforar la litosfera o bien, allí donde roturas (fracturas y fallas) profundas y de grandes dimensiones permitan el escape de material fundido.

Aproximadamente, el 80% del vulcanismo tiene lugar en los límites de placa constructivos (en las dorsales) un 15% en las zonas de subducción y un 5% en áreas de intraplaca o puntos calientes (mayoritariamente bajo los océanos, donde el espesor litosférico es menor).

2.3.4. RIESGO VOLCÁNICO Y PLANIFICACIÓN

Los volcanes proporcionan tierras fértiles, recursos minerales y energía geotérmica, por lo que el hombre ha ocupado su área geográfica, convirtiendo así un proceso natural en un grave riesgo. Los principales riesgos volcánicos son tres: las *coladas de lava*, que pueden cubrir extensas áreas; las *lluvias de piroclastos*, cuya caída puede provocar muertes debido al impacto, hundimiento de construcciones o destroz de cultivos, y las *nubes ardientes o flujos piroclásticos*, que constituyen la manifestación volcánica de mayor peligrosidad.

Los factores que intensifican el riesgo de vulcanismo son:

a) La *población* que se asienta en sus laderas: en muchos casos hay un **alto factor de exposición**.

b) El *tipo de volcán*, que condiciona la **peligrosidad**: por la intensidad, la frecuencia de las erupciones y la explosividad (que a su vez depende de la viscosidad de la lava y de la presencia mayor o menor de gases).

c) Los *riesgos derivados*, que pueden adoptar diversas formas:

- *Erupciones freato-magmáticas*, que ocurren cuando la columna magmática ascendente atraviesa un acuífero o cuando entra agua marina en el interior de la cámara magmática, lo que provoca la interacción agua-magma, que añade violencia a la erupción produciendo terribles explosiones (El volcán entero puede ser destruido por la explosión. Ej. isla de Santorini, Grecia)

- *Los lahares, o corrientes de fango* (ríos de barro) producidas por la fusión de hielos o nieves de la cumbre del volcán y mezcla con materiales sueltos como cenizas, que poseen efectos devastadores, arrastrando cuanto encuentran a su paso. También pueden proceder del derrame de lagos que ocupan los cráteres.

- *Tsunamis*, provocados por la explosión de un volcán submarino o isla volcánica (por ejemplo, la erupción del Krakatoa de 1883 sepultó en el mar las tres cuartas partes de la isla sin

provocar muertes porque estaba deshabitada, pero el tsunami producto de esta explosión asoló la isla de Java, con el resultado de 36.000 muertos). [El tsunami que produjo la muerte a casi medio millón de personas en diciembre del 2.004, afectando a diversas islas de Indonesia, fue originado por un seísmo].

- *Movimientos de laderas*, o deslizamientos, desprendimientos: los edificios volcánicos se abomban y pueden venirse abajo como consecuencia del ascenso de magma en una nueva erupción y de la fuerte pendiente que a menudo presentan sus laderas.

- *Emisión de venenos y gases asfixiantes*; por ejemplo, durante la erupción del Mont Pelée de 1.902 los gases sulfurosos mataron a muchos animales y produjeron problemas respiratorios en las personas.

Planificación de riesgos volcánicos

Métodos de predicción: para predecir los efectos volcánicos debe conocerse a fondo la historia de cada volcán, tanto la frecuencia de sus erupciones (período de retorno) como la intensidad de las mismas; es decir, su peligrosidad. Y también hay que analizar los síntomas del comienzo de la erupción mediante observatorios situados en los volcanes, que gracias a diversos aparatos pueden detectar pequeños temblores (registrados con sismógrafos) y ruidos, cambios producidos en la forma del volcán (inclinómetros), variaciones en el potencial eléctrico de las rocas (magnetómetros). Las rocas pierden características magnéticas cuando su temperatura asciende por encima de 600°C y anomalías en la gravedad (gravímetros), además del análisis de los gases emitidos y de un seguimiento por medio de satélites.

Es necesaria también la elaboración de mapas de peligrosidad, exposición y vulnerabilidad y, en conjunto, **mapas de riesgo** para realizar una evaluación del mismo, identificar señales y delimitar las áreas potenciales de actividad. La fiabilidad de las predicciones es relativa, ya que, desgraciadamente, el vulcanismo explosivo que es el más peligroso, es el más difícil de pronosticar. Todas estas medidas se llevan a cabo en aquellos volcanes que se suponen más peligrosos en los países desarrollados. En los países del tercer mundo, no suele haber sistemas de detección ni medidas de prevención (En cada nueva erupción se forma un cráter diferente y no se sabe por dónde aparecerá).

Métodos de prevención: los sistemas más habituales consisten en la construcción de diques y canales que servirán para desviar las corrientes de lava hacia lugares deshabitados, siempre y cuando técnicamente sea viable. También se construyen túneles de descarga del agua de los lagos del cráter para evitar la formación de lahares. (Muchos volcanes tienen lagos en sus cráteres y otros, si son muy altos, pueden tener nieves perpetuas).

Otra medida de sentido común debería ser la planificación del territorio, la cual, a partir de mapas de riesgo debería evitar el asentamiento de humanos en determinadas zonas próximas a los volcanes, pero esto suele ser inviable: ya se ha dicho antes que son terrenos especialmente fértiles y los humanos siempre han vivido en sus laderas (En los alrededores del volcán Vesubio, en Italia, viven muchos millones de personas: ¿dónde deberían irse dado que el Vesubio es un volcán activo que cualquier día puede tener un mal despertar?).

Sin embargo, las medidas preventivas adecuadas en cada caso están en función del tipo de vulcanismo: la evacuación, la contratación de seguros que cubran la pérdida de propiedades, y la prohibición de construir en lugares de alto riesgo. Además, se construirán viviendas con los tejados muy inclinados que impidan el hundimiento debido al peso de las cenizas y se habilitarán refugios incombustibles para protegerse de las nubes ardientes.

2.3.5. ÁREAS DE RIESGO VOLCÁNICO EN ESPAÑA

Las islas Canarias están situadas en una zona de intraplaca (punto caliente) y han presentado actividad histórica reciente de muchos de sus volcanes. Sus orígenes se remontan hasta hace unos 30 millones de años y su actividad no ha cesado desde entonces. El volcán Timanfaya, en Lanzarote, comenzó su última y espectacular erupción en 1.730 y no terminó hasta el año 1.736. Las lavas de este y de otros volcanes asociados cubrieron casi una quinta parte de la isla. En los



últimos 5 siglos se han registrado, al menos, 18 erupciones. Las islas se presentan siguiendo dos líneas que se cortan y que corresponden a sendas fracturas, quizás producidas por las presiones ejercidas por una pluma de manto, y es a través de dichas roturas de la litosfera oceánica por donde periódicamente se han producido derrames de lava. La penúltima erupción fue la del volcán Teneguía, en La Palma, en el año 1.971. Y a finales del año 2.011 un volcán en la isla de Hierro entró en erupción. La nueva boca se abrió bajo el nivel del mar y tras unos meses arrojando lava cesó su actividad ¿hasta cuándo?

Todo el archipiélago puede considerarse una zona de riesgo ya que en cualquier momento puede producirse la activación de alguno de sus innumerables volcanes (todas las islas son enteramente volcánicas y el vulcanismo atenuado se mantiene en algunas de ellas). [Teóricamente el riesgo es mayor en Lanzarote, Tenerife y la Palma; es menor en Hierro y Gran Canaria y casi nulo en Fuerteventura y La Gomera]. [Atención: no se trata de islas alineadas que van de más jóvenes a más viejas de un extremo a otro como en Hawai producidas por la deriva de la placa]

La península Ibérica no cuenta actualmente con ninguna zona activa, ni la ha tenido en tiempos históricos. Hay restos, no obstante, de un vulcanismo “reciente”, de la era terciaria que llegó a la cuaternaria (desde unos 10 millones de años hasta unos 100.000 años). Este vulcanismo está relacionado-provocado por la orogenia Alpina, que al producir el plegado de materiales, por el choque de la placa Africana contra la Ibérica, abrió grietas por donde salió el material fundido. Desde el cese de la actividad volcánica ha habido tiempo suficiente para que los agentes geológicos externos hayan hecho su labor y en consecuencia hayan borrado gran parte de los edificios volcánicos. Quedan restos de materiales en la zona de Olot (Gerona), en el Campo de Calatrava (Ciudad Real) y en Andalucía, en la zona del Cabo de Gata, hoy día **Parque Natural de Cabo de Gata y Níjar (Almería)**. No debemos olvidar que restos menos espectaculares y muy puntuales de actividad volcánica quedan también en nuestra provincia, en los términos municipales de Campillo de Arenas y Montillana, con lavas almohadilladas, de origen submarino, sobre las que posteriormente se sedimentaron otros materiales.