



SISMOLOGIA

Arq. Eduardo Rodríguez Cimino

Estructuras III A

Prof. Titular:

Eduardo Rodríguez Cimino

Prof. Adjunta:

Julieta Mansilla

Prof. Asistentes:

Leonel Ghiglione

Horacio Altamirano

Anabella Cardellino

1 SISMOLOGIA

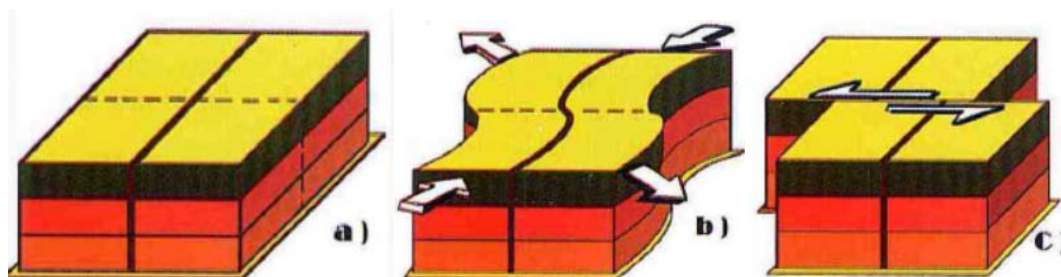
1.1 ORIGEN DE LOS TERREMOTOS

El primer sismo del que se tiene referencia ocurrió en el año 1177 A.C. en China, donde existen registros escritos que describen el impacto de bruscos movimientos del suelo. Pero será recién en el año 1755 cuando comienzan a realizarse los primeros estudios científicos sobre su origen, a partir del terremoto de Lisboa, que se estima habría sido entre 8.7 a 9 grados de la escala de Richter y se considera el origen de la sismología moderna.



Terremoto de Lisboa - Grabado de 1755. Fuente: The Earthquake Engineering Online Archive

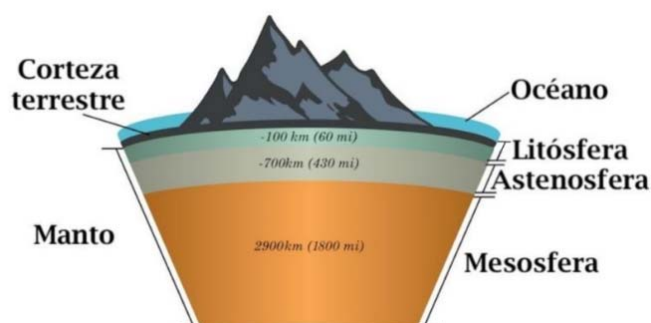
En 1911, el norteamericano Harry Reid realiza estudios sobre la falla geológica de San Andrés, que sufrió importantes desplazamientos después del terremoto de San Francisco de 1906. Su teoría llamada “rebote elástico” establece que en ciertas zonas de la corteza terrestre se van acumulando lentamente grandes esfuerzos soportados por la roca que la constituyen. Estos esfuerzos ocasionan deformaciones elásticas cada vez mayores, hasta que se supera la resistencia de las rocas y se produce una liberación repentina de la energía acumulada.



Teoría de “Rebote elástico” de Reid (1911)

La energía liberada se propaga en forma de ondas sísmicas a través del suelo y la zona de la corteza donde se produjo la liberación de energía retorna a un estado de equilibrio. Estas zonas son denominadas fallas geológicas, suelen ser visibles en la superficie de la tierra, y el por qué de su existencia comenzó a ser develado a partir de 1960, con una nueva teoría denominada “tectónica de placas”, desarrollada a partir de la deriva continental enunciada por Alfred Wegener en 1912.

La tectónica de placas se basa en un modelo de la Tierra que expone que la litósfera se encuentra fragmentada, formando un mosaico de piezas en movimiento (continentes) llamadas placas, que se deslizan sobre la astenósfera que es semiplástica, más caliente y débil que la litosfera.



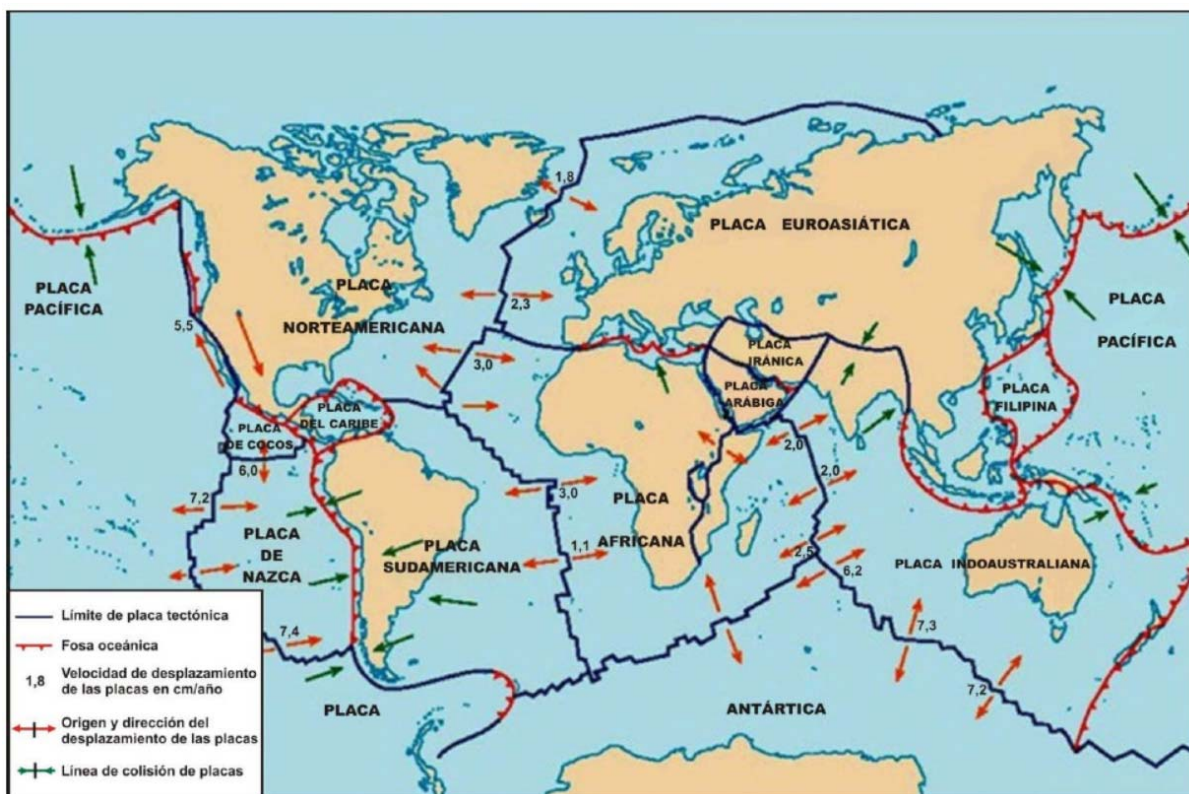
Componentes de la parte superior del manto terrestre. Fuente: Concepto enciclopedia

Hace 200 millones de años, las placas tectónicas se encontraban unidas, conformando un solo continente denominado Pangea, que comenzó a fragmentarse y separarse hasta llegar a la configuración continental actual.



Pangea y su evolución. Fuente Concepto enciclopedia

El movimiento de las placas aún continúa, originando zonas donde se separan, y otras donde se producen rozamientos y choques entre ellas. Debajo de los océanos, a profundidades del orden de 4.000 m, se encuentran las cordilleras Centro-Oceánicas, donde se produce un intenso volcanismo que expulsa material magmático sobre el piso oceánico donde se enfría y solidifica, empujando la litosfera hacia ambos lados, a razón de unos cm por año.



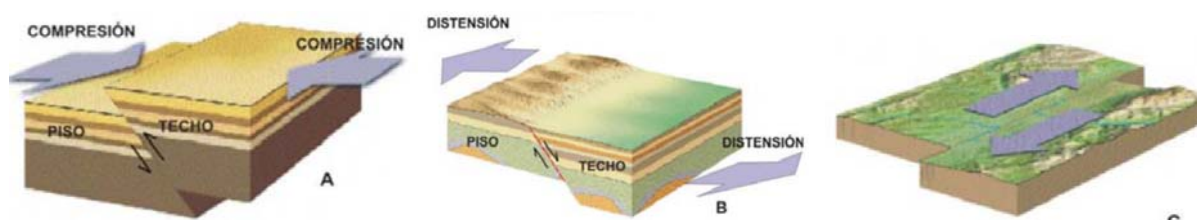
En las zonas de contacto entre placas se generan los grandes esfuerzos que mencionaba en su teoría Harry Reid, que acumulan energía a lo largo del tiempo hasta liberarse súbitamente al vencer la resistencia de las rocas, originando los terremotos. La mayor zona de contacto entre placas en el mundo es la llamada Cinturón de Fuego del Pacífico, donde se produce el 90% de la sismicidad del planeta.

En el interior de las placas, también puede producirse actividad sísmica en menor escala, en zonas denominadas fallas intraplaca. Una falla es una ruptura o fisura en la roca de la corteza terrestre, y en ella se produce desplazamiento de los bloques adyacentes. En algunos casos estas rupturas no llegan a la superficie, y en otros sobresalen generando resaltos en el paisaje. Un ejemplo es la falla Las Lagunas, ubicada en Córdoba entre las localidades de Sampacho y Achiras.



Falla Las Lagunas, entre Sampacho y Achiras, provincia de Córdoba. Fuente: Terremotos: nuestro planeta vibra bajo el poder de su energía. Guillermo Sagripanti.

A lo largo de la falla pueden producirse tensiones de compresión, distensión, o corte por desplazamiento relativo a lo largo del plano de ruptura.



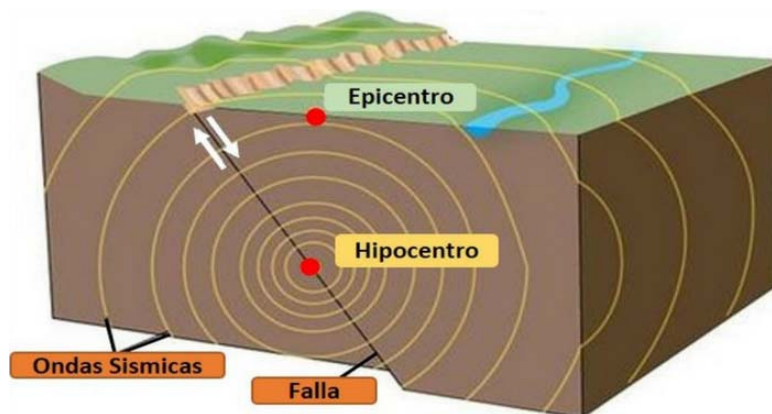
Tipos de falla. Fuente: Terremotos: nuestro planeta vibra bajo el poder de su energía. Guillermo Sagripanti.

1.2 PROPAGACIÓN DEL MOVIMIENTO SÍSMICO

Como hemos visto, el sismo se produce en un punto de la corteza terrestre, que se denomina Hipocentro, y es el lugar donde se libera la energía acumulada por el choque o rozamiento de placas. Entonces, cómo llegamos a percibirlo si nos encontramos en otro lado?

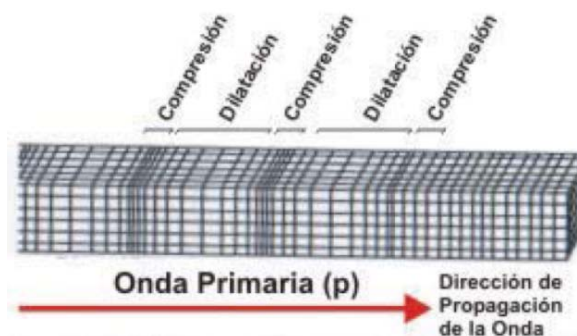
El movimiento sísmico se propaga mediante ondas elásticas (similares al sonido), a partir del Hipocentro. Las ondas sísmicas pueden ser internas (P y S) que sólo viajan por el interior de la Tierra o superficiales (Love y Rayleigh).

En la misma ubicación del Hipocentro, pero a nivel de la superficie terrestre, se encuentra el Epicentro del sismo, que suele ser el lugar donde se percibe el movimiento con la máxima intensidad.



Hipocentro, Epicentro y ondas sísmicas

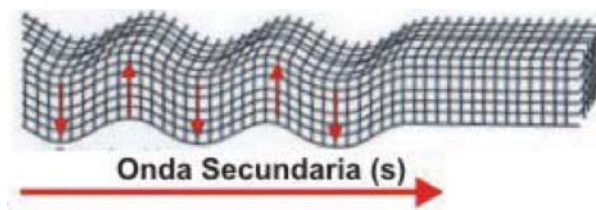
Las ondas internas primarias (P) son las más rápidas (entre 8 y 13 km/s), circulan por el interior de la tierra atravesando sólidos y líquidos. Producen movimientos longitudinales en el sentido de propagación de la onda, generando la compresión y elongación del suelo.



Onda primaria. Fuente: Earthquakes, Bolt, Bruce A.

Ver animación en <https://www.youtube.com/watch?v=ScH3aLjiHLM>

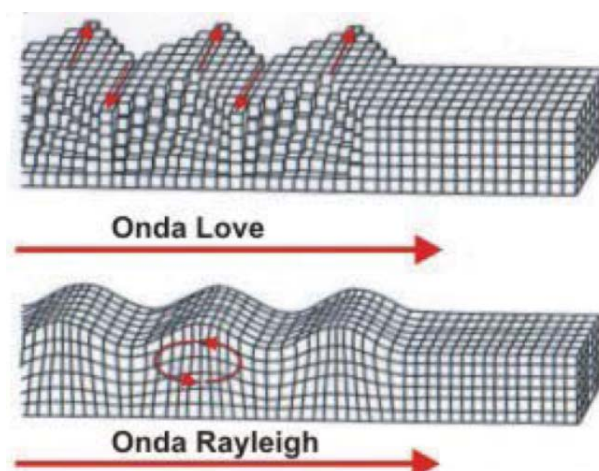
Las ondas secundarias (S) son más lentas que las anteriores (entre 4 y 8 km/s) y producen un movimiento perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Atraviesan sólo los sólidos.



Onda secundaria. Fuente: Earthquakes, Bolt, Bruce A.

Ver animación en <https://www.youtube.com/watch?v=1TZqOSp3Phs>

Las ondas superficiales se forman en la superficie, producto de la interacción entre las ondas P y S. Son las más lentas de todas (3,5 km/s) pero también las más destructivas. Pueden ser de tipo Love o Rayleigh, denominadas en honor a los matemáticos que lograron demostrar teóricamente su existencia.



Ondas superficiales. Fuente: Earthquakes, Bolt, Bruce A.

Ver animación en <https://www.youtube.com/watch?v=cR610wos4e4> y <https://www.youtube.com/watch?v=w8bkqIRky20>

1.3 MEDICIÓN DE LOS SISMOS

Para medir un sismo pueden utilizarse dos parámetros: La intensidad y la magnitud.

La intensidad de un sismo es la fuerza con la que es percibido en un lugar determinado, tiene un carácter subjetivo y puede apreciarse visualizando los efectos provocados en el entorno. La escala más utilizada internacionalmente es la de Mercalli Modificada (MM), compuesta por 12 grados designados en números romanos (I al XII).

I		Detectado sólo por instrumentos
II		Percibido por personas en reposo
III		Sentido dentro de casas y edificios
IV		Sentido dentro y fuera de casas y edificios
V		Casi todos lo sienten. Algunos objetos se caen.
VI		Sentido por todos. Daños leves en algunas construcciones

VII		Daños ligeros en estructuras de buen diseño, moderado en estructuras corrientes y considerables en las malas.
VIII		Daños leves en estructuras bien diseñadas, considerables en las corrientes y grandes en las malas.
IX		Daños considerables en construcciones bien diseñadas, grandes en las corrientes y malas.
X		Destrucción seria en edificios bien contruidos.
XI		Casi nada queda en pie, fisuras en el piso.
XII		Destrucción total, catástrofe.

Escala de Mercalli. Fuente: Terremotos: nuestro planeta vibra bajo el poder de su energía. Guillermo Sagripanti.

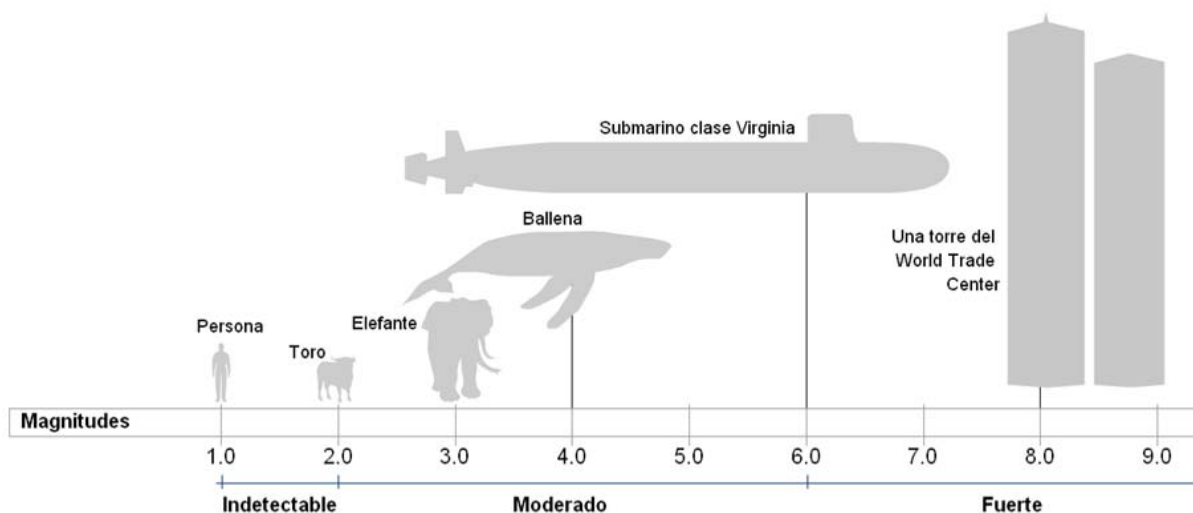
Por otro lado, la magnitud de un sismo es la medida de la cantidad de energía liberada por el sismo en el hipocentro. A diferencia de la intensidad, es un parámetro objetivo obtenido matemáticamente del análisis de los sismogramas. La escala más difundida es la de Richter, expresada en números decimales y sin límites mínimos ni máximos.

La escala de Richter es logarítmica, por lo cual entre dos sismos con una diferencia de magnitud de 1 grado, la diferencia de energía liberada es 32 veces mayor.

Diferencia de magnitud entre 2 sismos	Diferencia de energía equivalente
5	32.000.000
4	1.000.000
3	32.000
2	1.000
1	32
0,2	2

*Fuente: Mitigating Natural Disasters, phenomena, effects and options.
UNDRO/MND*

En el siguiente gráfico puede apreciarse una comparación de magnitudes, suponiendo que la cantidad de energía liberada por un sismo de grado 1, fuera equivalente al peso promedio de una persona adulta.



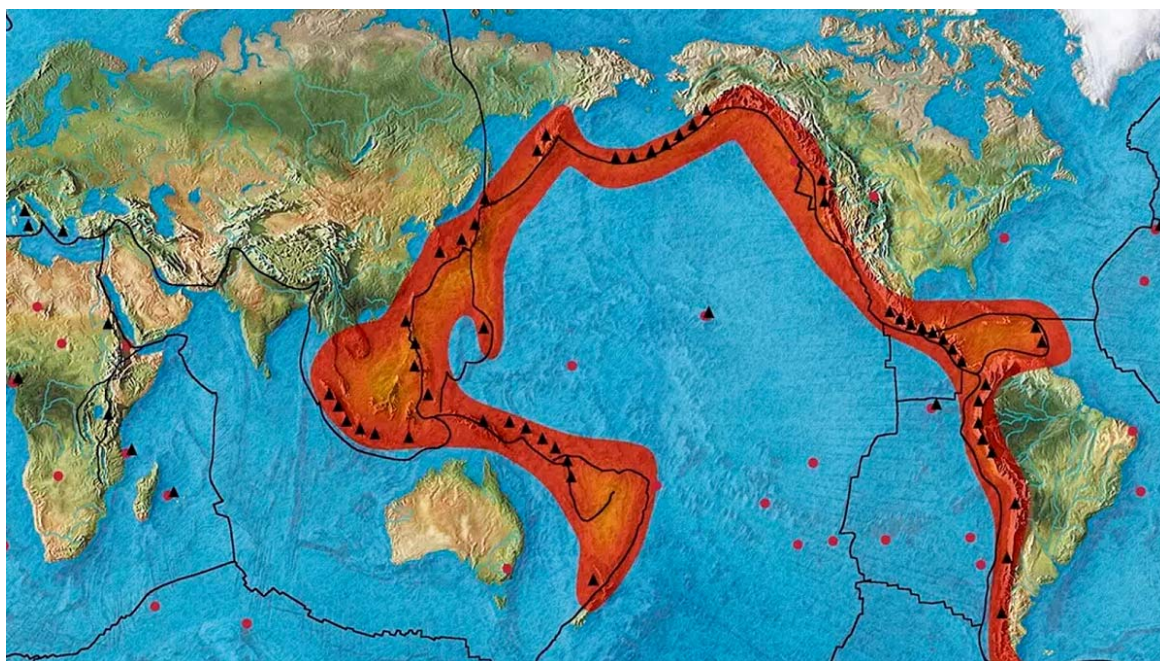
Fuente: USGS, Alberto Cairo

Para un mismo sismo, habrá un valor de magnitud único, pero su intensidad tendrá distintos valores dependiendo del lugar en donde se evalúen los efectos producidos en edificios, personas y territorio.

El mayor terremoto registrado en la historia ocurrió en la ciudad de Valdivia (Chile) el 22 de mayo de 1960, y alcanzó una magnitud de 9,5 grados Richter. En Argentina, el último gran terremoto registrado fue el del 23 de noviembre de 1977, con epicentro en la provincia de San Juan, que alcanzó 7,4 grados de magnitud.

1.4 LOS SISMOS EN EL MUNDO

A nivel mundial, el 90% de la sismicidad total puede asociarse a la mayor zona de contacto entre placas, llamada Cinturón de Fuego del Pacífico. Aquí han tenido lugar los mayores terremotos registrados en el último siglo. El 10% restante queda comprendido entre el Mediterráneo, algunos sectores de Asia y dorsales oceánicas.



Cinturón de fuego del pacífico. Fuente: Web Geoplaneta.net

Los eventos que han causado mayores pérdidas en los últimos años, han ocurrido en bordes de placas tectónicas: México (1985) M 8,1; en Kobe (1995) de M 7,2; en Izmit (Turquía, 1999) de M 7,8; en El Salvador (2001) de M 7,6; en India (2001) de M 7,9 y en Indonesia (2004), que alcanzó la magnitud M 9,2 y provocó un Tsunami devastador recordado en la película “Lo imposible” (2012).

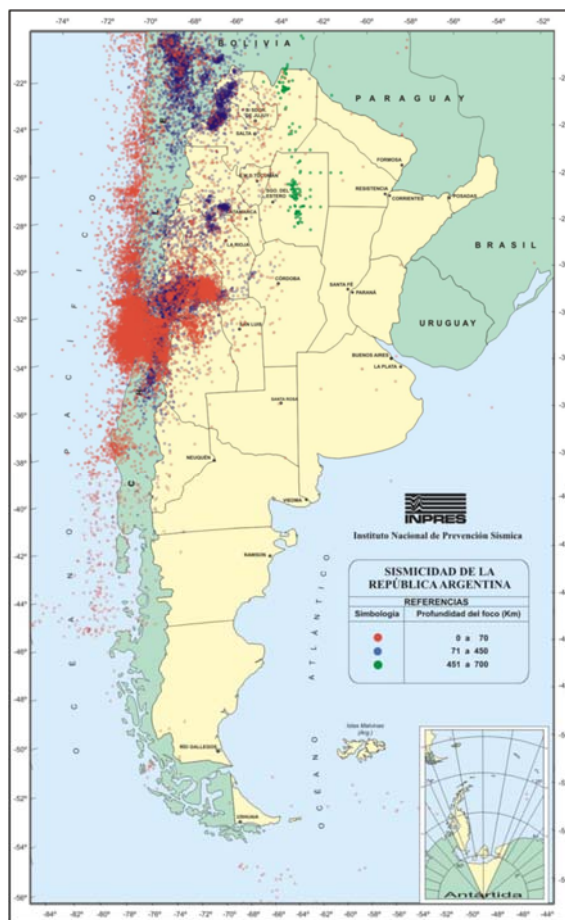
El Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) controla el Centro Nacional de Información sísmica, que se encarga de detectar localización y magnitud de los terremotos en todo el mundo y publicarlos en un mapa interactivo disponible en: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/>

1.5 ACTIVIDAD SÍSMICA EN ARGENTINA

El primer registro escrito que se dispone de un sismo en Argentina data del 13 de septiembre de 1692, en Talavera del Esteco, que produjo daños incluso en la ciudad de Salta, ubicada a 110 km del epicentro.

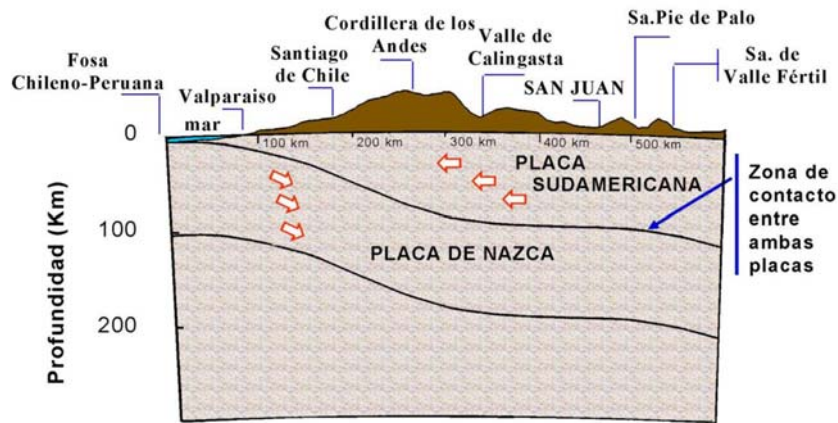
Actualmente, el instituto nacional de prevención sísmica (INPRES) tiene a su cargo la red nacional de estaciones sismológicas, que al año 2016 contaba con 50 estaciones distribuidas en todo el país.

Observando el mapa de registros sísmicos de Argentina, podemos ver que la mayor parte de la actividad sísmica se concentra en la región oeste y noroeste, a lo largo de la cordillera de los Andes.



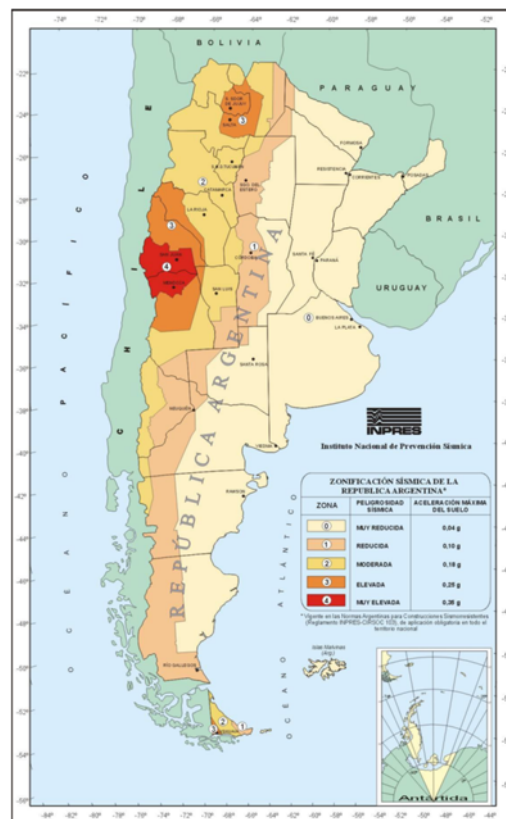
Sismicidad en Argentina. Fuente: [INPRES](http://www.inpres.gub.ar/)

Esta región se encuentra en un ambiente tectónico inestable, producto del choque entre la Placa de Nazca que se desplaza hacia el Este, y la placa Sudamericana que se desplaza hacia el oeste, con una velocidad relativa entre ambas placas de 8 cm por año aproximadamente. Ese choque produce el hundimiento de la placa de Nazca por debajo de la Sudamericana, proceso que se denomina “subducción”.



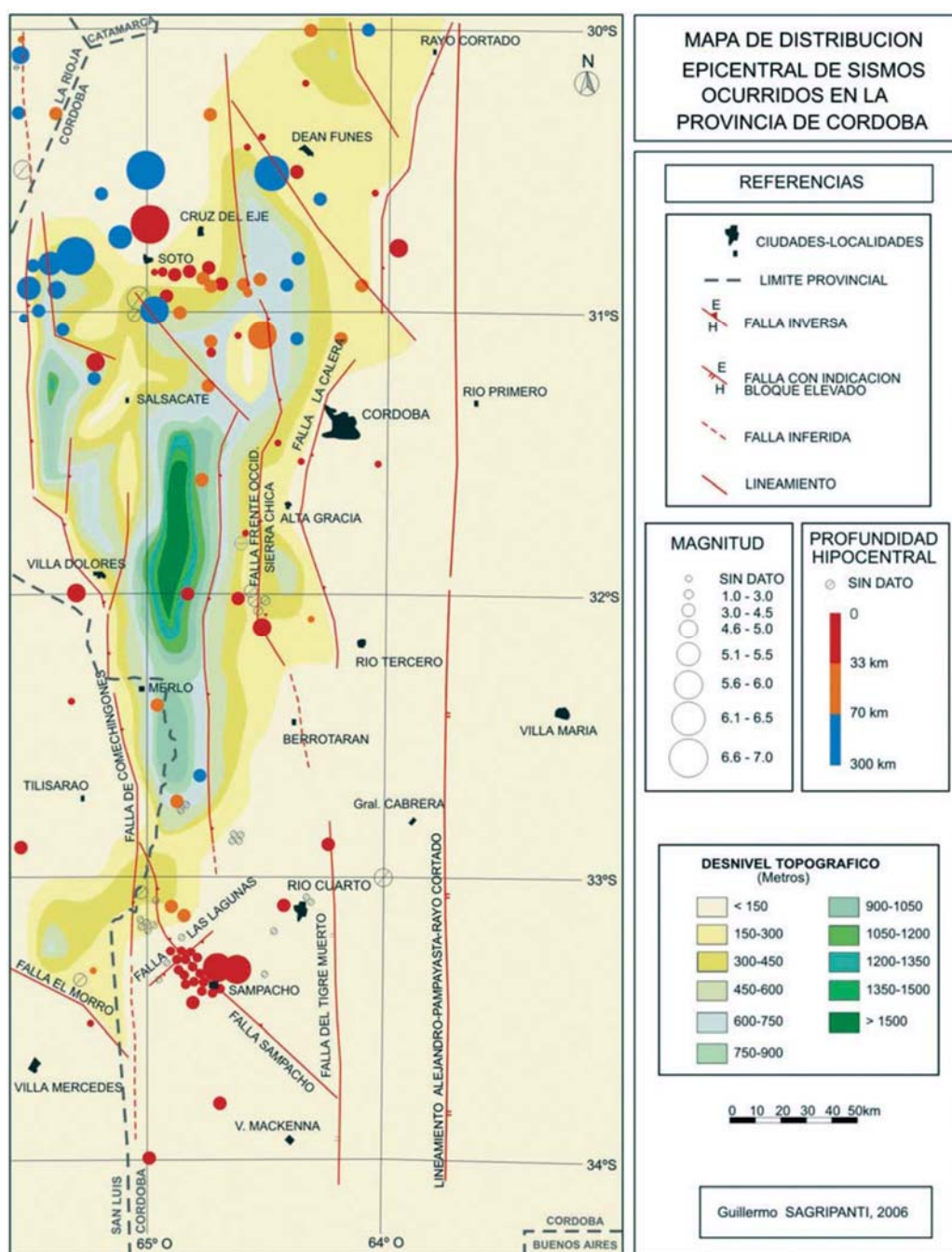
Subducción de la placa de Nazca bajo la sudamericana. Fuente: [INPRES](#)

A partir del estudio de la distribución de la actividad sísmica, considerando los terremotos destructivos registrados entre 1920 y 1976 y su análisis probabilístico, el INPRES elaboró el mapa de zonificación sísmica de la República Argentina, donde se identifican 5 zonas de peligrosidad sísmica, asociadas a diferentes grados de aceleración máxima del suelo que pueden producirse durante un terremoto.



Mapa de zonificación sísmica de la Republica Argentina. Fuente: [INPRES](#)

En la provincia de Córdoba, la actividad sísmica se concentra en tres sectores: las proximidades de Villa de Soto y Cruz del Eje, donde hay registros de eventos que han superado la magnitud de 6 grados Richter; la zona occidental de Sierras Chicas, donde se han registrado eventos superficiales que superan la magnitud M 4,0; y en el sur, sobre la falla de Sampacho se registraron sismos de 5,5 y 6 grados de magnitud que en el año 1934 destruyeron el 90% de la población.



Mapa de sismos ocurridos en la provincia de Córdoba. Fuente: Terremotos: nuestro planeta vibra bajo el poder de su energía. Guillermo Sagripanti.

1.6 RIESGO SÍSMICO

A diferencia de otros desastres naturales, el terremoto tiene la particularidad de ser repentino e impredecible. No disponemos aún de una herramienta que nos permita

anticiparnos y nos brinde tiempo para evacuar la población o resguardar nuestros bienes. Para protegernos debemos entonces recurrir a un correcto planeamiento urbano de nuestras ciudades, distribuyendo la población y sus actividades en el espacio, y utilizando estructuras que puedan soportar los efectos del sismo, de manera que el riesgo sea mínimo.

El riesgo sísmico es el nivel de daño esperado en las construcciones e infraestructura, y la consecuente pérdida de vidas humanas, ante la ocurrencia de un sismo en un sitio determinado.

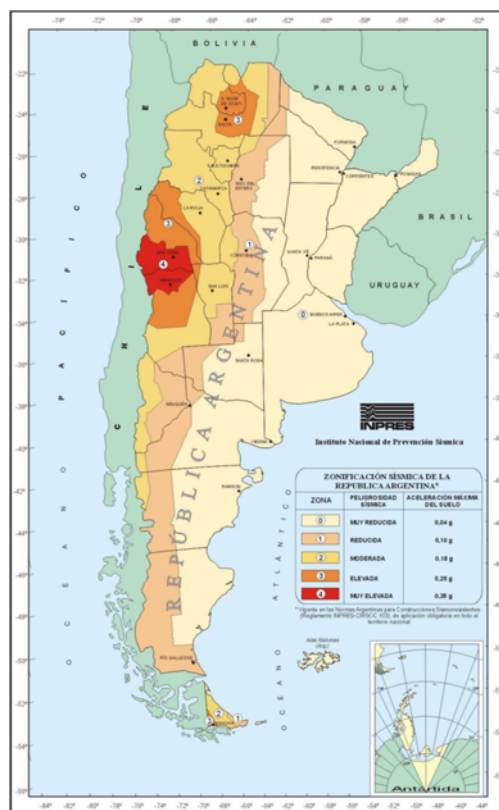
Su evaluación está conformada por diversos parámetros, que los podemos resumir en los siguientes:

$$\text{Riesgo sísmico} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad}$$

1.6.1 El peligro sísmico

El peligro sísmico, o amenaza, es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno sísmico dentro de un periodo de tiempo y un área determinados.

Para determinar la peligrosidad sísmica de un territorio se evalúan los sismos registrados, su frecuencia, magnitud y efectos provocados. Estudios más detallados para zonas más pequeñas pueden considerar también aspectos particulares, tales como la presencia de fallas, y composición del suelo, topografía, nivel freático, etc. Finalmente se construyen mapas de peligrosidad que dividen a una región geográfica en áreas cuya respuesta al movimiento del terreno se considera relativamente parecida. Un ejemplo de ellos, es el mapa de zonificación sísmica de Argentina elaborado por el INPRES.



Mapa de zonificación. Fuente: [INPRES](http://www.inpres.gov.ar)

1.6.2 La vulnerabilidad

El 12 de enero de 2010, con epicentro en Puerto Príncipe, un terremoto de magnitud 7 sacudió a Haití, dejando un saldo de 300.000 víctimas, e importantísimos daños materiales, llegando a colapsar incluso la propia casa de gobierno. El mismo año, el 27 de febrero, un sismo de magnitud 8,8 ocurrió en Chile, con epicentro frente a la costa de la VIII región, a 150 km de la ciudad de Concepción. El saldo fue de solo 800 víctimas, y daños puntuales en infraestructura de transporte y comunicaciones. Por qué un sismo de menor magnitud tuvo consecuencias mucho mayores? La principal diferencia fue la vulnerabilidad de las construcciones. El sismo 8,8 grados encontró en Chile a un país preparado y habituado a enfrentar terremotos, que cuenta con recursos para construir estructuras capaces de soportar estos eventos, mientras que en Haití la situación socio-económica es diferente, y las construcciones precarias abundan.

La vulnerabilidad sísmica de una construcción, se define como su predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico de una severidad determinada. Está directamente relacionada con las características de diseño y construcción.



Una misma forma geométrica conforma un diseño de alta o de baja vulnerabilidad sísmica. Fuente: Izq: azcentral.com. Der: area visual Blog de arte

Es importante también considerar la vulnerabilidad de los elementos no estructurales, sobre todo en tipologías como hospitales, donde la permanencia en servicio resulta fundamental en caso de desastre y su funcionalidad requiere que todos los elementos no estructurales y sus equipamientos permanezcan en servicio después de un sismo.

1.6.3 Mitigación del riesgo

Como pudimos observar en los distintos mapas de registros sísmicos, existen numerosos centros urbanos emplazados en zonas de alta sismicidad, que se encuentran en peligro de sufrir las consecuencias de un fuerte terremoto. Debido a que la peligrosidad sísmica es una característica de la naturaleza que todavía el hombre no es capaz de modificar, la única alternativa disponible para reducir el riesgo sísmico en zonas urbanas existentes consiste en la búsqueda de estrategias para aminorar la vulnerabilidad.

Como podemos reducir la vulnerabilidad?

A escala urbana:

- Patrones de uso del suelo:

Destinar zonas de mayor peligrosidad a la actividad agrícola y espacios verdes, y ubicar los programas de desarrollo más sensibles en zonas más seguras.

Separar las zonas industriales de las residenciales y subdividir los distritos residenciales con espacios libres verdes que limiten los posibles incendios y brinden áreas de evacuación de emergencia.

Descentralizar servicios administrativos y económicos.

- Infraestructura

Diseño de vías de comunicación que garanticen funcionamiento en situaciones de emergencia (como un ancho suficiente para evitar bloqueos por derrumbes o choques) y el acceso a cualquier lugar de la ciudad para operaciones de rescate y evacuación (al menos dos caminos por distrito).

Contar con más de una única fuente de abastecimiento de agua.

Dotar a las redes de distribución de agua y gas de la flexibilidad de material y juntas necesarias para soportar movimientos.

La red de distribución de energía eléctrica de alta tensión debe seguir un trazado seguro libre, sin construcciones próximas.

- Equipamientos

Contar con centros sanitarios y cuerpos de socorro preparados para actuar en forma óptima, distribuidos de manera estratégica para asistir a la totalidad de la población.

Dotar, con una identificación adecuada, de sitios seguros, y lugares de encuentro

A escala arquitectónica

- Proveer de planes de evacuación, sitios seguros y salidas de emergencia en los edificios públicos y privados.
- Realizar estudios geológicos del suelo sobre el que se va a construir.
- Cumpliendo las normas de construcción sismorresistentes establecidas por el INPRES
- Realizando proyectos arquitectónicos que tengan en cuenta la peligrosidad sísmica como condicionante de diseño, y logren un bajo índice de vulnerabilidad con un adecuado diseño geométrico de todos sus componentes, tanto estructurales como no estructurales.