

## Riscos causats pel vulcanisme i la sismicitat

La Terra és un planeta amb una dinàmica interna força complexa. Les elevades temperatures regnants a les capes internes del nostre planeta, energia residual del seu procés de formació, juntament amb energia tèrmica procedent de la desintegració de minerals radioactius, constitueixen el motor de la geodinàmica interna terrestre.

A banda dels canvis en la posició de les terres emergides i la formació de serralades, com a conseqüència del moviment de les plaques tectòniques, la geodinàmica interna origina alguns dels fenòmens més espectacular i destructius del nostre planeta: les erupcions volcàniques i els terratrèmols.

En aquesta unitat veurem com, davant de la impossibilitat de modificar aquestes fenòmens, la millor manera de gestionar els riscos que provoquen és estudiar bé la seva dinàmica i distribució, i realitzar una ordenació del territori i un disseny de construccions que tendeixi a minimitzar els seus efectes.



## Risc sísmic Sismicitat

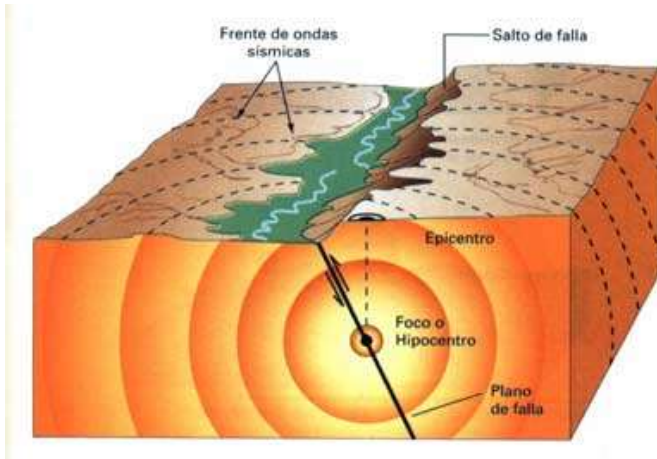
Entenem per **sismicitat** la probabilitat que es produeixi un sisme destructiu en una regió.

Els terratrèmols poden ser fenòmens destructius. Si comparem els danys i pèrdues humanes i materials que provoquen amb els originats per d'altres causes geològiques és evident que són els fenòmens més destructius, tal com podem veure en el quadre adjunt on figuren alguns dels que més pèrdues de vides humanes han provocat.

Fecha	Localización	Muertos	Magnitud	Comentarios
Enero 23, 1556	China, Shansi	830.000	-8	
Diciembre 26, 2004	Sumatra	283.106	9,3	Muertos por el terremoto y tsunami
Julio 27, 1976	China, Tangshan	255.000(oficial)	7.5	Número de muertos estimado 655.000
AAgosto 9, 1138	Syria, Aleppo	230.000		
Mayo 22, 1927	China, near Xining	200.000	7.9	Grandes fracturas
Diciembre 22, 856+	Iran, Damghan	200.000		
Diciembre 16, 1920	China, Gansu	200.000	7.8	Grandes fracturas y deslizamientos
Marzo 23, 893+	Iran, Ardabil	150.000		
Septiembre 1, 1923	Japan, Kanto(Kwanto)	143.000	7.9	Gran fuego en Tokio
Octubre 5, 1948	USSR (Turkmenistan, Ashgabat)	110.000	7.3	
Diciembre 28, 1908	Italy, Messina	70.000 a 100.000 (estdo)	7.2	Muertos por el terremoto y tsunami
Septiembre, 1290	China, Chihli	100.000		
Noviembre, 1667	Caucasia, Shemakha	80.000		
Noviembre 18, 1727	Iran, Tabriz	77.000		
Noviembre 1, 1755	Portugal, Lisbon	70.000	8.7	Gran tsunami.
Dicembre 25, 1932	China, Gansu	70.000	7.6	
Mayo 31, 1970	Peru	66.000	7.9	\$530,000,000 daños, grandes caídas de piedra, inundaciones
1268	Asia Minor, Sicilia	60.000		
Enero 11, 1693	Italy, Sicily	60.000		
Mayo 30, 1935	Pakistan, Quetta	30.000 a 60.000	7.5	Quetta casi completamente destruida
Febrero 4, 1783	Italy, Calabria	50.000		
Junio 20, 1990	Iran	50.000	7.7	Deslizamientos

*Sismes més destructius dels quals es té constància. (Extret de <http://www.usgs.gov/>)*

Tot això ens permet parlar de **risc sísmic**. Malgrat que ja em dit que els sismes poden tenir lloc a qualsevol indret de la Terra, hi ha una zonació molt clara del risc sísmic. **El 90 % dels terratrèmols es concentren a les zones limítrofs de les plaques litosfèriques.** Tal com ja deus recordar, aquestes unitats individualitzades de la litosfera es mouen a causa dels corrents convectius que hi ha a l'astenosfera, i són precisament aquests moviments els que generen els terratrèmols.



En [aquest vídeo](#) podràs veure una molt bona introducció sobre els terratrèmols. I en aquesta [web](#) una molt bona introducció als volcans.

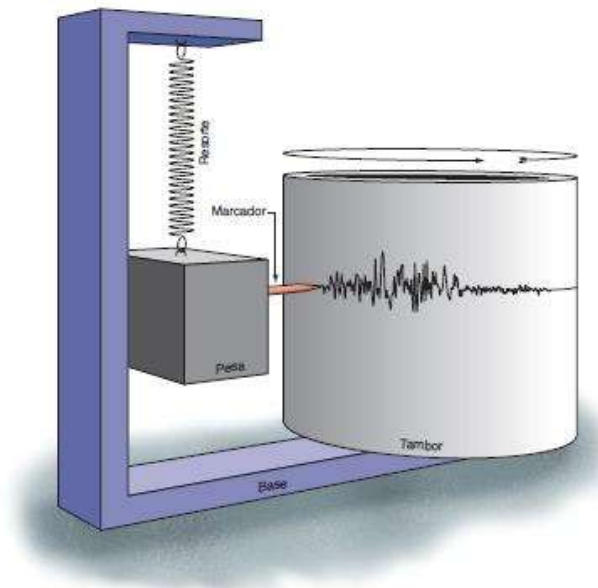
Per estudiar l'origen i els efectes dels terratrèmols [clica aquí](#).

Els terratrèmols són moviments violents de l'escorça terrestre originats en un punt de l'interior de la Terra anomenat **focus** o **hipocentre** i des d'on parteixen les **ones sísmiques**. Hi ha tres tipus d'ones: **ones P** o primàries, són les primeres en propagar-se, les **ones S** o secundàries, són les segones en propagar-se i les **ones L** que són ones superficials i les principals responsables dels desastres en edificis i infraestructures humanes. Podem veure un resum dels diferents tipus d'ones en [aquesta animació](#).

S'anomena **epicentre** al punt de la superfície de la Terra situat a la vertical que passa pel focus d'un terratrèmol. Els terratrèmols es produeixen quan les tensions acumulades per la deformació de la litosfera terrestre s'alliberen sobtadament. El focus d'inici o hipocentre es localitza a diferents profunditats, arribant els més profunds fins a 700 quilòmetres. Són especialment freqüents a prop de les vores de les plaques tectòniques. A l'any es produeixen al voltant d'un milió de sismes, encara que la major part d'ells són de tan petita intensitat que passen desapercebuts. Pots fer un seguiment dels terratrèmols que s'estan produint el món ara mateix [aquí](#).

### Mètodes de mesura

L'observació d'aquests fenòmens es realitza mitjançant uns aparells anomenats **sismògrafs** que s'utilitzen per enregistrar la activitat sísmica. [Com funciona un sismògraf?](#)



Sismògraf

Actualment els sismògrafs són instruments molt sofisticats però el principi bàsic emprat és el mateix: una massa suspesa d'un marc que reposa sobre el sòl; la massa per tant, relativament independent del moviment del marc.

Quan el marc es mou per les ones d'un terratrèmol, la inèrcia de la massa fa que aquesta estigui estacionària respecte al moviment del marc, de forma que aquest moviment relatiu és registrat amb una ploma en paper enrotllat a un tambor que gira. El registre es denomina **sismograma**:



La importància pot quantificar-se atenent a dos paràmetres: la **magnitud** i la **intensitat** del sisme. La **magnitud** és la quantitat d'energia alliberada per un terratrèmol i és una mesura objectiva que es calcula mitjançant diferents escales. L'escala més coneguda i usada és la de **Richter** i mesura el "**logaritme** de la màxima amplitud d'un sismograma registrat per un instrument estàndard, a una distància de 100 quilòmetres de l'epicentre". Com l'escala és logarítmica el pas d'una unitat a la següent suposa multiplicar l'energia per deu. Així, entre un terratrèmol de magnitud 6 i un de magnitud 7 significa que les ones tenen una amplitud 10 vegades més gran. Aquesta és l'escala de Richter:

Descripció	Magnitud Richter	Efectes del terratrèmol	Mitjana anual
Micro	Menys de 2,0	Microterratrèmols, no es noten.	Uns 8.000 cada dia
Molt petit	2,0-2,9	Normalment no es noten però es registren.	Uns 1.000 cada dia
Petit	3,0-3,9	Normalment es nota però no acostuma a causar danys.	49.000 (estimació)
Lleuger	4,0-4,9	Els objectes es mouen perceptiblement, sorolls repetitius. Improbable que hi hagi grans destrosses.	6.200 (estimació)
Moderat	5,0-5,9	Pot causar grans destrosses a edificis mal construïts. A edificis ben construïts, com a molt petits danys.	800
Fort	6,0-6,9	Pot ser destructiu fins a 100 milles en àrees poblades.	120
Molt fort	7,0-7,9	Pot produir grans destrosses a grans extensions.	18
Gran	8,0 o superior	Pot produir moltes destrosses a zones allunyades centenars de kilòmetres.	1

La **intensitat** és una mesura subjectiva dels efectes dels sismes sobre l'escorça terrestre, persones i estructures fetes per l'home. No usa instruments sinó que es basa en les observacions i sensacions ocasionats pel terratrèmol. És útil per a descriure el terratrèmol en zones en les quals no hi ha sismògrafs pròxims i per a comparar els terratrèmols antics. Hi ha moltes escales per mesurar la intensitat, però la més coneguda i usada és la de Mercalli:

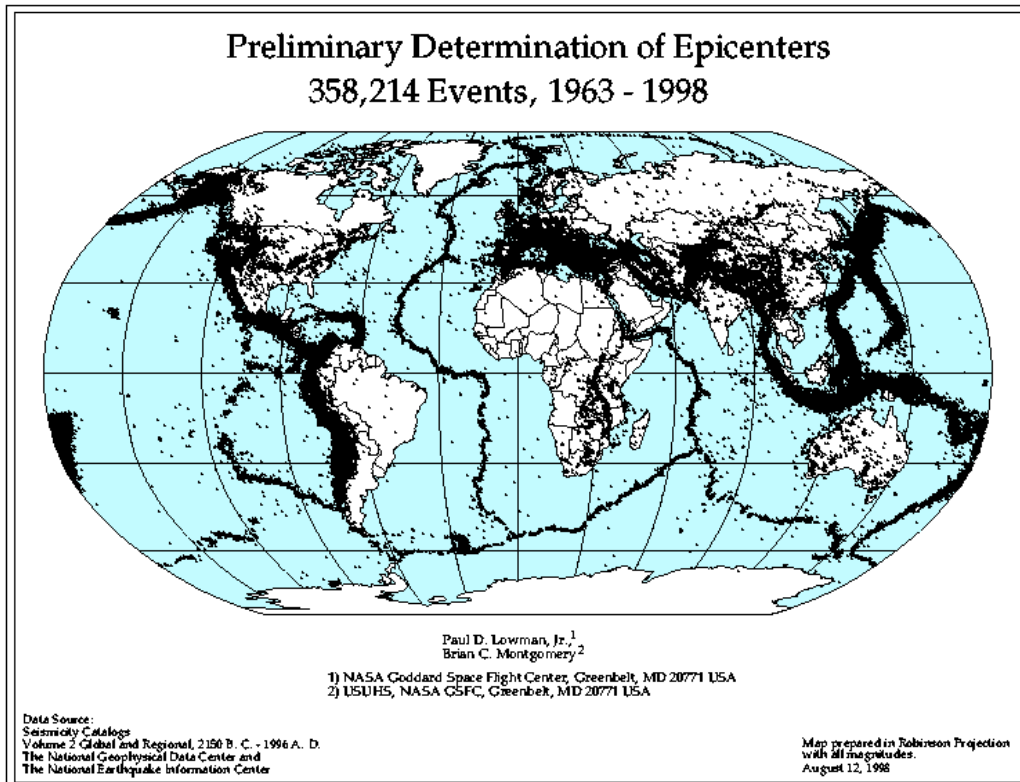
- I, instrumental = no es percep per la majoria de persones, només els aparells el detecten.
- II, molt feble = es percep per algunes persones, poden moure's petits objectes.
- III, feble = vibració general lleu percebuda per les persones.
- IV, moderat = pot despertar gent adormida, vibració alarmant d'objectes, alguna caiguda.
- V, moderadament fort = trencadisses.
- VI, fort = tothom el percep, caiguda d'objectes, trencadisses, els mobles es mouen de lloc.
- VII, molt fort = la gent perd l'equilibri, danys en algunes infraestructures.
- VIII, destructiu = possibles esfondraments i afectació general en infraestructures.
- IX, violent = pànic generalitzat, afectació de fonaments, grans danys en edificis.
- X, intens = desviació de vies de tren, afectació a carreteres, esfondraments d'edificis.
- XI, extrem = destrucció general d'infraestructures.
- XII, cataclisme = alteració significativa del nivell de terra, destrucció general de la zona.



Edificis destruïts pels terratrèmols

També poden originar-se per erupcions volcàniques, impactes de meteorits, explosions nuclears, etc. Els terratrèmols actuen de forma instantània en un àrea extensa i les ones sísmiques que provoquen, especialment les superficials, causen formació de falles, desprendiments de terra, aparició i desaparició de fonts, mals en construccions i morts entre les persones. Són molt difícils de predir i, en l'actualitat, no hi ha sistemes eficaços per a alertar la població amb temps de la imminència d'un sisme.

## La sismicitat a nivell mundial



*Distribució geogràfica dels epicentres dels terratrèmols de magnitud superior a 4 que es van produir entre els anys 1963 i 1998.*

Si observes el mapa adjunt on s'il·lustren els epicentres dels terratrèmols que s'han produït durant les darreres dècades del segle passat es poden definir clarament diverses àrees d'elevada sismicitat. Les franges més destacables amb elevada probabilitat sísmica són:

**-Cinturó circumpacífic:** segueix totes les fosses oceàniques i arcs d'illes d'aquest oceà, que s'estenen des d'Alaska fins a Indonèsia i Nova Zelanda. També hi pertanyen les costes d'Amèrica del Nord on no hi ha fosses associades però si, en canvi, llargues falles transformants. En aquest cinturó el sismes estan causats per zones de subducció (on una placa litosfèrica s'enfonsa sota una altra) o per falles transformants on dues plaques llisquen lateralment.

**-Cinturó mediterrani i transasiàtic:** és una franja gairebé totalment continental en la que s'hi inclouen totes les serralades que hi ha al voltant del Mediterrani, que tenen continuïtat per l'Àsia Menor i Central, el Càucàs, l'Himàlaia i la zona tibetana. Els terratrèmols d'aquesta zona són originats per la col·lisió entre plaques continentals.

**-Cinturó de dorsals oceàniques:** inclou les dorsals dels oceans Atlàntic, Índic i Pacífic, així com la zona del Rift Valley que travessa Àfrica des del mar Roig fins a l'extrem sudoriental d'aquest continent. Les dorsals oceàniques i el Rift Valley africà són zones de distensió fortament fracturades a través de les quals ascendeixen materials que s'incorporen a la Litosfera. El moviment d'aquestes fractures és l'origen del sismes en aquest cinturó.



*Efectes devastadors del sisme que va afectar San Francisco el 1906. Califòrnia forma part del cinturó circumpacífic, una de les àrees de major sismicitat de la Terra.*

### **La sismicitat a Espanya**

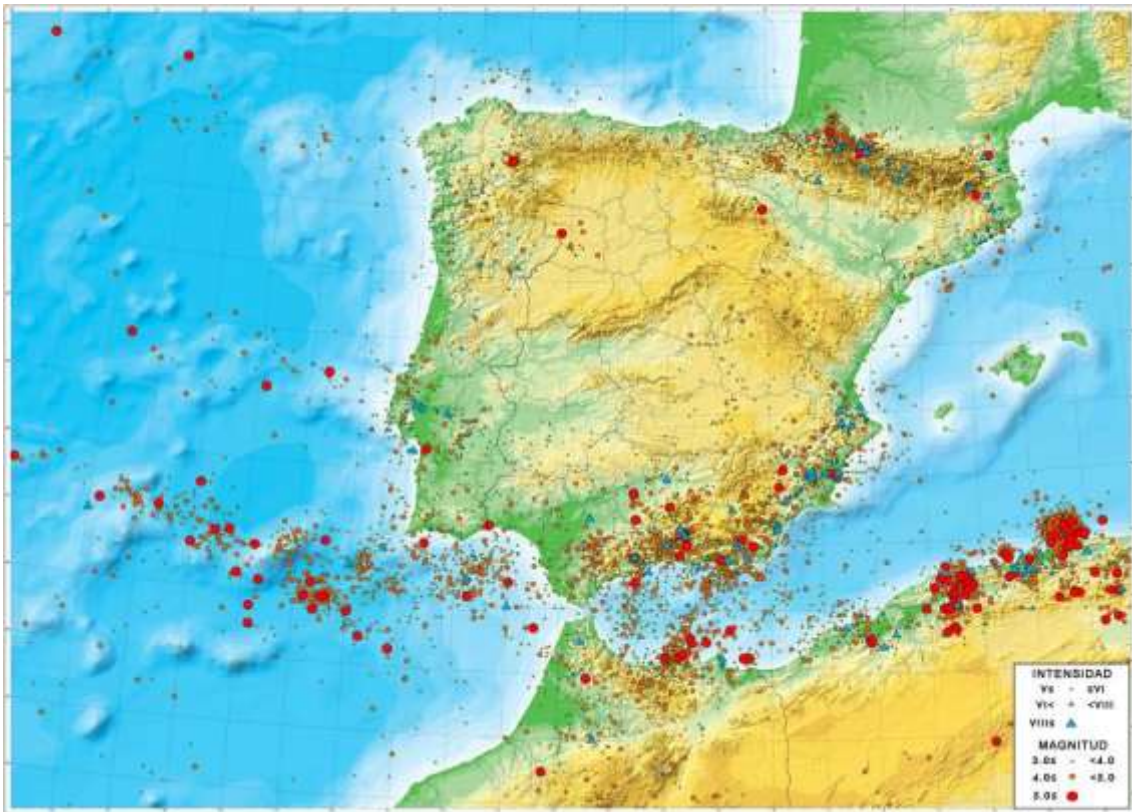
La península Ibèrica es troba situada en una zona de sismicitat moderada. Això significa que en termes globals, un sisme destructiu pot produir-se en un interval de temps superior a 100 anys. La probabilitat dels fenòmens sísmics, però, no és uniforme en tota la superfície.

La màxima probabilitat, com es pot veure en el mapa adjunt, es presenta a les serralades més recents: Pirineus i serres Bètiques. Les fractures responsables dels moviments sísmics en aquestes zones s'han format a causa de la col·lisió de les plaques eurasiàtica i africana. Entre mig ha quedat pincada la subplaca ibèrica (Bètiques al



sud i Pirineus al nord). En aquestes zones es calcula una probabilitat del 70% que es produeixi un terratrèmol capaç de causar danys en un interval de 50 anys.

A l'entorn d'aquestes zones, així com en algunes àrees de les costes cantàbriques i del sud-est es calcula que aquesta probabilitat disminueix a un 30%, mentre que a tota la resta del territori és menor.



Font imatge:

[http://www.fomento.es/MFOM/LANG\\_CASTELLANO/DIRECCIONES\\_GENERALES/INSTITUTO\\_GEOGRAFICO/Geofisica/sismologia/informacion/sis/sismicidad.htm](http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/INSTITUTO_GEOGRAFICO/Geofisica/sismologia/informacion/sis/sismicidad.htm) )

*Epicentres de terratrèmols a la península Ibèrica i àrees perifèriques en el període històric 1048 – 2003. Les dades fins l'any 1919 estan representats per la intensitat. A partir de 1920 són valors de magnitud.*

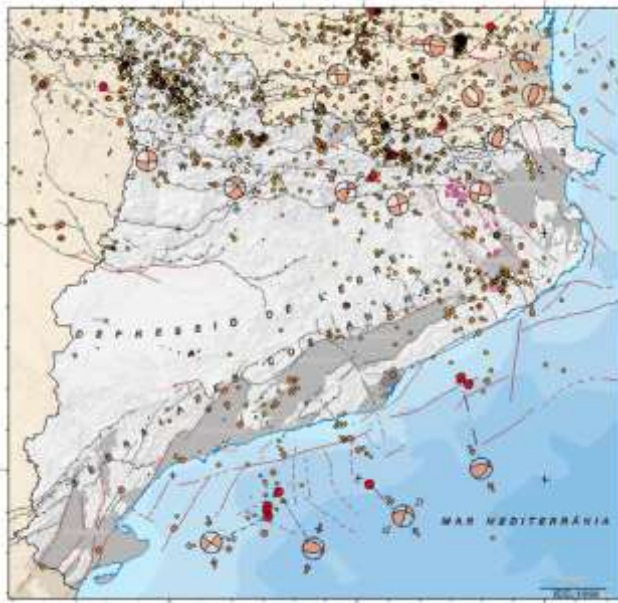
### La sismicitat a Catalunya

A Catalunya es poden definir 2 zones amb una probabilitat sísmica més elevada que la resta:

**-Pirineus, Prepirineus i serralada Transversal:** és l'àrea on s'han produït els sismes històrics més importants. Conté nombroses falles de direcció est-oest al Pirineu i nord-est-sudoest al Prepirineu.

Constitueix una zona de contacte entre la subplaca Ibèrica i l'Eurasiàtica, els moviments relatius de les quals van formar aquestes serralades i són la causa de l'activitat sísmica a la zona.

**-Sistema Litoral:** és una zona de menor sismicitat que l'anterior en la que actualment predomina la distensió i que conté nombroses falles principalment de direcció nord-est -sud-oest, lligades al sistema de rift postalpí a Europa occidental (mira la figura). Els moviments relatius dels blocs que la formen són l'origen de l'activitat sísmològica.



En general el substrats superficials a Catalunya presenten una atenuació important de les vibracions sísmiques. Malgrat això, alguns sismes històrics (veure quadre adjunt) van causar importants danys.

Lloc	Data	Intensitat
Ripoll	3-12-1152	VIII
Olot	2-3-1373	VIII
Girona	2-5-1396	VIII
Barcelona	30-3-1410	VII
Barcelona	9-2-1425	VIII
Amer	15-3-1427	VIII
Olot	15-5-1427	VIII
Olot	25-12-1427	VIII
Queralbs	2-2-1428	IX
Nord-est de Catalunya	10-3-1433	VII
Cardedeu	25-5-1448	VII
Canigó	16-10-1763	VII
Gerri	24-4-1776	VIII
Pallars	6-1-1853	VII
Alp	4-2-1876	VII
Benasc	7-8-1914	VII
Benasc	11-8-1914	VII
Castanesa	28-3-1915	VII

Sant Pau de Fenollet	23-9-1922	VII
Viella	19-11-1923	VII
Montseny	12-3-1927	VII

### Efectes destructius del terratrèmols

Ja hem vist que els terratrèmols són fenòmens molt destructius. Els nombrosos danys que ocasionen els podem agrupar en tres categories:

**-Alteracions en el medi natural** entre les que s'hi inclouen:

**-Inestabilitat de vessants:** les vibracions sísmiques provoquen esllavissades, despreniments de roques o blocs, fracturació i corriments de terres. Les zones on les roques que afloren estan debilitades i que, per tant, ja presenten un major risc per a aquests fenòmens són les més afectades. Un grau elevat d'humitat en el terreny pot facilitar les esllavissades i corriments ja que en aquestes condicions els sediments poden comportar-se com una massa fluida. A les zones amb geleres o grans acumulacions de neu també es poden ocasionar allaus.

**-Formació de tsunamis:** el moviment de falles submarines i els despreniments i esllavissades submarines que provoquen els sismes amb epicentres submarins o molt propers a la costa generen, tal com ja hem vist, la formació d'ones molt destructives.

En algunes ocasions els sismes poden també provocar riuades o inundacions a causa del trencament d'embasaments o llacs naturals per fractures.

**-Liqüefacció:** és un procés poc comú que es produeix en els sediments no consolidats i saturats d'aigua quan es veuen afectats per les ones sísmiques. En aquesta situació el sòl es converteix en un fluid molt mòbil en el que les construccions subterrànies com conduccions o clavegueres es trenquen i es veuen impulsades cap a la superfície. Al mateix temps, construccions situades a la superfície s'esfondren per l'estovament del terra.

**-Danys provocats en el medi humà:**

**-Destrucció total o parcial de construccions:** depenent de la seva qualitat i l'adaptació a la normativa **antisísmica** els danys són més o menys grans.

**-Trencament de conduccions de gas, aigua i electricitat.** A les grans ciutats, aquest tipus de danys són altament perillosos ja que poden originar incendis i inundacions que agreugen els efectes del sisme.

Quan les conduccions de gas es trenquen i al mateix temps salten guspies de molts cables elèctrics en quedar tallats o comunicats, es poden produir incendis que en algunes ocasions són molt destructius. La seva extinció molts cops es veu dificultada per la manca d'aigua a causa del trencament de les canonades. Després del terratrèmol de San Francisco de 1906 es van produir incendis que durant 3 dies van destruir més de 500 edificis. Un fet semblant es va produir després del sisme que va afectar al Japó el 1923. En aquest cas, els incendis van cobrar-se 100.000 víctimes mortals.

**-Danys en vies de comunicació** (vies de tren, autopistes i carreteres) i altres infraestructures (embassaments, ports, aeroports, ponts). Es tracta de construccions especialment sensibles als terratrèmols ja que són de grans dimensions i la seva afectació en un punt o altre és altament probable.

**-Víctimes (morts o ferits) entre la població,** com a conseqüència directe de tots els efectes anteriors.

**-Danys indirectes:** dins d'aquest grup s'inclouen tots aquells efectes que no es produeixen en el mateix moment del sisme, com les pèrdues de collites, els efectes negatius en l'economia o l'aparició d'epidèmies.



	
Edificis enfonsats a Xina	Restes Ajuntament de l'Aquila, Itàlia
	
Autopista destruïda a Chile	Ciutats arrasades a Haití

### **Tsunamis, onades assassines**

Els sismes provoquen també importants efectes a les masses d'aigua com llacs, embassaments i especialment en mars i oceans, que poden danyar greument les zones costaneres.

**Tsunami** és una paraula japonesa que significa literalment "ona amagada", fent referència als imperceptibles efectes d'ones de poca altura que viatgen a gran velocitat pel alta mar, que es transformen en gegantines ones en arribar a la costa i, de forma sobtada, provoquen greus destrosses i nombroses víctimes. Per això també se les anomena ones assassines o maremots, fent, en aquest segon cas, al·lusió al seu origen sísmic.

Els sismes submarins o que tenen lloc en zones properes a la costa produeixen moviments de falles del fons marí o desprendiments de talussos o blocs rocallosos sota la superfície de l'aigua. Moltes zones sísmiques costaneres es troben a prop de grans fosses oceàniques on els forts pendents faciliten aquest tipus de desprendiments. Un tercer origen de tsunamis és la formació de calderes submarines durant una erupció volcànica com va passar en el cas del Krakatoa l'any 1883.

Qualsevol d'aquests tres processos transmet a l'aigua una immensa quantitat d'energia en forma de moviment ondulatori.



*L'evolució d'un tsunami té 3 fases: la generació, la propagació i finalment la inundació de zones costaneres.*

La velocitat a la que viatgen aquestes ones és proporcional a la profunditat de l'oceà. Com més fons és l'oceà més ràpid es desplacen (normalment a varis centenars de quilòmetres per hora!!) i major és la seva longitud d'ona (distància entre les crestes de dues ones consecutives), també de l'ordre de centenars de quilòmetres. Per contra en aquestes zones profundes de l'oceà, l'altura que assoleixen les ones d'un tsunami és molt petita: un metre o a vegades fins i tot menys. Per això passen totalment desapercebudes pels vaixells que hi ha a alta mar. A mesura que avancen cap al continent, les ones d'un tsunami troben cada cop fons menys profunds. Això fa que avancin més lentament i que la longitud d'ona també es redueixi mentre augmenta progressivament la seva altura.

Quan arriben a la costa són veritables muntanyes d'aigua que poden superar els 30 metres d'altura i devastar tot el que troben al seu pas.

Poca estona abans d'arribar un tsunami s'observa un fenomen curiós a causa de la seva aproximació. Sobtadament les aigües es retiren

mar endins, quedant ports i badies buits o amb un nivell molt baix d'aigua. Quan les aigües retornen ho fan en forma d'ones gegantines.

Només els terratrèmols més forts causen tsunamis destructius. Els més febles no en formen o bé són de menors dimensions. La majoria de tsunamis més forts es donen a l'oceà Pacífic a causa del cinturó de zones sísmicament molt actives que l'envolta.



*Efectes d'un tsunami. (Sendai, març 2011)*

### DADES SOBRE ALGUNS TSUNAMIS HISTÒRICS

<b>Terratrèmol i any</b>	<b>Zona afectada i característiques</b>
Fossa del Japó (1707)	Greus danys a les costes del Japó que causen 30.000 morts. La zona més afectada és Hiei Tokaido-Nankaido on 8.000 cases són destruïdes.
Explosió del Krakatoa (1883)	Amplies zones del Pacífic i l'Índic: ones a velocitats de més de 700 km/h van creuar aquests oceans. Algunes assoleixen 35 m d'altura a les costes. Més de 36.000

	víctimes mortals.
Fossa del Japó (1896)	Greus danys a les costes del Japó que causen 27.000 morts. La zona més afectada és Meiji Sanriku.
Alaska (gelera de Malaspina) (1958)	Badia de Lituya: ones de 30 m a 200 km/h que afecten boscos fins a 525 m d'altitud.
Alaska (Unimak) (1964)	Illes Hawaii: Ones de 30 m escombren les costes causant 159 morts i moltes pèrdues materials.
Zona costanera de Papúa Nova Guinea (1994)	Costa nord de Papúa Nova Guinea: 3 ones de 15 m escombren la barra costanera de Sissano causant més de 2.200 morts.
Banda Aceh (Indonèsia) (2004)	Més de 283.000 morts la majoria de les quals causades pel tsunami que va afectar a 12 països asiàtics i africans de les costes de l'oceà Índic.

## Gestió: predicció i prevenció dels terratrèmols

### La predicció dels terratrèmols

Malauradament, avui dia encara és impossible predir on i quan es produirà un terratrèmol, malgrat els nombrosos estudis que s'han realitzat. Tot i això, la recerca en aquest camp ha pogut determinar l'existència de diversos **precursors** que acostumen a indicar la imminència d'un sisme fort. Molts d'aquests símptomes es deuen a l'acumulació de fortes tensions que espongen les roques obrint petites esquerdes preexistents. Aquest procés es coneix amb el nom de **dilatància**.

Es consideren precursors d'un possible sisme:

-**Dilatacions o deformacions del terreny** de l'ordre de pocs centímetres a causa de l'esponjament esmentat. Es mesura amb inclinòmetres sobre el terreny,

-Alteracions en la **conductivitat elèctrica** i/o la **gravimetria** (valor de la gravetat), a causa de l'entrada d'aire o aigua a les esquerdes obertes per la creixent tensió.



-Augment de la **concentració de radó** (un gas noble) en les aigües subterrànies, que es alliberat per les roques en esquarterar-se. Aquestes aigües també acostumen a pujar de nivell.

-**Petits sismes** locals causats també per la tensió. En aquests sismes s'observa generalment un retard en la velocitat habitual de les ones P a causa de l'entrada d'aire a les esquerdes, que pocs dies abans del moviment sísmic intens recupera els valors normals.

Tot i que aquests fenòmens precursors poden servir per a predicció d'un fort terratrèmol en el plaç d'unes hores o uns dies semblen molt clars no són infal·libles. Entre els anys 1965-78 es va fer el seguiment de la seva presència en zones fortament sísmiques d'alguns països com Xina. Tot i que alguns cops servien per predir algun sismes, encara que no fos amb molta exactitud, d'altres terratrèmols forts apareixien sense cap avís previ.

L'any 1975 es va poder predir amb 5 hores d'anticipació un terratrèmol d'escala 7,3 a Haicheng (Xina). Es van evacuar un milió de persones i només en van morir 250. Els precursors van venir donats per inclinacions topogràfiques i canvis en el nivell freàtic. L'any següent, a Tangshan, només a 400 km de distància, es va produir un terratrèmol d'escala 7,8. No hi va haver cap precursor. Va morir un quart de milió de persones.

Un segon tipus de predicció possible és a llarg plaç i pretén pronosticar la seva magnitud i localització en el plaç d'anys o, fins i tot, decenis.

Els estudis estadístics de la freqüència de sismes en una determinada zona poden també aportar dades que ens orientin per saber quan hi ha probabilitats d'un sisme destructiu. És habitual que hi hagi una certa periodicitat en aquests fenòmens i sovint un temps abans d'un sisme fort s'observa una **llacuna sísmica**, és a dir, un període d'inactivitat que acostuma a tenir una fase primera d'activitat nul·la i una segona amb petits sismes locals. Malauradament tampoc aquests estudis són exactes ja que només podem parlar d'una probabilitat elevada en un plaç de temps de l'ordre d'anys.

A Califòrnia, per exemple, on forts sismes tenen una periodicitat d'uns setanta anys, se'n espera un abans de l'any 2040 (popularment el "Big One").

D'altres sismes probablement més forts es donen cada molts més anys, a vegades mil·lenis, i en no haver-hi registres no els tenim en compte en aquests estudis estadístics. Això pot determinar l'aparició de forts sismes que escapin totalment a la probabilitat esperada.

Estudiant els grans sismes que s'han produït a la conca del Pacífic, s'ha observat que tendeixen a afectar zones adjacents sense solapar-se i traçant el contorn de les plaques tectòniques. D'aquesta manera es detecten **buits sísmics**, és a dir, les zones que no han estat afectades durant els anys estudiats i que, per tant, tenen la màxima probabilitat de patir un fort sisme en els proper anys (veure figura 22).

Quan una gran falla produeix un sisme, les zones veïnes queden en tensió, i per tant tenen majors probabilitats de "trencar-se". Un buit sísmic seria una zona d'una gran falla o contacte entre plaques, que queda entre epicentres recents, i en la qual la fractura no s'ha desplaçat.

El terratrèmol que va afectar la ciutat de Mèxic el 1985 es va produir en una d'aquestes zones.

En qualsevol cas, l'única possibilitat que la humanitat té de poder predir amb major exactitud els sismes és continuar realitzant recerca en aquest camp per poder trobar millors eines predictives. Amb els coneixements que es tenen en l'actualitat, per poder avaluar la probabilitat d'un sisme en una determinada zona caldria fer el següent:

- Realització d'un estudi topogràfic i geològic detallat per conèixer les característiques del relleu, sismologia, gravimetria, conductivitat, etc. Que ens permetin detectar si s'estan produint alteracions d'algun d'aquests paràmetres.

- Instal·lació d'una xarxa de sensors per enregistrar les dades abans esmentades: aparells per mesurar la fluència, les deformacions i els canvis en la inclinació del terreny, sismògrafs, gravímetres i sensors de resistivitat i de concentració de radó.

- Establiment d'un centre de vigilància i predicció on es recullin les dades enregistrades i s'observin els seus possibles canvis que indiquin la probabilitat d'un sisme fort.

En els països pioners en la predicció sismològica com Japó, també s'estan aplicant les tecnologies més avançades per a observar els petits moviments dels blocs que separa una falla. Els satèl·lits permeten utilitzar els GPS (posicionadors globals via satèl·lit) per a detectar les més petites alteracions o moviments dels blocs.

A Espanya, des de l'any 2004 el **Instituto Geográfico Nacional**, ubicat a Madrid, s'encarrega de l'observació, vigilància i comunicació dels fenòmens sísmics que es produeixen al país. Quan es produeix

un terratrèmol avalua la seva magnitud, localització i d'altres paràmetres dinàmics. Aquestes determinacions en duen a terme gràcies a les dades subministrades per la **Xarxa Sísmica Nacional** que és un conjunt de 42 estacions sísmiques repartides per tot el territori. A Catalunya hi ha dues d'aquestes estacions: la de Terrades al Baix Empordà i la de Roquetes al Baix Ebre.

La secció de sismologia de l'Institut Geogràfic Nacional funciona les 24 h del dia durant tot l'any i es troba en connexió permanent amb els serveis de Protecció Civil.

A banda d'aquesta xarxa, a Catalunya, hi ha instal·lats sismògrafs en d'altres observatoris que depenen de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (Generalitat de Catalunya) i de l'Institut d'Estudis Catalans, que també fan el seguiment dels fenòmens sísmics.

L'Institut Geogràfic Nacional, juntament amb centres homòlegs d'Itàlia i França, forma part **del Centre Sismològic Euromediterrani** per a determinar amb rapidesa la ubicació de l'epicentre de qualsevol sisme i comunicar-ho al Consell d'Europa.

### **Prevenició dels terratrèmols**

Si tenim en compte l'estat de les investigacions entorn a la predicció de terratrèmols, que encara no pot aportar dades precises, les tasques de **prevenció** dels danys que ocasionen, prenen un important protagonisme a les àrees sísmiques. Per prevenció entenem el que es pot fer abans que arribi un sisme.

Un primer aspecte important és l'**ordenació territorial**. A partir dels mapes de perillositat, caldria evitar la concentració de població en les zones d'alt risc, però això és realment utòpic. Cap país ni regió, inclòs els més amenaçats com Japó o Califòrnia han estat capaços d'evitar o reduir el poblament en aquestes àrees. Fins i tot hi ha exemples extrems com la població de Hollister (Califòrnia) situada exactament sobre la falla de San Andrés. Malgrat els freqüents sismes, de poca magnitud però, que trenquen les aceres i deformen els fonaments de les cases, els seus habitants es resisteixen a abandonar-la. A Hollister, com a molts altres llocs, d'altres factors socioeconòmics juguen un paper més important que les prediccions de risc sísmic.

A Espanya una normativa estatal publicada el 2002 en caràcter general i l'any 2007 de forma específica en relació a la construcció de ponts, estableix 3 zones en el mapa de perillositat sísmica tal com pots veure en la figura adjunta. Aquest mapa s'elabora a partir dels 2 valors que s'hi representen:

-coeficient de contribució (k): és un paràmetre molt important per als arquitectes perquè serveix per calcular les estructures més adequades per a cada zona.

-acceleració sísmica bàsica o del sòl: és una dada que es calcula a partir de la intensitat del terratrèmol.



Mapa de perillositat sísmica a Espanya publicat a la normativa estatal de l'any 2002.

D'altres mesures més efectives i factibles es poden agrupar en dos blocs:

-Construcció d'edificis seguint la **norma sismoresistent**: es tracta d'una llei que afecta tot Espanya, d'obligat compliment per als arquitectes, i que té particularitats segons la localització dels municipis i el seu risc sísmic. En termes generals, les normes més destacables diuen que:

-Els edificis han de ser lleugers i rígids. La situació ideal seria que la seva rigidesa fos la mateixa que el subsòl perquè vibrés de la mateixa manera evitant cisalles que els poden danyar.

-Les unions entre estructures verticals i horitzontals (bigues) han d'estar reforçades

-S'estableixen uns continguts mínims de ferro per metre cúbic en l'estructura

-El ciment ha de tenir un contingut màxim en sorra (element que li dóna mala qualitat)

-Hi ha d'haver reforçament de les parets de càrrega mitjançant contraforts per fer més resistent l'estructura.

-És recomanable que les principals conduccions de subministraments de gas, aigua i electricitat estiguin emplaçades a la vista.

-S'han d'evitar aquells elements externs dels edificis (cornises, teules, etc.) que es puguin desprendre amb facilitat quan hi ha un sisme.

-Altura i extensió de les edificacions: en aquest cas hi ha notables diferències segons el tipus de substrat existent. Com pots llegir al text d'ampliació adjunt, alguns tipus de sediments amplifiquen els efectes de les ones sísmiques. En substrats rocosos rígids es poden construir edificis alts sempre i quan siguin rígids i estigui aïllats del subsòl perquè puguin oscil·lar independentment. En substrats poc coherents, en canvi, les construccions han de tenir poca altura, ser rígides i tenir una extensió horitzontal no gaire gran.

**-Educació** de la població sobre com actuar quan es produeix un terratrèmol fort. En aquest sentit es pot posar d'exemple Japó, que és certament un país modèlic:

-En els plans educatius s'explica als nens i nenes com han de protegir-se si es produeix un sisme.

-Empreses i centres educatius realitzen periòdicament simulacres d'actuació davant un terratrèmol.

-Cada any, el dia 1 de setembre (aniversari d'un gran sisme a Tokio) es celebra el Dia Nacional de Prevenció de Terratrèmols, en el que es fan actes de sensibilització de la població.

-A les cases i llocs de treball o estudi hi ha farmacioles i petits rebosts amb tot allò que pot ser útil en cas de terratrèmol: medicaments, aigua potable, extintors, ràdios, lots, etc.

-A les ciutats hi ha senyalitzacions que indiquen a la població cap on ha de dirigir-se en cas d'un sisme fort, com els parcs públic i d'altres espais oberts.

### **Amplificació de les ones sísmiques**

Quan es produeix un terratrèmol, la zona situada en un radi d'entre 20 i 50 km de l'epicentre experimenta una intensitat semblant a l'epicentre, mentre que el seu valor es debilita ràpidament al allunyar-nos d'aquesta àrea. Tot i això, dins d'aquesta zona i, fins i tot més enllà, els efectes destructius poden ser molt diferents depenent del tipus de substrat. Els sediments tous tendeixen a amplificar les vibracions molt més que els substrats rígids.

L'any 1985 hi va haver un fort terratrèmol a la costa mexicana, però els sediments durs que predominen en aquesta zona van fer que els danys fossin menors que els esperats. A la ciutat de Mèxic, a 400 km de distància de l'epicentre, en canvi, hi va haver fortes sacsejades perquè els sediments molt tous que són restes del llit d'un antic llac, van amplificar les ones sísmiques.

Aquesta amplificació es produeix pel fenomen de ressonància, com quan una persona empenya un nen en un gronxador. La sincronització entre l'empenya i el moviment del gronxador fa augmentar progressivament l'amplitud. En el cas dels terratrèmols, quan la freqüència de les ones sísmiques coincideix per casualitat amb el període natural de vibració d'un sediment o objecte, es produeix la ressonància i això amplifica les ones sísmiques i els seus efectes destructors.

En el terratrèmol de Mèxic a més a més de l'amplificació produïda pel sediment, els edificis d'entre 5 i 15 pisos també van entrar en ressonància i la majoria van resultar greument danyats. Curiosament d'altres de molt més alts i, per suposat els més baixos, gairebé no van patir danys.

## **RISC VOLCÀNIC**

### **L'amenaça de les muntanyes de foc**

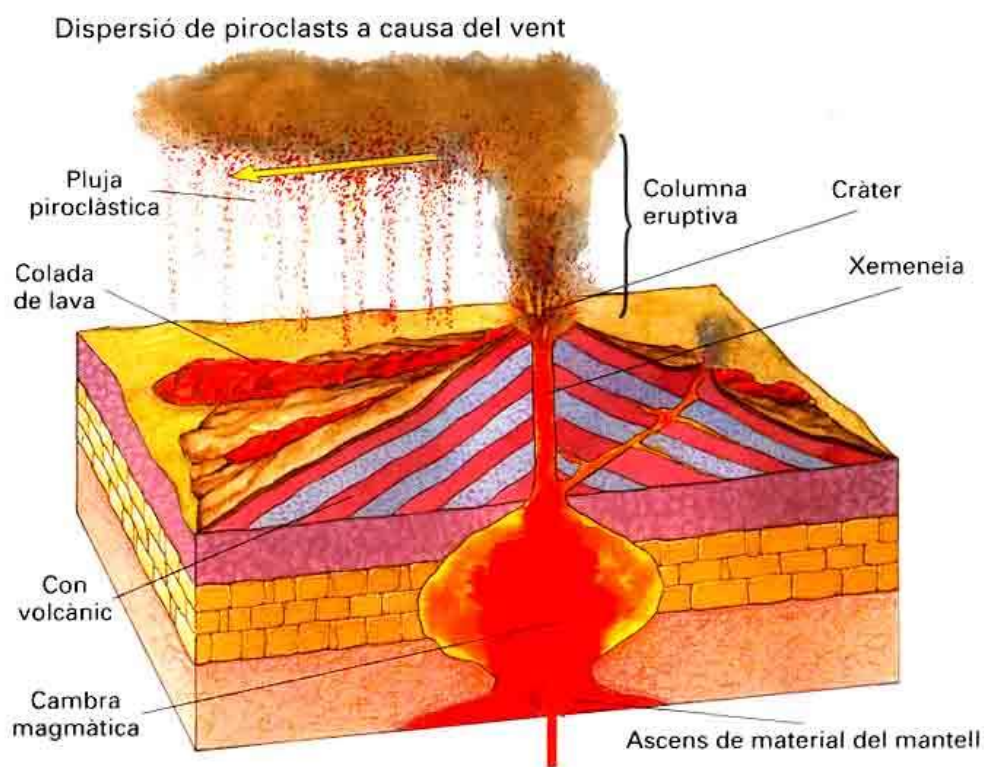
Les erupcions volcàniques són fenòmens violents que generen riscos per als humans. En els darrers 10.000 anys més de 1.400 volcans han produït algun tipus d'erupció.

Algunes de les erupcions catastròfiques ocorregudes en el segle passat, com la del volcà Arenal a Costa Rica el 1968 o la del Pinatubo a Filipines l'any 1991, han estat produïdes per volcans que es consideraven apagats.

Diversos factors (fertilitat dels sols, mineria, turisme, etc.) fan de les zones volcàniques indrets atractius per als humans. Actualment hi ha 500 milions de persones, és a dir, 1 de cada 12 habitants del planeta, que viuen en zones amb risc volcànic.

Per tot això, el balanç de víctimes i danys provocats per les erupcions volcàniques es força elevat. Només dues erupcions que van tenir lloc a Indonèsia el s. XIX, la del Tambora el 1815 i la del Krakatau el 1883, sumen 120.000 víctimes mortals. La gràfica adjunta ens mostra el mateix nombre però corresponent a la totalitat de víctimes del s. XX. També aquí es pot veure com dues erupcions, la del Mont Pelée el 1905 i la del Nevado del Ruíz el 1985, van ocasionar un elevat nombre de víctimes.

### Anatomia d'un volcà



Els principals elements d'un volcà són:

- El **cràter** que és l'obertura per on surten els productes volcànics,
- El **con volcànic** que és l'estructura formada per la deposició de capes de materials volcànics sòlids, molt sovint és com una muntanya.
- La **xemeneia** és l'esclatxa per on pugen el magma i els gasos.
- La **cambra magmàtica** que és l'espai on estan les roques foses i els gasos suportant una pressió i una temperatura molt elevades.

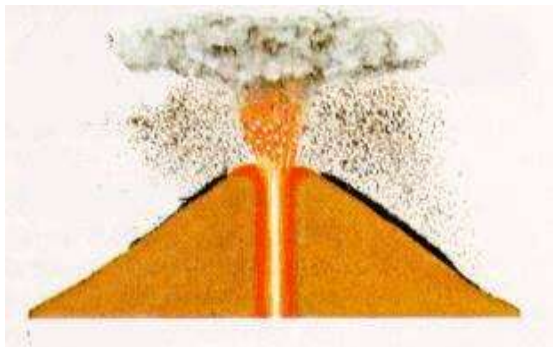
## Productes volcànics

**Productes sòlids.** Són roques més o menys fragmentades, conegudes en general com **piroclasts**, i emissions de **cendres**. Molt abundants en les erupcions de tipus explosiu, la seva perillositat deriva de l'impacte que origina la seva caiguda, de la temperatura a la qual es troben i de la mida de la cendra i la pols volcànica, que pot romandre en l'atmosfera períodes de temps molt llargs.

**Productes líquids.** Són les **laves**, la fluïdesa dels quals i temps de solidificació depenen del seu contingut en sílice ( $\text{SiO}_2$ ); quant major és el seu contingut, més espesses són les laves, solidificant ràpidament. Les colades de lava es desplacen des del cràter volcànic cap a la base de l'edifici volcànic, arrasant camps de conreus i construccions humanes.

**Productes gasosos.** Són **gasos** i **núvols ardents**, freqüentment carregades de fragments sòlids (fluxos piroclàstics) expulsats en violentes erupcions explosives, a velocitats de centenars de km/h, i que arriben fins a l'estratosfera. Aquests núvols ardents constitueixen un dels efectes més catastròfics en una erupció, ja que a causa de les seves altes temperatures i velocitats arrasen tot el que troben al seu pas.

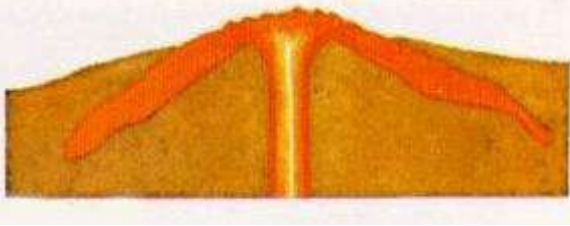
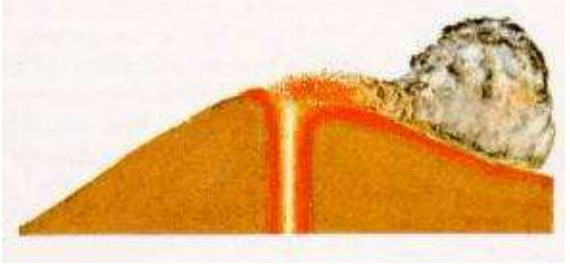

## Tipus d'activitat volcànica



**Vulcaniana:** El nom ve de les erupcions del volcà *Vulcano*. Solen ser explosives i formen núvols foscos de cendra. La lava és més pastosa i viscosa i entre erupció i erupció s'encrosta ràpidament i tapa la xemeneia. L'erupció és molt violenta i la lava es polvoritza en cendres o bé en forma de pedra tosca.

Hi ha pocs piroclasts grossos llançats a fora. Es produeix una columna de gasos  $-\text{CO}_2$  i derivats del sofre. Les colades volcàniques són poc extenses i escasses. Solidifiquen molt ràpidament i constitueixen les roques anomenades **riolites**.



	<p><b>Hawaiana:</b> Normalment són volcans en els quals la lava acostuma a ser poc densa. Típic dels volcans de l'<a href="#">illa de Hawaii</a>. Els altres productes, com gasos i piroclasts, són molt escassos. L'erupció és contínua i el cràter és un llac de lava que gairebé mai no es buida; la lava bull i s'escampa per desbordament.</p>
	<p><b>Peleana:</b> La lava és molt viscosa. Les erupcions estan separades per grans intervals. La lava, molt pressionada dintre de la xemeneia, s'obre pas pels costats i baixa vessant avall. El nom ve del volcà Pelé. Les erupcions són molt destructores, perquè provoquen allaus de cendres incandescentes.</p>
	<p><b>Strombolià:</b> Reben el nom de Stromboli, petita illa volcànica de la costa italiana. La lava té una proporció més elevada de sílice i per tant és menys fluida. El tipus d'erupció també és contínua i la lava també està en ebullició constant, però quan es posa en contacte amb l'aire, els gasos que empresona es desprenen violentament i donen lloc a explosions moderades, rítmiques i contínues.</p>

Com veiem, el motiu fonamental dels diferents tipus d'erupcions és les característiques del magma en cada cas. Especialment, la seva composició química i també propietats com la viscositat, la temperatura, la pressió i la quantitat de gasos dissolts. En [aquest web](#) hi ha un simulador que et permet veure els diferents tipus d'erupcions modificant la quantitat de diòxid de silici o sílice (SiO<sub>2</sub>).

## Valoració del risc volcànic

Des de fa força temps els científics que estudiaven les erupcions volcàniques s'havien fixat en diversos paràmetres (volum de gasos, quantitat de materials piroclàstics, nombre d'explosions, etc.) per a valorar els risc que suposava una erupció, atès que depenent de les seves característiques n'hi havia de molt més perilloses que d'altres.



*Erupció volcànica.*

A partir de l'any 1982 i, a proposta d'un equip de vulcanòlegs americà, es va establir l'**Índex d'Explosivitat Volcànica (IEV)** com a mesura de la perillositat potencial d'una erupció. L'IEV té en compte el volum total de material emès, el volum de piroclasts emesos a l'atmosfera, la altura de la columna eruptiva i la durada de l'erupció. A partir d'aquests paràmetres s'assigna un nombre entre el 0 i el 8 a l'activitat d'un volcà durant una erupció determinada. A la taula adjunta pots veure els valors de l'IEV per a cadascun dels tipus d'activitat volcànica.

IEV	ALTURA DE LA PLOMA	VOLUM D'EJECCIÓ	CLASSIFICACIÓ	EXEMPLE
0	<100 m	1.000 m <sup>3</sup>	Hawaià	<a href="#">Kilauea</a>
1	100-1000 m	10.000 m <sup>3</sup>	Hawaià/Estrombolià	<a href="#">Stromboli</a>
2	1-5 Km	1 <sub>1</sub> 000.000 m <sup>3</sup>	Estrombolià/Vulcanià	<a href="#">Galeras</a> (1992)
3	3-15 Km	10 <sub>1</sub> 000.000 m <sup>3</sup>	Vulcanià	<a href="#">Ruiz</a> (1985)
4	10-25 Km	100 <sub>1</sub> 000.000 m <sup>3</sup>	Vulcanià/Plineà	<a href="#">Galunggung</a> (1982)

5	>25 Km	1 Km <sup>3</sup>	Plineà	<a href="#">St. Helens</a> (1980)
6	>25 Km	10 Km <sup>3</sup>	Plineà/Ultra-Plineà	<a href="#">Krakatau</a> (1883)
7	>25 Km	100 Km <sup>3</sup>	Ultra-Plineà	<a href="#">Tambora</a> (1815)
8	>25 Km	1.000 Km <sup>3</sup>	Ultra-Plineà	<a href="#">Toba</a> (74 ca)

*Valors de l'IEV per als diferents tipus d'activitat volcànica.*

## El risc volcànic arreu del món

Els volcans es distribueixen a la superfície de la Terra en relació a la tectònica de plaques, com ja hem estudiat. Es donen fenòmens volcànics sobretot a les vores convergents de les plaques en les zones de subducció i en menor mesura a les vores divergents (dorsals oceàniques) i en molta menor mesura a les zones d'intraplaca. Pots cercar i trobar tots els volcans del món en [aquest web](#). Encara que està en anglès, és molt interessant perquè hi ha una fotografia i informació de tots els volcans del planeta.

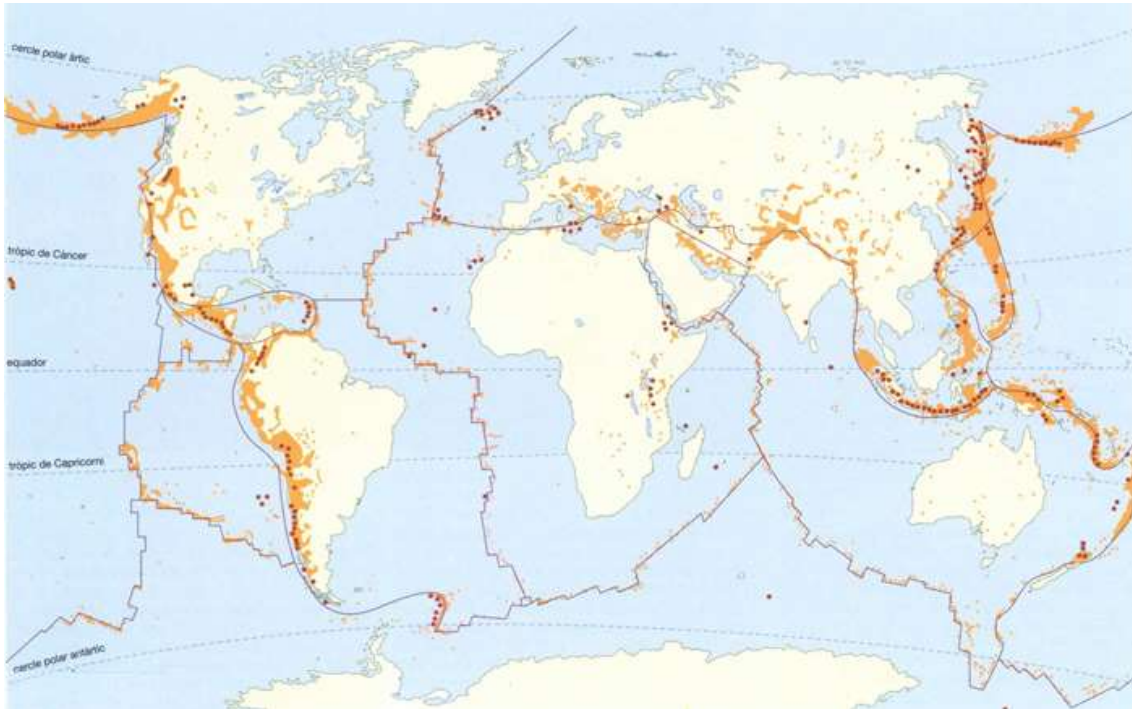
Les zones amb risc volcànic a la Terra es concentren al voltant dels límits entre plaques listosfèriques. Només en algunes zones molt localitzades hi ha fenòmens de vulcanisme intraplaca. Els volcans més perillosos, amb IEV igual o superior a 5, es troben al cinturó de foc de Pacífic, al Carib i a la zona central i oriental del Mediterrani. La resta de zones volcàniques és de menor perillositat perquè els valors d'aquest índex són inferiors a 5.

Existeixen diferents tipus de magmes lligats tant a l'índex d'explosivitat com a la Tectònica de Plaques:

- Magmes **toleítics**, es donen a les dorsals i hot spots (punts calents), donen un vulcanisme tranquil, de **baix risc**.

- Magmes **alcalins**, es donen en rifts continentals i zones de distensió, estan lligats a un magmatisme de **caràcter explosiu mitjà**

- Magmes **calcoalcalins**, es donen en zones de subducció (com per exemple el cinturó de foc del Pacífic), lligats a vulcanisme d'**alt índex d'explosivitat**



*La majoria de volcans es concentren en les zones dels límits entre plaques. No obstant, es produeixen alguns fenòmens volcànics i sísmics enmig de plaques, ja que la rigidesa d'aquestes no és total.*

Actualment a **Catalunya** el risc volcànic es pràcticament nul. Això no es deu a que no hi hagi volcans, sinó a que els que hi ha estan apagats. En temps històrics l'únic fenomen volcànic documentat és la formació de "dues boques de foc" després de d'un terratrèmol que va tenir lloc a la vall d'Hostoles prop d'Amer a la comarca de La Selva el 23 d'abril de l'any 1423. La resta de volcans que hi ha a Catalunya, situats a les comarques de l'Empordà, la Garrotxa i La Selva són força més antics.

Els volcans més antics de Catalunya són els de la comarca de l'Empordà, que existeixen des de fa 10 milions d'anys.

La zona volcànica més espectacular és, sens dubte, la de la Garrotxa. Els seus edificis volcànics es troben sobre un sistema de falles de direcció NO-SE originades durant un període de distensió després de l'orogènia que va formar els Pirineus. Aquestes falles, a més de formar els esglaons que representen els relleus de la serralada Transversal, van ser la via per on van ascendir magmes profunds que van originar les erupcions. Es va tractar d'un típic vulcanisme intraplaca amb un caràcter poc explosiu que va tenir lloc fa uns 11.000 anys. La seva continuïtat cap al sud la trobem en diversos volcans situats a la comarca de La Selva (Hostalric, Maçanet de la Selva, etc.).

Els únics vestigis apart dels edificis i altres estructures volcàniques que queden de tots aquests fenòmens són diversos afloraments d'aigües termals com les de Caldes de Malavella (70°C). D'altres afloraments d'aquest tipus no es troben en zones volcàniques però si que van associats a fenòmens magmàtics: Caldes de Montbui (70°C), la Garriga (60°C), Montbrió del Camp (80°C), Caldes de Boí (50°C) i les Escaldes (42°C) a Andorra.

A **Espanya** hi ha d'altres zones amb volcans apagat com és el cas d'Almeria, però en totes elles el risc volcànic és també nul. A l'arxipèlag canari, en canvi, hi ha hagut erupcions en totes les illes a excepció de La Gomera, en els darrers 500 anys. En aquestes illes evidentment, hi ha risc volcànic amb un valor variable depenent de la zona.

### Efectes destructius dels volcans

Els diferents tipus de productes volcànics i d'efectes que poden generar riscos durant una erupció volcànica són:

-**Colades de lava**: les de tipus bàsic, al ser més ràpides i fluïdes són les més perilloses. Les colades poden destruir construccions de tot tipus i generar riscos induïts al obstruir valls i ports.



Colada de lava



Pluja de piroclasts



Núvol roent baixant pel vessant d'un volcà



Després del pas d'un núvol roent

-**Piroclasts:** són roques sòlides o semisòlides expulsades pel volcà i que provoquen riscos per impactes directes i per acumulació ja que el seu pes pot provocar l'esfondrament d'edificis. Els que romanen en suspensió a l'atmosfera generen riscos induïts per l'aviació i en erupcions molt fortes han provocat canvis climàtics temporals a nivell de tot el planeta.

-**Núvols roents (colades piroclàstiques):** són masses de gas i cendres incandescentes altament perilloses perquè arrasen tot allò que troben al seu pas.

-**Lahars:** són corrents de fang que baixen pels vessants. S'originen quan les cendres volcàniques es barregen amb l'aigua procedent de llacs volcànics, de la fusió de neu del cim del volcà o de precipitacions intenses. Un d'aquests corrents va colgà la població colombiana d'Armero després d'un breu erupció del volcà Nevado del Ruíz l'any 1985, provocant més de 20.000 víctimes.

-**Explosions:** els volcans amb laves viscoses poden provocar fortes explosions. Les més greus i perilloses, però, tenen lloc en les erupcions freàtiques que es produeixen quan el magma entra en contacte amb un aquífer o quan entra aigua marina a l'aparell volcànic. La gran quantitat de vapor que es genera fa esclatar la cambra magmàtica. El cas més espectacular d'aquest tipus d'erupcions és la del Krakatau de 1883.

-**Tsunamis:** com ja s'ha explicat al parlar dels riscos sísmics aquestes ones gegantines poden generar-se per explosions volcàniques fortes o per l'esfondrament d'edificis volcànics submarins.

-**Emissions de gasos tòxics:** generalment aquest tipus de gasos no es produeixen en quantitats molt grans i són alliberats cap a l'atmosfera sense generar riscos, però hi ha documentat un cas tristament espectacular. L'any 1986 el llac volcànic Nyos (Camerun) va alliberar un núvol de gasos tòxics que va causar la mort de 2.000 persones a les valls del voltant. Durant anys les aigües estancades d'aquest llac van retenir els gasos tòxics emesos pel volcà fins que sobtadament els van alliberar per causes que encara no són ben conegudes del tot.

-**Riscos induïts diversos:** a més dels riscos esmentats fins aquí, les erupcions volcàniques poden generar diversos riscos induïts com despreniments, lliscament de vessants, obstrucció de cursos d'aigua, etc.

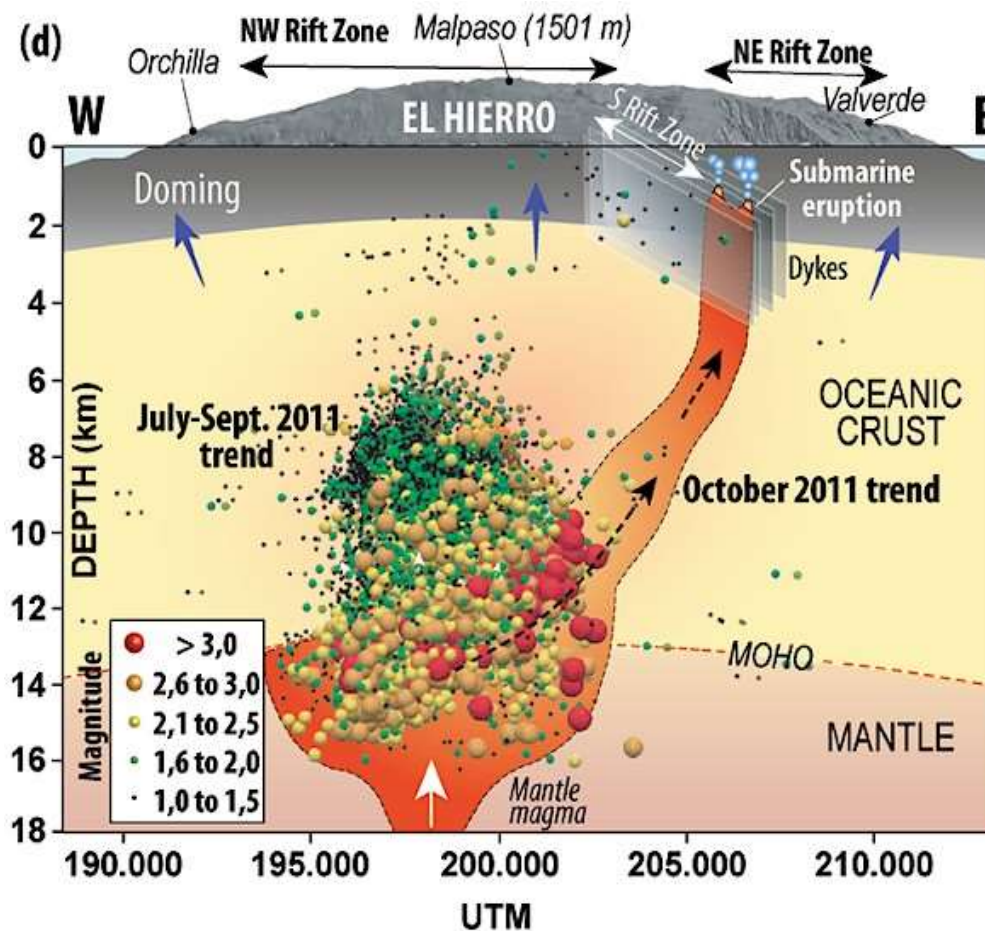
## La gestió del risc volcànic

### Previsió de les erupcions volcàniques

Un dels principals objectius dels estudis que realitzen els vulcanòlegs és la previsió de les erupcions volcàniques. Probablement haurà de passar encara bastant temps per a aconseguir-ho amb precisió, però ja s'han fet importants avenços.

Actualment la predicció d'erupcions volcàniques es basa en l'estudi dels fenòmens precursors que són conseqüència de l'ascensió del magma:

-**Sismes i sorolls**: el seu nombre s'incrementa quan l'erupció s'aproxima. Els hipocentres són cada cop més superficials i indiquen la posició del magma, tal com pots veure en l'exemple del gràfic adjunt. En l'última fase els sismes i els sorolls es fan regulars i constants.



*Emplaçament dels hipocentres enregistrats l'any 2011 a la illa de El Hierro. La seva distribució permet deduir la posició de la bossa de magma.*

-**Fumaroles:** poden aparèixer abans de l'erupció o augmentar la seva activitat si ja existien. En aquests segon cas també s'observen canvis en la composició del gasos emesos. A vegades també hi ha canvis en les aigües termals de les zones properes al volcà.

-**Deformació del terreny:** l'ascensió del magma provoca suaus elevacions del terreny, al tendir a abombar-se. Només es pot detectar amb aparells de precisió com inclinòmetres o sensors làser.

-**Emisió de cendres:** a vegades precedeix a l'erupció.

-**Tremolors volcànics:** són vibracions del terreny més o menys constants provocats pels terratrèmols constants a causa del desplaçament del magma i de l'ebullició de les aigües termals. Només són apreciables a sobre mateix de l'edifici volcànic que està a punt d'entrar en erupció.

-**Altres alteracions:** també s'acostumen a produir augments en el flux geotèrmic i alteracions geomagnètiques i gravitatòries.

L'aparició d'aquests fenòmens precursors permet intuir l'acostament d'una erupció, però no és un mètode exacte, ja que poden produir-se des d'uns dies abans a fins i tot anys abans de l'erupció. Malgrat això, la seva detecció és molt important per predir el risc que es pot generar. Els volcans més ben estudiats compten amb observatoris vulcanològics on hi ha aparells per a enregistrar els fenòmens precursors i des d'on els científic en fan el seguiment per poder predir les seves erupcions. El primer observatori d'aquestes característiques es van construir l'any 1912 al volcà Mauna Loa de Hawaii. Actualment n'hi ha a molts volcans més.

Un altre grup de dades important que pot contribuir a predir erupcions volcàniques és l'estudi de la freqüència i tipologia de les erupcions que ha tingut un volcà. Els registres històrics d'alguns volcans europeus arriben a més de 2.000 anys d'antiguitat, però els d'altres zones són força més reduïts. L'estudi dels materials volcànics de cada erupció i la seva datació permet anar molt més enllà en el temps i saber com van ser erupcions que van passar fa milions d'anys.

D'aquesta manera es pot observar certa periodicitat en les erupcions d'alguns volcans i això pot ajudar a la seva predicció. Tal com pots veure a la taula adjunta el temps de separació és més gran com més fortes són les erupcions. Els volcans amb IEV entre 0 i 2 tenen períodes de repòs d'uns 10 anys, en els d'entre 2 i 5 d'IEV aquest període oscil·la entre els 100 i els 1.000 anys, mentre per valors superiors d'IEV les erupcions estan separades per períodes superiors al mil·leni.



Dins d'aquesta regularitat en les erupcions hi ha també períodes de major activitat en els que un volcà redueix el temps de repòs, avançant les erupcions i d'altres on passa el procés contrari. Per tot això, aquest mètode tampoc és molt exacte però sí que ens pot donar indicis de quins anys aproximadament podem esperar que un volcà entri en erupció. La gran erupció del volcà Sta. Helena (USA) de l'any 1980 va ser esperada a partir de la seva periodicitat històrica (una gran erupció cada 200 anys aproximadament) i pel elevat nombre de fenòmens precursors que va originar.

### Prevenió del risc volcànic

Les erupcions volcàniques no es poden controlar de cap manera. Per això, la prevenió és la única manera de minimitzar els riscos que generen. Aquesta prevenió es basa en 4 aspectes:

**-cartografia de riscos i ordenació territorial:** a partir dels coneixements que es tenen sobre un determinat volcà, cal estudiar la vulnerabilitat del seu entorn i fer una cartografia de riscos. Per minimitzar-los, caldrà fer una ordenació d'aquest territori de manera s'eviti l'ocupació de les zones amb major risc: valls volcàniques i zones més properes al cràter.

**-estudi de fenòmens precursors:** tal com hem vist a l'apartat anterior es pot predir amb certa precisió l'arribada d'una erupció si es controla l'aparició dels fenòmens precursors. Per això cal fer un seguiment continuat del volcà que, en el millor dels casos, comportarà l'establiment d'un observatori de seguiment vulcanològic.

**-elaboració de plans d'evacuació:** a partir dels riscos cartografiats i dels coneixements que es tenen de la zona i del volcà, cal elaborar protocols d'actuació per quan es produeixi una erupció. Això permetrà evacuar la zona de forma lògica i ordenada, minimitzant-se els riscos per a la població.

Molts cops aquesta presa de decisions sobre una evacuació es complexa i polèmica quan no hi ha la certesa total de que es vagi a produir l'erupció. A vegades, com va passar el 1993 a Pozzouli (Itàlia), s'han evacuat poblacions sense que finalment hi hagués erupció. Però tristament són molt més coneguts els casos en que no es va fer cap evacuació i sí que es va produir l'erupció. L'any 1985 a la població colombiana d'Armero van morir 20.000 persones a causa d'una colada de fang provocada per una erupció del volcà Nevado del Ruíz.

Curiosament, poc temps abans un equip de geòlegs havia publicat un mapa de riscos de la zona on s'advertia clarament d'aquesta possibilitat.

Per aquest tipus de decisions, que habitualment depenen dels governants, caldria tenir sempre present que hi ha coses que no poden quantificar-se en termes econòmics de cap manera, la més important de les quals és la vida humana. Un bon exemple d'això és l'evacuació de l'illa del volcà Colo a Indonèsia que es va realitzar l'any 1983. Malgrat que els seus bens i conreus van quedar arrasats, cap dels seus 7.000 habitants va perdre la vida gràcies a una acurada tasca de predicció i evacuació realitzades pels geòlegs i els governants d'aquell país. Tot i les pèrdues, després de l'erupció, els habitants van poder retornar a l'illa i poc a poc anar reconstruint totes les destrosses.

En algunes ocasions s'han fet actuacions correctoras abans o durant una erupció. Els túnels de drenatge que es van fer al volcà Kelut d'Indonèsia que has pogut veure a la figura 36, són un bon exemple de mesura preventiva. També en algunes ocasions aquest tipus de mesures s'han practicat durant l'erupció per controlar colades de lava. L'any 1973 els habitants de Heimaey (Islàndia) van estar durant molts dies llençant aigua amb grans mangueres sobre una colada de lava per refredar-la i evitar que tapes l'entrada del port. D'altres vegades s'han construït dics o regarots per desviar una colada que avançava cap a alguna edificació.