

Unidade: XEODINÁMICA INTERNA. RISCOS ASOCIADOS

1. Xeosfera: Estrutura e composición.

- 1.1. Definición.
- 1.2. Estrutura e composición.
 - 1.2.1. Estrutura xeoquímica
 - 1.2.1. Estrutura dinámica.
- 1.3. Dinámica litosférica: Tectónica de Placas

2. Balance enerxético da Terra.

3. Enerxía interna.

- 3.1. Concepto, orixe e gradiente xeotérmico.
- 3.2. Xeodinámica interna.

4. Riscos xeolóxicos internos: volcánico, sísmico, tsunamis

- 4.1. Concepto de risco xeolóxico e factores de risco.
- 4.2. Risco volcánico.
 - 4.2.1. Distribución, partes e materiais emitidos
 - 4.2.2. Factores e perigos dos volcáns.
 - 4.2.3. Predición e prevención.
- 4.3. Riscos sísmicos.
 - 4.3.1. Causas, distribución e escalas.
 - 4.3.2. Factores e danos sísmicos.
 - 4.3.3. Predición e prevención.
- 4.4 .Tsunamis

1. Xeosfera. Estrutura e composición.

1.1. A Xeosfera é un subsistema terrestre que serve de soporte ou base ao resto de sistemas (hidrosfera, atmosfera e biosfera). En Ciencias da Terra, o que se pretende é sentar as bases do funcionamento da súa capa máis superficial, a litosfera, da dinámica da cal resultan os principais procesos xeolóxicos e os riscos asociados.

A Xeosfera ten un radio medio de 6.370 km, e está estruturada en *capas concéntricas* de diferente composición, de maneira que a densidade aumenta cara o interior. A presión e a temperatura tamén se incrementan cara dentro.

1.2. Estrutura e composición. Para coñecer o interior terrestre, hai varios métodos de estudo, tanto directos como indirectos. O principal é o método sísmico, método indirecto baseado no comportamento das ondas sísmicas profundas (ondas P e S).

Podemos estudar a xeosfera dende dous puntos de vista complementarios: por composición ou estrutura xeoquímica, e polo funcionamento, ou estrutura dinámica.

1.2.1. Estrutura xeoquímica. Segundo a composición, a xeosfera divídese en tres unidades xeoquímicas: codia, manto e núcleo, separadas por discontinuidades sísmicas, marcadas polo estudo das ondas sísmicas, que evidencian cambios de composición e/ou estado. As principais son as discontinuidades sísmicas de primeira orde, a saber:

- Descontinuidade de Lehman: separa núcleo interno de externo, a 5.100 km
- Descontinuidade de Gutenberg: separa núcleo de manto, a 2.900 km.
- Descontinuidade de Mohorovicic (Moho): separa manto de codia, a 5 –75 km.

A continuación, imos describir as principais características de cada capa:

• Núcleo.

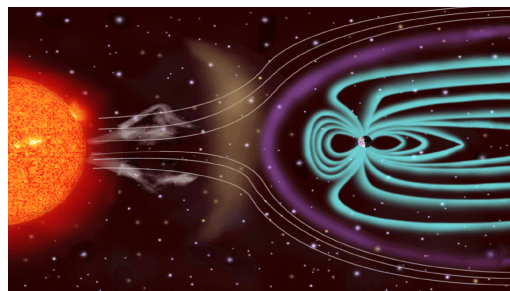
Capa máis interna, representa o 30% da masa total do planeta.

A súa composición, deducida do método sísmico, é similar á dos meteoritos metálicos ou sideritos: unha alíaxe metálica de ferro e níquel (Nife) xunto a outros elementos. A súa presión e temperatura son moi elevadas. A temperatura acada miles de °C, a causa da calor remanente residual de formación do planeta (por acreción: unión e agregación de partículas por gravidade).

Diferenciamos dúas subcapas, de igual composición e diferente estado:

- *Núcleo interno sólido*: non está fundido, a causa das elevadas presións existentes (millóns de atmosferas), aínda que estea a maior temperatura (en torno a 6.000°C).
- *Núcleo externo líquido*: fundido a causa das altas temperaturas, en torno a 4.000°C. Nesta capa teñen lugar procesos convectivos, que van estar moi relacionados coa xénese do campo magnético terrestre:

A Terra compórtase como unha dínamo, que orixina un campo magnético, debido á rotación rápida dun núcleo metálico condutor, en estado fundido. Funciona como un escudo protector que desvía o "vento solar" ou partículas cargadas electricamente, procedentes do Sol.



• **Manto.**

Capa rochosa situada entre as discontinuidades de Gutenberg e Mohorovicic.

A súa composición fundamental é a rocha peridotita (formada por silicatos ferromagnesianos), en estado sólido e sometida a altas temperaturas e a unha grande presión de confinamento.

Divídese en dúas subcapas, de igual composición e distinta rixidez: manto superior e manto inferior, separadas pola descontinuidade de Reppetti (de segunda orde). Algúns autores diferencian unha parte dentro do manto superior, descontinua e intermitente, denominada astenosfera, en estado sólido – plástico, de especial importancia na dinámica da litosfera.

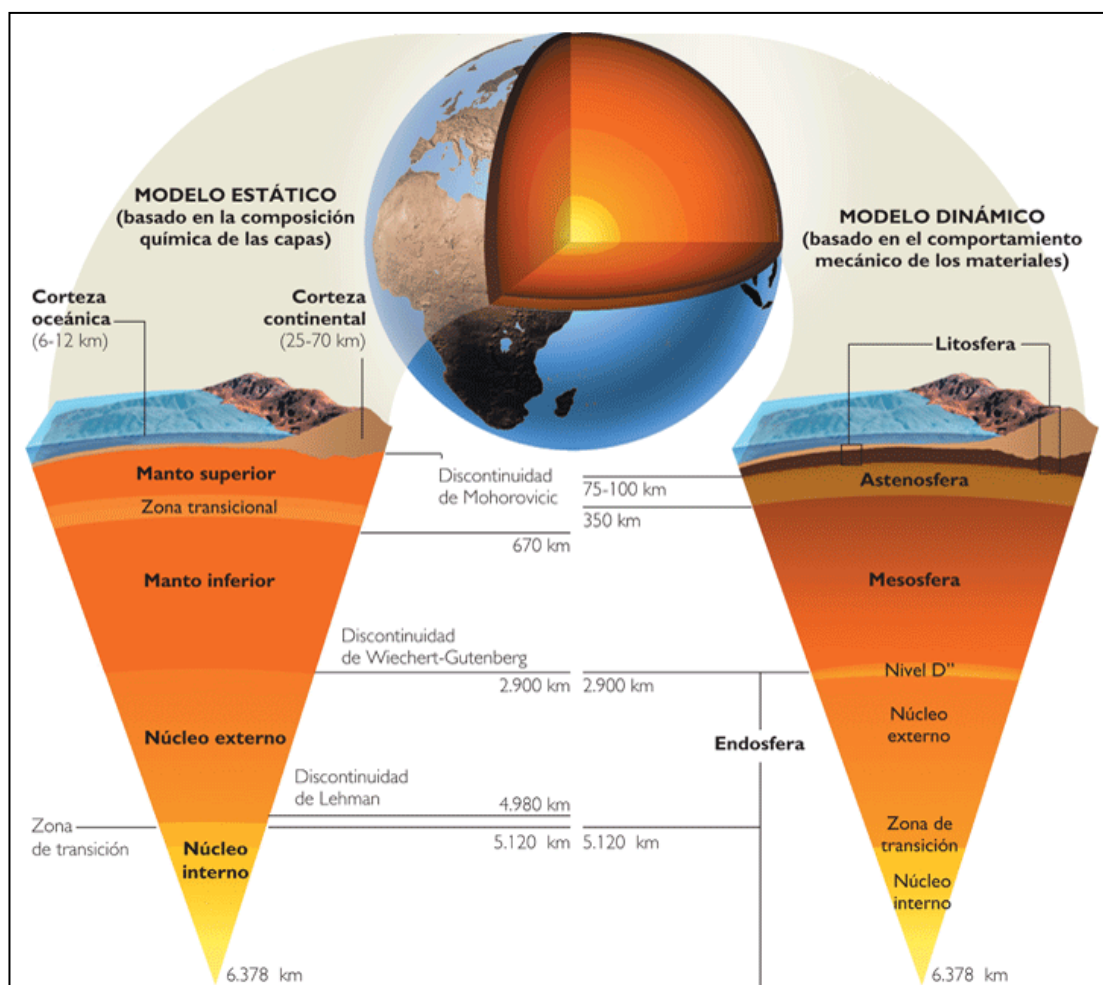
O manto produce calor por desintegración de elementos radioactivos presentes na nas rochas e transmite esta calor cara ao exterior en forma por convección e plumas (columnas ascendentes de material fundido).

• **Codia.**

Capa superficial e fina, de grosor variable (ata 75 km aproximadamente).

Está formada por rochas máis lixeiras formadas por silicatos (minerais compostos por osíxeno, silicio, e outros elementos).

Diferenciamos dúas partes: codia oceánica (capa máis delgada, nova e densa, que constitúe o fondo oceánico, con basalto como rocha fundamental,) e codia continental (irregular e lixeira, máis antiga e de composición variable, sobre todo granítica, que forma os continentes).



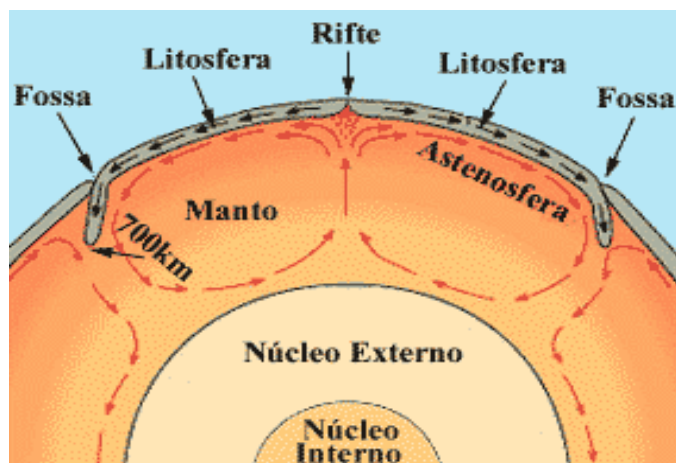
1.2.2. *Estrutura dinámica.* Establecida segundo o comportamento dos materiais, independentemente da composición.

O modelo dinámico distingue as unidades: Litosfera, *Astenosfera*, *Mesosfera*, *Endosfera* (núcleo externo e núcleo interno), así como o nivel D".

- **Litosfera**, é a capa exterior de rocha dura e quebradiza, formada por toda a codia e parte do manto superior, de grosor variable, podendo chegar ata 100 km. A súa dinámica dá lugar aos procesos xeolóxicos internos e riscos asociados a eles.
- **Astenosfera**, capa plástica do manto superior, estaría situada baixo a litosfera, en estado de fusión parcial. Algúns autores non a diferencian como tal, ao non quedar demostrado que sexa unha capa continua.
- **Mesosfera**, equivale ao resto do manto superior e todo o manto inferior. Na base do manto atópase o nivel ou capa D", onde se orixinan as plumas convectivas que son columnas ascendentes de materiais do manto, máis quentes polo contacto coa calor do núcleo, que poden chegar ata a superficie perforando a litosfera, mediante volcáns: son os "puntos quentes" (illas Hawái).
- **Endosfera**, correspóndese co núcleo externo fundido e o interno sólido, ambos metálicos formados por ferro e níquel, principalmente.

1.2.3 *Dinámica litosférica: Tectónica de Placas.*

A litosfera é unha capa fina, ríxida e quebradiza, que está fragmentada en placas, capaces de desprazarse sobre a zona plástica do manto, impulsadas polos diferentes movementos de convección do manto: correntes ascendentes baixo *puntos quentes* e *dorsais oceánicas* (zonas de creación de codia oceánica) ou descendentes nas *zonas de subdución*, onde a forza da gravidade contribúe ao seu afundimento e destrución. A codia continental nunca subduce ao ser menos densa.



A Tectónica de Placas é unha teoría xeolóxica de síntese, nacida na década dos sesenta do século XX, que explica os fenómenos xeolóxicos internos, incluída a dinámica das placas litosféricas, así como a localización dos procesos asociados aos riscos xeolóxicos internos (volcánico e sísmico).

Trátase dunha teoría mobilista que acepta a deriva continental, proposta cincuenta anos antes por Alfred Wegener, e recolle as consecuencias que esta mobilidade tivo na evolución dos seres vivos, na formación dos recursos naturais, na dinámica da hidrosfera, así como a distribución das cuncas sedimentarias e dos grandes oróxenos (cordilleiras).

Imos ver algúns conceptos básicos desta teoría:

a) *Concepto de placa e principais placas:*

As placas litosféricas son fragmentos ríxidos de litosfera, de ata 100 km de espesor, que flotan e esvaran sobre a capa plástica do manto. En cada placa distinguimos a súa parte central ou *intraplaca* e os seus *bordos* ou *límites*, por onde interacciona coas contiguas. As principais placas que conforman a superficie terrestre, son:

– *Mixtas (codia continental e oceánica):* Placa euroasiática, Placa africana, Placa norteamericana, Placa sudamericana, Placa indoaustraliana, Placa antártica.

– *Oceánicas (só codia oceánica):* Placa pacífica, Placa de Nazca.

– *Placas menores:* Placa filipina, Placa arábica, Placa iraní, Placa do Caribe, Placa de Cocos, Placa San Juan de Fuca, Placa de Scottia, e outras.

En xeral, *as zonas de intraplaca son estables* e con pouca actividade sísmica, mentres que os *bordos ou límites de placa son zonas moi activas* que concentran a actividade interna do planeta, como volcáns, actividade sísmica e formación de cordilleiras.

b) *Bordos de placa. - Distinguimos tres tipos de bordo de placa.*

– *Bordos construtivos ou diverxentes:* separación de placas. Son as *dorsais oceánicas*, cordilleiras submarinas que atravesan os océanos de Norte a Sur, de grande anchura, formadas por dúas elevacións volcánicas e unha fisura central ou *rift*, por onde sae lava procedente do manto. Son a dorsal atlántica, que emerxe en Islandia e Azores, a dorsal índica e a dorsal pacífica. Están atravesadas por *fallas laterais* ou *transformantes*.

Nos bordos construtivos teñen lugar os seguintes procesos:

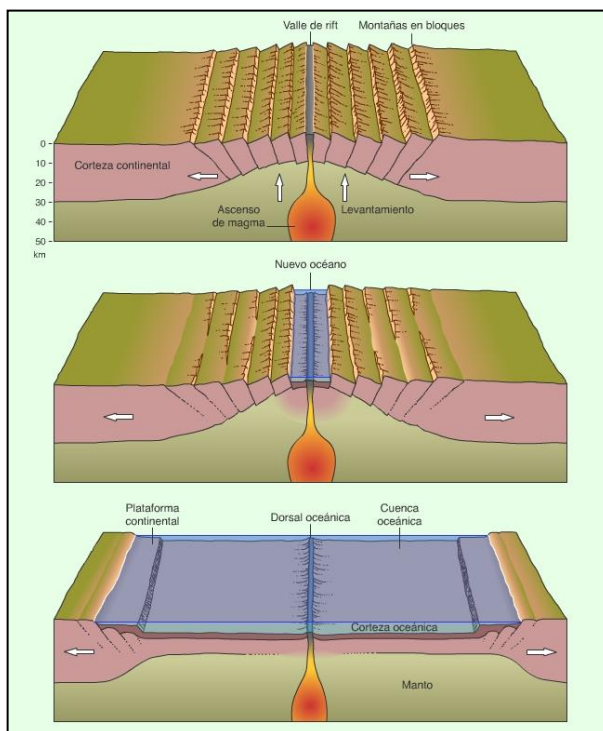
◇ *expansión oceánica*, a codia oceánica crece a partir da lava emitida polo rift, e ensánchase.

◇ *separación dos continentes* situados nos bordos do océano.

◇ *vulcanismo*, saída de lava procedente do manto a través do rift da dorsal.

◇ *actividade sísmica* superficial a causa do movemento diverxente ou de separación de placas: ← →

Exemplos: O Océano Atlántico (América e Europa sepáranse 2 cm por ano); o Mar Vermello, que constitúe un océano incipiente; o Rift Valley en África oriental (Grandes Lagos Africanos, asociados a volcáns como o Kilimanjaro, Lengai, etc).



– *Bordos destrutivos ou converxentes: colisión de placas.* Son as zonas de subdución, marcadas por foxas oceánicas, profundas fisuras que poden acadar 11 km de profundidade, por onde a codia oceánica se destrúe ao introducirse cara o manto, seguindo un plano inclinado, o *Plano de Benioff*.

Nestas zonas, os océanos péchanse e os continentes situados nas beiras chegan a colisionar formando cordilleiras como Alpes ou Himalaia. Neles teñen lugar os seguintes procesos:



♦ *peche oceánico*, a causa da subdución e aproximación dos continentes situados nas beiras: → ←

♦ intensa *actividade sísmica* con focos superficiais e profundos, concentrada no plano de Benioff.

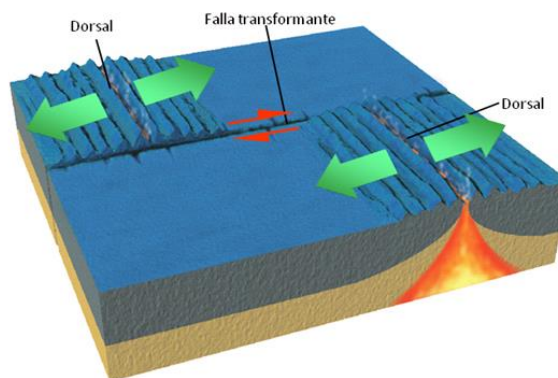
♦ *actividade volcánica*, formando volcáns asociados a cordilleiras coma os Andes, e a *arcos illa*, conxunto de illas volcánicas separadas do continente por unha cunca marxinal (Xapón, Filipinas, Marianas...)

♦ *formación de cordilleiras* (oroxénese) por colisión de placas, podendo ser de tipo andino (Andes) ou por colisión continental (Himalaia, Alpes ou Pirineos).

Exemplos: O Océano Pacífico e a franxa Mediterráneo – Himalaia, que concentran a maior parte da actividade sísmica e volcánica do planeta.

Hai que sinalar que a causa da actividade asociada aos bordos de placa (construtivos e destrutivos) a codia oceánica é máis recente que a continental, ao estar en continua renovación: créase nas dorsais e destrúese nas zonas de subdución.

– *Bordos transformantes:* Son fallas activas con desprazamento lateral de placas que se moven en sentidos opostos (cizalla). A fricción orixina unha importante *actividade sísmica*. Exemplos: a falla de San Andrés de California; e as fallas que seccionan as dorsais oceánicas.

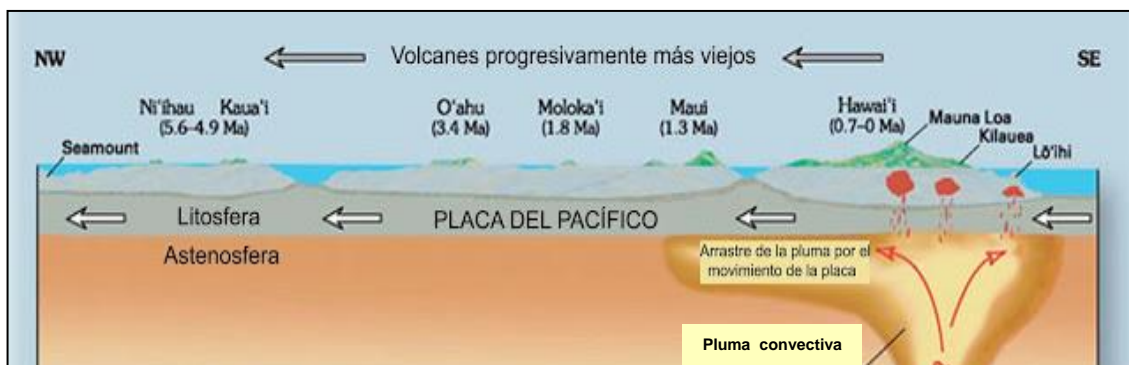


c) *Fenómenos de intraplaca:* No interior das placas tamén ocorren procesos internos, aínda que en moita menor medida que nos borde de placa. Destacamos:

– *zonas sísmicas de intraplaca:* asociadas a fallas activas no interior das placas. Exemplo: terremoto de China de 1976. Galicia presenta un grao moderado de actividade sísmica tamén relacionada con fallas antigas reactivadas.

– *vulcanismo intraplaca:* son os *puntos quentes* ou columnas ascendentes de magma denominadas *plumas convectivas*, procedentes da zona D” do manto, que están a maior temperatura que o seu ámbito, polo que ascenden e forman volcáns, como as illas Hawái no interior da placa Pacífica.

Os puntos quentes son fixos, mentres que as placas se moven, polo que se orixinan *cadeas lineais de illas*, nas que as máis afastadas son máis vellas e mesmo están inactivas.



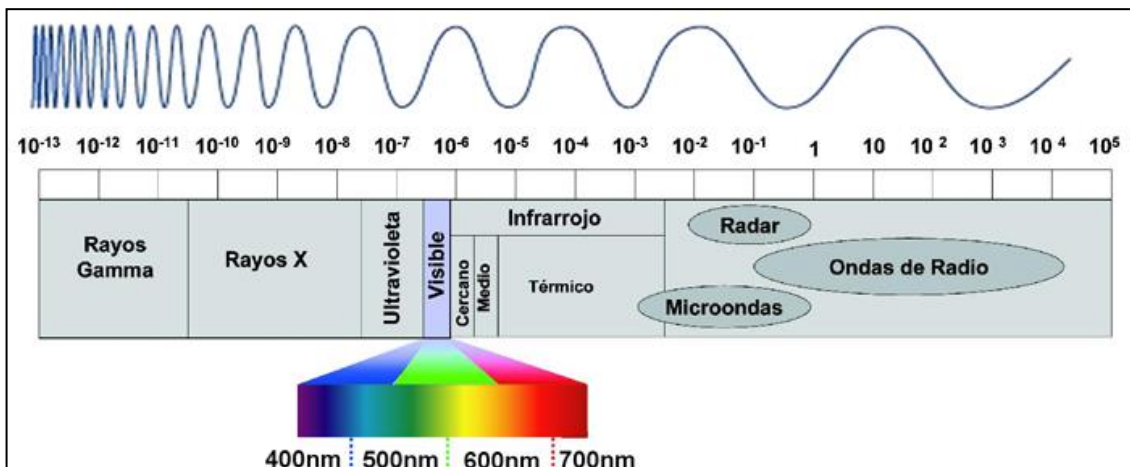
MAPA DAS PLACAS LITOSFÉRICAS E BORDES DE PLACA



2. Balance enerxético da Terra.

O Sistema Terra está sustentado por un fluxo permanente de enerxía que provén de dúas fontes:

- Interna: enerxía xeotérmica ou calor interna terrestre, e a enerxía elástica ou enerxía acumulada nas rochas, responsable da súa deformación.
- Externa: procedente da radiación solar ou conxunto de radiacións emitidas polo Sol, que constitúen o espectro electromagnético:



Parte da enerxía solar que incide sobre a superficie terrestre, reflictese directamente de volta ao espazo (albedo), pero o resto é absorbida pola atmosfera, océanos e terras emerxidas, en forma de enerxía calorífica. Esta enerxía pódese transformar en enerxía mecánica ou reemitirse como radiación infravermella.



3. Xeodinámica Interna.

3.1. Enerxía interna: concepto, orixe e gradiente xeotérmico.

A enerxía interna maniféstase en forma de *enerxía térmica* e *elástica*. A enerxía térmica ou calor interna ten unha dobre orixe: por unha parte, a *calor residual de formación do planeta*, e pola outra a enerxía procedente da *desintegración de materiais radioactivos*, ambas propáganse a través do manto e codia, fundamentalmente por *convección*.

A Terra formouse hai uns 4.600 millóns de anos, igual que todos os planetas do Sistema Solar, por aglomeración de materia sometida a atracción gravitatoria (acreción) a partir dun disco primitivo de po e gases, que orixinou o Sistema Solar.

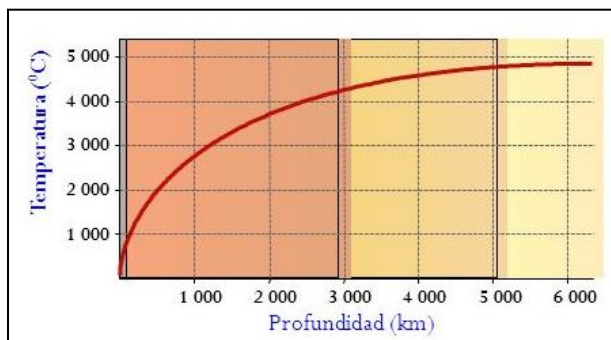
A acreción libera calor, que chegou a ser tan elevada que nos primeiros tempos o planeta converteuse nunha masa incandescente fundida que xiraba sobre si mesma (rotación), e ao redor do Sol (translación), e pouco a pouco foi arrefriándose e evolucionando ata ter as características actuais.

Debido ao estado de fusión e ao movemento de rotación, vaise producir a diferenciación por densidade dos materiais terrestres, distribuíndose por capas: os elementos máis pesados, como o ferro, afundiron cara dentro, e os máis lixeiros (silicio, osíxeno, aluminio...) ascenderon ata zonas superficiais.

Simultaneamente, os elementos químicos reaccionan entre si segundo as súas afinidades químicas formando minerais, especialmente silicatos. Este proceso conduciu á formación de capas concéntricas de diferente composición (*estrutura xeoquímica*), e comportamento dependendo do estado físico (*estrutura dinámica*).

Denominamos Gradiente Xeotérmico ao aumento da temperatura do interior terrestre a medida que aumenta a profundidade. O valor medio é $1^{\circ}\text{C} / 33$ metros de descenso, pero este valor non é constante, varía nas diferentes zonas terrestres (maior en zonas volcánicas) e só se cumpre nos primeiros 200 km de profundidade, reducindo o seu valor a maiores profundidades.

Se o gradiente fose constante a temperatura acadada no núcleo chegaría a 200.000°C , valores propios do estado gasoso, o que está completamente descartado por todo tipo de evidencias científicas, que avalan temperaturas do núcleo nun rango entre $4.000 - 6.000^{\circ}\text{C}$.



3.2. Xeodinámica interna: procesos internos.

Os procesos xeolóxicos internos (ou endóxenos) son as transformacións ocorridas no planeta, a causa da enerxía interna terrestre.

Estas transformacións soen ser progresivas pero tamén deberse á liberación súbita de enerxía, dando lugar a procesos paroxísmicos (terremotos e erupcións volcánicas).

Os procesos xeolóxicos internos (magmatismo, metamorfismo, sismicidade e deformación) explícanse pola Teoría da Tectónica de Placas, e comparten as seguintes características:

- Teñen lugar en zonas profundas da codia e/ou manto
- Utilizan enerxía interna terrestre (térmica e elástica)
- Son procesos construtores de relevo
- Realizados polos axentes xeolóxicos internos: calor interna, presión.
- Son continuos no tempo pero non no espazo, xa que se desenvolven preferentemente nalgunhas zonas: nos bordes ou límites de placas.

Os principais procesos xeolóxicos internos son:

a) *Magmatismo*: proceso xerador de rochas e que transfere calor dende o manto á superficie. Definimos magma como un fundido de composición silicatada, que se forma en zonas profundas da codia ou manto terrestres. O vulcanismo é un subtipo de magmatismo, que se orixina cando o magma chega ata a superficie terrestre.

As zonas de formación de magmas son:

- As dorsais oceánicas, onde ascende magma basáltico que forma os fondos oceánicos. Coinciden cos bordes construtivos.
- As zonas de subdución, ou bordes destrutivos de placa, onde a placa que subduce pode fundir producindo volcáns.
- Puntos quentes de intraplaca (a partir das plumas convectivas da capa D”).

b) *Sismicidade*: a actividade sísmica é máis notoria nos bordos de placa a causa da interacción entre placas contiguas. As principais zonas sísmicas do planeta concéntrase nos bordos do Océano Pacífico (Cinto de Fogo), e na franxa mediterráneo – indonesa, coincidindo con bordos destrutivos ou de colisión de placa.

c) *Deformacións tectónicas*: nas zonas de colisión entre placas ou bordes destrutivos prodúcese unha grande deformación dos materiais orixinando oróxeos (cordilleiras).

Destacan dous tipos básicos de oróxeos:

- Oróxeos de subdución (Andes), con importante actividade volcánica.
- Oróxeos de colisión, por choque de placas continentais (Himalaia, Alpes, Pirineos).

d) *Metamorfismo*: Transformación de calquera tipo de rocha en rochas metamórficas por acción da presión e/ou a temperatura.

4. Riscos xeolóxicos.

4.1. Concepto de risco xeolóxico.

A definición de risco, segundo a UNESCO, é "a posibilidade dunha perda que pode concernir a vidas humanas, á propiedade ou á capacidade produtiva".

Os **riscos xeolóxicos** son sucesos do medio xeolóxico, naturais ou inducidos, que poden xerar danos sociais ou económicos, e na predición da cal, prevención ou corrección se empregan criterios xeolóxicos. Os principais riscos xeolóxicos de orixe interna son o risco volcánico, sísmico e tsunamis.

Calquera risco pode ser considerado como o produto de tres factores:

- **Exposición**: número de vidas humanas, valores económicos ou capacidade produtiva sometidas ao suceso prexudicial.
- **Vulnerabilidade**: medida do grao de eficacia dunha sociedade para afrontar os riscos. Calcúlase polo número de vítimas, en tanto por un, do total exposto.
- **Perigosidade**: ou severidade do suceso catastrófico, que dependerá da magnitude do fenómeno.

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

Sendo **R** o risco; **P** perigosidade; **V** vulnerabilidade; **E** exposición.

Se un dos factores é cero, o risco será nulo, por exemplo en Galicia o risco volcánico é inexistente.

4.2. Risco volcánico.

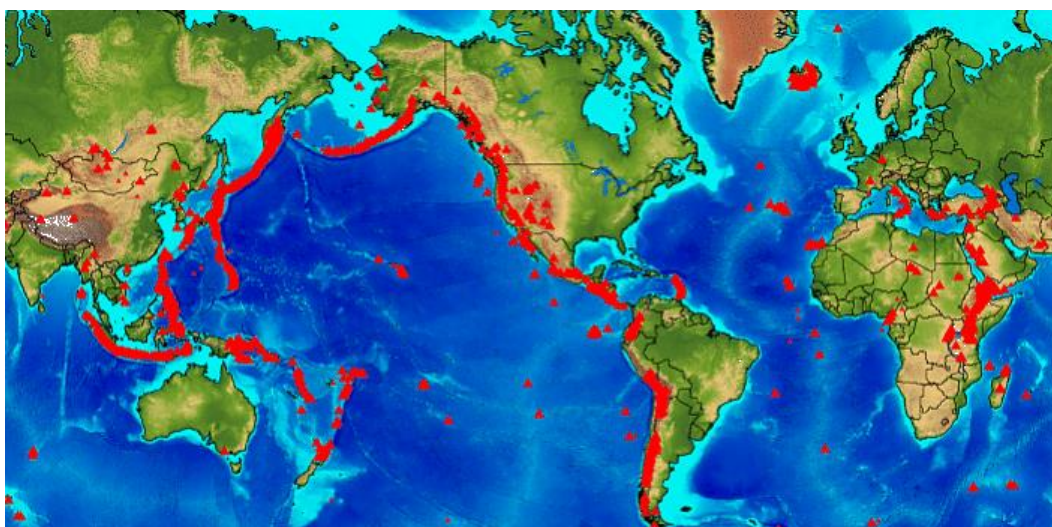
Manifestación directa da enerxía xeotérmica, é a saída de magma ao exterior por fracturas, que constitúe un risco natural xa que pode causar morte e destrución.

Distribución xeográfica dos volcáns: dos 40.000 volcáns da Terra, a cuarta parte está emerxida, 800 están activos e 20–30 por ano entran en erupción, algúns despois de moito tempo durmidos. Uns poucos levan anos de actividade ininterrompida (Kilauea de Hawái, Strómboli no sur de Italia).

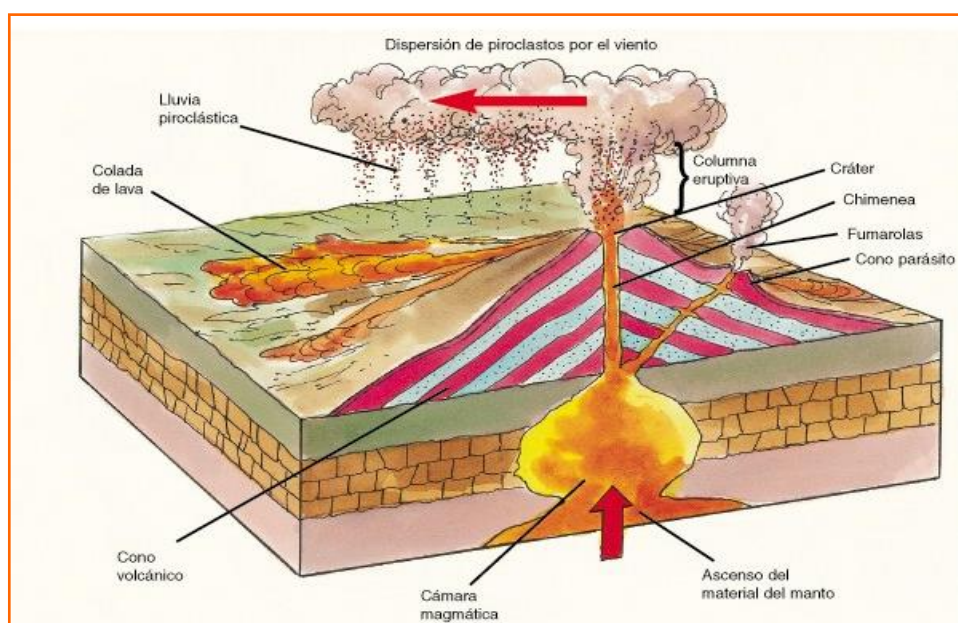
A maioría dos volcáns atópanse en bordos de placa: construtivos como dorsais oceánicas (Islandia, Azores) e destrutivos ou zonas de subdución (Cinto de Lume do Pacífico, volcáns mediterráneos). Tamén en zonas de intraplaca, asociados a puntos quentes (Hawái, Canarias) ou en zonas do Rift Valley africano (Kilimanjaro)

Os riscos volcánicos non son facilmente predicibles pois poden permanecer inactivos longo tempo. As belas paisaxes, os recursos minerais e enerxéticos e os solos fértiles atraen poboación, polo que millóns de persoas viven preto de volcáns perigosos.

Principais volcáns do planeta:



- Partes dun volcán:



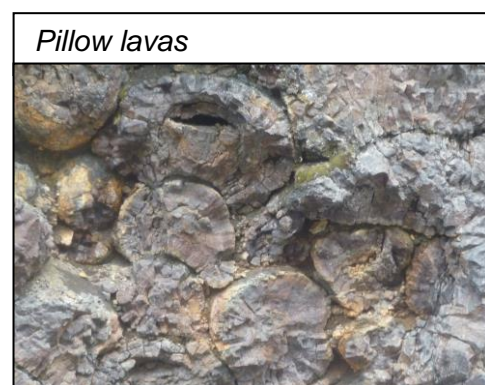
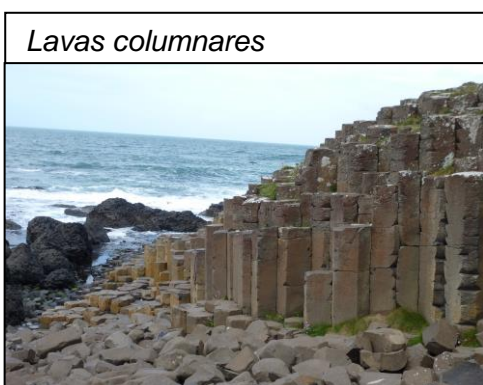
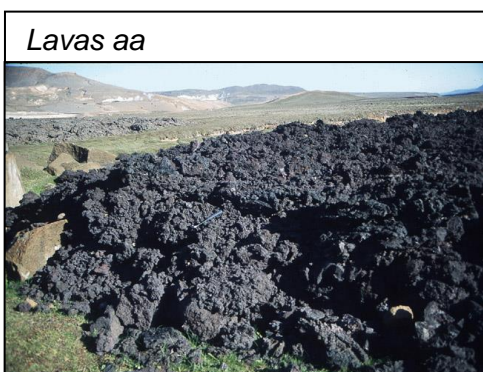
- *Materiais emitidos polos volcáns.*- Os volcáns emiten tres tipos de produtos:

- Gasosos ou fumarolas: gases como CO₂, vapor de auga, metano, cloro, flúor, óxidos de xofre e nitróxeno, hidróxeno, sulfuro de hidróxeno... Son o motor da erupción, emítense previamente e durante moito tempo despois (*vulcanismo póstumo*).

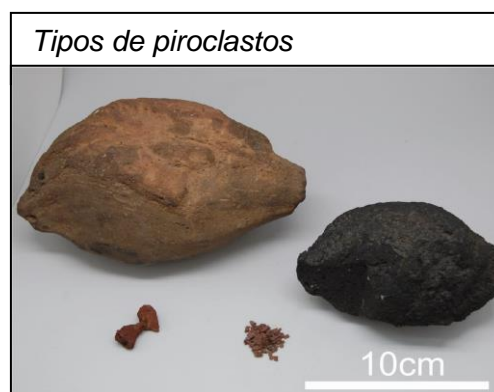
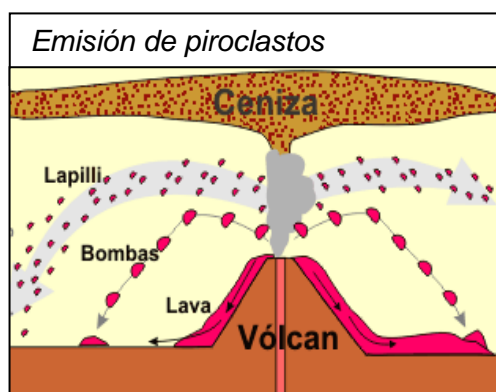


As emisións intermitentes de vapor de auga son os *géysers* (recurso enerxético).

- Líquidos ou lavas: material fundido, que ao arrefriar forma rochas volcánicas. Segundo a composición, a lava pode ser *ácida* ou rica en sílice (*aa*), viscosa e explosiva, que forma terreos irregulares de aristas cortantes (*malpaís*); ou *lava básica*, pobre en sílice (*pahoehoe*), máis fluída e de erupcións tranquilas (efusivas), que adopta forma de *lavas cordadas*, *columnares* ou *almofadilladas*, propias de erupcións submarinas, con forma esférica polo rápido arrefriamento en contacto coa auga (*pillow lavas*).



- Piroclastos: materiais sólidos derivados de lavas ácidas ou arrincados pola lava durante o ascenso. Por tamaño decrecente son: *bombas*, *lapilli* e *cinzas*. As cinzas poden acadar a estratosfera e diminuír a radiación solar producindo arrefriamento. Ao depositarse orixinan terreos fértiles.



– *Tipos de erupcións volcánicas.*– Dous tipos básicos: *efusivas* (non explosivas), emiten lava básica fluída que percorre grandes distancias; e *explosivas*, emiten gran cantidade de piroclastos, propia de lavas ácidas e viscosas, con percorrido curto. A explosividade mídese polo *IEV* (índice de explosividade volcánica), que aumenta coa acidez da lava, ou se entra auga na cámara (*erupcións hidromagmáticas*).

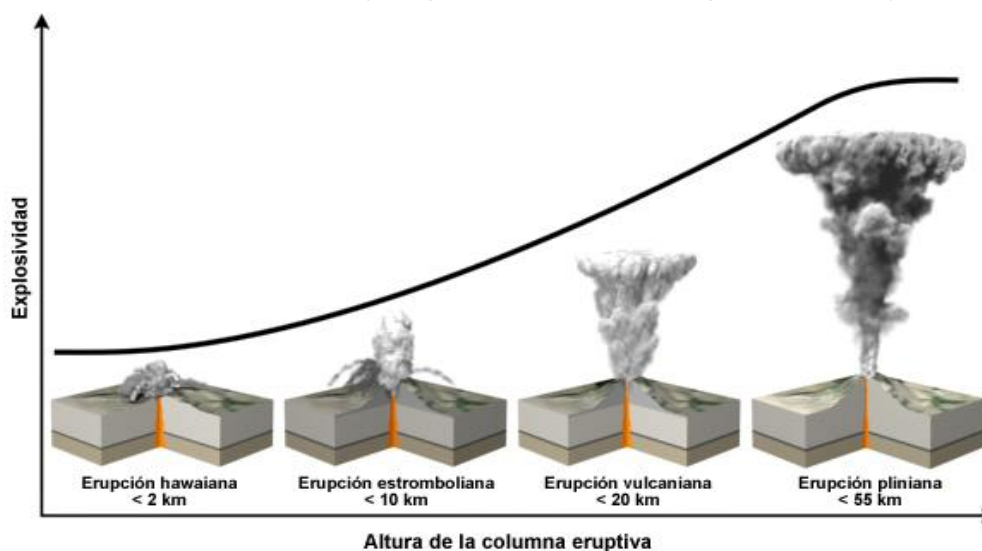
En erupcións moi explosivas pode colapsar a columna eruptiva e formarse *nubes de cinza ardente* ou *fluxos piroclásticos* que baixan, veloces e incandescentes, arrasando todo ao seu paso. Exemplo: Pompeia, ano 79.



En zonas frías ou en volcáns de gran altura pódense formar *lahares* ou coadas de lodo, por fusión súbita da neve situada sobre o cono volcánico. Descenden rápidas pola ladeira con gran poder devastador (Nevado Ruiz, 1985).

Cada tipo de erupción asóciase cun tipo de volcán. Tradicionalmente clasifícanse en:

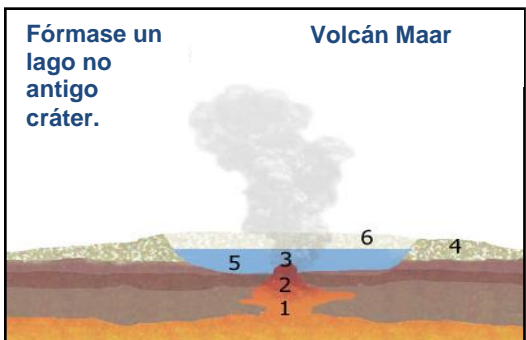
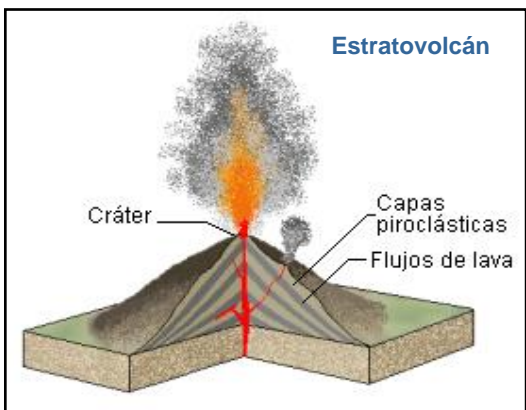
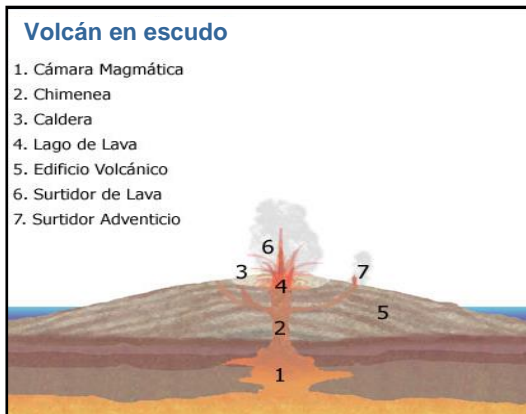
- *Erupción hawaiana:* IEV=0–1 (perigosidade baixa). Columna eruptiva de menor altura. Efusiva, emite lava fluída a través de fisuras (fondo oceánico) ou de volcáns en escudo (extensos, altos, de pouca pendente). Hawái, Kilimanjaro, monte Olimpo en Marte.
- *Erupción estromboliana:* IEV=1–2 (perigosidade baixa). Emite lavas e piroclastos. Típica de estratovolcáns (forma cónica e capas alternas de lava e piroclastos). Etna, Teide, Fujiyama.
- *Erupción vulcaniana:* IEV=3–4 (perigosidade media). Emiten piroclastos. Volcán cínder (conos de cinzas), posibles nubes ardentes e lahares.
- *Erupción pliniana:* IEV=5–7 (perigosidade alta), columna eruptiva chega á estratosfera, alta probabilidade de nubes ardentes, lahares ou explosión do edificio volcánico (domos ou caldeiras). Vesubio, 79; Mont Pelée, 1092, Tambora en 1815 (ultrapliniana, a maior de época histórica).



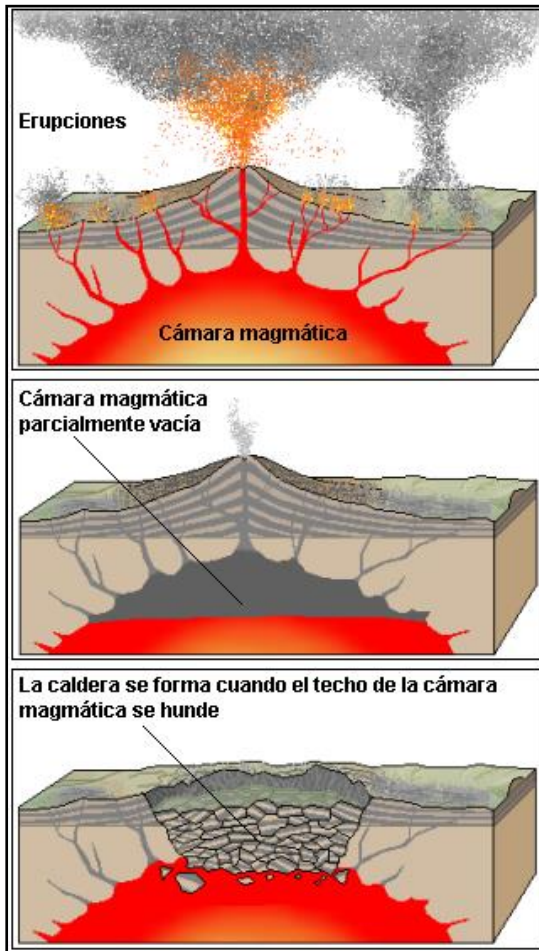
Considéranse megaerupcións as de IEV = 8, fenómenos moi violentos pero de baixa ocorrencia, que dan lugar a grandes caldeiras de colapso, como Yellowstone.

Xeralmente os volcáns de bordos destrutivos son máis explosivos, e mesmo volcán pode producir erupcións diferentes e mesmo variar no transcurso da mesma.

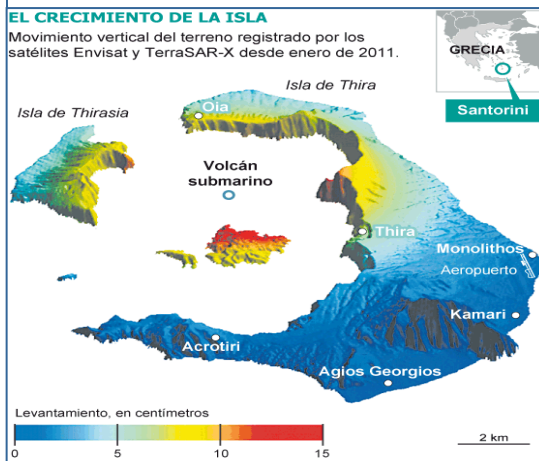
Diferentes tipos de volcáns:



Formación dunha caldeira volcánica:



Nas caldeiras poden aparecer co tempo volcáns anidados (Teide, Santorini...)



Volcán en escudo



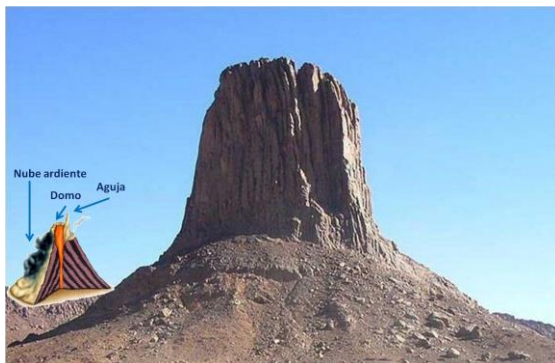
Estratovolcán



Cínder



Domo fósil



Caldeira volcánica



– *Danos producidos polas erupcións volcánicas:* A pesar da súa espectacularidade, o número de vítimas orixinado por volcáns é menor que no risco sísmico. Ademais dos danos ás persoas destacamos a destrución de cultivos, vivendas e instalacións.

Os danos volcánicos débense, sobre todo, a:

□ *Nubes ardentes:* os volcáns explosivos poden emitir nubes piroclásticas de cinza ardente a máis de 1000° C, con grande poder destrutivo e mortífero. A explosividade é maior en lavas ácidas ou en erupcións hidromagmáticas, e mídese polo IEV (0–7). Pompeia e Saint Pierre, na Martinica, foron destruídas por sendas nubes ardentes.

□ Coadas de lama ou lahares: correntes de lodo formadas por fusión súbita de neve, a causa da erupción en volcáns altos ou de latitudes baixas. O lahar do Nevado Ruiz (1985, Colombia) sepultou Armero, a 50 km do volcán, con 23.000 vítimas.

□ Acción das lavas que arrasan cidades, portos ou cultivos, e poden taponar vales.

□ Chuvia de piroclastos (bombas, lapilli e cinzas), que danan as persoas por golpes, queimaduras, caída de teitos (sobrepeso de cinzas). Producen restricións no tráfico aéreo.

□ Emisión de gases tóxicos como SH₂, CO₂, CO, SO₂, N₂, HF, HCl, que producen a morte de persoas e animais por asfixia.

□ Formación de domos ou caldeiras: en volcáns moi explosivos ou tras erupcións masivas desaparece todo ou parte do volcán orixinando depresións chamadas domos ou caldeiras, de maior tamaño. Son as Cañadas do Teide, Krakatoa, illa Decepción, Santorini.

Os danos indirectos ou derivados poden ser, así mesmo, severos. Son:

□ Tsunamis ou ondas xigantes, causadas por erupcións submarinas ou costeiras. Un tsunami producido pola erupción do volcán Santorini en 1650 a.C destruíu a civilización cretense; o do Krakatoa en 1883 causou miles de vítimas en costas afastadas (Java).

□ Influencia no clima: é dual, os gases emitidos aumentan o efecto invernadoiro (quentamento), pero as cinzas e po poden acadar a estratosfera e permanecer varios anos dificultando a entrada de radiación solar (arrefriamento). A cinza do Tambora, 1815, permaneceu tres anos na atmosfera, baixando a T^a media (ano sen verán)

□ Licuefacción do terreo que se volve inestable, avalanchas e deslizamentos a causa de tremores orixinados pola erupción.

4.2.1. Factores de risco volcánico (P, E, V)

- **Perigosidade**: a severidade está en función da distribución xeográfica, do tipo de erupción (máis perigosas as explosivas), área afectada e tempo de retorno.
- **Exposición**: as áreas volcánicas adoitan ser terras fértiles, con recursos minerais e enerxía xeotérmica, polo que acostuman estar moi poboadas, aumentando o risco por elevada exposición.
- **Vulnerabilidade**: valora a susceptibilidade ante os danos, na que temos que incluír o grao de conciencia ante os perigos, estado das infraestruturas e vivendas, a existencia de medidas de prevención, así como a capacidade económica e social para afrontalos. A riqueza, tecnoloxía, educación e información diminúen este factor.

4.2.2. Risco volcánico en España.

En España só existe risco volcánico actual nas Illas Canarias (última erupción, Teneguía, La Palma 1971), acrecentado polo aumento de poboación. Relaciónase cun punto quente ou segundo outra hipótese coa existencia de fracturas activas na placa africana.

Na Península Ibérica existiu actividade volcánica no pasado xeolóxico en Olot, Girona, (conos volcánicos de 10.000 anos), Campos de Calatrava (Cidade Real) e Cabo de Gata (Almería).

4.2.3. Predición e prevención dos riscos volcánicos.

PREDICIÓN: Os avances da Vulcanoloxía permiten a predición do risco volcánico con bastante fiabilidade. A información histórica (tipos de erupcións do pasado, tempo de retorno) combinada con estudos científicos permite elaborar *mapas de perigosidade*, que unidos a *mapas de exposición* (poboación e bens materiais) constitúen os mapas de riscos, fundamentais para a adopción de medidas preventivas.

Os indicios máis precisos para predicir erupcións a curto prazo son os precursores volcánicos ou fenómenos indicativos da inminencia da erupción volcánica, e incluso o posible tipo de erupción e danos máis probables.

Son indicios ou precursores volcánicos:

A *emisión de fumarolas*, *tremores* (detectados por sismógrafos), ruído e deformacións do terreo (detectados por sensores electrónicos e GPS), cambios gravimétricos, eléctricos e magnéticos nas rochas, e cambios na temperatura e/ou composición química das augas subterráneas (aumento de gases como o radón).

PREVENCIÓN: depende de moitos factores, entre eles o tipo de erupción previsto, pero en xeral as medidas preventivas estruturais para reducir a perigosidade son pouco efectivas. Entre elas incluíramos:

- Desviar as correntes de lava a lugares deshabitados.
- Realizar túneles de descarga da auga dos lagos situados no cráter.
- Redución do nivel de encoros próximos.

Na maioría das ocasións as medidas preventivas non estruturais, para reducir a exposición e /ou a vulnerabilidade, son as de maior efectividade. Serían:

- Sistemas de alarma e evacuación que requiren unha boa coordinación entre científicos, políticos e medios de comunicación.
- Adestramento da poboación para coñecer as normas e lugares de evacuación e realízala de forma ordenada e segura.
- Seguimento das nubes de cinza que poidan afectar ao tráfico aéreo, destacando a importancia da información meteorolóxica.
- Alerta de tsunami se hai risco deste fenómeno asociado.
- Ordenación de territorio previa e sistemas de vixilancia continuados.

Unha boa actuación foi realizada ante a erupción do Pinatubo, Filipinas, 1991; polo contrario na erupción do Nevado Ruiz, Colombia, 1985, se ignoraron as alarmas de lahar, e provocou unha das maiores catástrofes volcánicas do século pasado.

4.3. Riscos sísmicos.

4.3.1. Un sismo ou terremoto é a vibración do terreo a causa da liberación súbita da enerxía elástica almacenada nas rochas, cando se fracturan ao estar sometidas a grandes esforzos. A enerxía libérase en forma de ondas sísmicas e calor, causada pola fricción. En canto á distribución, o risco sísmico atópase ligado a:

- *Límites de placas*: a dinámica das placas é a principal causa dos terremotos. A interacción entre placas xera forzas que causan tensións nas rochas. Nos tres tipos de bordes de placa hai risco, sendo máis severo nos bordes destrutivos e transformantes, polo que as zonas de maior perigo son “O Cinto de Fogo do Pacífico” e a franxa mediterránea – indonesa, coincidentes coas volcánicas.
- *Fallas activas* en zonas de intraplaca.

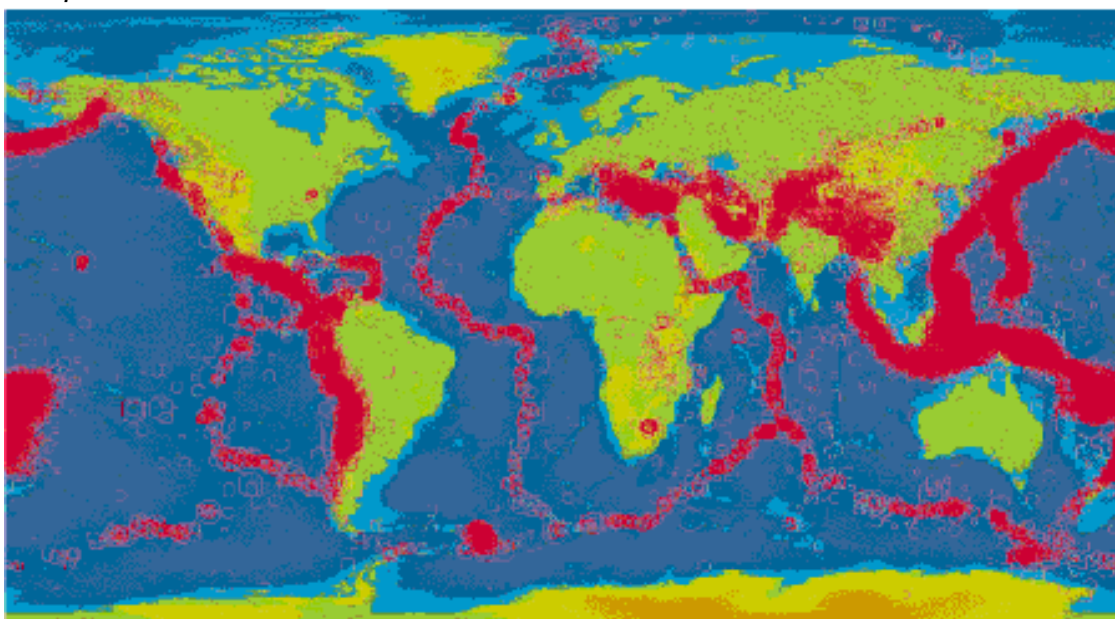
Outras causas menos habituais:

- Erupcións volcánicas, o ascenso de lava produce sismos de pouca gravidade.
- Deslizamentos e desprendementos violentos de grandes masas de rocha.
- Afundimento de cavidades no subsolo (procesos cársticos / baleirado de cámaras magmáticas).
- Impactos de meteoritos.

O risco sísmico inducido (potenciado por actividades humanas) débese a:

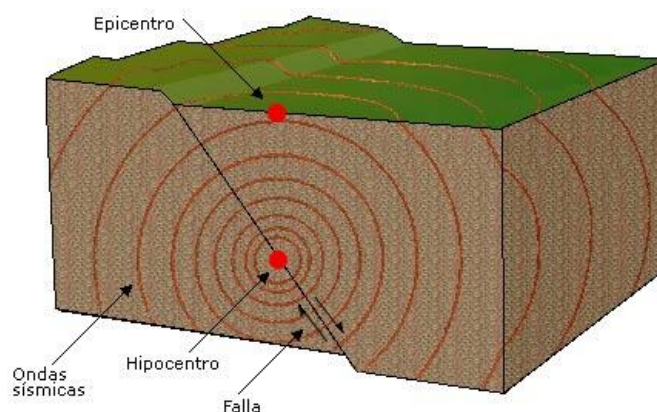
- Explosións nucleares.
- Asentamento de grandes encoros.
- Fracking: extracción de hidrocarburos por fracturación hidráulica de rochas

Mapa de risco sísmico



A enerxía liberada esténdese dende o foco ou *hipocentro* en todas direccións. O punto da superficie, na vertical do foco, onde a intensidade vai ser máxima, é o *epicentro*.

As ondas son captadas polos sismógrafos e rexistradas en *sismogramas* ou gráficas que permiten localizar o epicentro e a profundidade, así como calcular a magnitude.



A sacudida principal ou paroxísmica adoita estar precedida doutras máis débiles, e das posteriores ou *réplicas*. No mundo prodúcese uns 30.000 terremotos ao ano, dos que so 75 son percibidos pola poboación, e deles 1 ou 2 son catastróficos.

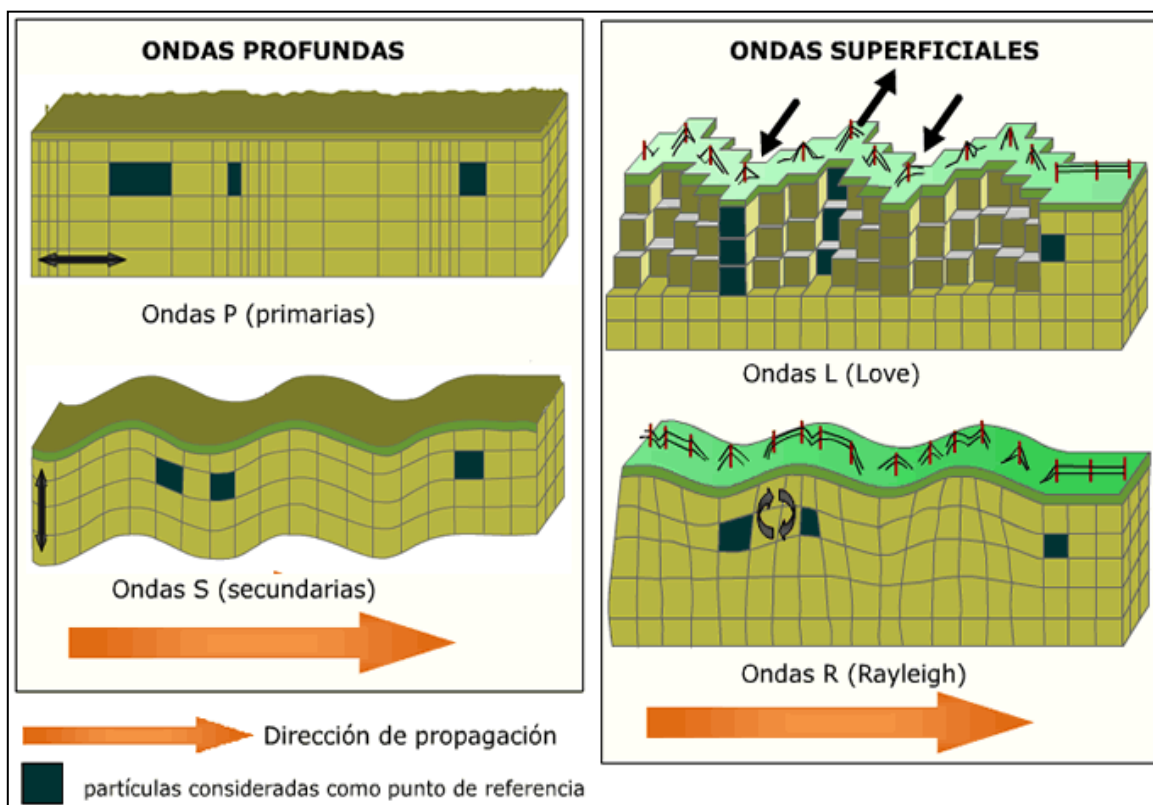
- Tipos de ondas sísmicas:

Profundas:

- Ondas primarias P, son as máis rápidas e as primeiras en detectarse, vibran no mesmo sentido que a dirección de propagación.
- Ondas secundarias S, máis lentas, vibran en sentido perpendicular á propagación e so se transmiten en medios sólidos.

Superficiais, causantes da maior parte dos estragos, a partir do epicentro:

- Ondas L, Love; movemento horizontal, perpendicular ao movemento da propagación.
- Ondas R, Rayleigh: o seu movemento é o que perciben as persoas, e semella ao das ondas que produce unha pedra ao caer na auga.



- Os parámetros utilizados nas escalas de medida son:

- Magnitude é a cantidade de enerxía liberada durante o sismo. Mide o factor de perigosidade, mediante a Escala Richter, con valores entre 1 e 10. É unha escala logarítmica, ou sexa que cada grao multiplica por dez ao anterior, así o grao 6 e dez veces superior a 5, cen a 4, etc. Magnitudes menores de 3 non son apreciadas polas persoas e as superiores a 6 ou 7 adoitan ser destrutivos. Non reflicte o tempo de duración, que tamén inflúe na perigosidade, o normal é que dure varios segundos.

- Intensidade é a capacidade de destrución ou danos ocasionados, polo que cuantifica a vulnerabilidade. Mídese pola Escala Mercalli (MSK) con doce graos, representados por números romanos (I-XII). Os danos dependen de moitos factores, como magnitude, distancia, profundidade (peor nos superficiais), natureza do terreo, poboación exposta, tipo de construción e capacidade de resposta, polo que intensidade e magnitude non son equivalentes.

Así, o terremoto de Haití de 2010, de magnitude 7,3 produciu centos de miles de vítimas e danos catastróficos, fronte a terremotos similares en sociedades máis preparadas, como o de Okinawa, Xapón no mesmo ano, sen mortes. Os terremotos de Lorca, Murcia (2011), e o de Sarria, Galicia (1997) tiveron a mesma magnitude (5,1) pero en Lorca a intensidade acadou o grao VIII (moi forte), e en Galicia IV (moderado). Neste caso influíu a profundidade do foco, e a natureza do terreo (rocha maciza en Galicia que absorbe mellor as vibracións fronte a materiais sedimentarios en Lorca).

4.3.2. Factores e danos sísmicos.

A perigosidade dun terremoto vai en consonancia coa súa magnitude ou medida da enerxía liberada, sendo os de maior perigo os asociados a bordes destrutivos e transformantes.

O factor exposición soe ser elevado porque as zonas sísmicas, como as costas que bordean o Océano Pacífico, ou os países mediterráneos, posúen elevada densidade de poboación.

A vulnerabilidade ou danos producidos polos sismos dependen da magnitude, distancia ao epicentro, profundidade do foco, natureza do substrato, densidade de poboación, tipo de edificación e posible aparición de riscos derivados. Moi a miúdo, o número de vítimas é significativamente maior en países pobres, que non adoptan medidas preventivas.

Os perigos máis importantes para as persoas prodúcense por:

- Danos aos edificios (gretas, caída, incendios).
- Danos en vías de comunicación (pontes, estradas).
- Rotura de presas.
- Inestabilidade de abas.
- Licuefacción do terreo (os sedimentos soltos poden comportarse como fluídos e amplifican as vibracións).
- Desviación de canles de ríos e desaparición de acuíferos.
- Epidemias de cólera por falta de auga potable.



Como danos derivados, que agravan a situación:

- Tsunamis (en terremotos fortes con foco submarino)
- Seiches, ondas inducidas en augas continentais (lagos, encoros)

4.3.3. Predición e prevención dos riscos sísmicos.

Predición: A predición sísmica non funciona. É imposible saber con antelación cando vai suceder un sismo, pero se coñecen as zonas de risco polo que se poden adoptar medidas preventivas para reducir os danos (a vulnerabilidade).

As zonas sísmicas coinciden cos límite de placas (e algunhas de intraplaca), e incluso pode haber unha certa periodicidade de ocorrencia de sismos importantes, pero, a diferenza da volcánica, a predición sísmica non é fiable, a pesar de que se veñen investigando posibles precursores, ata agora sen éxito, como:

- Cambios no comportamento de certos animais.
- Elevación do solo e diminución da resistividade das rochas.
- Aumento da emisión de gas radón.

É preciso calcular as propiedades tectónicas do terreo (deformación, fallas, comportamento das rochas), e coñecer a historia sísmica, a partir do rexistro histórico da rexión (frecuencia, magnitude e intensidade dos seísmos do pasado).

Estes datos, xunto a estudos de fallas activas vía satélite, permiten realizar mapas de risco sísmico, que sinalan as áreas de maior perigo e posibles medidas de prevención.

Prevención: As mellores medidas de prevención son as estruturais, concretamente a *construción sismorresistente*, que pode reducir considerablemente o número de vítimas (a vulnerabilidade). A construción sismorresistente contempla unha serie de normas legais para a edificación, cimentación, conducións de gas e auga, etc.

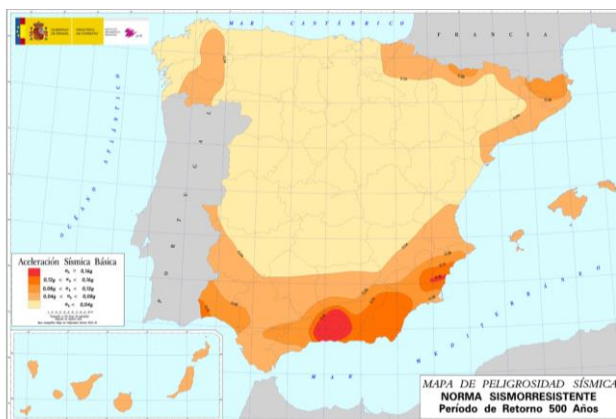
Nun futuro poderá haber un certo control liberando as tensións acumuladas nas rochas, provocando pequenos sismos que eviten o principal ou por inxección de fluídos en fallas activas para inmovilizalas.

As principais medidas non estruturais:

- Planificación de medidas e equipos de rescate que poidan actuar con rapidez
- Adestramento da poboación para que saiba como actuar fronte un sismo.
- Ordenación do territorio para reducir a exposición evitando edificar preto a fallas activas ou sobre materiais pouco cohesionados, como sedimentos soltos, que amplifican as vibracións.

Risco sísmico na Península Ibérica: Non é desprezable. No Sur, o tempo de retorno para un terremoto > 6 é de 100 anos; o último foi en 1884 en Granada, con 900 vítimas. Diferenciamos tres zonas segundo o risco sísmico:

1. *Alto:* Sur–Sureste (Andalucía, Murcia) e Pirineos. O Sur peninsular é un borde de colisión entre as placas africana – euroasiática; en Pirineos chocan a placa ibérica e europea.
2. *Moderado:* Valencia Galicia (concentrado en Becerreá – Sarria – Triacastela), a causa de antigas fallas reactivadas.
3. *Baixo:* zona Centro peninsular.



España dispón dunha rede de vixilancia e de medidas de prevención, rexidas por lei, enfocadas á seguridade en edificacións e infraestruturas, xa que a caída dos edificios é o principal factor de danos. A normativa antisísmica afecta sobre todo a hospitais, centros de comunicación, corpos de axuda (exército, bombeiros...), instalacións básicas (centrais eléctricas, nucleares, depósitos de auga) e vías de comunicación.

4.4. Tsunamis (*gran onda no porto*): Son ondas ou grupos de ondas de grande enerxía, que se producen por desprazamento vertical dunha gran masa de auga oceánica. O 90% son provocados por terremotos (*tsunamis tectónicos ou maremotos*), pero tamén poden deberse a volcáns, caída de meteoritos ou desprendementos.

A enerxía dun tsunami, que descarga sobre a costa, depende da velocidade e do número de cristas do tren de ondas. Neste tipo de ondas remóvese unha cantidade de auga moi superior ás ondas superficiais producidas polo vento, así un tsunami tectónico removerá toda a columna de auga dende o fondo oceánico ata a superficie.

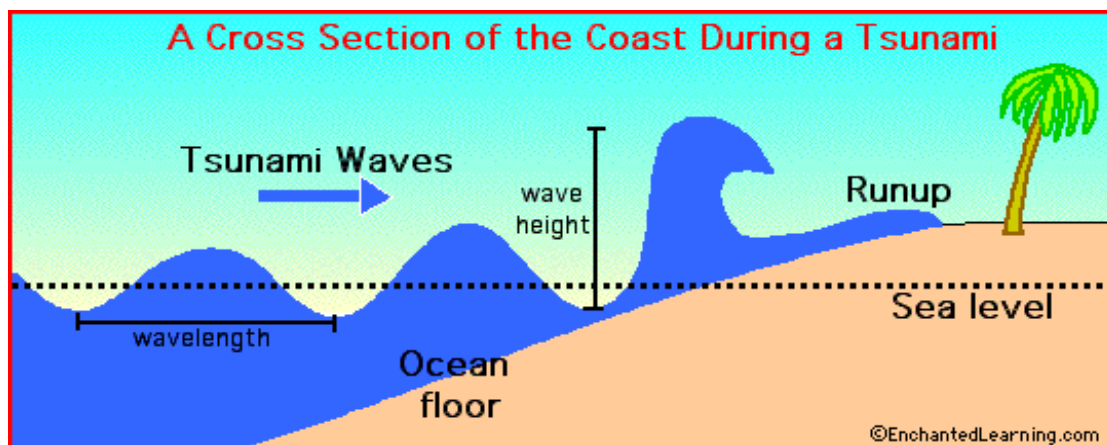
Os tsunamis son apreciables a partir de sismos de magnitude 6,4 e son destrutivos a partir de 7. A velocidade das ondas pode determinarse pola ecuación:

$$v = \sqrt{g \cdot h}$$

Sendo **h** a profundidade do foco do sismo, e **g** a gravidade terrestre.

A profundidades típicas de 4–5 km as ondas viaxarán a velocidades de 600–900 km/h, a lonxitude de onda é de 100–200 km e o período oscila entre 10–30 minutos.

A altura ou amplitude pode ser pequena en alta mar, pero ao entrar na plataforma continental, o rozamento co fondo produce a diminución da velocidade e da lonxitude de onda, asociado a un aumento da altura. A velocidade pode baixar ata 50 km/h e a altura sube ata 3 – 30 metros, segundo o relevo submarino, pero incluso ondas de 5 metros teñen un gran poder devastador.



O impacto na costa arrastra unha masa de auga maior que calquera onda convencional, a modo de poderosas riadas que inundan a terra con elevada enerxía. Nos tsunamis tectónicos a enerxía permanece constante, polo que cruzan o océano e afectan a costas afastadas do lugar de orixe.

Prevención de Tsunamis: comparte características coa sísmica e volcánica, segundo cal sexa a causa do tsunami, pero hai unha diferenza importante:

Os tsunamis tectónicos son sempre posteriores á sacudida sísmica, tardando dende minutos a varias horas en alcanzar a costa, segundo a distancia ao foco sísmico.

Por este motivo a prevención pode ser máis eficaz, se as zonas de risco están dotadas de sistemas *sistemas de vixilancia e alerta* e a poboación adestrada para abandonar con rapidez as zonas costeiras.

Un indicio, non sempre presente, é a retirada do mar varios centenaes de metros, antes do impacto, tardando entre 5–10 minutos en chegar a onda principal, e incluso poden aparecer "microtsunamis de aviso".

Medidas defensivas estruturais como muros ou comportas, non están moi contrastadas, e estanse a probar en Hawái, USA e Xapón, pero é posible que teñan efectos adversos se se derruban co ímpeto das augas.

As mellores medidas preventivas son as non estruturais: sistemas de alerta e vixilancia que permitan evacuar as zonas de perigo con antelación suficiente.

As zonas de maior risco de tsunamis son todos os países costeiros e insulares do Pacífico, Índico, Mediterráneo e parte do Atlántico.

Tsunamis non tectónicos:

Outros mecanismos xeradores de tsunamis son erupcións volcánicas explosivas costeiras ou en illas, deslizamentos, meteoritos ou explosións submarinas. Estes fenómenos poden producir ondas enormes, maiores que nos tsunamis convencionais (megatsunamis), pero moito menos enerxéticas, polo que a destrución adoita ser máis localizada, limitándose ás costas próximas.

Tsunamis famosos:

1650 a.C - *Santorini* (volcánico, destruíu a civilización cretense)

1755, *Lisboa*, terremoto de magnitude estimada en 8,5. Devastador, máis de 50.000 vítimas en Portugal e Andalucía. Observable na costa galega.

1883 - *Krakatoa*, volcánico, moi destrutivo nas costas de Java e Sumatra.

Océano Índico (Indonesia), 26 de decembro de 2004: as zonas máis afectadas foron Indonesia e Tailandia, pero chegou ata Bangladesh, India, Sri Lanka, Maldivas e Somalia. A maior catástrofe natural dende o século XIX, en parte debido á falla de sistemas de alerta na zona.

Xapón 2011, con graves consecuencias sobre a central nuclear de Fukushima.

A caída dun meteorito en *Yucatán a finais da Era Secundaria* puido provocar tsunamis apocalípticos, e ser a causa da *extinción cretácica*.

Cadro resume predición – prevención dos riscos xeolóxicos internos:

<i>Risco</i>	<i>Predición</i>	<i>Prevención estrutural</i>	<i>Non estrutural</i>
<i>Terremotos</i>	NON FUNCIONA	EFFECTIVA: CONSTRUCCIÓN ANTISÍSMICA	POUCO EFFECTIVA
<i>Volcáns</i>	FUNCIONA	NON MOI EFFECTIVA	EVACUACIÓN
<i>Tsunamis</i>	FUNCIONA	NON EFFECTIVA	EVACUACIÓN