

RIESGO SÍSMICO

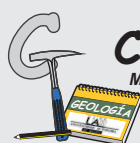


Foto: Ciudad de Morelia (Michoacan, México)
J.L. Giner-Robles

Giner-Robles, J.L.¹; Pozo Rodriguez, M.¹; Carenas Fernández, B.¹; Domínguez Díaz, C.²; García Ruíz, A.²; Regadío García, M.¹ y De Soto García, I.S.¹

1 Departamento de Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias. UAM

2 Departamento de Didácticas Específicas. Facultad de Educación y Profesorado. UAM



COMPLEMENTOS DE GEOLOGÍA Y BIOLOGÍA
Master en Formación de Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

Material docente de geología adaptado para la impartición de docencia en Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato

RIESGO SÍSMICO

1. Introducción

La **actividad sísmica** que se produce en la litosfera terrestre está inducida por la liberación súbita de la energía acumulada en las rocas. Esta energía se libera cuando los esfuerzos a los que esta sometida la litosfera, producen el **movimiento de una falla**. La mayoría de estas fuerzas están relacionadas con la tectónica de placas.

Recurso didáctico: En muchos casos los alumnos no asimilan el concepto básico de que **un terremoto está producido por una falla**, es un tema en el que hay que incidir. El conocimiento de la sismicidad pasa por el conocimiento de las fuentes que pueden generarlos, es decir las fallas activas.

Los movimientos de las diferentes placas que conforman la superficie terrestre producen la acumulación de esfuerzos en toda la litosfera. Por ello, la **mayor parte de la sismicidad esta localizada en los principales límites de placas**, aunque también se pueden producir terremotos en zonas alejadas de estos límites (sismicidad intraplaca). También hay que tener en cuenta que, aunque la energía transmitida desde los límites de placas es la responsable de la mayor parte de los terremotos, existen otra serie de procesos que pueden inducir la ocurrencia de sismos, alguno de ellos de *origen natural*, como los volcanes; y otros de *origen antrópico*, como pueden ser grandes explosiones, asentamiento de grandes embalses, etc...

Aproximadamente se producen más de un millón de terremotos al año en el mundo, susceptibles de ser registrados por las diferentes agencias y organismos encargados de la vigilancia y prevención sísmica en el mundo. Del total, son menos de 50.000 los que pueden ser sentidos por la población, y de ellos menos de 10.000 son los que producen daños de diversa consideración.

Tipos de Fallas

Las fallas son fracturas en la corteza sobre las cuales ha tenido lugar un desplazamiento apreciable. **Los terremotos son el resultado del movimiento súbito a lo largo de los planos de las fallas**. Las fallas pueden clasificarse en función del movimiento relativo de los dos bloques que separa el plano de falla, y estos movimientos pueden ser **verticales, horizontales y oblicuos** (figura 1).

Si el movimiento relativo de los bloques es fundamentalmente en la *vertical*: podemos diferenciar dos tipos de fallas: en las **fallas inversas** el bloque que se apoya sobre el plano de falla (*bloque de techo*) sube con respecto al otro bloque (*bloque de muro*); y en el caso de las **fallas normales**, el bloque de techo, el que se apoya sobre el plano de falla, baja con respecto al otro bloque.

En el caso de las fallas que presentan un movimiento fundamentalmente en la *horizontal*, es decir uno de los bloques desliza lateralmente sobre el otro, se les denomina **fallas de desgarre**.



RECURSO
DIDÁCTICO 1

Si los tipos de fallas se explican haciendo referencia al **bloque de techo** (bloque que se apoya sobre el plano de falla) y **bloque de muro**; suele resultar mucho más sencillo para los alumnos comprender el concepto:

bloque de techo sube con respecto al bloque de muro \Rightarrow *falla inversa*
bloque de techo baja con respecto al bloque de muro \Rightarrow *falla normal*

ver figura 1

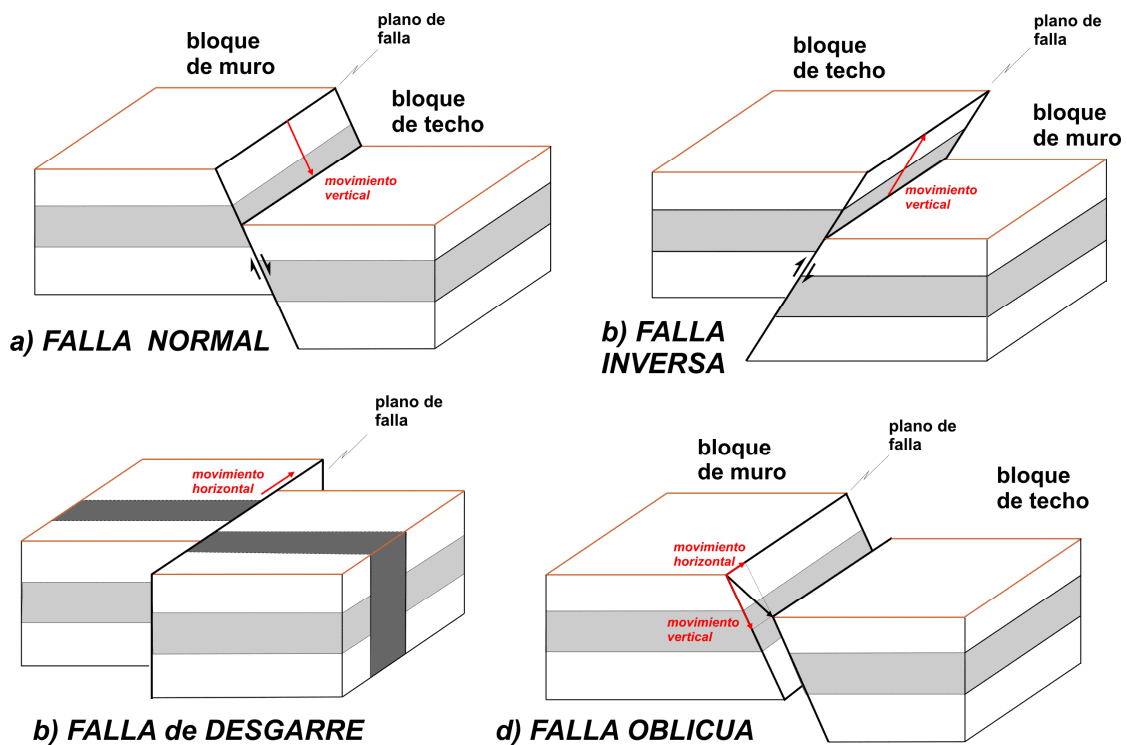


Figura 1.- Tipos principales de fallas: con *movimiento en la vertical* de los bloques: a) falla normal y b) falla inversa. Con *movimiento en la horizontal* de los bloques: c) falla de desgarre, en este caso no tiene sentido establecer cual es el bloque de muro y de techo. Con *movimiento mixto en la horizontal y en la vertical*: d) ejemplo de falla oblicua, con movimiento en la horizontal y en la vertical.

Los tipos de fallas anteriores son los tipos básicos, en las que el movimiento sólo se produce en la vertical o en la horizontal; pero en la naturaleza lo más común es que se produzcan simultáneamente **deslizamientos tanto en la vertical como en la horizontal**, es decir movimientos **oblicuos**. Podemos establecer diferentes tipos de fallas oblicuas en función de la proporción de movimiento vertical y horizontal que presenten: diferentes tipos de fallas normales e inversas (figura 2), diferentes tipos de fallas de desgarre (figura 3). Cualquier tipo de falla de desgarre con componente en la vertical, puede considerarse una falla de desgarre con componente inverso o normal.

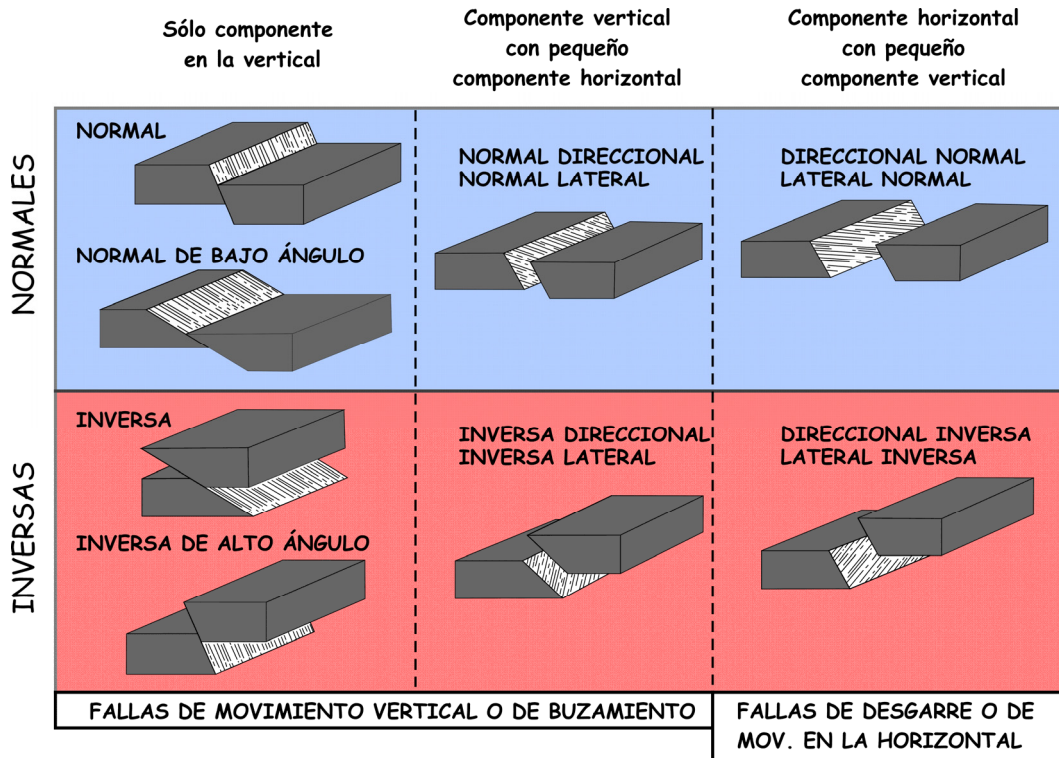


Figura 2.- Tipos de fallas normales e inversas en función del porcentaje de movimiento vertical y horizontal.

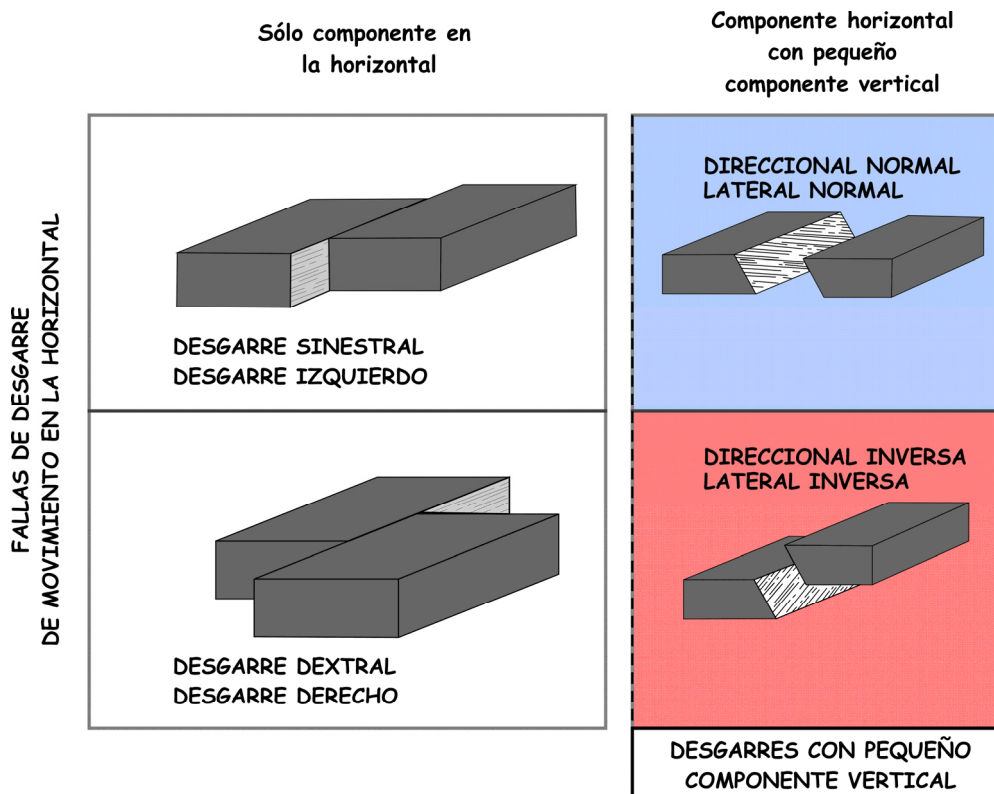


Figura 3.- Tipos principales de fallas de desgarre o de movimiento en la horizontal. Los desgarres con un pequeño componente en la vertical pueden considerarse como fallas inversas y normales, aunque normalmente se consideran como fallas de desgarre.

Rebote elástico

La **teoría del rebote elástico** fue propuesta por H.F. Reid en 1906. Esta teoría establece que las rocas están sometidas a esfuerzos que pueden sufrir **deformaciones elásticas**, y que *pueden acumular esas deformaciones durante decenas de años*. Cuando esta deformación supera la resistencia del material, se rompe y se emite de forma instantánea **toda la energía acumulada durante esos años, produciendo un terremoto**.

La deformación que acumulan las rocas se transmite desde los límites de las placas tectónicas. Y es el movimiento diferencial de las placas tectónicas en las que se divide la litosfera terrestre, el que produce la mayor o menor acumulación de energía en diferentes partes del mundo. Esos movimientos no son homogéneos en todas las placas tectónicas, existen placas que se mueven a velocidades relativamente rápidas y otras que son muy lentas en su movimiento.

Las **placas** que se **mueven más rápidamente transmitirán mayor cantidad de energía a las fallas** de esa zona, y por lo tanto, las fallas acumularán la energía suficiente como **para romper las rocas en mucho menos tiempo**.

Para analizar el fenómeno sísmico, podemos considerar que la velocidad de movimiento de las placas es constante a lo largo del tiempo. Por lo tanto cuando una falla libera energía, inmediatamente después comenzará otra vez el proceso de acumulación de energía elástica. Por lo tanto, **el periodo de retorno de terremotos destructivos de fallas es mucho menor en contextos geológicos con mayor velocidad de las placas tectónicas implicadas**.

Transmisión de la energía sísmica

La energía de un sismo se libera en forma de esferas de ondas concéntricas alrededor del **hipocentro** o **foco**. El **epicentro** es la proyección en la superficie del hipocentro (**figura 4**).

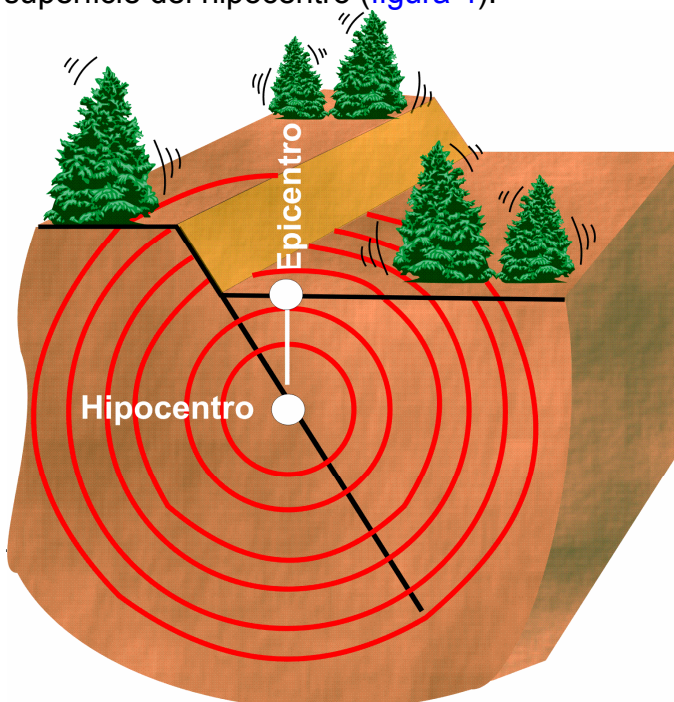


Figura 4.- Epicentro e hipocentro de un sismo. El hipocentro o foco es la zona del interior de la tierra donde se produce el desplazamiento inicial, y el epicentro es la posición de la proyección del hipocentro en la superficie de la tierra.

Al conjunto de todas las partículas afectadas simultáneamente por una onda se las denomina **frente de onda**, y a las líneas perpendiculares a los frentes se les denomina **rayos sísmicos**. Los rayos sísmicos definen la dirección de propagación de las ondas.

Existen dos tipos de ondas sísmicas principales (figura 5): **ondas de cuerpo u ondas internas** y **ondas superficiales**. Sus velocidades de propagación dependen de factores como la **densidad, rigidez y compresibilidad** del medio que atraviesan. Cuando cambian las características del medio cambian las velocidades de propagación de las ondas. El análisis de la propagación de las ondas permite localizar la posición del hipocentro del sismo.

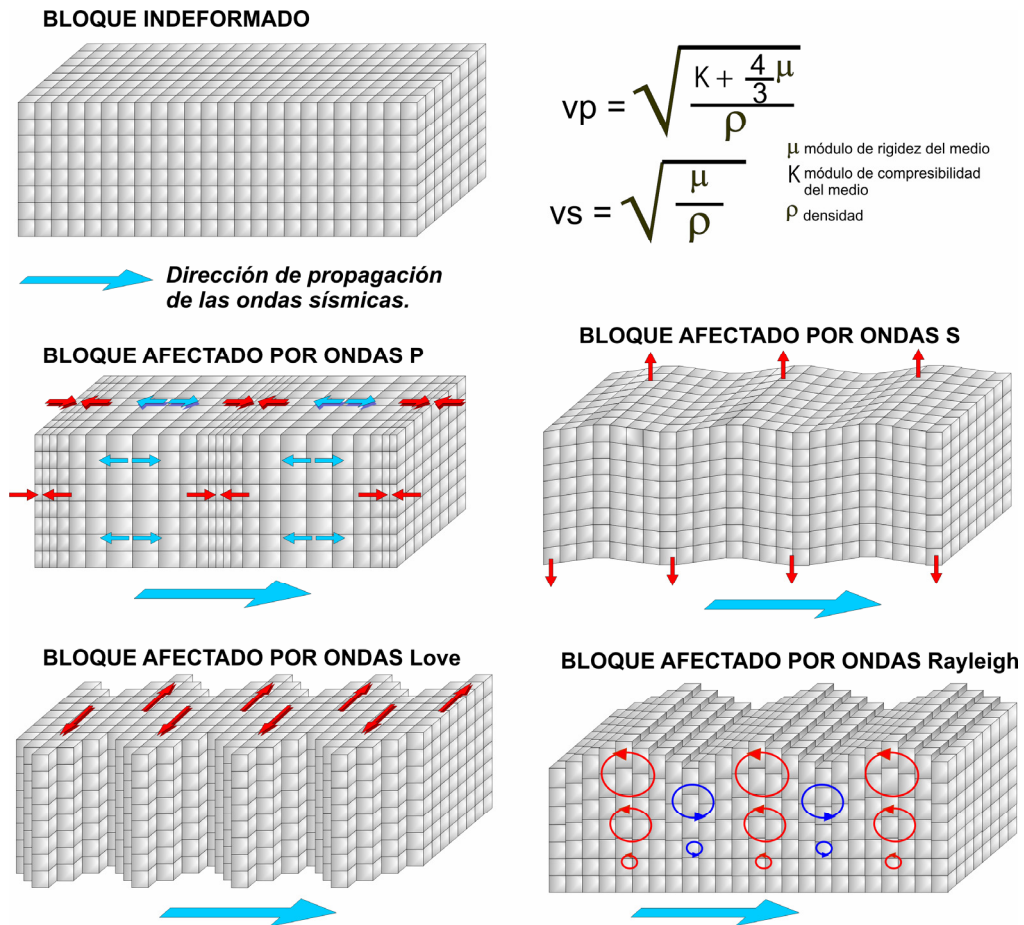


Figura 5.- Tipos de ondas sísmicas. Existen dos tipos de ondas sísmicas las ondas de cuerpo y las ondas superficiales. Las ondas de cuerpo o internas pueden ser a su vez de dos tipos: las ondas P y las ondas S. Las ondas P (o primarias) son las que tienen mayor velocidad, transmiten al terreno un movimiento de compresión y extensión en el mismo sentido de propagación de la onda, por eso también se les conoce como ondas longitudinales. Las ondas S (o secundarias), viajan a menor velocidad, y no se transmiten por los medios líquidos. Le confieren al suelo un movimiento en la vertical, perpendicular al sentido de propagación, por lo que también se les conoce como ondas transversales.

Recurso didáctico: Se puede incidir en el **concepto de transmisión de ondas sísmicas** haciendo referencia a su utilización para el **conocimiento del interior de la Tierra**. El **análisis de la transmisión de ondas sísmicas** en el interior de nuestro planeta nos permite conocer las **características dinámicas y composicionales de las diferentes capas** en las que se divide el interior de nuestro planeta.

- a) **ondas de cuerpo u ondas internas.** Son ondas elásticas que se transmiten por el interior de la Tierra. Estas ondas pueden ser compresionales (ondas primarias, ondas P, ondas longitudinales); o de cizalla (ondas secundarias, ondas S, ondas transversales).
- b) **ondas superficiales.** Las ondas superficiales se transmiten por la superficie del terreno, siendo su amplitud máxima en superficie y mínima en profundidad. Pueden ser de dos tipos: Rayleigh, que producen un movimiento elíptico retrógrado al paso de la onda; y las ondas Love, que producen una oscilación horizontal de la superficie. Son las ondas que suelen producir los mayores daños en las infraestructuras

Intensidad y magnitud

Hasta hace menos de un siglo uno de los principales problemas en la caracterización de la sismicidad, era la definición del tamaño del sismo. En 1902, Giuseppe Mercalli desarrollo una escala para medir el tamaño del terremoto, para medir su intensidad. Para ello se basó en los efectos y daños que causaba el terremoto en las personas y los diversos tipos de estructuras en superficie. Actualmente se utiliza esta escala modificada para definir **cuantitativamente** el tamaño de un sismo, es decir su **intensidad**.

Por lo tanto la **escala de intensidad de Mercalli** evalúa el daño producido por un terremoto en una localización concreta. El principal problemas que presenta esta escala, es que la intensidad definida no depende únicamente de la energía liberada por el terremoto, sino también **de otros factores** como la **distancia al epicentro**, la **naturaleza y características de los materiales** de la superficie, el **diseño de las construcciones**, e incluso la **presencia de asentamientos humanos**.

La presencia o ausencia de población o de construcciones es un factor determinante a la hora de determinar la intensidad, ya que si un terremoto se produce en una zona despoblada, es completamente imposible determinar la intensidad del evento, o si se produce debajo del mar o a grandes profundidades en el interior de la litosfera terrestre.

Estos últimos factores fueron determinantes en la búsqueda y definición de otra escala que fuera capaz de cuantificar de forma exacta la energía liberada por un terremoto, independientemente de su localización y de los daños que pudiera causar.

En 1935, Charles Richter, intentó clasificar los terremotos, definiendo una serie de tamaños de terremotos en función de las características de las señales registradas en los sensores sísmicos, en aquella época sismógrafos (actualmente se utilizan **acelerógrafos**).

En la actualidad se utiliza en todo el mundo **la escala de Richter** redefinida para describir el tamaño de un sismo, es decir su **magnitud**, en función de los parámetros físicos obtenido del análisis de los registros instrumentales del

terremoto. Los mayores terremotos registrados no han superado la magnitud de 9,5 en la escala de Richter, por lo que esta escala varía entre 1,0 y mayor de 9,0.

Actualmente se han establecido otras escalas para poder definir más adecuadamente la magnitud de los terremotos, como la denominada **magnitud momento**, que permite definir, no el tamaño del terremoto en comparación con otros sismos, sino directamente la energía liberada por el sismo. Utilizando el valor de magnitud momento, el mayor terremoto registrado es el ocurrido en Chile en 1960, con una magnitud de 9,5.

La energía liberada por los terremotos varía enormemente por lo que se utiliza una escala logarítmica para definir la magnitud de los terremotos (figura 6). De este modo, y a modo de aproximación, cada unidad de magnitud en esta escala corresponde a un aumento de la energía de 32 veces.

Por ejemplo, la energía un terremoto de magnitud 6,5 libera 32 veces más energía que uno de 5,5 y aproximadamente 1000 veces más energía que uno de 4,5.

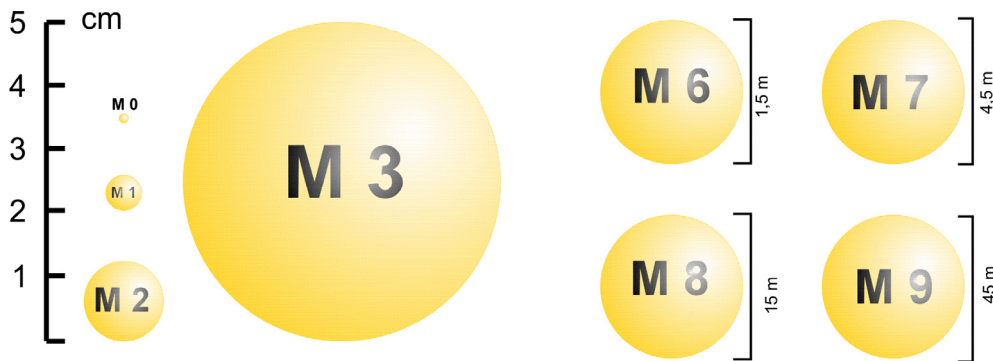


Figura 6.- La magnitud de un terremoto es una medida cuantitativa de la energía liberada por el sismo. **A.** Imagen comparativa del volumen de energía liberado por eventos de diferentes magnitudes, asimilándolo a esferas de diverso tamaño.

Es importante insistir en las diferencias entre intensidad y magnitud de un sismo, ya que en muchas ocasiones se confunden las dos escalas:

- La **intensidad** de un terremoto se define en función de los efectos que produce en la superficie. Es una escala **cuantitativa**, y se suele utilizar **la escala EMS-98 (Escala Macrosísmica Europea, Macroseismic Intensity Scale)**, que varía del I al XII.

- La **magnitud** de un terremoto, es un parámetro que define la cantidad de energía que libera un sismo (escala **cuantitativa**). Se suele utilizar la escala de Richter, que varía entre 1 y >9. La magnitud se determina midiendo la amplitud de las ondas sísmicas registradas en los sismógrafos.



Recurso didáctico 2: el Instituto Geográfico Nacional (IGN) es el organismo encargado de la red de alerta sísmica en España. En la página web de este organismo (www.ign.es) se puede acceder a una encuesta que puede ser cumplimentada por las personas que han sentido un movimiento sísmico en España.

La mayoría de los terremotos se sitúan en una pequeña franja alrededor de los principales límites de placa. De esas zonas las que más actividad presentan son las zonas de subducción, en concreto las situadas en el denominado **Cinturón de Fuego del Pacífico**, zona que orla la Placa Pacífica, y donde se concentran también la mayoría de los volcanes activos.



RECURSO DIDÁCTICO 3

Recurso didáctico 3: Los sismos se localizan mediante diferentes técnicas. Una de las metodologías utilizadas, ahora más en desuso, es la de establecer la diferencia de tiempo de llegada de ondas P y S a una estación. Ambas ondas se han producido en un mismo momento en el foco sísmico (t_0), pero llegan con diferentes tiempos a la estación receptora, porque tienen diferentes velocidades de propagación. Considerando la diferencia de velocidades entre ambas ondas, podemos calcular la distancia del foco sísmico a la estación que ha localizado ese sismo. Si utilizamos un mínimo de tres estaciones podemos triangular la posición del sismo, y por tanto localizarlo.

A grandes rasgos también se puede establecer una **clasificación de los terremotos en función de la profundidad del foco**, es decir la profundidad del hipocentro del sismo.

Los terremotos que se sitúan entre los **0 y los 70 km** de profundidad se denomina **superficiales**; **intermedios** son los terremotos que se producen a profundidades entre los **70 y los 300 km** de profundidad, y por último los que se sitúan a **mayores profundidades (> 300 km)** se denominan **profundos**. La mayor parte de los terremotos que se producen en el mundo son terremotos superficiales, entre 0 y 70 km de profundidad, que suelen ser los que más daños causan. La mayoría de los terremotos intermedios y prácticamente todos los profundos se encuentran asociados a las zonas de subducción. La mayoría de estos terremotos profundos se localizan en las placas que subducen, más frías que el material que les rodea y por tanto más susceptibles de romperse frágilmente, ya que, a esas profundidades la presión y la temperatura impiden que se produzca la rotura frágil de la corteza y por lo tanto el terremoto.

No obstante, hay que tener en cuenta que los esfuerzos inducidos desde los límites se transmiten a toda la placa; y que, en algunas circunstancias, se puede acumular mucho **esfuerzo en la corteza en zonas de intraplaca**, situadas relativamente lejos de los principales límites. Si se llega a superar el límite de la corteza, por esa acumulación de energía puede producirse un terremoto destructivo.

En muchos casos, estos terremotos causan graves daños por dos razones: la primera es que cuando rompen la corteza han acumulado mucha energía a lo largo de incluso millones de años, liberándola de forma instantánea. Y en segundo lugar, porque normalmente las zonas donde ocurren no tienen las medidas necesarias para mitigar y hacer frente a este tipo de eventos.

2. Peligrosidad

Para determinar la peligrosidad sísmica de una zona se hace necesario el análisis de las fallas que sean capaces de provocar un terremoto destructivo. En el análisis de estas fallas se considera en primer lugar, si su orientación es la adecuada para sufrir desplazamientos en función de la orientación de los esfuerzos transmitidos desde los límites de placas. A estas fallas se les denomina **fallas capaces**, es decir fallas que por su geometría son capaces de acumular suficiente energía como para producirse el deslizamiento, y por ello potencialmente generadoras de terremotos.

Si esas fallas han tenido algún tipo de actividad en los últimos 10.000 años se les denomina **fallas activas**. Eso no significa que una falla capaz que no haya generado sismicidad en los últimos 10.000 años no sea capaz de generar un terremoto destructivo.

También se hace necesario el estudio del **catálogo sísmico**, es decir el análisis de los sismos que han ocurrido con anterioridad en la zona para, así poder establecer la **probabilidad de ocurrencia de un evento de magnitud dada en esa zona** (figura 7).

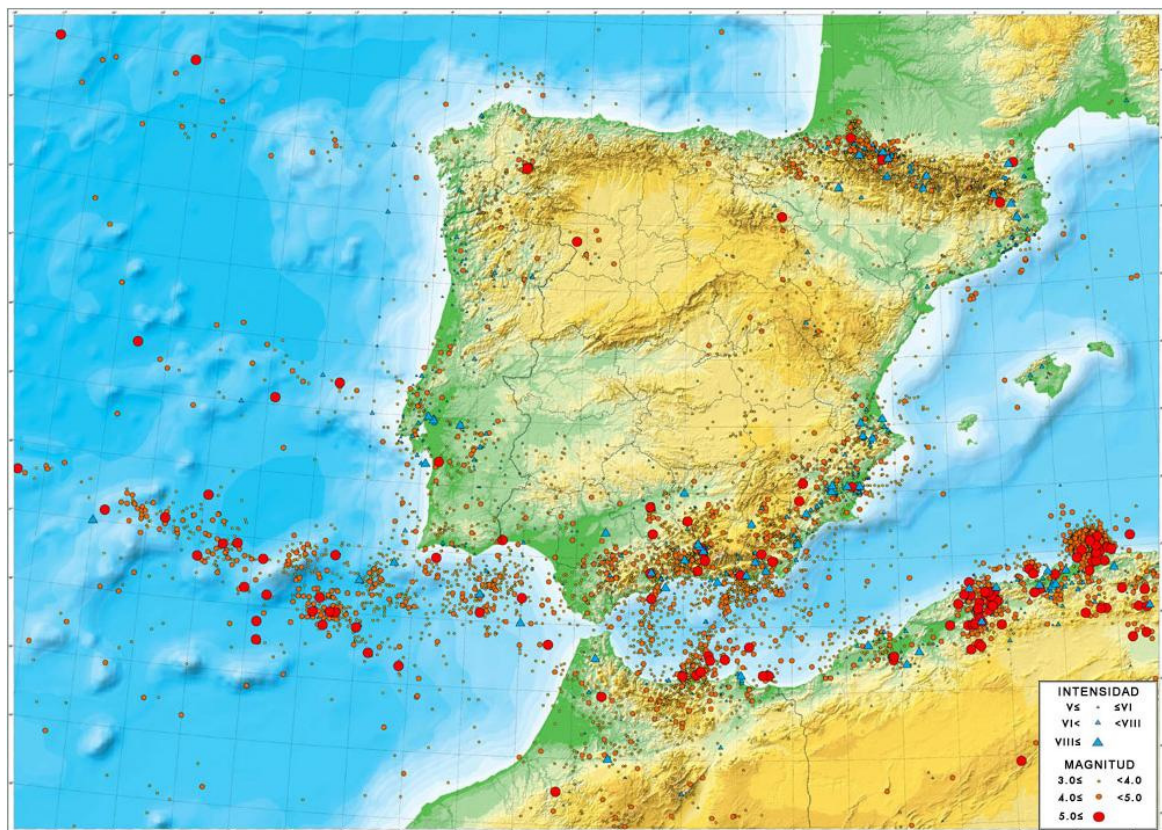


Figura 7.- Mapa del catálogo de la sismicidad instrumental e histórica en la Península Ibérica y regiones adyacentes. La información sísmica proviene de la base de datos del Instituto Geográfico Nacional actualizada al año 2003. Los epicentros del periodo histórico entre los años 1048 y 1919 están representados mediante valores de intensidad sísmica, mientras que los correspondientes al periodo instrumental 1920-2003, se representan por valores de magnitud (Fuente: *Instituto Geográfico Nacional*) (<http://www.ign.es>)

Recurso didáctico: En la página web del Instituto Geográfico Nacional (<http://www.ign.es>) es posible consultar toda la información relacionada con la sismicidad. En esta página podemos consultar los *terremotos ocurridos en España y zonas adyacentes en los últimos 10 días*. Una actividad interesante es que los alumnos la consulten periódicamente durante un tiempo, de esta forma podrán observar como la sismicidad es un proceso natural, que todos los días se registran media docena de sismos de magnitudes bajas en España y que no son sentidos por la población. De esta forma también se puede incidir en la magnitud de los terremotos como cuantificador de la energía, y de su importancia a la hora de definir la peligrosidad de una zona.

Podemos definir **catálogo sísmico** como el conjunto de los datos de localización y magnitud de los sismos ocurridos en una zona o área determinada a lo largo del tiempo.

Para determinar el grado de peligrosidad es necesario definir por tanto una serie de factores a partir del catálogo sísmico en una zona dada:

- la **magnitud e intensidad esperable** de la ocurrencia de un sismo
- la **frecuencia o periodo de retorno**, es decir con que intervalo temporal se produce un terremoto de una magnitud dada en una falla.

El principal problema a la hora de determinar el riesgo sísmico en muchas zonas del mundo es que **el catálogo sísmico, no es lo suficientemente completo para establecer adecuadamente estos parámetros**.

Este hecho es debido a diversas razones, entre las principales destacar:

- los **registros instrumentales** (medidas de los parámetros físicos del sismo en estaciones de registro sísmico) que presentan la calidad adecuada, en muchos casos es **tan solo de los últimos 50 años**.
- en ciertas zonas **la acumulación de la energía en la litosfera es muy lenta**, y el **periodo de retorno de los sismo de magnitudes elevadas es relativamente alto**, en algunos casos hasta de decenas de miles de años, y por lo tanto muy raramente registrados mediante métodos instrumentales (estaciones sísmicas).

Por ello se hace de vital importancia **ampliar el catálogo sísmico en el tiempo** para poder definir, tanto la frecuencia como la magnitud de los eventos esperables en una zona dada.

Para ello debemos utilizar otros datos que nos permitan completar el catálogo sísmico de forma adecuada para poder calcular la peligrosidad sísmica de una zona. Para ello se utilizan datos obtenidos de **documentos históricos (registro histórico)** y del **análisis de las estructuras geológicas (registro geológico)** (figura 8).

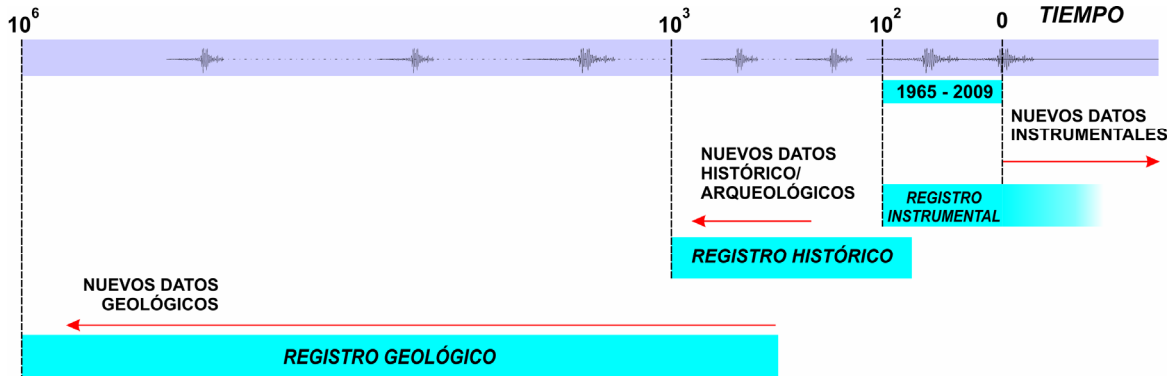


Figura 8.- En zonas como la Península Ibérica con una sismicidad media-baja, es importante ampliar el catálogo sísmico incorporando datos sobre sismos que han ocurrido en el pasado. Para ello se utilizan, bien datos obtenidos de documentos o crónicas históricas y/o realizando análisis arqueosismológicos (**registro histórico**), o bien datos obtenidos del análisis de fallas o estructuras geológicas que nos indique la presencia de un terremoto (**registro geológico**).

En el caso del **registro histórico** se utilizan crónicas y documentos escritos que permiten, localizar y definir la intensidad de sismos ocurridos en los últimos 2000 años. En algunos casos se aplican técnicas de **arqueosismología**, que nos permiten identificar los daños sísmicos sufridos en construcciones históricas o yacimientos arqueológicos (figura 9). Las descripciones de los daños ocurridos en diferentes poblaciones, permite a los expertos caracterizar, de forma aproximada la localización e intensidad esos sismos e incorporarlos al catálogo para su consideración en el análisis de la peligrosidad sísmica.

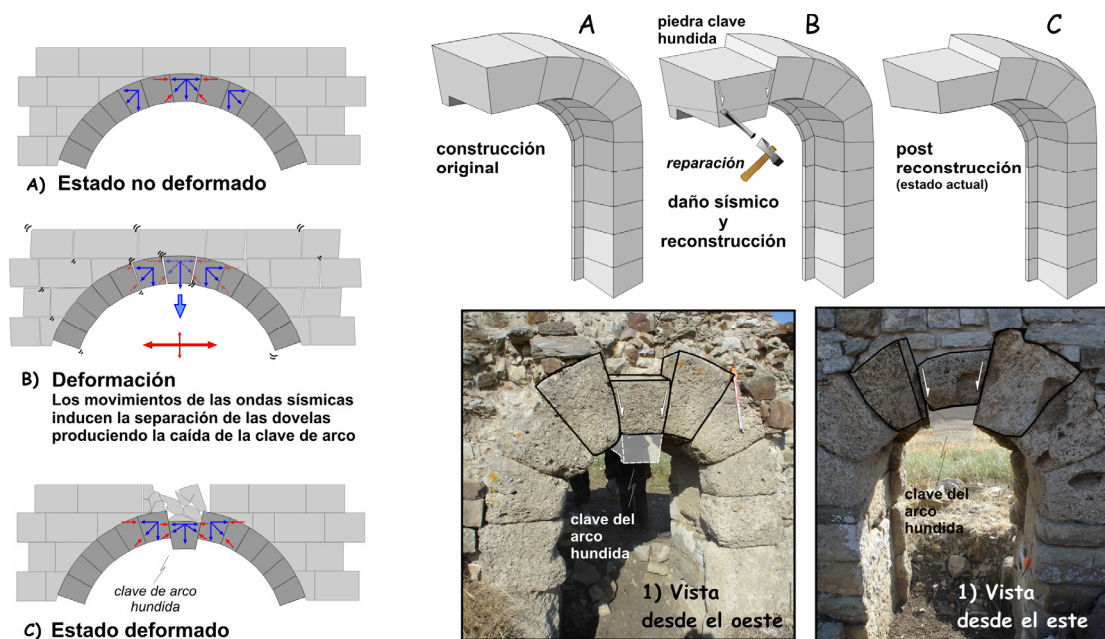


Figura 9.- El análisis de los efectos de los terremotos en restos arqueológicos permite introducir nuevos datos en el catálogo sísmico, de forma que se puede mejorar el cálculo de la peligrosidad sísmica en una zona. Esquema del daño sufrido por un arco frente a las deformaciones inducidas por las ondas sísmicas. Ejemplo en el yacimiento arqueológico de Baelo Claudia en Cádiz. En estas fotos se observa el daño producido en el arco de uno de los bastiones de la ciudad romana, y la reparación posteriormente realizada por los habitantes de la ciudad (Fotos: M.A. Rodríguez-Pascua).

Recurso didáctico: El terremoto de Lisboa del 1 de noviembre de 1755, produjo cuantiosos daños en España. El rey Fernando VI ordenó llevar a cabo una encuesta que debían realizar las personas de mayor cultura (de *mayor razón*, dice la carta del rey) en las capitales y pueblos de cierta importancia en España.

Existe una gran cantidad de información sobre estos documentos. Un excelente estudio de Martínez Solares ("*Los efectos en España del terremoto de Lisboa*", 2001, Instituto Geográfico Nacional) presenta la recopilación y análisis de esta documentación. El autor realiza un estudio de los efectos del terremoto a partir de las cartas enviadas desde diferentes localidades al rey, informando del tipo y consideración de los daños ocurridos por el sismo.

Las preguntas de esta encuesta decían:

- *¿Se sintió el terremoto?*
- *¿A qué hora?*
- *¿Qué tiempo duró?*
- *¿Qué movimientos se observaron en los suelos, paredes, edificios, fuentes y ríos?*
- *¿Que ruinas o perjuicios se han ocasionado en las fábricas*?*
(* con fábricas se referían a las construcciones de piedra y ladrillo)
- *¿Han resultado muertas o heridas personas o animales?*
- *¿Ocurrió otra cosa notable?*
- *Antes de él ¿hubo señales que lo anunciaran?*

- Se puede utilizar esta documentación para que los alumnos comparen estas preguntas con las que utiliza actualmente el IGN para recabar información de la población (ver *Recurso Didáctico 2*).

- Si se tiene acceso al libro (en la red se puede encontrar alguno de estos documentos), es interesante la lectura de algunas de las misivas enviadas desde las poblaciones más afectadas (SO de la Península). Con estas lecturas podemos establecer foros de discusión con los alumnos sobre algunos temas:

- **interpretaciones sobre el origen de los terremotos.** Es interesante comparar las diferentes interpretaciones sobre el origen de la sismicidad que enuncian algunos de los *notables del reino*, con la visión actual del fenómeno sísmico. Se puede relacionar en el contexto de la evolución de las diferentes hipótesis a lo largo de la historia de la geología.

- **las señales o precursores de los terremotos.** Actualmente no existe ninguna posibilidad de predecir con exactitud la ocurrencia de un sismo destructivo con antelación. Se han analizado algunos fenómenos considerados como indicativos, como por ejemplo terremotos precursores menores, variaciones del nivel freático en pozos, comportamiento anómalo de animales; pero en ningún caso se han demostrado fiables como precursores de terremotos destructivos. Se debe insistir a los alumnos en este aspecto, ya que en los últimos 250 años hemos avanzado en el conocimiento del fenómeno sísmico, pero estamos prácticamente igual en cuanto a la predicción de terremotos. Es importante que entiendan que los estudios de peligrosidad se basan en probabilidades de ocurrencia en un periodo de tiempo dado, en ningún caso se define la ocurrencia cierta de un sismo, y menos con una fecha exacta.

Bibliografía:

Martínez Solares, José Manuel (2001). *Los efectos del terremoto de Lisboa (1 de noviembre de 1755)*. Instituto Geográfico Nacional (ISBN: 85-95.172-26-7).

Existen zonas en las que bien por la inexistencia de documentos o crónicas históricas, o el elevado periodo de retorno de los sismos destructivos, es necesario acudir al **registro geológico** para intentar caracterizar sismos que ocurrieron en los últimos 50.000 años.

Para caracterizar un terremoto a partir del análisis del registro geológico se hace necesaria la **caracterización de las fuentes que producen esa sismicidad**, es decir, las fallas consideradas activas y capaces de producir sismos destructivos.

Los grandes sismos destructivos suelen producir una serie de efectos que son fácilmente reconocibles en la superficie terrestre. La mayoría de estos terremotos producen una rotura en superficie (cuya longitud se puede relacionar empíricamente con la magnitud del terremoto).

Para analizar estas roturas se realizan **trincheras** (figura 10), es decir grandes zanjas que permiten el estudio de los materiales fracturados por la falla, de forma que se puede **definir la edad de la ocurrencia** de ese sismo mediante diferentes **técnicas de datación**, como por ejemplo C14 en materia orgánica (conchas de fósiles, restos de carbón, madera, etc...)

También se puede establecer su **magnitud aproximada**, definiendo la **longitud de la falla que ha conseguido romper la superficie terrestre**, o incluso mediante la caracterización y distribución de otros efectos asociados a la ocurrencia del sismo, como pueden ser las licuefacciones o los procesos gravitacionales.



Figura 10.- Las trincheras permiten analizar directamente las fallas que han tenido actividad. Este método de análisis directo, permite caracterizar la fuente de la sismicidad en una zona, estableciendo diferentes parámetros como **periodo de retorno o el tipo de falla**. Este tipo de análisis es necesario para la inclusión en el catálogo sísmico de terremotos que presentan periodos de retorno muy elevados: a) trinchera en materiales volcánicos (Michoacán, México), b) trinchera en materiales sedimentarios en Hellín (Albacete) (Fotos: M.A. Rodríguez-Pascua).

EFECTOS Y VECTORES DE DAÑO

Los efectos producidos por un terremoto suelen estar relacionados directamente con las vibraciones del terreno inducidas por la llegada de las ondas sísmicas, es decir, por la **aceleración que sufre el terreno (vector de daño directo)**. Normalmente son las ondas superficiales las que causan la mayoría de los daños en las infraestructuras.

Además de los efectos directos de las vibraciones producidas por las ondas sísmicas, existen otros **procesos asociados a la sismicidad** que en muchos casos pueden elevar considerablemente los daños producidos por la actividad sísmica (**vectores de daño indirectos**): como pueden ser **tsunamis**, procesos de **licuefacción** o **procesos gravitacionales**.

VECTORES DE DAÑO DIRECTOS

Existe una frase muy utilizada entre los expertos en riesgo sísmico que dice así: “No matan los terremotos, sino los edificios”. Esta frase hace referencia, a que aunque el **vector de daño principal que causan los terremotos** sea la **aceleración inducida al terreno por la vibración de las ondas sísmicas**, esta aceleración no causa víctimas, es el colapso de los edificios e infraestructuras las que causan la mayoría de las víctimas mortales en este tipo de eventos.

Si estuviéramos en campo abierto, si ningún tipo de infraestructura cercana susceptible de colapsar, independientemente de la magnitud de terremoto, posiblemente no sufriríamos daños de ningún tipo.

No obstante, **es este movimiento del terreno el que produce el 95% de los daños producidos en infraestructuras** (edificios, carreteras, red de agua, gas, etc...) asociados a un terremoto.

VECTORES DE DAÑO INDIRECTOS

La ocurrencia de un terremoto induce la ocurrencia de una serie de fenómenos asociados que son susceptibles de causar muchos daños, en ocasiones muchos más que los producidos directamente por la vibración del terreno. Estos **vectores de daño indirectos**, se inician como consecuencia directa de la actuación de las ondas sísmicas sobre el terreno. Fundamentalmente se pueden distinguir: **tsunamis**, procesos de **licuefacción** y **procesos gravitacionales**.

Tsunamis

Como en el caso de la actividad volcánica, **los tsunamis son uno de los vectores secundarios de daño más importantes de la actividad sísmica**. Este fenómeno tiene lugar en zonas costeras o cercanas a grandes lagos.

En relación con los terremotos, estos fenómenos suelen darse por la ocurrencia de un terremoto bajo el nivel del mar, y la mayoría de estos terremotos suelen estar relacionados con zonas de subducción.

Uno de los ejemplos más recientes de este tipo de eventos es el tsunami que arrasó **Indonesia el 26 de diciembre de 2004**. Se produjo un terremoto de magnitud 9,0 frente a las costas de la isla indonesia de Sumatra (**Figura 11**).



Figura 11.- Imágenes de satélite (Google Earth) de la playa de Banda Aceh (Indonesia) antes (23 de junio de 2004) y después (28 de enero de 2005) del tsunami (google earth).

El terremoto, que rompió el fondo oceánico a lo largo de unos **1200 kilómetros** (aproximadamente la distancia entre *Coruña* y *Barcelona*), se produjo en la **zona de subducción** en la que la **Placa India** subduce por debajo de la **Placa de Burma**. La sacudida que indujo el terremoto, produjo el movimiento de la masa de agua que estaba encima del epicentro del terremoto, y a partir de ese punto se produjo el movimiento concéntrico de esa masa de agua que recorrió todo el Océano Índico. Debido a este tsunami **murieron más de 200.000 personas en varios países** situados tanto en zonas cercanas al epicentro, como en zonas tan alejadas como la costa oriental de África.

Otro ejemplo que condicionó el estudio y el interés de los terremotos en Europa fue el **tsunami producido por el terremoto de Lisboa** ocurrido el 1 de noviembre de 1755. Este tsunami se produjo como consecuencia de un terremoto cuyo epicentro se sitúa a 200 km al SE del Cabo de San Vicente, en el Océano Atlántico. Este terremoto, ocasionó **entre 70.000 y 100.000 muertos, 20.000 de ellos en España**.

Aunque la mayoría de los muertos fueron habitantes de Lisboa, que llegó a perder aproximadamente a un tercio de su población como consecuencia del terremoto, del tsunami asociado al mismo y del incendio posterior.

Recurso didáctico: Las imágenes aéreas o de satélite son herramientas muy útiles a la hora de gestionar cualquier tipo de desastre natural. Muchas veces la imposibilidad de tener datos directos de las zonas afectadas hace imprescindible el uso de este tipo de tecnologías. En la red existen numerosas herramientas que nos permiten consultar y visualizar imágenes de zonas afectadas por desastres naturales.

Licuefacción

Durante un terremoto **la vibración intensa puede producir que un sedimento saturado en agua cambie rápidamente de estado sólido a líquido**. Este efecto, que le confiere momentáneamente al **material afectado la capacidad de fluir**, se suele producir en materiales sueltos, normalmente arenas y gravas, a poca profundidad y en zonas costeras o cercanas a ríos y lagos.

Los efectos asociados a **este tipo de fenómenos produce diversos efectos en las infraestructuras**: pérdida de sustentación en pilares y zapatas de construcciones de todo tipo (viviendas, puentes, presas, etc...), ascenso a la superficie de depósitos subterráneos, rotura de tuberías gas y agua potable por flotabilidad en los materiales licuefactados, etc...

Uno de los efectos más utilizados en el **análisis del registro geológico**, son los volcanes y diques de arena, que son estructuras típicas de procesos de licuefacción normalmente asociados a sismicidad. Estas estructuras pueden conservarse en el sedimento, y su análisis puede ser utilizado para definir la magnitud y la localización de un sismo del que no se tenga constancia en el registro instrumental o histórico ([figura 12](#)).

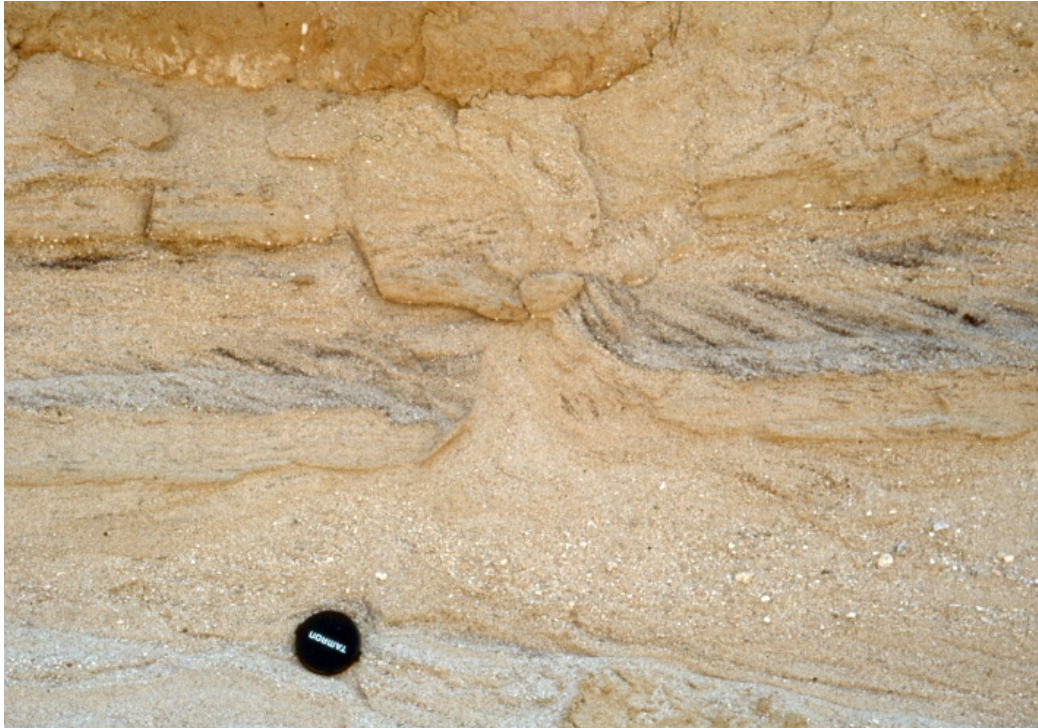


Figura 12.- Los procesos de licuefacción son una de las evidencias más importantes del registro geológico que nos permiten determinar la ocurrencia de un terremoto. En la foto se puede observar la fluidificación de los materiales arenosos por la acción de las vibraciones del terreno. Este proceso le confiere al material la capacidad de fluir, y asciende a zonas más superficiales (Foto: J.L. Giner-Robles).

Procesos gravitacionales

Uno de los **efectos secundarios** que más suele darse en relación con los terremotos, son los **fenómenos gravitacionales**, fundamentalmente deslizamientos y desprendimientos. Estos fenómenos se producen como consecuencia de la desestabilización del terreno debida a las vibraciones de las ondas sísmicas. En el caso de grandes terremotos destructivos, estos procesos **pueden darse a varios cientos de kilómetros del epicentro del terremoto** (figura 13).

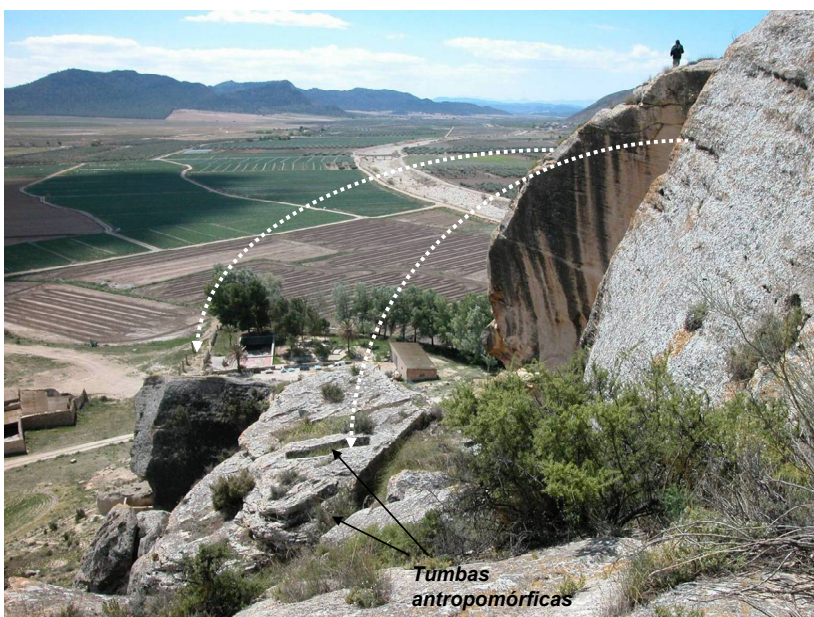


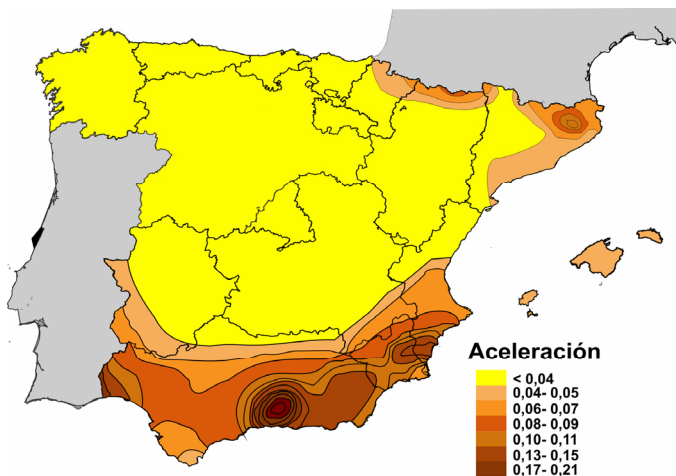
Figura 13.- El terremoto de Lisboa de 1755 fue sentido en prácticamente toda la Península Ibérica, produciendo daños en poblaciones muy alejadas del epicentro del terremoto. Desprendimiento en el yacimiento arqueológico del Tolmo de Minateda (Albacete) producido por el terremoto de Lisboa. (Foto: M.A. Rodríguez-Pascua).

Cálculo de la peligrosidad

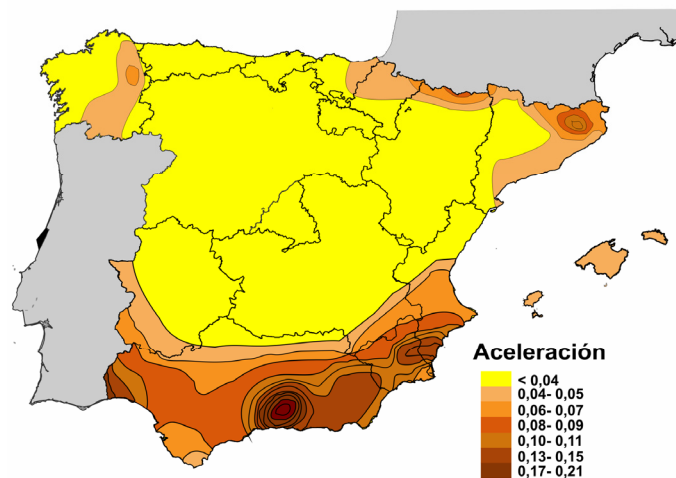
El cálculo de la peligrosidad se define como **la probabilidad de ocurrencia de un sismo de magnitud dada en un periodo de tiempo definido**. Normalmente, el factor que se representa en un mapa de peligrosidad sísmica, es el valor máximo de aceleración que sufriría el terreno frente a un terremoto. Los valores de aceleración del terreno se obtienen del análisis instrumental de los registros sísmicos en sismógrafos o acelerógrafos.

Por lo tanto, la peligrosidad asociada a la sismicidad suele representarse bien **como la superación de un valor de aceleración determinado, o bien como valor de intensidad (escala EMS-98)** que sufriría el terreno en un periodo determinado de tiempo. Es decir, este tipo de mapas establecen que en las zonas marcadas en los próximos 500 años se superará los intervalos de aceleración marcados. Y a mayor aceleración o intensidad esperable, mayor peligrosidad sísmica para esa zona.

Estos mapas suelen actualizarse conforme avanza el conocimiento del ciclo sísmico de la zona, bien por las investigaciones realizadas en el registro geológico e histórico, o bien por la ocurrencia de nuevos eventos en la zona (figura 14).



Mapa de excedencia de aceleraciones sísmicas de España (periodo de retorno de 500 años, NSCE-94)



Mapa de excedencia de aceleraciones sísmicas de España (periodo de retorno de 500 años, NSCE-2000)

Figura 14.- Mapa de excedencia de aceleraciones sísmicas (periodo de retorno de 500 años) (norma sísmica de construcción sismorresistente de los años 1994 y 2000).

Los colores marcan las zonas en las que existe una alta probabilidad de que se supere una aceleración sísmica dada (ver leyenda) en los próximos 500 años.

Las zonas que considera la norma que deben adoptar medidas constructivas son las que superarán 0,04 g de aceleración en los próximos 500 años.

Los cambios más importantes en los dos mapas (el segundo mapa se realizó 6 años después) son la inclusión de la zona de Galicia.

Estos cambios se deben a la ocurrencia de las crisis sísmicas de Becerreá en 1995 y 1997. (Fuente: Instituto Geográfico Nacional).

En el caso de los **vectores de daño indirecto**, se establecen mapas con **las zonas susceptibles de sufrir alguno de los procesos descritos (mapas de susceptibilidad)**. Por ejemplo en el caso de las licuefacciones, se construyen mapas de las áreas que pueden sufrir este tipo de procesos, en función de su composición y textura, y su nivel de saturación en agua.

Factores que influyen en el cálculo de la peligrosidad

Existen **factores externos a las características del sismo que pueden influir en el valor de aceleración** que se puede registrar en una zona por la llegada de las ondas sísmicas. Estos factores suelen estar relacionados con las **condiciones geológicas locales**.

El factor más importante es la variación de los diferentes materiales que podemos encontrar en superficie, ya que, dadas sus diferencias de densidad, compactación y saturación en agua, se comportan de diferente manera frente a la vibración inducida por las ondas sísmicas. A este efecto se conoce como **efecto de sitio**. Este efecto hace referencia a **la amplificación del movimiento asociado a las ondas sísmicas superficiales**, y por tanto a la aceleración que sufre el terreno, en función del tipo de materiales que atraviesen esas ondas (figura 15).

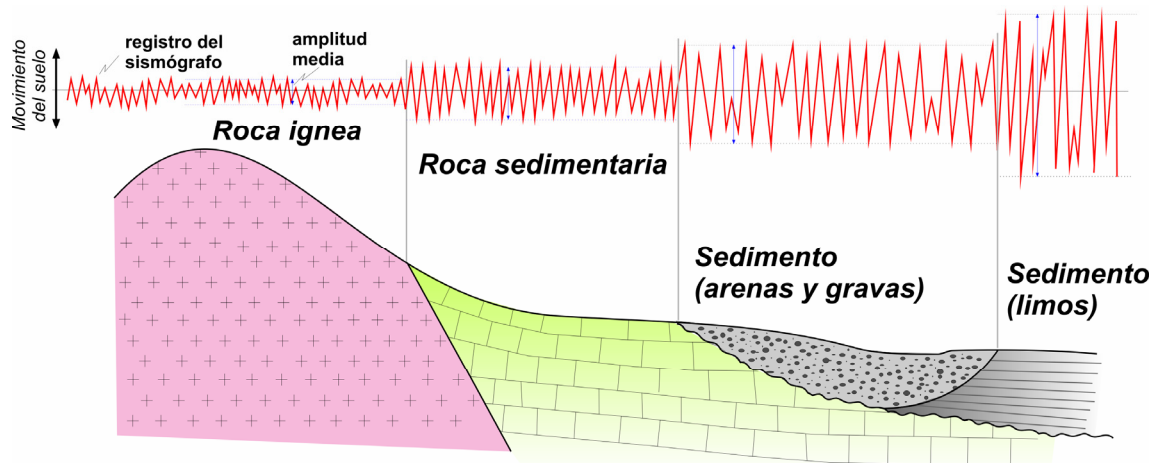


Figura 15.- Efecto de sitio. En el cálculo de la peligrosidad sísmica es importante definir los efectos geológicos locales que puedan amplificar las vibraciones de las ondas sísmicas. En este gráfico podemos observar, la amplificación progresiva que sufren las ondas sísmicas superficiales desde cuerpos rocosos duros, hasta materiales sueltos (sedimentos).

Los **sustratos rocosos, amplifican muy poco las vibraciones**, en cambio **depósitos sueltos (gravas, arenas y limos) amplifican considerablemente los movimientos**, y por tanto aumenta la aceleración que sufren esos materiales (mayor amplificación cuanto menor es el tamaño de grano del sedimento). Por eso, en zonas muy cercanas al epicentro del terremoto, puede haber diferencias muy importantes en los daños producidos, únicamente por la amplificación de la señal que pueden presentar los diferentes materiales que encontramos en superficie. Es importante resaltar que **las amplificaciones de la señal por efecto de sitio afecta únicamente a las ondas superficiales**,

por eso sólo es importante el tipo de material que se sitúa a pocos metros de la superficie.

Existen otro tipo de estructuras geológicas, como por ejemplo pliegues, que pueden amplificar o canalizar la transmisión de las ondas sísmicas, produciendo diferencias en la aceleración del terreno, y por tanto en la distribución de los daños.

Por lo tanto, a la hora de calcular **la peligrosidad sísmica de una zona**, es decir la aceleración esperable en una zona, se tienen que **tener en cuenta todos los efectos de sitio asociados a las características de los materiales y estructuras geológicas que nos podemos encontrar en superficie**.

3. Predicción, vulnerabilidad, riesgo y mitigación

Predicción

Actualmente **no se puede predecir la ocurrencia de un terremoto**. En algunos casos, los análisis de periodos de ocurrencia (periodos de retorno) permiten establecer la probabilidad de ocurrencia de un sismo en un periodo más o menos largo de tiempo, basándose en el periodo de retorno definido mediante análisis de carácter geofísico y geológico. Aunque por lo general, lo único que se puede hacer es definir las aceleraciones máximas esperadas en una zona, sin especificar la situación, ni la fecha exacta del terremoto que las va a producir.

En algunos grandes terremotos ocurridos en el mundo, se han observado variaciones en distintos parámetros, que pueden ser considerados como **precursores** del sismo destructivo. Entre ellos está la **ocurrencia de pequeños sismos** que se producen con antelación a un gran terremoto, denominados terremotos precursores. Aunque, en general la ocurrencia de grupos de terremotos de pequeña magnitud, no tiene porque ser indicativo de la ocurrencia de un terremoto destructor.

En otros terremotos se han observado **cambios en la elevación del terreno** durante años, previa a un gran terremoto, como por ejemplo en dos terremotos ocurridos en Japón: el sismo de Niigata en 1964 (M 7,5) y el del Mar del Japón en 1983 (M 7,7).

El Instituto Geográfico de España tiene un **sistema de alerta temprana frente a la sismicidad** (figura 16). Este sistema consiste en una serie de estaciones de registro sísmico que envían información en tiempo real al centro del sistema. Esta información en tiempo real, permite analizar las zonas de comportamiento sísmico anómalo, es decir define las zonas que presentan una sismicidad fuera de lo normal, y que puede ser interpretada como precursora de un sismo de mayor magnitud.

No obstante, y como ya hemos dicho anteriormente, no se puede considerar que la ocurrencia de pequeños terremotos en una zona sea indicio de la ocurrencia de un sismo de mayor magnitud, pero es uno de los pocos indicios

que se pueden utilizar para alertar a los servicios de emergencia frente al fenómeno sísmico.

Este sistema de alerta temprana lo si que permite es una respuesta casi inmediata de todos los organismos competentes en los diferentes planes de riesgo por sismicidad. Esta alerta dada inmediatamente después de la ocurrencia del sismo, permite la organización y coordinación de todos los recursos necesarios para la actuación frente a los posibles daños producidos por el terremoto.



Figura 16.- Red de alerta sísmica. Mapa de situación de los distintos tipos de estaciones de registro sísmico en la Península Ibérica. El Instituto Geográfico Nacional dispone de una serie de estaciones de registro sísmico que permite caracterizar la sismicidad en España. Algunas de estas estaciones envían la información en tiempo real al centro de recepción de datos en Madrid, y forman parte de la red de alerta sísmica en España. Esta red de alerta permite informar, prácticamente en tiempo real, de la ocurrencia de sismos importantes que necesiten de la aplicación de planes de emergencia (Fuente: *Instituto Geográfico Nacional*) (www.ign.es).

Recurso didáctico: Una buena actividad en el aula consistiría en analizar con los alumnos la distribución de las estaciones de registro sísmico en España (figura 16), con la distribución de los epicentros (figura 7) y con el mapa de excedencia de aceleraciones (figura 14). Esto les permitiría entender que la distribución de estaciones está diseñada para cubrir de la mejor manera posible las zonas más activas, teniendo en cuenta además que la localización de los epicentros es más correcta cuando las estaciones están distribuidas homogéneamente alrededor del epicentro del sismo. También resaltar la alta concentración de estaciones en Canarias, ya que los terremotos producidos por la actividad volcánica, son excelentes indicativos de este tipo de actividad.

Vulnerabilidad, exposición y daño sísmico

Una vez construidos los **mapas de peligrosidad y de susceptibilidad**, se puede establecer la **vulnerabilidad** de las zonas potencialmente afectadas frente a la ocurrencia de un sismo.

La **vulnerabilidad sísmica** hace referencia a la **probabilidad de ocurrencia de daños que puede sufrir la sociedad** (construcciones, población, líneas vitales, patrimonio, etc...) frente a un sismo.

Para calcular la vulnerabilidad de una zona, debemos considerar un evento probable, con una localización e intensidad sísmica definidas. Cuando hablamos de probable, nos referimos a que sea coherente con los mapas de peligrosidad definidos para esa zona.

Una vez definido el evento probable debemos analizar el **grado la exposición y daño sísmico** que puede sufrir la zona afectada por el sismo.

Para ello, en primer lugar se establece es **tipo de vulnerabilidad de las construcciones**. Es decir, debemos determinar la calidad constructiva de todos los elementos estructurales que puedan ser afectados por la aceleración del terreno. El tipo de vulnerabilidad se designan con letras desde la **A** (construcción más susceptible de ser dañada), a la **E** (construcción más resistente a las vibraciones del terreno y con tipologías de construcción más modernas) (EMS-98) (figura 17). Estos tipos constructivos no hace referencia a ningún elemento externo al edificio, simplemente definen la calidad constructiva de los mismos.

Después, se establece la **exposición** de esos elementos al terremoto probable. Este evento, definirá una serie de **zonas que sufrirán diferentes intensidades sísmicas**, intensidades más bajas cuanto más nos alejemos del epicentro del terremoto. Por lo tanto, las **infraestructuras podrán sufrir mayor o menor intensidad sísmica en función de su posición con respecto al epicentro del terremoto**.

La **exposición** dependerá del porcentaje de edificios de cada tipo (tipo de vulnerabilidad) que presente cada zona afectada por una intensidad.

El **daño sísmico**, es decir los desperfectos que puede sufrir una infraestructura que sufre los efectos de un terremoto, se cuantifica en 6 grados de 0 a 5 (escala **EMS-98**), siendo el **valor 0** asignado a **edificaciones sin daños**, y **5** a la práctica **destrucción total de la edificación** (figura 18).

Para calcular el daño, **se establece para cada tipo constructivo (A- E) los daños probables frente a las intensidades esperables**. Es decir para una intensidad y tipo constructivo (tipo constructivo A el caso de la tabla inferior), definimos el porcentaje de edificios que no habrían sufrido daños (grado 0), de los que han sufrido daño 2, daño 3, etc...

	<i>Grado 0</i>	<i>Grado 1</i>	<i>Grado 2</i>	<i>Grado 3</i>	<i>Grado 4</i>	<i>Grado 5</i>
<i>Intensidad V</i>	44%	40%	13%	2,5 %	0,5 %	0%
<i>Intensidad V-VI</i>	32%	38%	21%	6%	2%	1%

TIPO DE ESTRUCTURA		CLASE DE VULNERABILIDAD A B C D E F					
FÁBRICA	● piedra suelta o canto rodado	●					
	● adobe	●	—				
	● mampostería	●	—				
	● sillería	●	—	—			
	● sin reforzar, de ladrillos o bloques	●	—	—			
	● sin reforzar, con suelos de HA	●	—	—			
	● reforzada o confinada	●		—	—		
HORMIGÓN ARMADO (HA)	● estructura sin diseño resistente a terremotos (DRT)	●	—	—			
	● estructura con nivel medio de DRT	●	—	—	—		
	● estructura con nivel alto de DRT	●		—	—	—	
	● muros sin DRT	●	—	—			
	● muros con nivel medio de DRT	●		—	—	—	
	● muros con nivel alto de DRT	●			—	—	—
ACERO	● estructuras de acero	●		—	—	—	
MADERA	● estructuras de madera	●	—	—	—		

— rango de variación probable - - - - - rango de variación menos probable (casos excepcionales)

Figura 17.- Tabla de asignaciones de vulnerabilidad de tipo constructivo en función del tipo de material y diseño utilizado (EMS-98). Se definen 6 tipos de vulnerabilidades desde la A (mayor vulnerabilidad) hasta la F menor vulnerabilidad. Estos valores de vulnerabilidad pueden variar dependiendo de la edad del edificio, altura, estado de conservación, etc... En principio, se asignan los tipos medios (representados por las esferas de colores), aunque estas vulnerabilidades pueden variar de tipo: en situaciones normales, con pequeñas diferencias en altura o estado de conservación (representado por los segmentos continuos) o en situaciones excepcionales (segmentos discontinuos).

Construcciones de tipo A y B (grado de vulnerabilidad A y B)



Daños en construcciones típicas de los tipos A y B.
(Fuente: *Plan Especial de Protección Civil ante el riesgo sísmico en la Región de Murcia, SISMIMUR*)

Construcción de tipo C (grado de vulnerabilidad C)



Daños en construcciones típicas del tipo C.
(Fuente: *Plan Especial de Protección Civil ante el riesgo sísmico en la Región de Murcia, SISMIMUR*)

Figura 18.- Daños en edificaciones. Para calcular la vulnerabilidad es necesario definir el daño que pueden sufrir las edificaciones. Para ello se establece diferentes tipos de construcción en función del tipo de elementos constructivos utilizados: desde la A (vivienda tradicional) hasta la E (edificios que incorporan elementos constructivos antisísmicos). Si no se puede establecer estos elementos constructivos, se hace una aproximación en función de la fecha de construcción.

Por último, se establecen los daños de cada una de las zonas definidas, en función del tipo constructivo y los datos del sismo tipo estableciendo la vulnerabilidad de la zona frente a ese sismo.

Con estos datos se puede calcular también el número posible de muertos, heridos y desplazados por el colapso de las estructuras, de forma muy sencilla (figura 19):

<i>Grado de daño en el edificio</i>	<i>Coefficiente del estado de las víctimas</i>		
	<i>Heridos leves</i>	<i>Heridos graves</i>	<i>Muertos</i>
<i>1</i>	<i>3,3/10.000</i>	<i>1,1/25.000</i>	<i>1,1/ 100.000</i>
<i>2</i>	<i>3 /1000</i>	<i>1/ 2.500</i>	<i>1/10.000</i>
<i>3</i>	<i>3/100</i>	<i>1 /250</i>	<i>1/1000</i>
<i>4</i>	<i>3/10</i>	<i>1/ 25</i>	<i>1/100</i>
<i>5</i>	<i>2/5</i>	<i>2/5</i>	<i>1/5</i>

Figura 19.- Coeficiente del estado de víctimas por un terremoto. Se establece un porcentaje de víctimas del total de la población afectada para cada uno de los grados de daño en las edificaciones.

En el caso de eventos como los terremotos que pueden llegar a afectar a grandes extensiones, se tiene muy en cuenta otro tipo de estructuras como son los **elementos singulares** y las **líneas vitales**.

Los **elementos singulares** son elementos que requieren una atención especial porque son necesarios para el desarrollo adecuado de las actividades y las actuaciones post-sismo, sobre todo las que tienen mayor importancia en los planes de emergencia como: **hospitales, edificios e instalaciones de comunicaciones y centros de organización y comunicación**.

Otro de los elementos singulares importantes son los que forman parte del **patrimonio** de una región como **monumentos históricos o museos**, cuya pérdida o destrucción pueden ser irremplazables.

Las **líneas vitales** son infraestructuras imprescindibles para el normal desarrollo de la actividad de una sociedad: líneas que posibilitan la **movilidad de mercancías y personas** (transporte), **grandes líneas de suministro de energía** y **elementos de saneamiento básico** (agua potable, electricidad, gas y combustibles líquidos).

Un **escenario sísmico** es la cuantificación y la distribución geográfica de los daños que sufriría una zona determinada de ocurrir en evento sísmico con unas características definidas (sismo tipo). En el **escenario sísmico** se tienen en cuenta la **vulnerabilidad de las estructuras**, la **población afectada**, los **elementos singulares y líneas vitales**. Estos escenarios son de gran utilidad para **organismos e instituciones** como Protección Civil, organismo encargado de **gestionar los planes de emergencia aplicables en caso de terremotos**, ya que les permite organizar recursos para atender las necesidades de la población afectada.

Riesgo y Mitigación

En el cálculo del riesgo se considera el impacto económico de todos los daños sufridos ante el fenómeno sísmico. En este cálculo, se consideran todos

los efectos negativos que puedan ser cuantificados económicamente. Así como el tiempo de recuperación de la economía de la zona, si han sido afectadas la industria o las infraestructuras de importancia económica, como puertos y vías férreas.

Para **reducir el riesgo**, se pueden aplicar una serie de **medidas de mitigación** del riesgo sísmico. Las más importantes son **las medidas estructurales** que hace referencia a las medidas de construcción necesarias en cada una de las zonas potencialmente afectadas para reducir los daños en edificaciones e infraestructuras.

Medidas estructurales

La principal medida estructural frente a los eventos sísmicos es la **aplicación de la Norma de Construcción Sismorresistente**. Este tipo de norma se va modificando con la variación de los mapas de peligrosidad. Y **define en que zonas del territorio afectado se tienen que adoptar medidas constructivas que reduzcan el daño sísmico en caso de ocurrencia de un sismo**. En esta norma se definen las diferentes medidas constructivas a adoptar, especificando cual es la aceleración esperable en cada uno de los municipios afectados por esta norma.

Medidas no estructurales

Las principales **medidas no estructurales** para hacer frente al riesgo sísmico son la creación de **planes de emergencia para reducir la exposición de personas y bienes** ante una situación de este tipo.

En España la **Directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo sísmico (1995, 2004)** tiene **tres niveles de actuación**:

1º.- **Nacional**. En este nivel se **definen los mapas de peligrosidad sísmica**, definidos bien por **la aceleración o por la intensidad esperable en los próximos 500 años**. Y posteriormente se definen que comunidades autónomas presentan parte de su territorio con **intensidades superiores a VI**, o con **aceleraciones esperables superiores a 0,04 g**. esas comunidades deben realizar en plan de emergencia ante el riesgo sísmico.

2º.- **Regional** (comunidades autónomas). Las administraciones regionales deben establecer el **plan de emergencia para toda la región**.

En este plan de emergencia se debe establecer entre otros: la **estructura organizativa y funcional** para la **intervención en emergencias por terremotos**, es decir que organismos e instituciones deben organizarse para afrontar una situación de este tipo; **zonificar el territorio en función del riesgo**, establecer los **recursos necesarios** en caso de terremoto, especificar los **procedimientos de información a la población**, y finalmente definir **qué municipios deben elaborar el correspondiente Plan de Actuación Municipal ante el riesgo sísmico**.

3°.- **Local** (municipal). Las administraciones locales deben establecer un **plan de emergencia frente al riesgo sísmico**, y en él se deben considerar todas las cuestiones relacionadas con **evacuación, medios materiales, información a la población**, etc... Este es el nivel que más repercusión tienen en reducir los daños, ya que se introducen en los planes de ordenación del territorio las zonas más expuestas al riesgo sísmico, considerando los vectores de daño indirectos como licuefacciones y deslizamientos.

En cuanto a este tipo de actuaciones, hay algunas medidas simples que pueden llegar a reducir mucho los daños o las víctimas (figuras 20 y 21).



Figura 20.- Cartel informativo en la ciudad de Morelia (Michoacán, México), en el que se avisa de la presencia de una falla que cruza una zona construida (Foto: M.A. Rodríguez-Pascua).

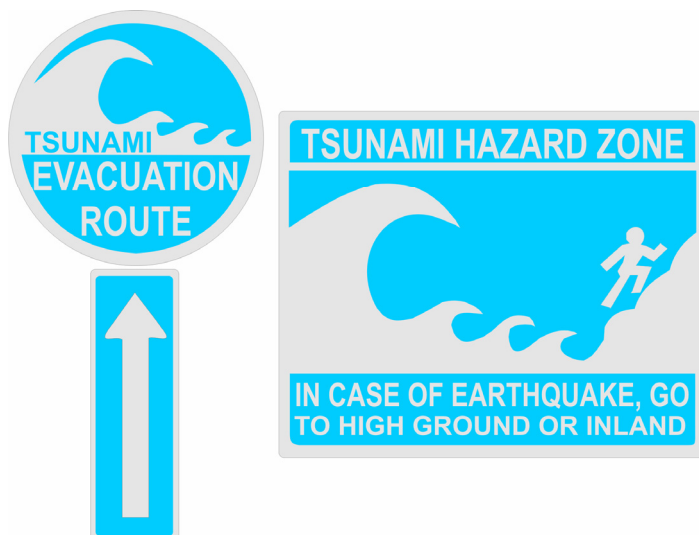


Figura 21.- En algunas ocasiones algo tan simple como una señal puede ayudar a salvar vidas. Como en este caso, con señales marcando las rutas de evacuación en caso de alarma por tsunamis.

En España existen diferentes planes de emergencia ante el riesgo sísmico: el Plan Especial de Protección Civil ante el riesgo sísmico en la **Región de Murcia (SISMIMUR)**; el plan de Emergencia ante el Riesgo Sísmico en **Andalucía**; Plan Especial de Protección Civil ante el riesgo sísmico en **Extremadura (PLASISMEX)**, etc...



**RECURSO
DIDÁCTICO 5**

Recurso didáctico 4: La mayor parte de las Comunidades Autónomas en nuestro país deben realizar un plan de emergencia ante el riesgo sísmico. Estos planes de emergencia definen algunas de las medidas a tomar, como por ejemplo las aceleraciones máximas prevista por la norma, y que definen las características constructivas que se deben adoptar en algunas poblaciones.

La educación y la información como medida de mitigación

Dentro de estos planes de emergencia es necesario incidir en la educación e información de la población ([figura 22 y 23](#)). En este aspecto, una de las principales medidas de mitigación es **ampliar la cultura del riesgo sísmico en las zonas en las que existe una probabilidad de daño asociado a un terremoto**, de forma que la **población conozcan las diferentes medidas que se pueden adoptar en los planes de emergencia (puntos de reunión, vías de evacuación, etc...)**, e incluso las **medidas que pueden adoptar personalmente para reducir el daño en sus familias y bienes**.

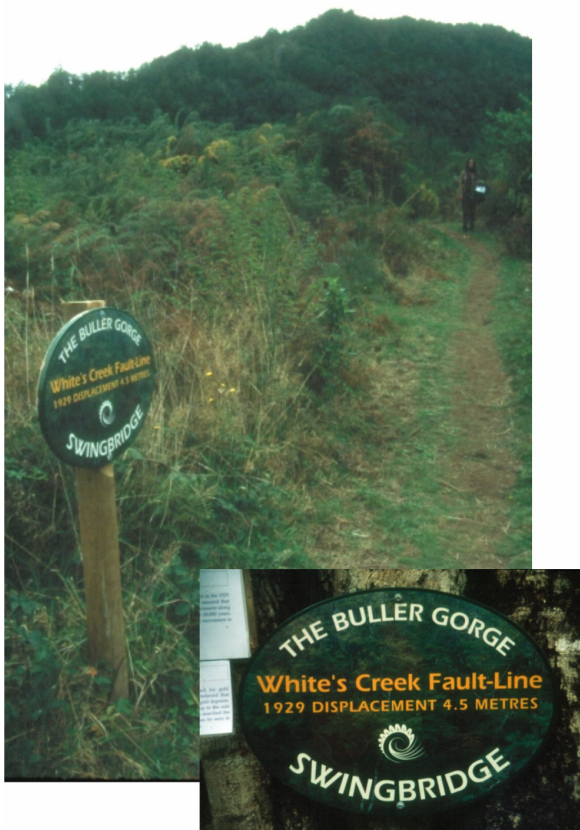


Figura 22.- Educación e información sobre el riesgo. Dentro de las medidas que se deben adoptar para minimizar el riesgo, una de las más importantes es la educación de la población. El efecto de la información aumenta la percepción del riesgo en las zonas con altas probabilidades de sufrir un sismo destructivo. Cartel informativo sobre el último desplazamiento sufrido en la falla de White's Creek (Nueva Zelanda). Al fondo se observa el bloque levantado de la falla (Foto: J.L. Giner Robles)



Figura 22.- Señal que informa de un cambio de rasante por el movimiento lento de una fractura geológica en una de las autopista de salida de la ciudad de Michoacán (México). Hubiera bastado con avisar del cambio de rasante, pero la cultura sobre el riesgo está presente en todas las facetas de la vida diaria.
(Foto: J.L. Giner Robles)

En cierto aspecto, este documento puede considerarse una medida de mitigación del riesgo sísmico, y más si es utilizado para la que los alumnos de secundaria y bachillerato comprendan mejor el fenómeno sísmico y sus consecuencias.