

CURSO ESPECIALIZADO

# PELIGROSIDAD SÍSMICA

Método Determinista  
(DSHA)

Organizado por:



DOCENTE DEL CURSO

**Mag. Ing. Jorge  
Trujillo**

Especialista en Riesgos Sísmicos  
mediante Tecnologías Geoespaciales

Con máster en Análisis del  
Riesgo Sísmico mediante  
Tecnologías Geoespaciales UPM  
- Madrid – España.



POLITÉCNICA

Con más de 5 años de experiencia en  
ingeniería y gestión de proyectos  
estructurales en Consorcio PMO (KAC,  
DOHWA, KUN WON y HG Hanmi Global -  
División de Aeropuertos) y SUNAT -  
División de Infraestructura y  
Mantenimiento.

Ingeniero Civil Colegiado  
(CIP 271808)

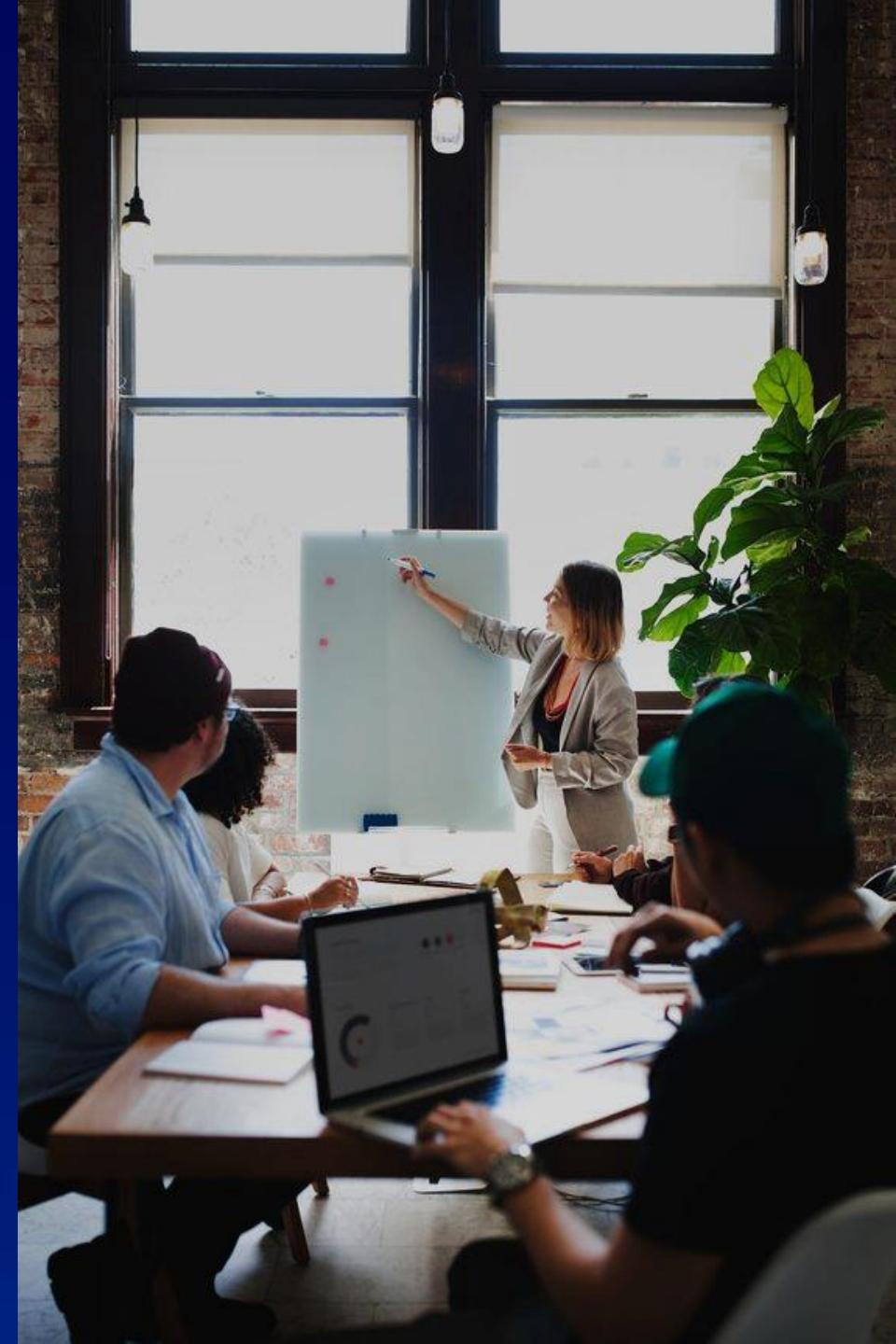


UNIVERSIDAD  
POLÍTÉCNICA  
DE MADRID



# INDICACIONES DE INICIO DE CURSO

- Modalidad:** 100% Virtual (JITSI Meet)
- Frecuencia:** Martes y Jueves
- Horario:** 7pm a 9pm
- Número de sesiones:** 6
- Fecha de inicio:** 06 feb 2025
- Fecha de cierre:** 25 Feb 2025
  
- Intranet del curso:** CURSO DSHA
  
- Break:** de 5 min a las 8PM
  
- Certificado del curso:** Enviado el 27 feb 2025





# Curso Especializado en Peligrosidad Sísmica con Método Determinista (DSHA)

Intranet del  
curso: CURSO  
DSHA

## Material de Clase

Presentaciones

Libros

Artículos

## Enlace de Clase

Únete a la clase virtual a través del siguiente enlace:

[Unirse a la Clase](#)

# SESIONES DEL CURSO

**1.**

Conceptos básicos de sismotectónica y parámetros sísmicos

**2.**

Conceptos generales de riesgos y peligrosidad sísmica

**3.**

Introducción a ArcGIS PRO y OpenQuake

**4.**

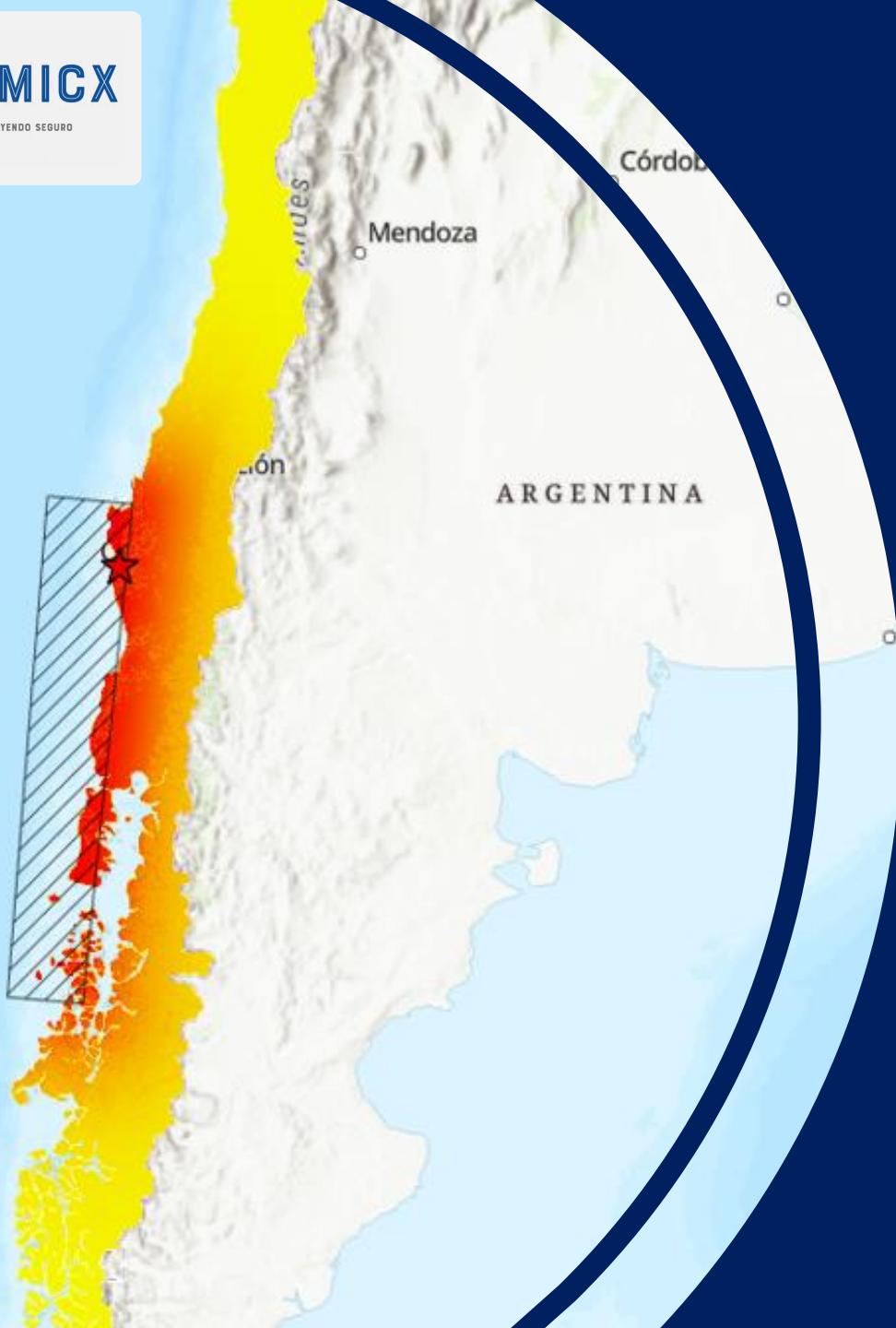
Visualización de base de datos e identificación de los parámetros sísmicos del Terremoto de Japón del 2011 Mw9.0.

**5.**

Reproducción del terremoto de Japón Mw.9.0 , con ArcGIS PRO

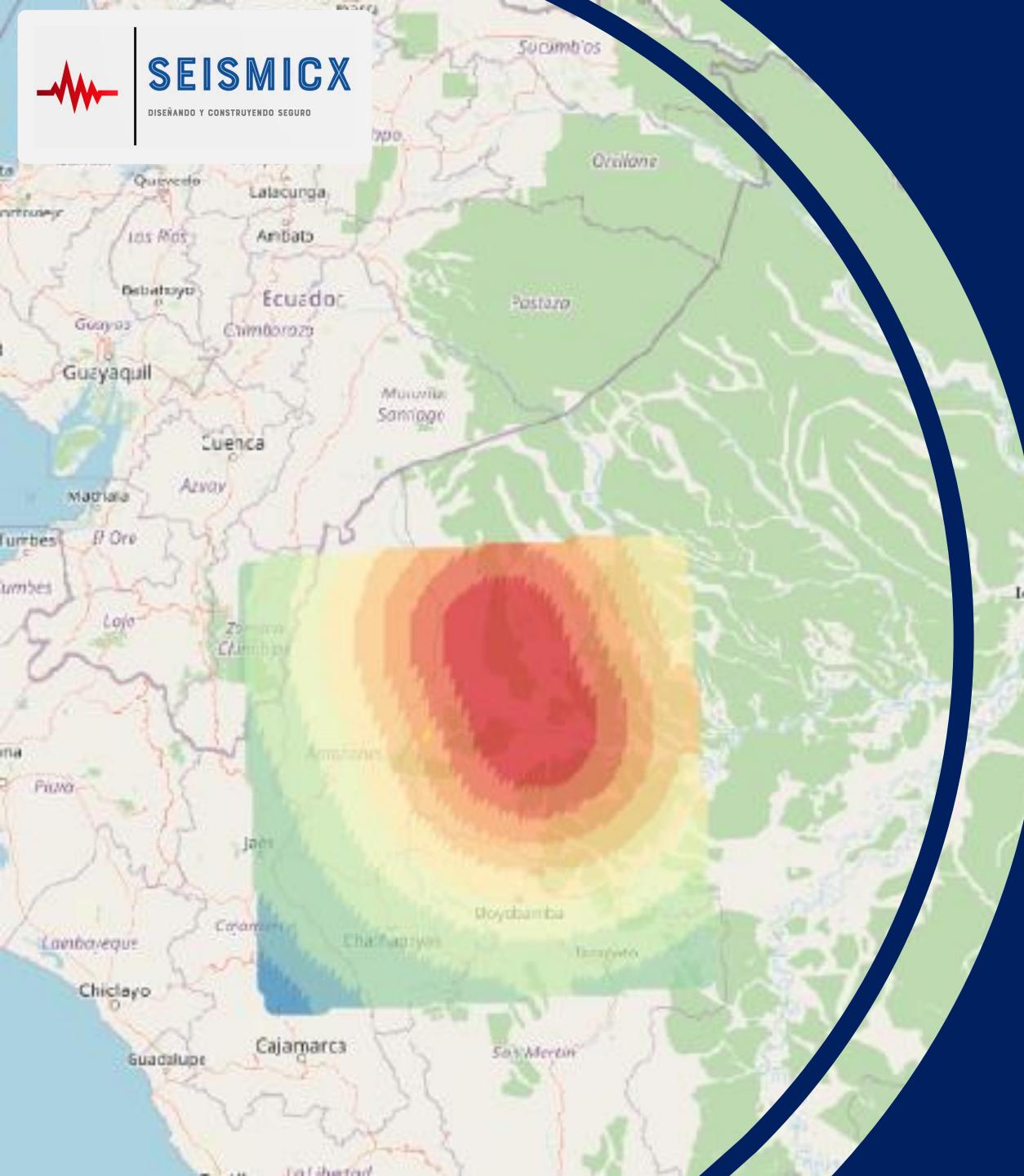
**6.**

Reproducción del terremoto de Japón Mw.9.0 , con OpenQuake



# CLASES DEL CURSO DE PELIGROSIDAD SÍSMICA CON MÉTODO DETERMINISTA

- Clase 1 (Juev, 06 febr.): Conceptos básicos de sismotectónica y parámetros sísmicos.
- Clase 2 (Mar, 11 febr.): Conceptos generales del método determinista DHSA.
- Clase 3 (Juev, 13 febr.): Introducción rápida de ArcGIS PRO y OpenQuake.
- Clase 4 (Mar, 18 febr.): Visualización de base de datos e identificación de los parámetros sísmicos del Terremoto de Japón del 2011 Mw9.0.
- Clase 5 (Juev, 20 febr.): Reproducción del terremoto de Japón Mw.9.0 , con ArcGIS PRO (Obtención de PGA en Roca y Suelo)
- Clase 6 (Mar, 25 febr.): Reproducción del terremoto de Japón Mw.9.0 , con OpenQuake (Obtención de PGA en Roca y Suelo, espectro)



# CLASES DEL CURSO DE PELIGROSIDAD SÍSMICA CON MÉTODO DETERMINISTA

- Clase 1 (Sab, 08 febr.):
  - Conceptos básicos de sismotectónica y parámetros sísmicos.
  - Conceptos generales del método determinista DHSA.
- Clase 2 (Sab, 15 febr.):
  - Introducción rápida de ArcGIS PRO y OpenQuake..
  - Visualización de base de datos e identificación de los parámetros sísmicos del Terremoto de Japón del 2011 Mw9.0.
- Clase 3 (Sab, 22 febr.):
  - Reproducción del terremoto de Japón Mw.9.0 , con ArcGIS PRO (Obtención de PGA en Roca y Suelo)
- Clase 4 (Sab, 01 Marz.):
  - Clase 6 (Mar, 25 febr.): Reproducción del terremoto de Japón Mw.9.0 , con OpenQuake (Obtención de PGA en Roca y Suelo, espectro)



# CONOCIMIENTOS NECESARIOS PARA EL PRESENTE CURSO:

Análisis  
Geoespacial

Geología de  
Terremotos

Sismología,  
sismotectónica

Conocimientos  
básicos de  
peligrosidad  
sísmica



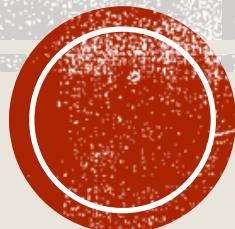
**SEISMICX**

DISEÑANDO Y CONSTRUYENDO SEGURO

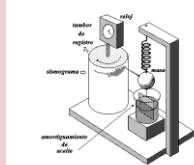


# SISMOTECTÓNICA / SISMOLOGÍA

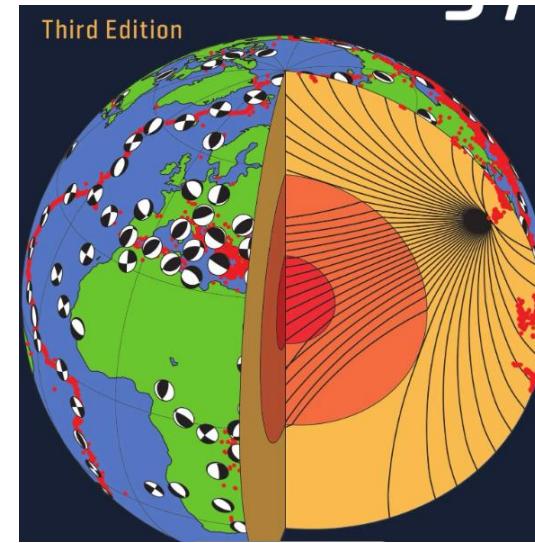
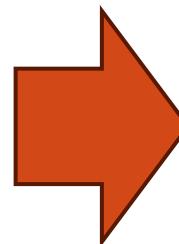
Capítulo 1 – Tectónica de placas



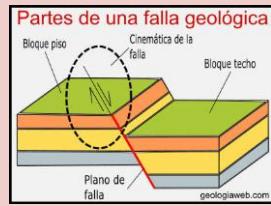
# SISMOLOGÍA / SISMOTECTÓNICA



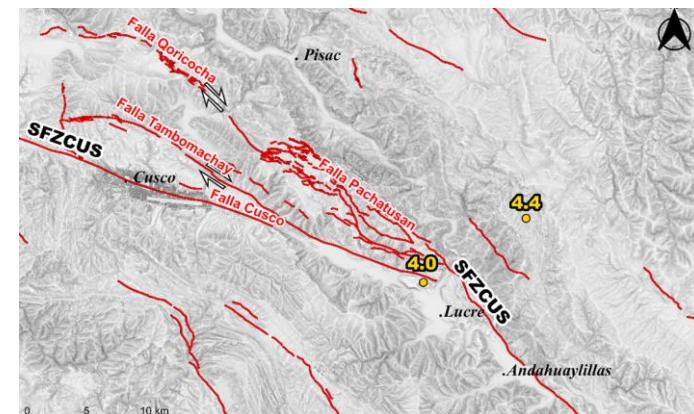
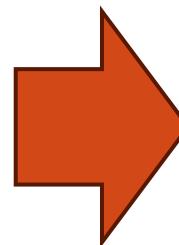
**Sismología:** es la ciencia que estudia los terremotos y la propagación de las ondas sísmicas a través de la Tierra. Se centra en la detección, medición y análisis de los sismos mediante instrumentos como los sismógrafos (Shearer, 2019).



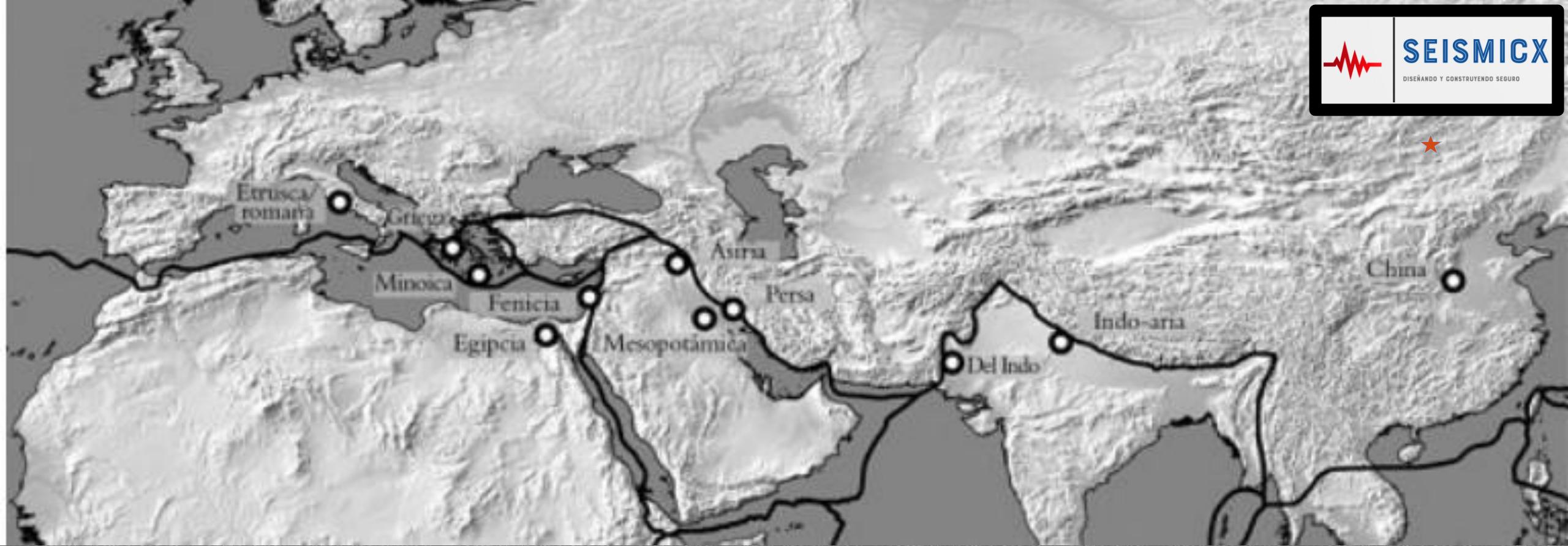
Fuente: Imagen de portada, libro Sismología tercera edición, Shearer (2019)



**Sismotectónica:** analiza la relación entre la actividad sísmica y las estructuras geológicas, como fallas y placas tectónicas. Su objetivo es entender cómo los movimientos tectónicos generan terremotos y cómo se distribuyen espacialmente (Stein & Wysession, 2003).

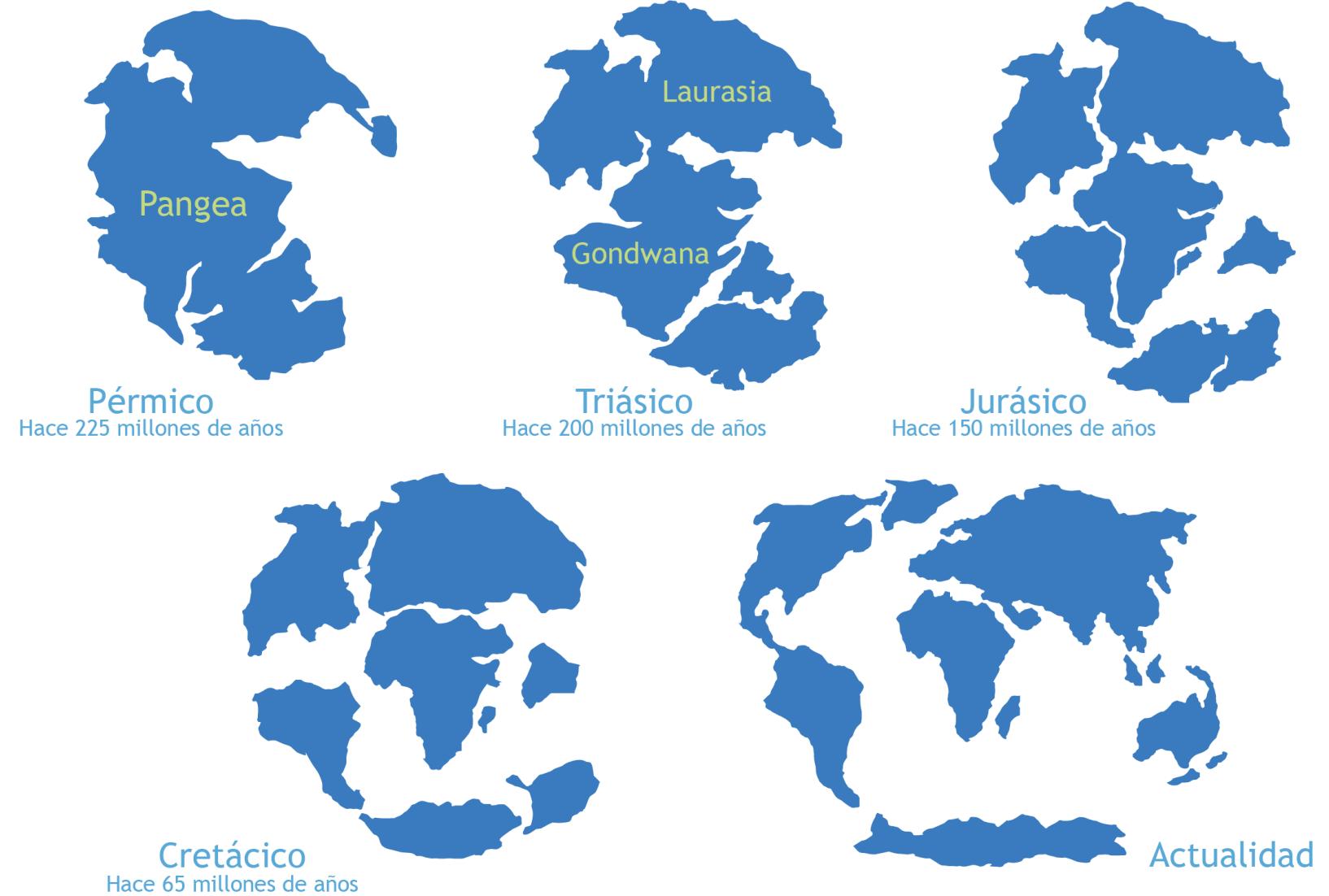


Fuente: INGEMMET, fallas geológicas activas, 2024



# SOMOS LOS HIJOS DE LA TECTÓNICA DE PLACAS

Lewis Dartnell "ORÍGENES"

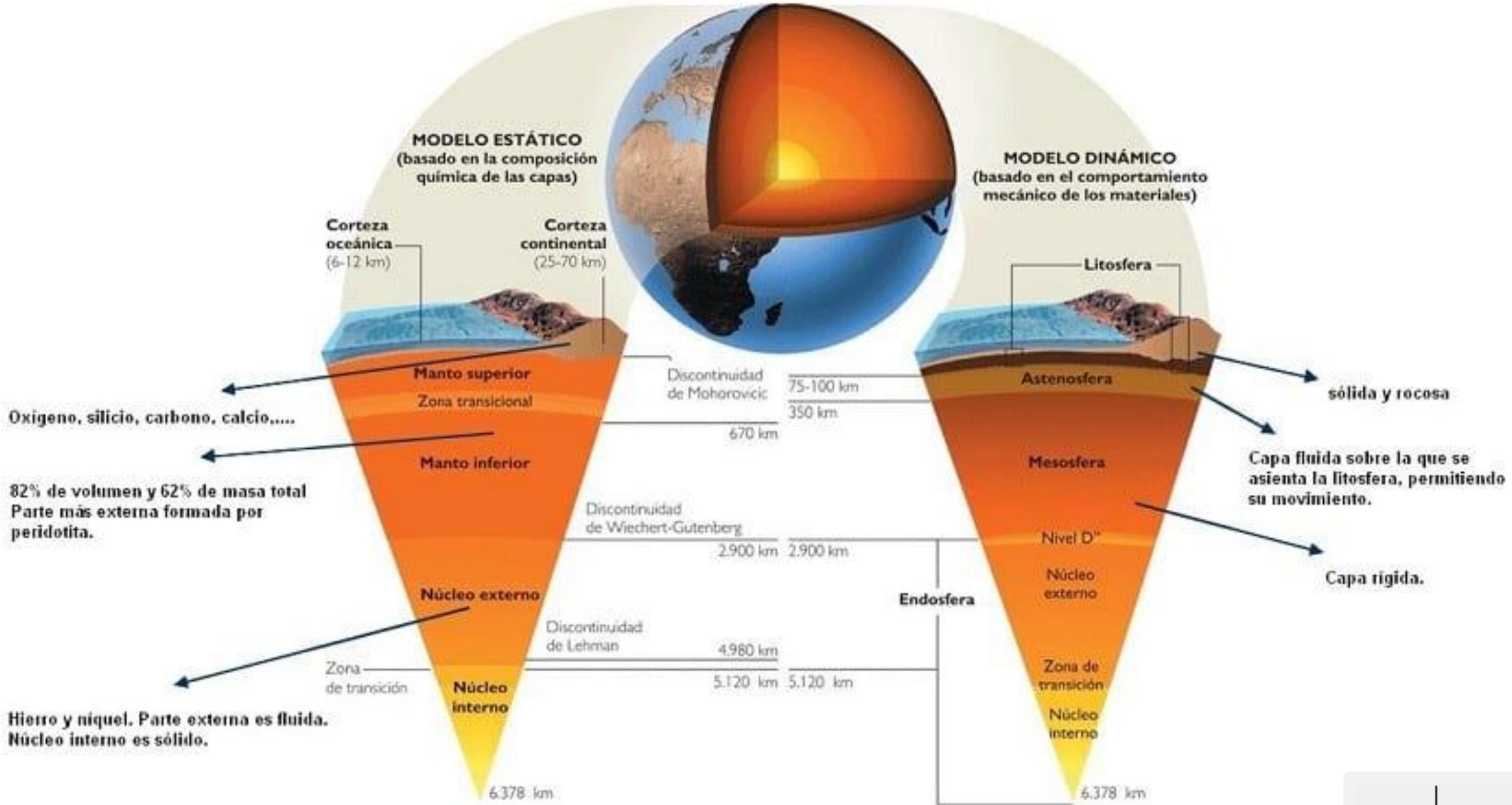


Fuente: Universidad de Alicante "Historia de la Tierra" link: <https://www.historiadeltierra.com/evento-30>

Periodo	Época	Millones de años antes del presente
Cuaternario	Holoceno	0,0117
	Pleistoceno	2,588
Neógeno	Plioceno	5,333
	Mioceno	23,03
Paleógeno	Oligoceno	33,9
	Eoceno	56
	Paleoceno	66
Cretácico	Superior	100,5
	Inferior	145
Jurásico	Superior	163,5
	Medio	174,1
	Inferior	201,3
Triáxico	Superior	235
	Medio	247,2
	Inferior	252,6
Pérmino	Lopingiense	259,9
	Guadalupiense	273,3
	Cisuraliense	298,9
Carbonífero	Pensilvaniense	323,2
	Missisipeciense	358,9
Devónico	Superior	382,7
	Medio	393,3
	Inferior	419,2
Silúrico	Pridoli	423
	Ludlow	427,4
	Wenlock	433,4
	Llandovery	443,4
Ordovícico	Superior	458,4
	Medio	470
	Inferior	485,4
Cámbrico	Furongiense	497
	Serie 3	509
	Serie 2	521
	Terranovense	541

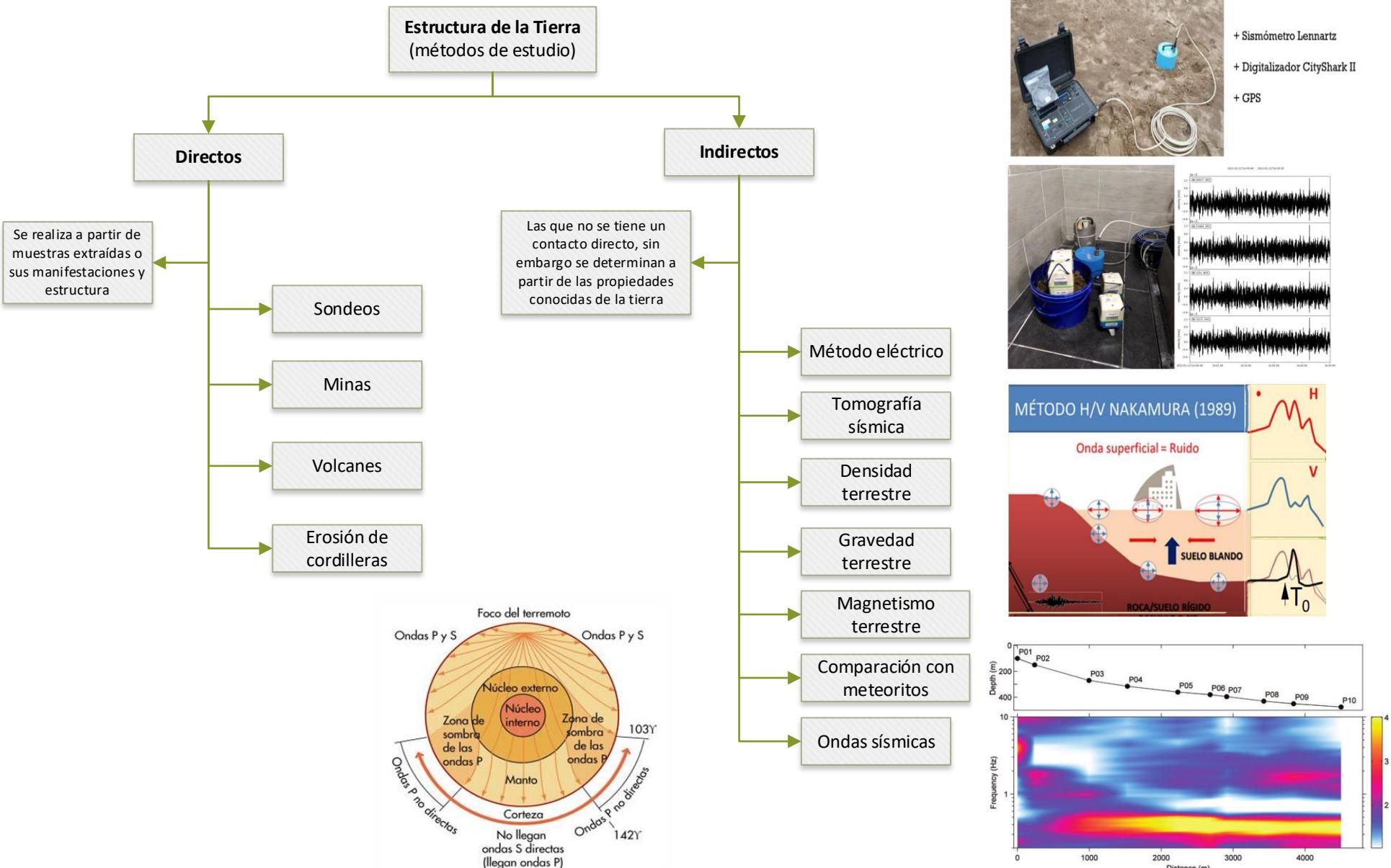
- ← Origen de los animales
- ← Primeras plantas terrestres
- ← Extinción en masa del final del Pérmino
- ← Principal periodo de formación de carbón
- ← Principal periodo de formación de petróleo
- ← Máximo Térmico del Paleoceno-Eoceno  
Origen de los primates y los ungulados
- ← Extinción en masa del final del Cretácico
- ← Origen de los homínidos
- ← Extensión de los ecosistemas herbáceos
- ← Inicio de los ciclos de la Edad de Hielo actual
- ← Interglaciado actual





Fuente: <https://www.meteorologiaenred.com/la-estructura-de-la-tierra.html>

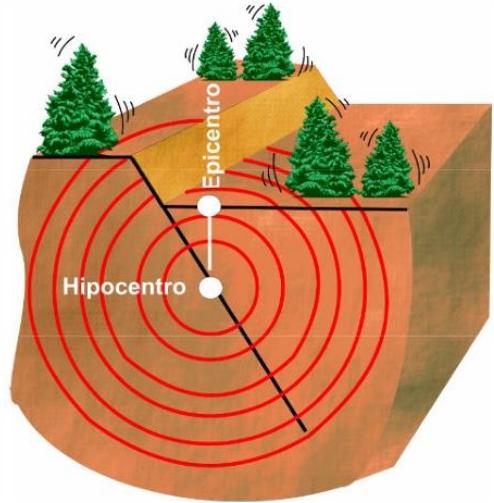
# MÉTODOS DE ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA DE LA TIERRA



# ¿QUÉ ES UN TERREMOTO?

¿Dónde se producen?

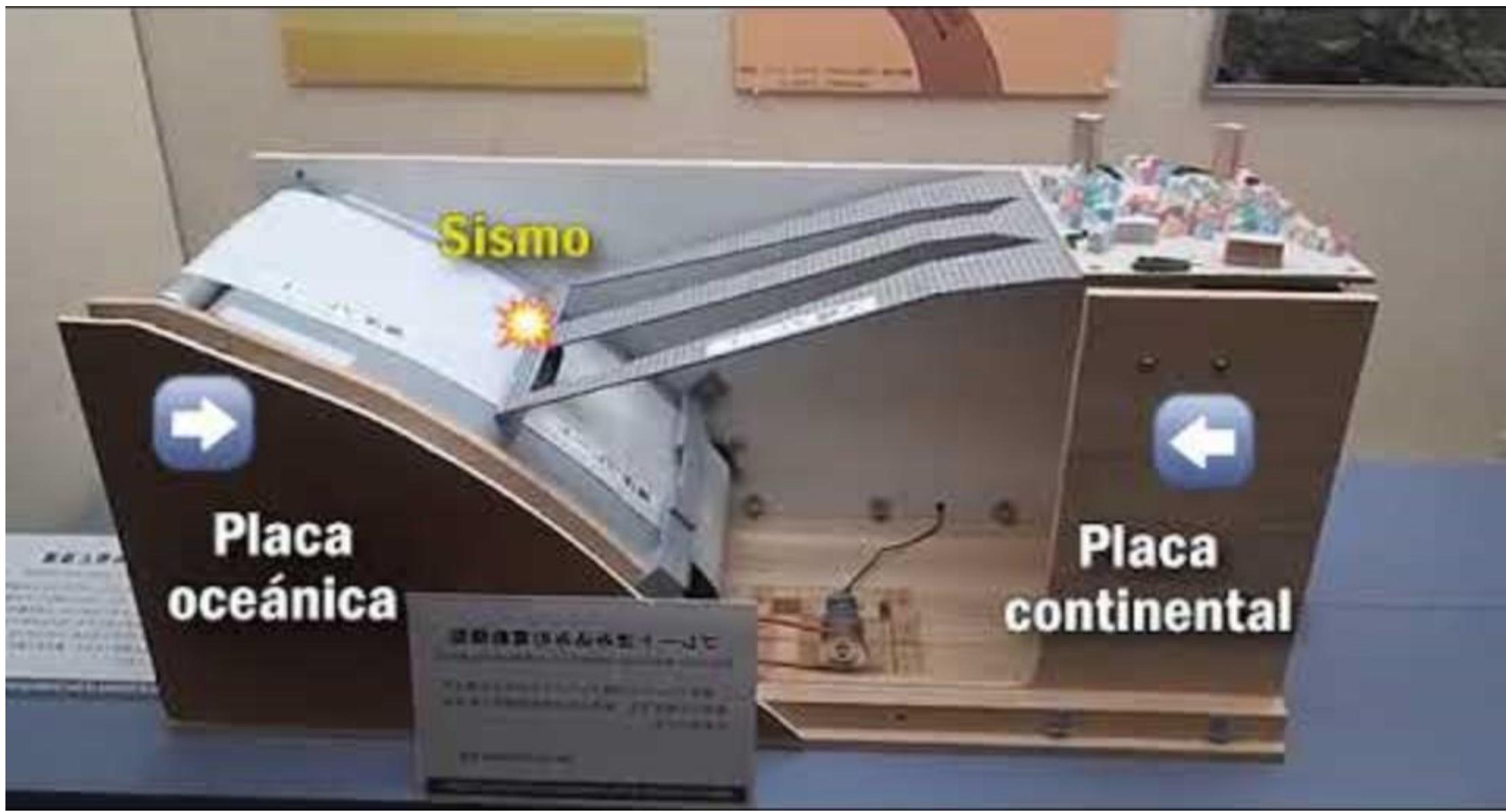
Foco Sísmico (hipocentro) y Epicentro



- Un terremoto es una **vibración** de la Tierra producida por una rápida liberación de energía
- La energía liberada **se irradia** a partir de un punto en todas las direcciones: **el foco**
- La energía se propaga en forma de **ondas**
- Alrededor del mundo, las vibraciones son captadas por unos instrumentos muy sensibles: **los sismógrafos**

Fuente: Apuntes sismología Dr. Rueda





```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.animation as animation

# Configuración del área de visualización
fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 10))
ax.set_xlim(0, 100)
ax.set_ylim(0, 100)
ax.set_title("Simulación de Sismología y Sismotectónica")

# Dibujar fallas tectónicas
falla_x = np.array([20, 80])
falla_y = np.array([50, 50])
ax.plot(falla_x, falla_y, 'k--', linewidth=2, label='Falla Tectónica')
ax.legend()

# Parámetros de la onda sísmica
epicentro = (50, 50) # Coordenadas del epicentro
velocidad_onda = 2 # Velocidad de propagación de la onda
amplitud_maxima = 10 # Amplitud máxima de la onda

# Función para actualizar la animación
def update(frame):
    # Limpiar el gráfico anterior
    ax.clear()
    ax.set_xlim(0, 100)
    ax.set_ylim(0, 100)
    ax.set_title("Simulación de Sismología y Sismotectónica")

    # Dibujar la falla tectónica
    ax.plot(falla_x, falla_y, 'k--', linewidth=2, label='Falla Tectónica')
    ax.legend()

    # Calcular la propagación de la onda
    tiempo = frame * 0.1 # Tiempo simulado
    x, y = np.meshgrid(np.arange(0, 100, 1), np.arange(0, 100, 1))
    distancia = np.sqrt((x - epicentro[0])**2 + (y - epicentro[1])**2)
    amplitud = amplitud_maxima * np.exp(-0.1 * distancia) * np.sin(distancia - velocidad_onda * tiempo)

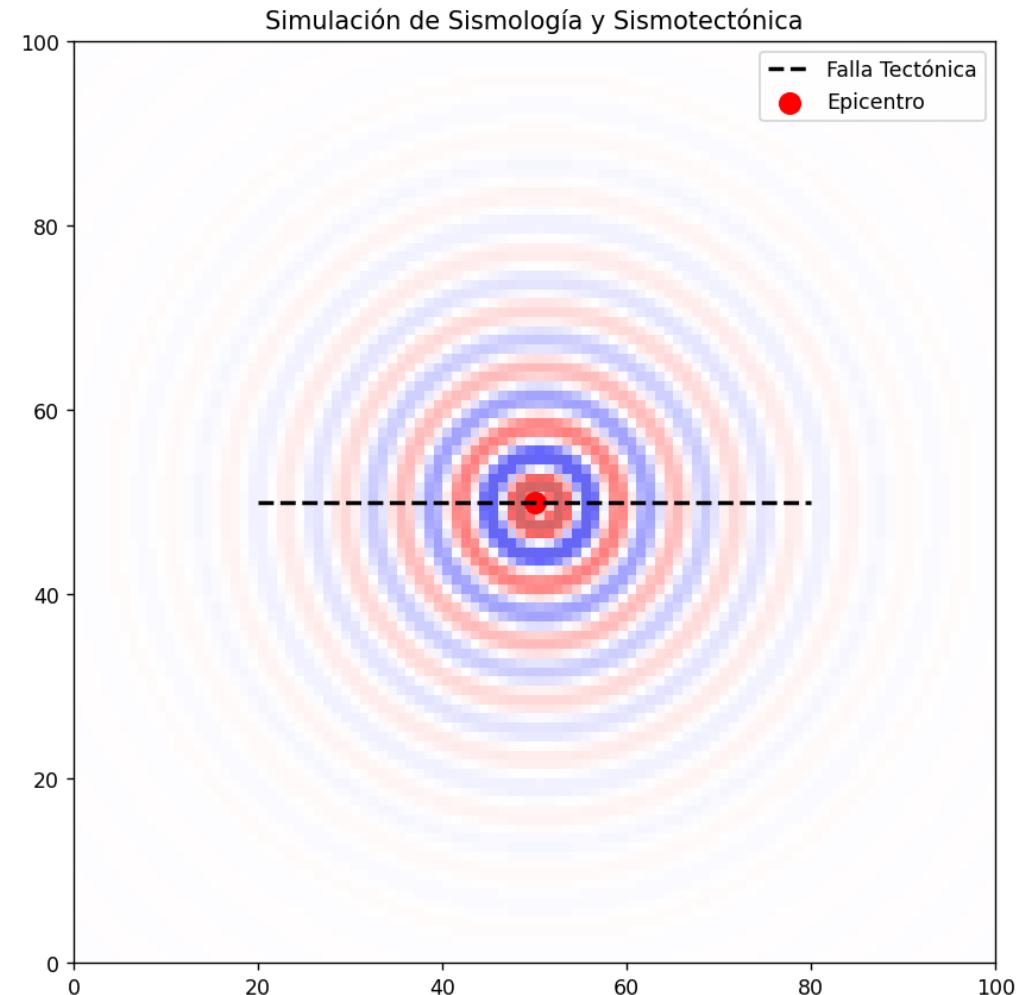
    # Dibujar la onda sísmica
    ax.imshow(amplitud, extent=(0, 100, 0, 100), cmap='seismic', alpha=0.6, vmin=-amplitud_maxima, vmax=amplitud_maxima)

    # Dibujar el epicentro
    ax.scatter(epicentro[0], epicentro[1], color='red', s=100, label='Epicentro')
    ax.legend()

    # Crear la animación
    ani = animation.FuncAnimation(fig, update, frames=100, interval=50, blit=False)

    # Mostrar la animación
    plt.show()

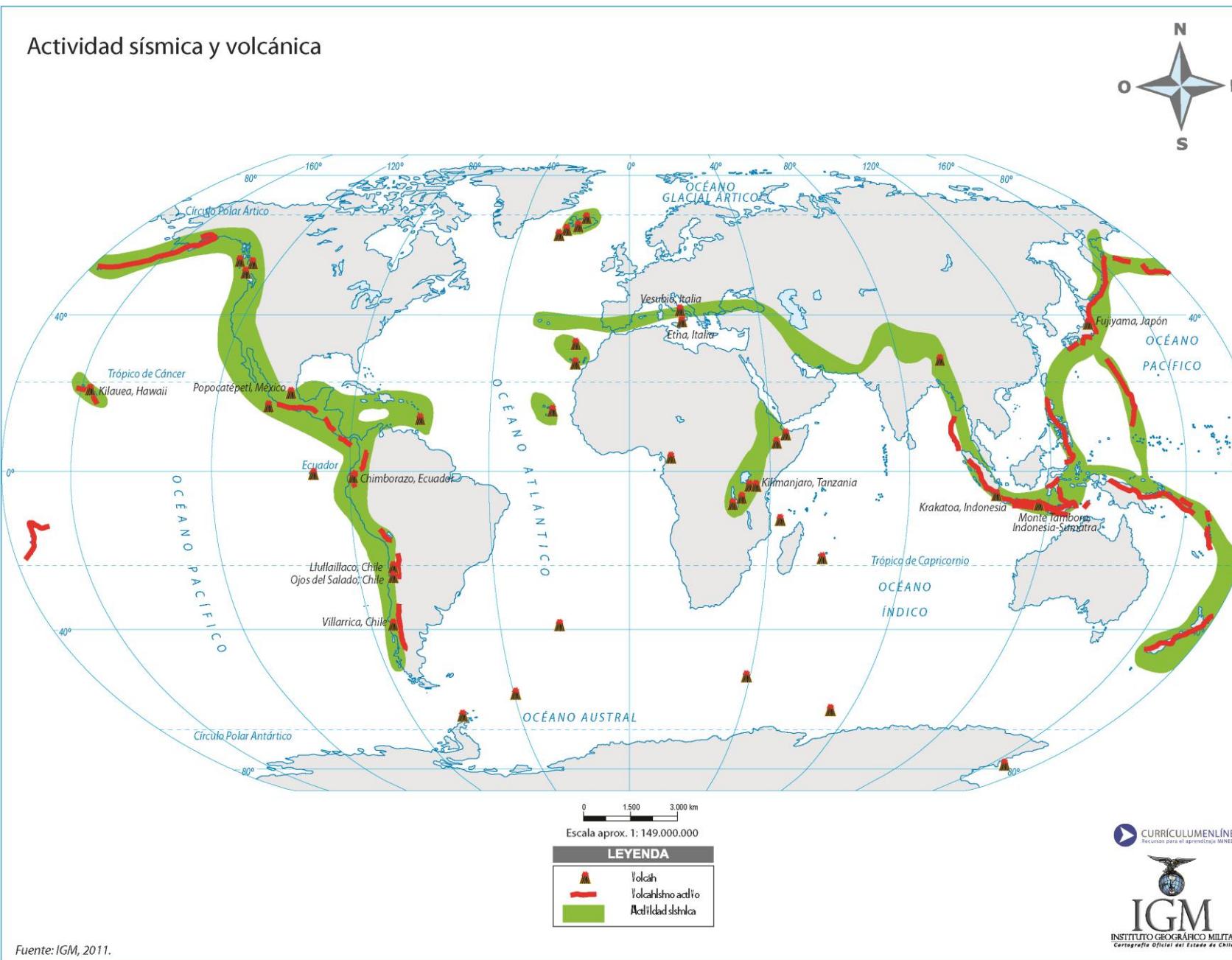
```



**SEISMICX**

DISEÑANDO Y CONSTRUYENDO SEGURO

# MAYOR ACTIVIDAD SÍSMICA EN EL MUNDO





# ESTAS SON ALGUNAS DE LAS REGIONES CON MAYOR ACTIVIDAD SÍSMICA:

## 1. Cinturón de Fuego del Pacífico

- Es la zona más activa del mundo, concentrando aproximadamente el **80%** de los terremotos globales (USGS, 2023).
- Incluye países como Chile, Perú, Ecuador, México, Estados Unidos (California y Alaska), Japón, Filipinas, Indonesia y Nueva Zelanda.
- Se caracteriza por la subducción de placas oceánicas bajo placas continentales, generando megaterremotos y tsunamis (ISC, 2023).

## 2. Cinturón Alpide-Himalayo

- Segunda zona más activa, abarca desde el Mediterráneo hasta el Himalaya (GSHAP, 1999).
- Incluye países como Italia, Turquía, Irán, Pakistán, India, Nepal y China.
- Se debe a la colisión de la Placa Africana, Indoaustraliana y Euroasiática, generando grandes terremotos como el de Nepal en 2015 (EMSC, 2023).

## 3. Dorsales Oceánicas y Zonas de Expansión

- Son áreas sísmicamente activas en los fondos oceánicos, como la Dorsal Mesoatlántica.
- Aunque los terremotos aquí no son tan destructivos en tierra, sí generan actividad tectónica significativa (USGS, 2023).

## 4. Fallas Transformantes

- Algunas de las más peligrosas incluyen:
  - Falla de San Andrés (EE.UU.)
  - Falla del Mar Muerto (Oriente Medio)
  - Falla de Anatolia (Turquía)
- Estas fallas generan terremotos superficiales de alta magnitud (USGS, 2023).

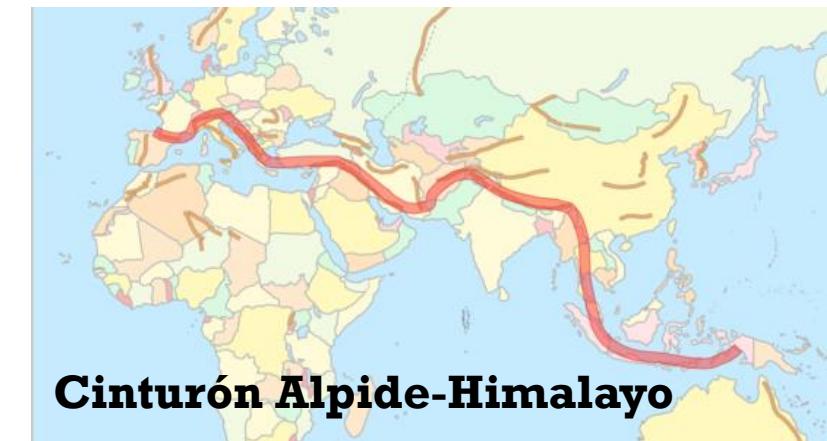
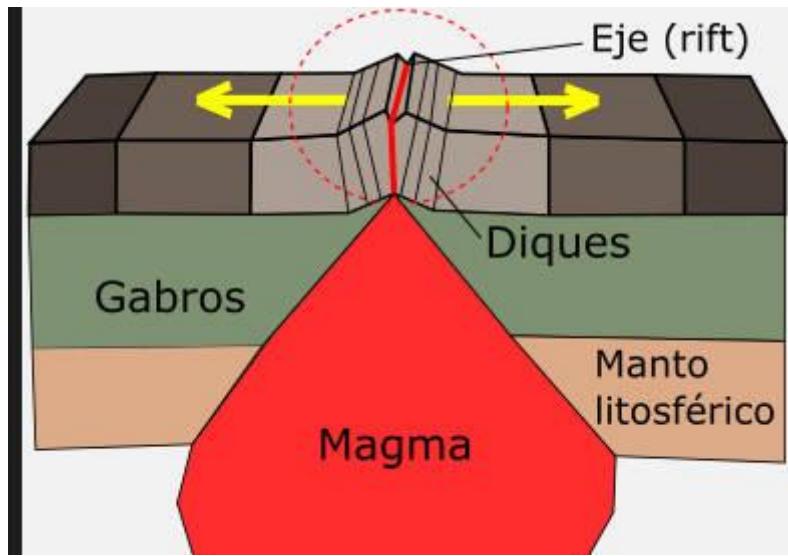
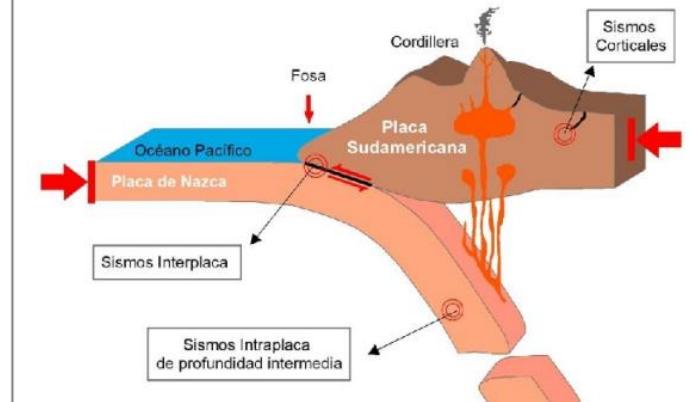
## 5. Mención especial: Zonas Intraplaca

- Aunque la mayoría de los sismos ocurren en los bordes de placas, hay zonas dentro de ellas que han generado grandes terremotos, como:
  - Zona de Nueva Madrid (EE.UU.)
  - Escudo Canadiense
  - Sismos en Brasil y la Amazonía peruana

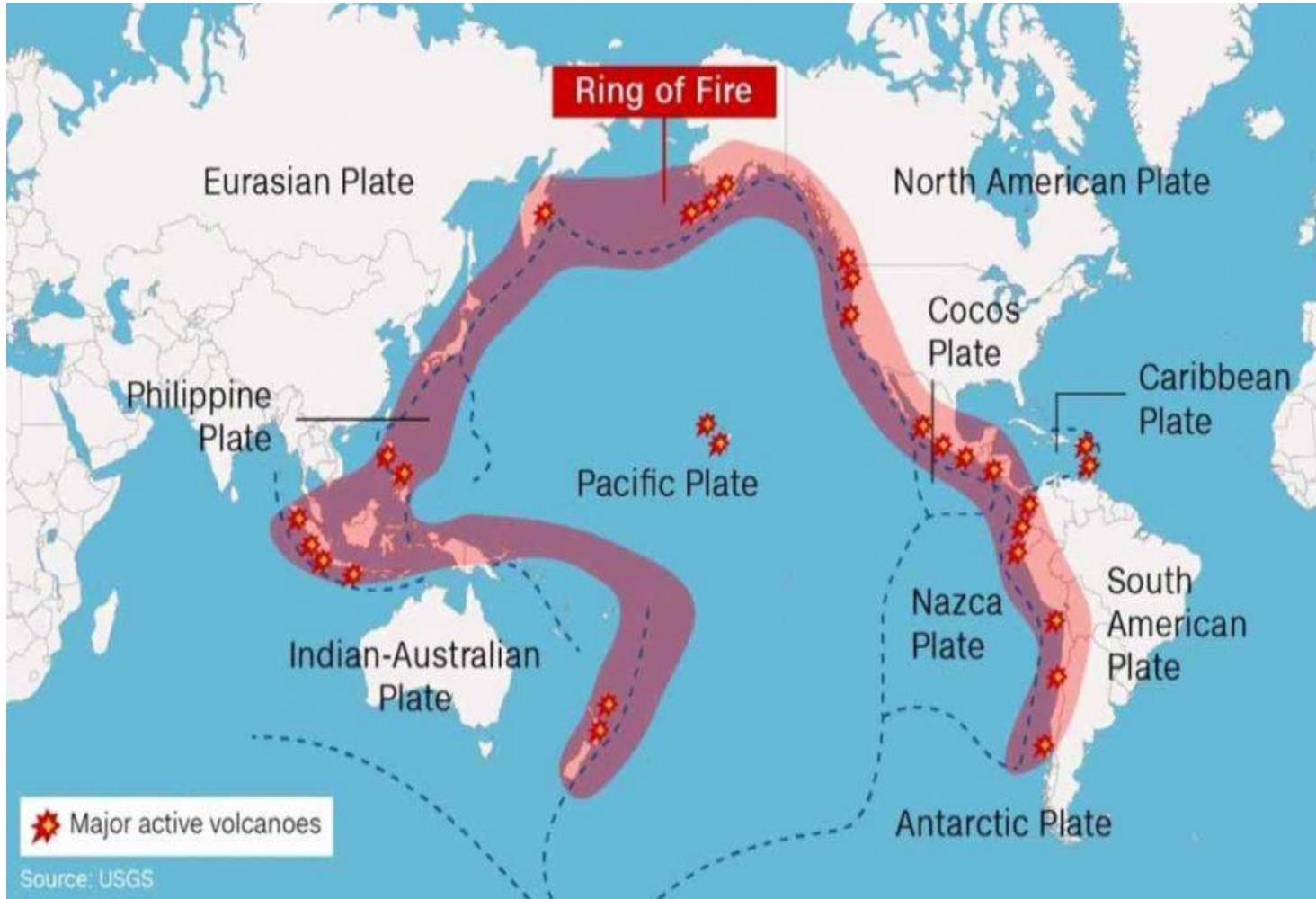


**SEISMICX**

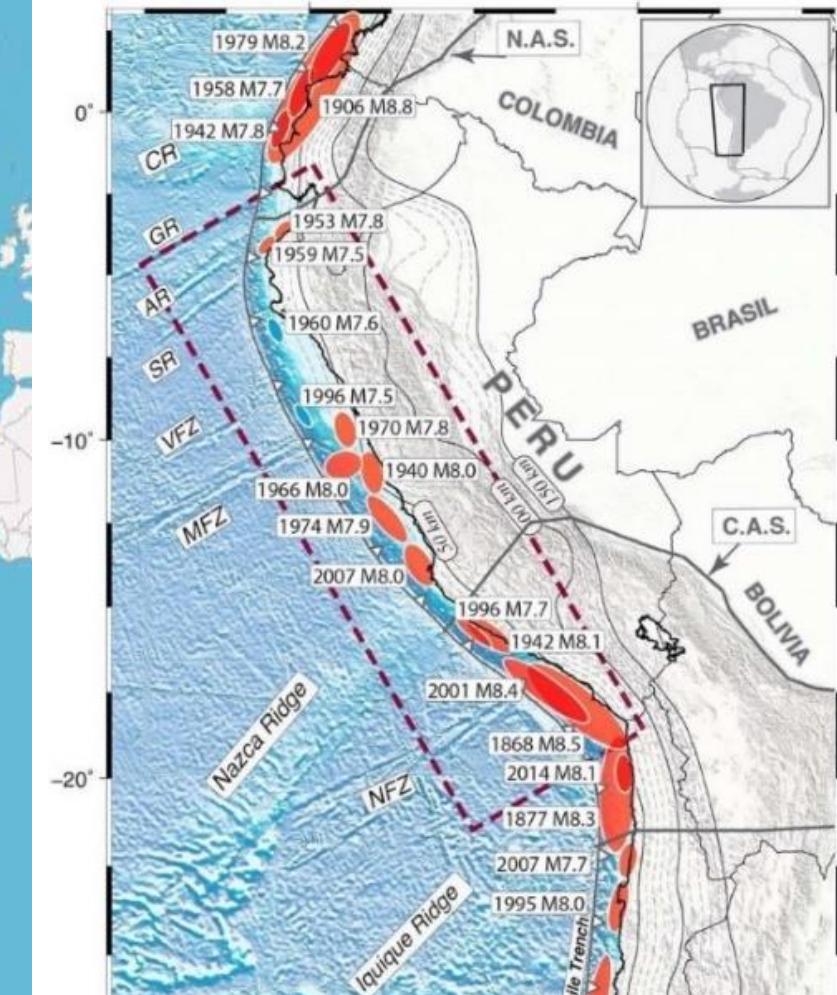
DISEÑANDO Y CONSTRUYENDO SEGURO



# MAYOR ACTIVIDAD SÍSMICA EN EL MUNDO



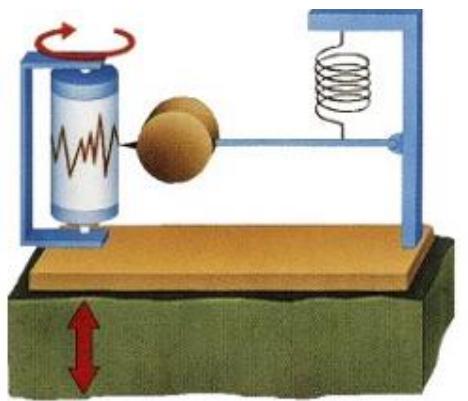
Fuente: USGS



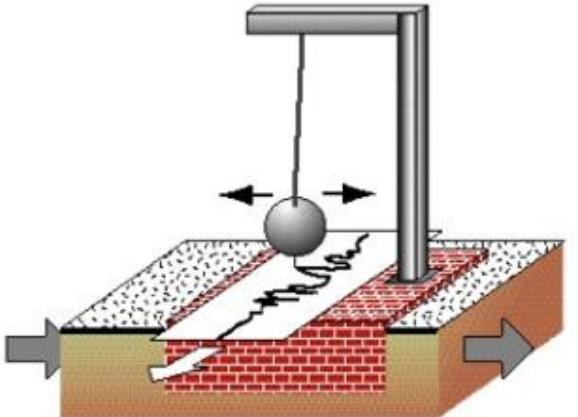
Fuente: Villegas – Lanza et al (2020)



# INSTRUMENTACIÓN

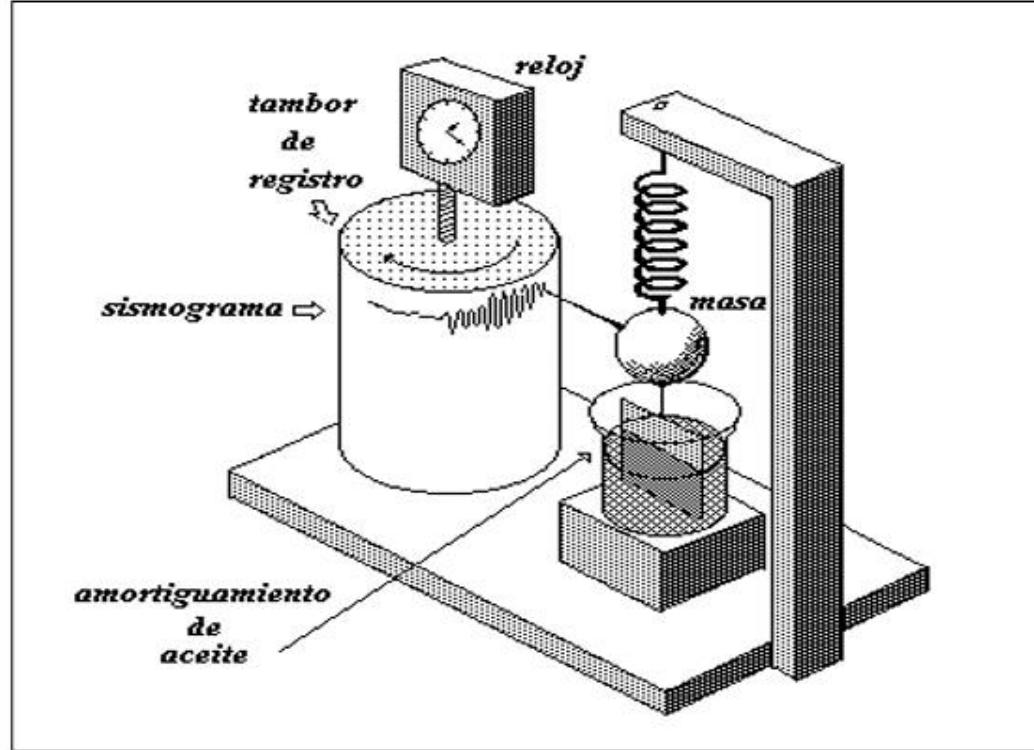


Vertical Mechanical Seismograph

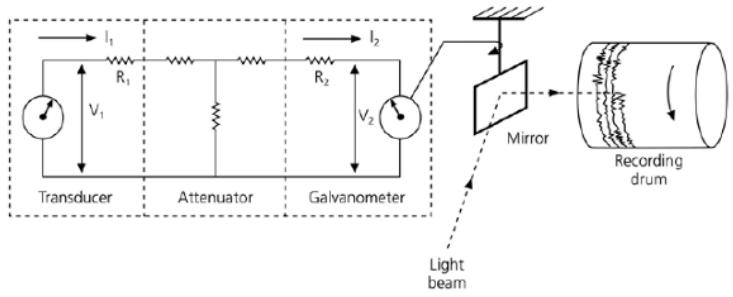


Horizontal Mechanical Seismograph

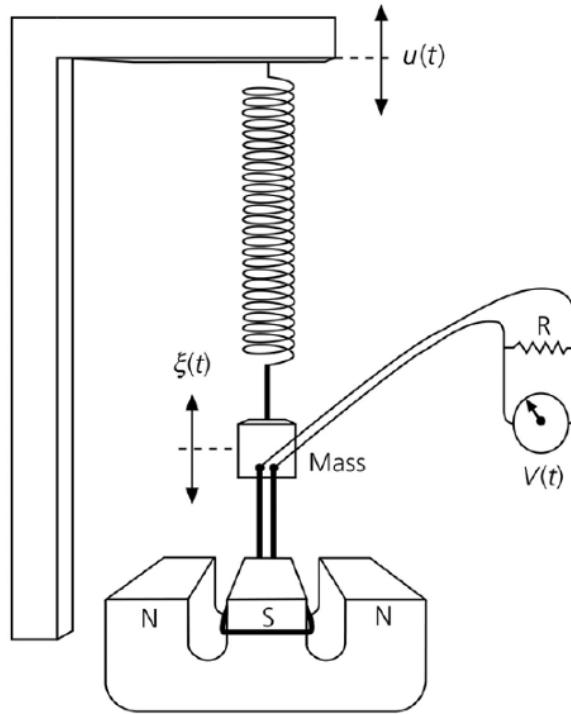




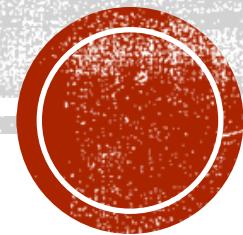
- **Sismómetro:** • Un sismómetro es un sensor que se utiliza para detectar movimientos débiles del suelo. El tipo más común de sismómetro está hecho de un péndulo o una masa montada en un resorte.
- **Sismógrafo:** • Es un sistema instrumental que detecta, amplifica y registra vibraciones débiles del movimiento del suelo. El sismómetro forma parte del sismógrafo.
- **Sismograma:** • Gráfico que muestra el movimiento del suelo (eje y) frente al tiempo (eje x).
- **Acelerógrafo:** • Un registrador del movimiento del suelo cuya salida es proporcional a la aceleración. • Se usan para registrar movimientos Fuertes, donde los sismógrafos están saturados.



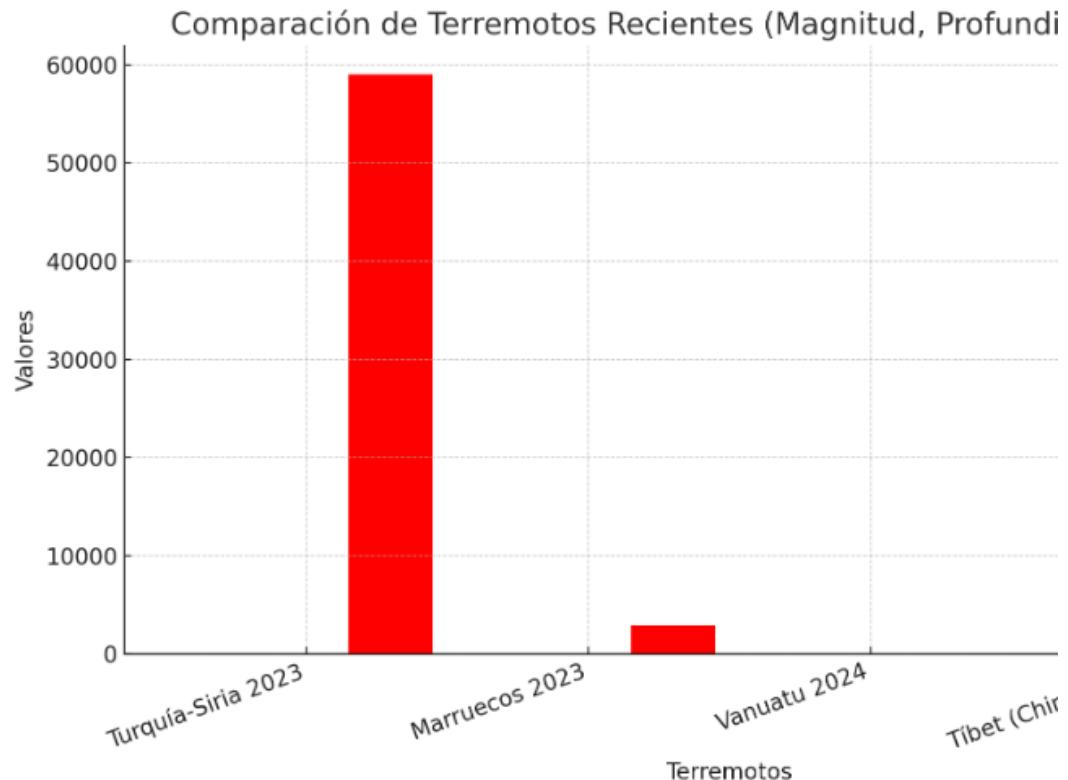
El voltaje inducido en la bobina es proporcional a la **velocidad** del movimiento del suelo



## SISMÓGRAFO ELECTROMAGNÉTICO



# TERREMOTOS DESTRUCTIVOS RECIENTES:



- 1. Turquía-Siria (6 feb 2023) - Magnitud 7.8, profundidad 17.9 km, 59,000 muertes**
- 2. Marruecos (8 sep 2023) - Magnitud 6.8, profundidad 26 km, 2,960 muertes**
- 3. Vanuatu (3 dic 2024) - Magnitud 7.3, profundidad 10 km, 14 muertes**
- 4. Tibet (7 ene 2025) - Magnitud 6.8, profundidad 35 km, 106 muertes**

# TERREMOTO DE TURQUÍA E IRÁN 2023



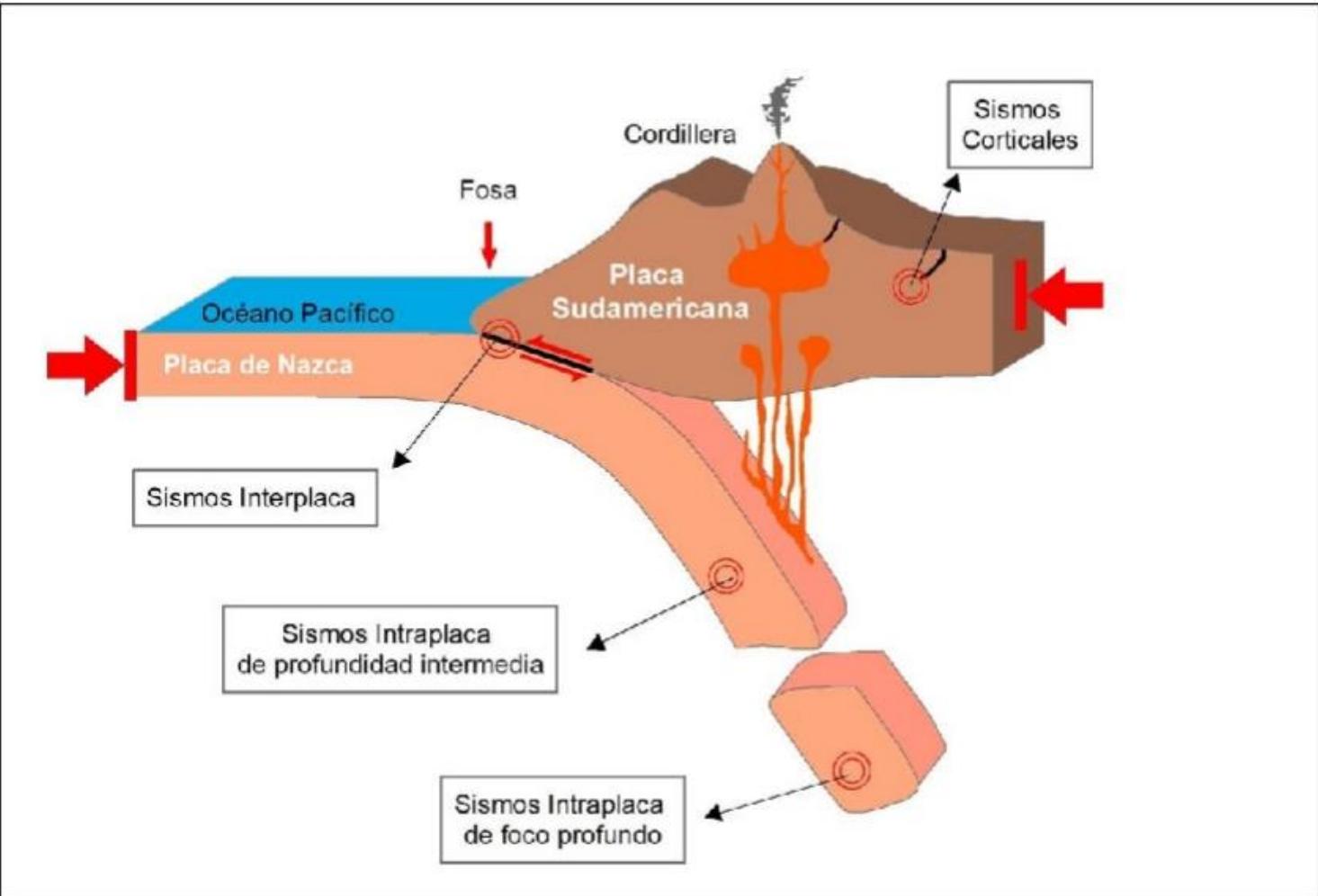
Fuente: Ozturk, M., Arslan, M. H., & Korkmaz, H. H. (2023)



SEISMICX

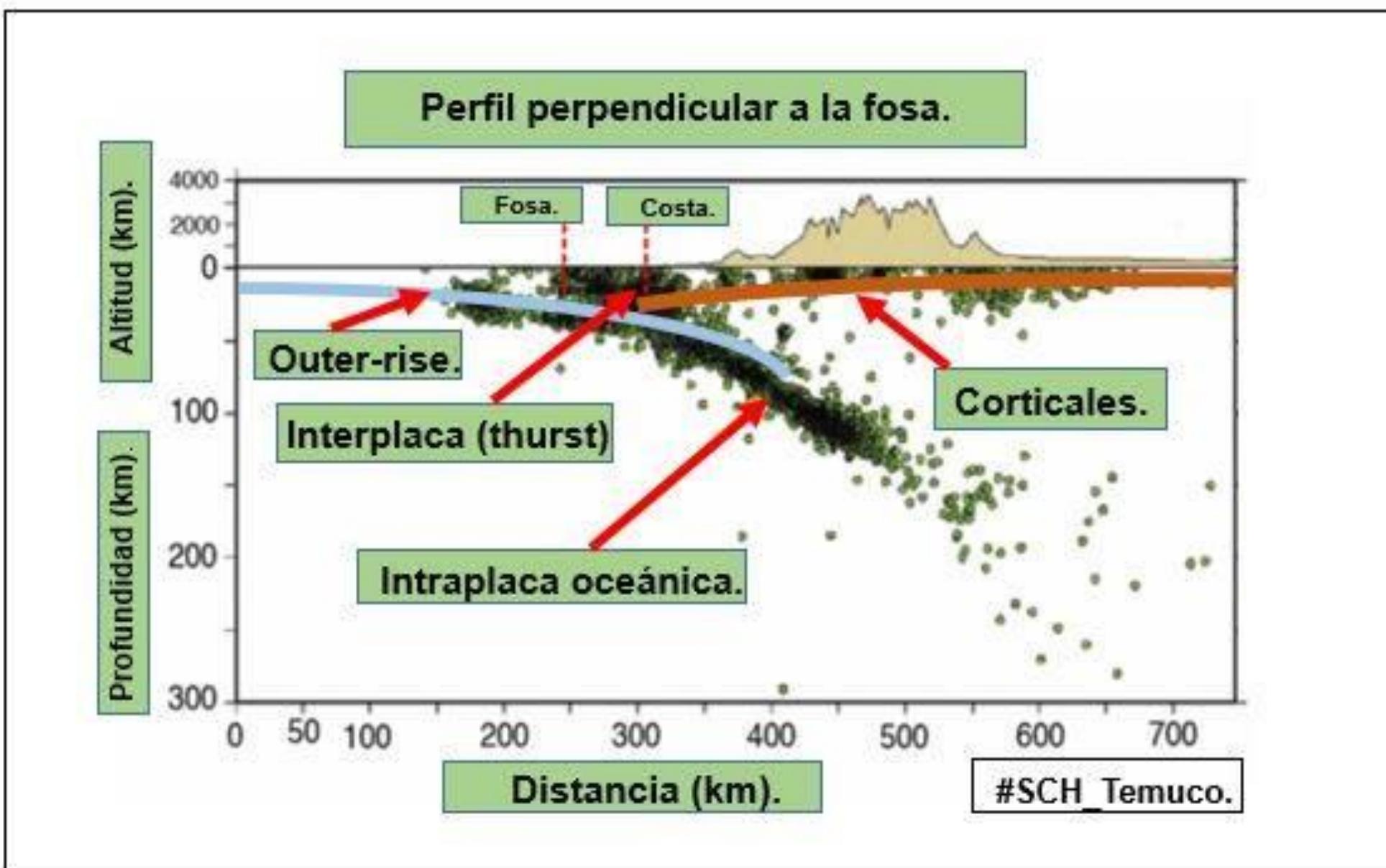
DISEÑANDO Y CONSTRUYENDO SEGURO

# TIPOS DE SISMOS:



Fuente: Tipos de sismos acorde IGP (2020)

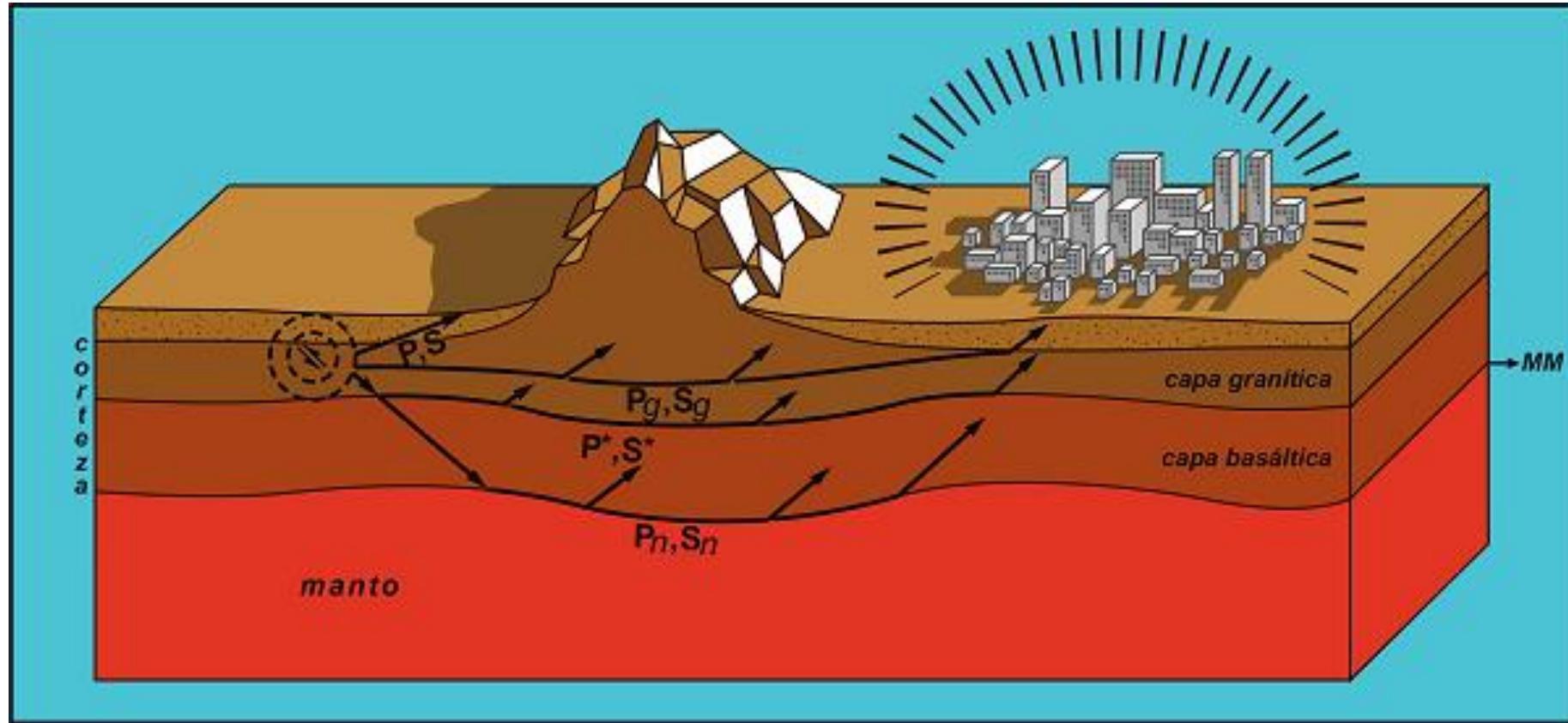
# TIPOS DE SISMOS:



# ONDAS SÍSMICAS

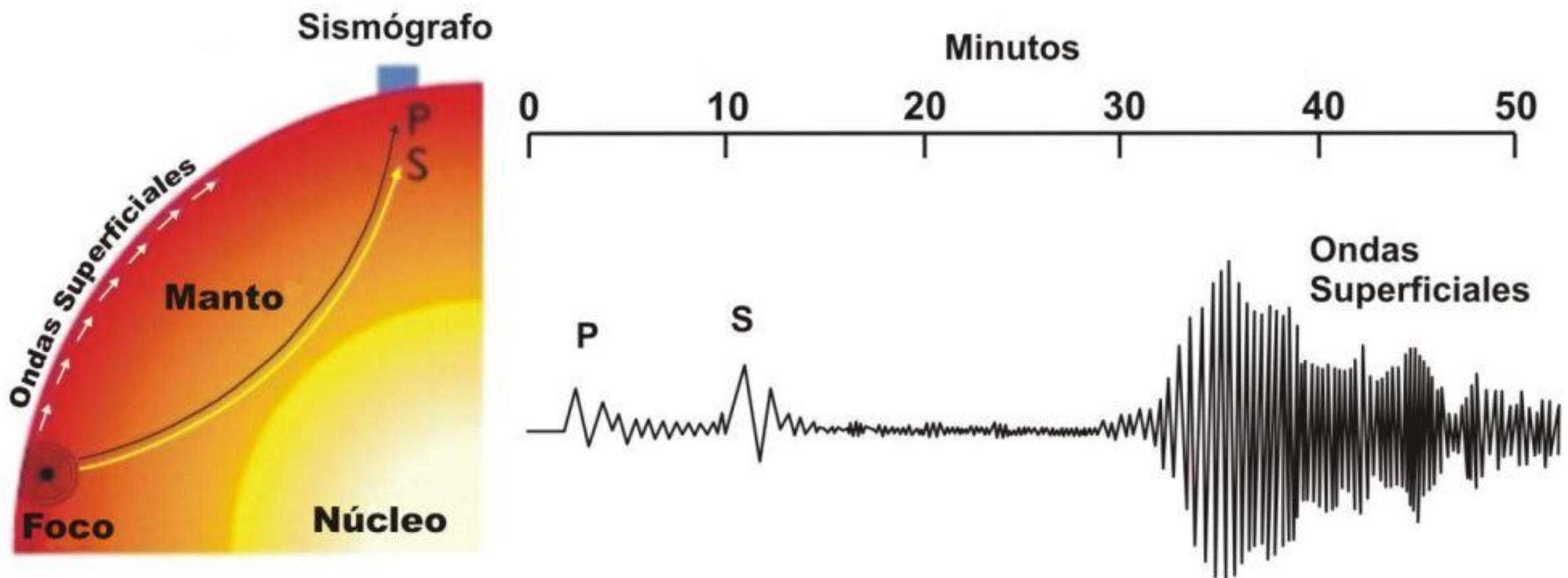
La energía se propaga desde el foco como **ONDAS SÍSMICAS ELÁSTICAS**, atravesando el interior de la Tierra

$$\lambda = V \times T$$



Fuente: Instituto Geográfico Nacional - España

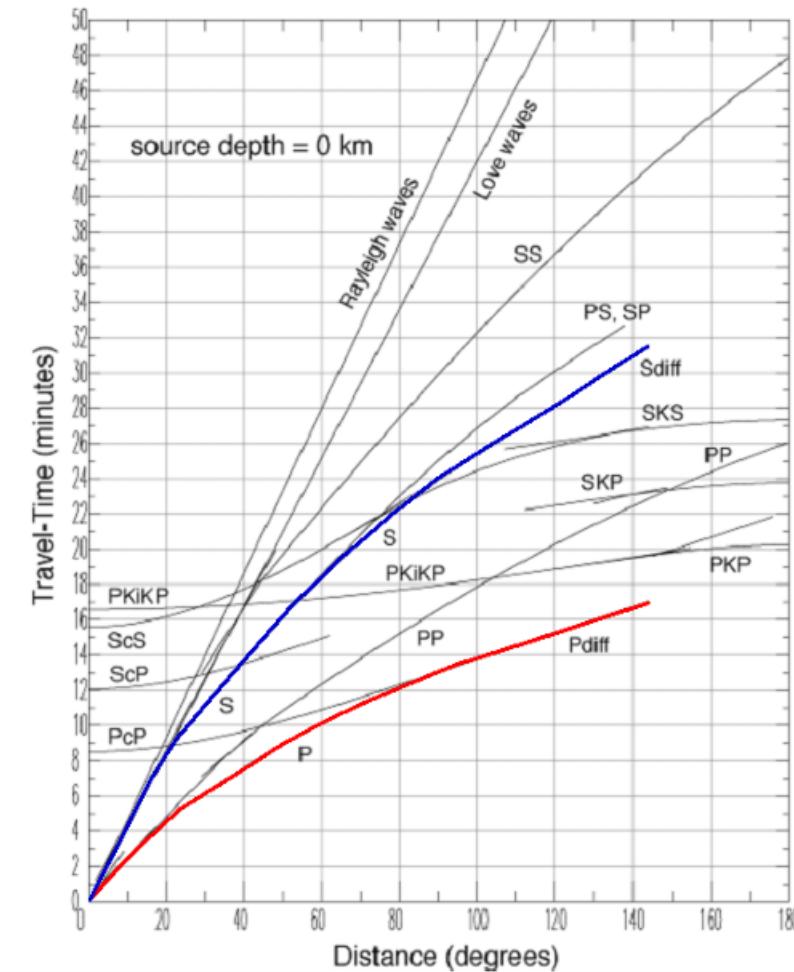
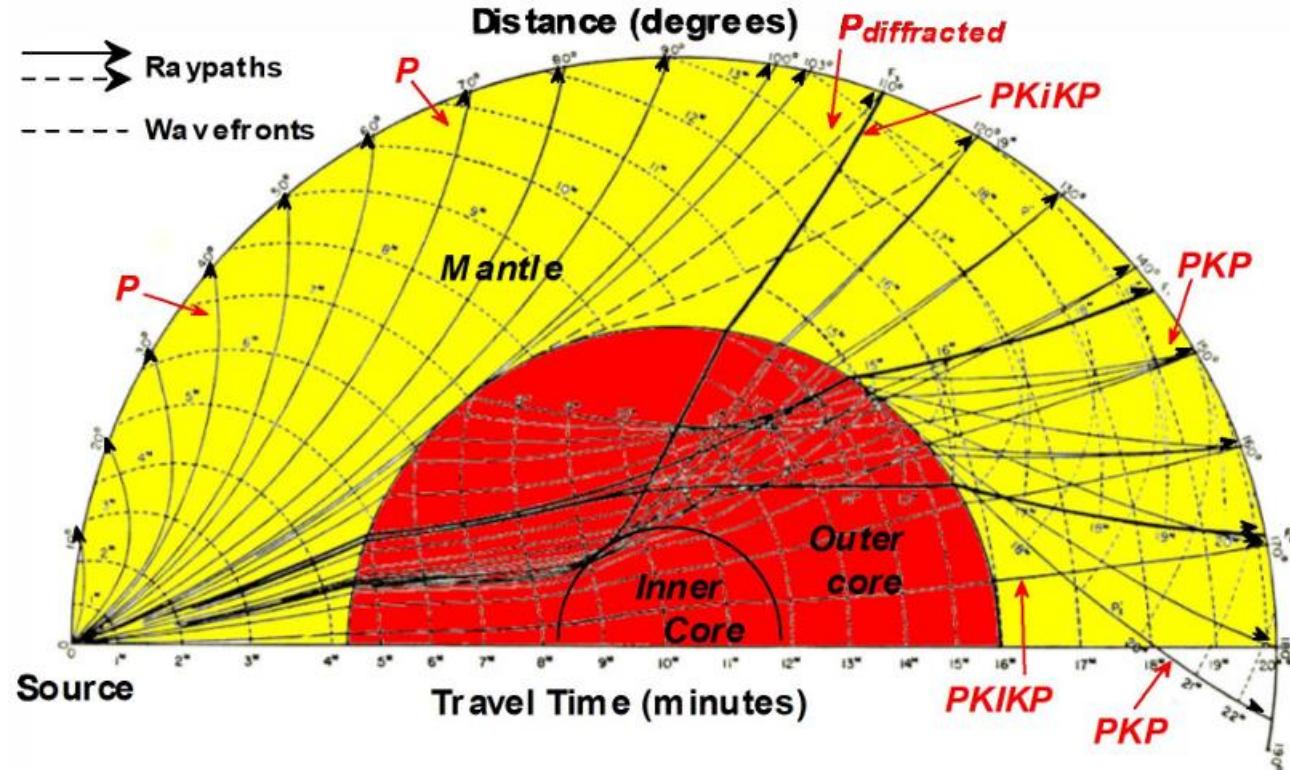
<https://www.ign.es/web/sis-teoria-general>



**SEISMICX**

DISEÑANDO Y CONSTRUYENDO SEGURO

Las **Ondas Internas** se propagan por el **interior de la Tierra**

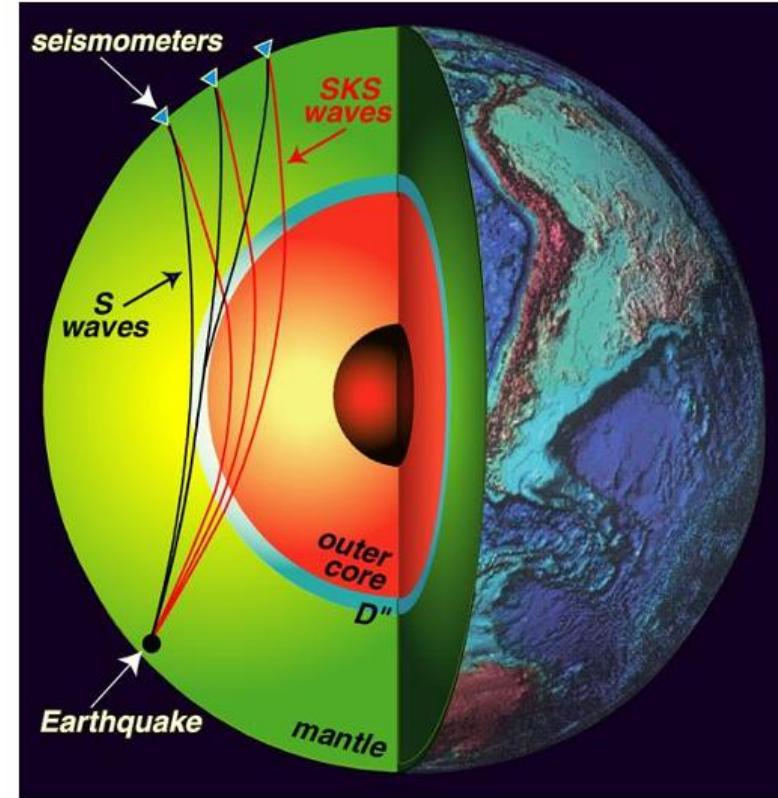


**Domocronas**  
o tablas de  
**tiempo de**  
**recorrido**

Los sismólogos usan rayos sísmicos para mirar el interior de la Tierra de la misma manera que los médicos usan rayos X.

Nuestro conocimiento de la estructura de la Tierra se obtuvo casi exclusivamente utilizando métodos sismológicos.

- Las ondas sísmicas se reflejan, se refractan y se convierten, en las discontinuidades dentro de la Tierra, formando así numerosas fases sísmicas.

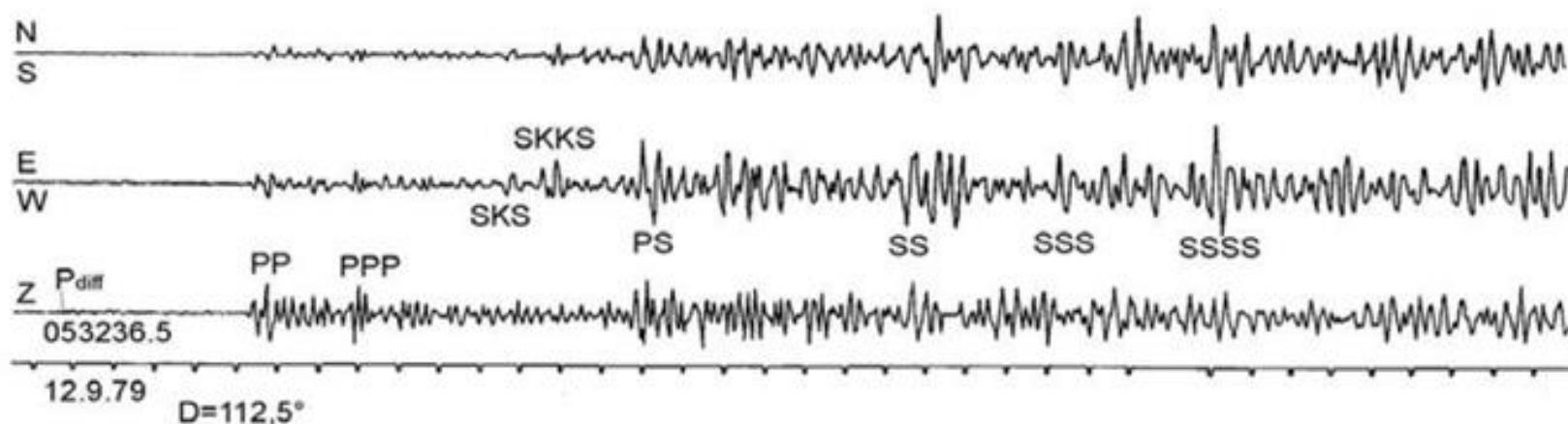
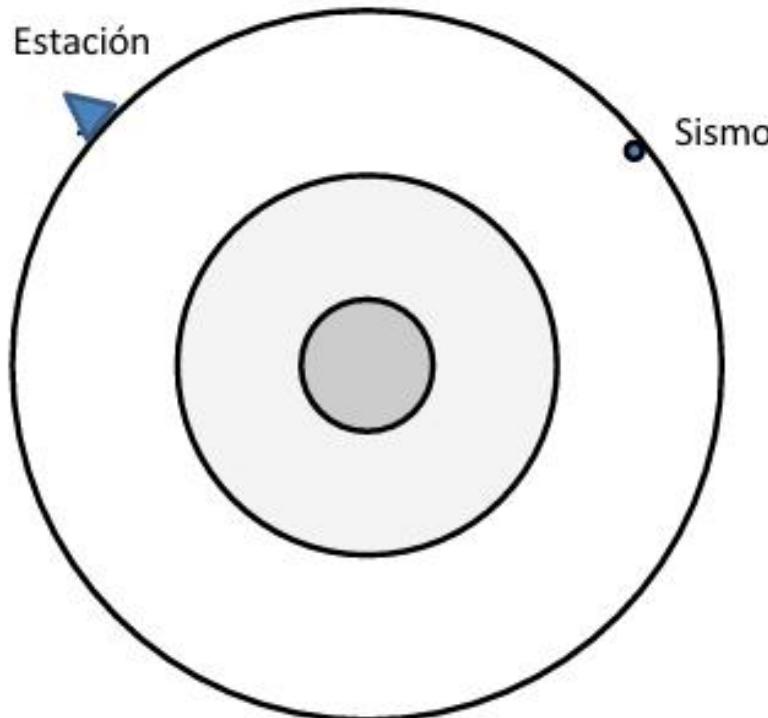


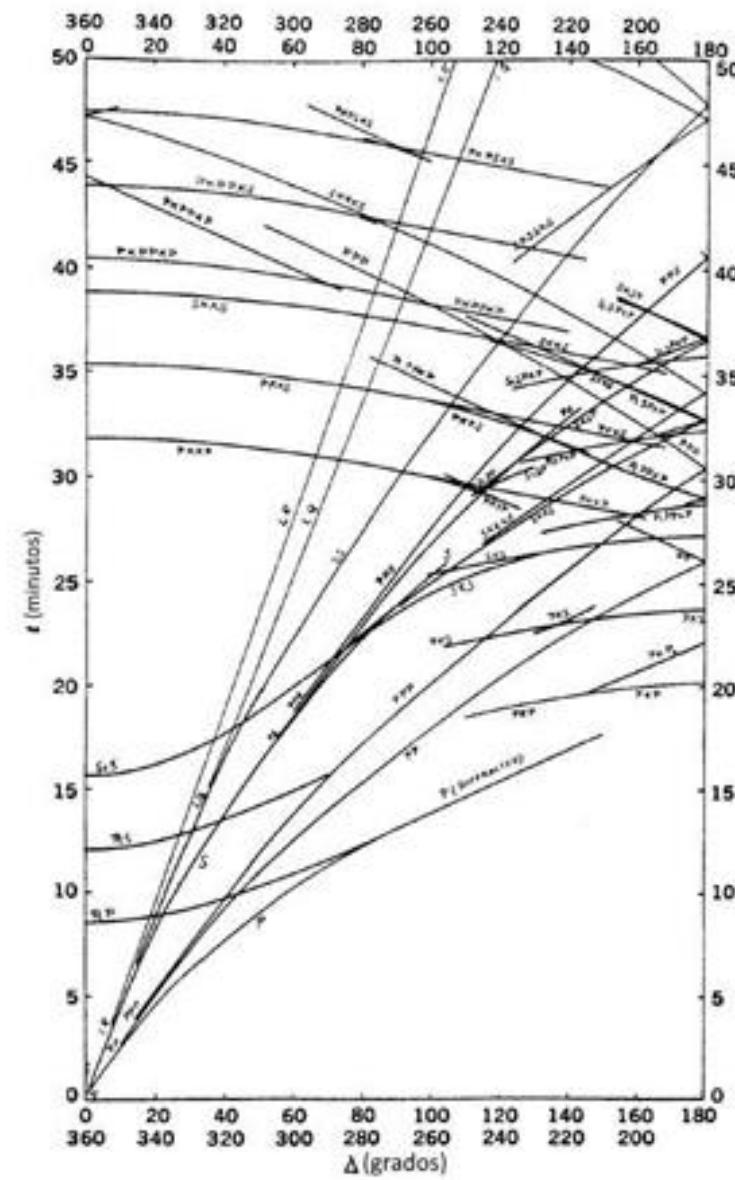
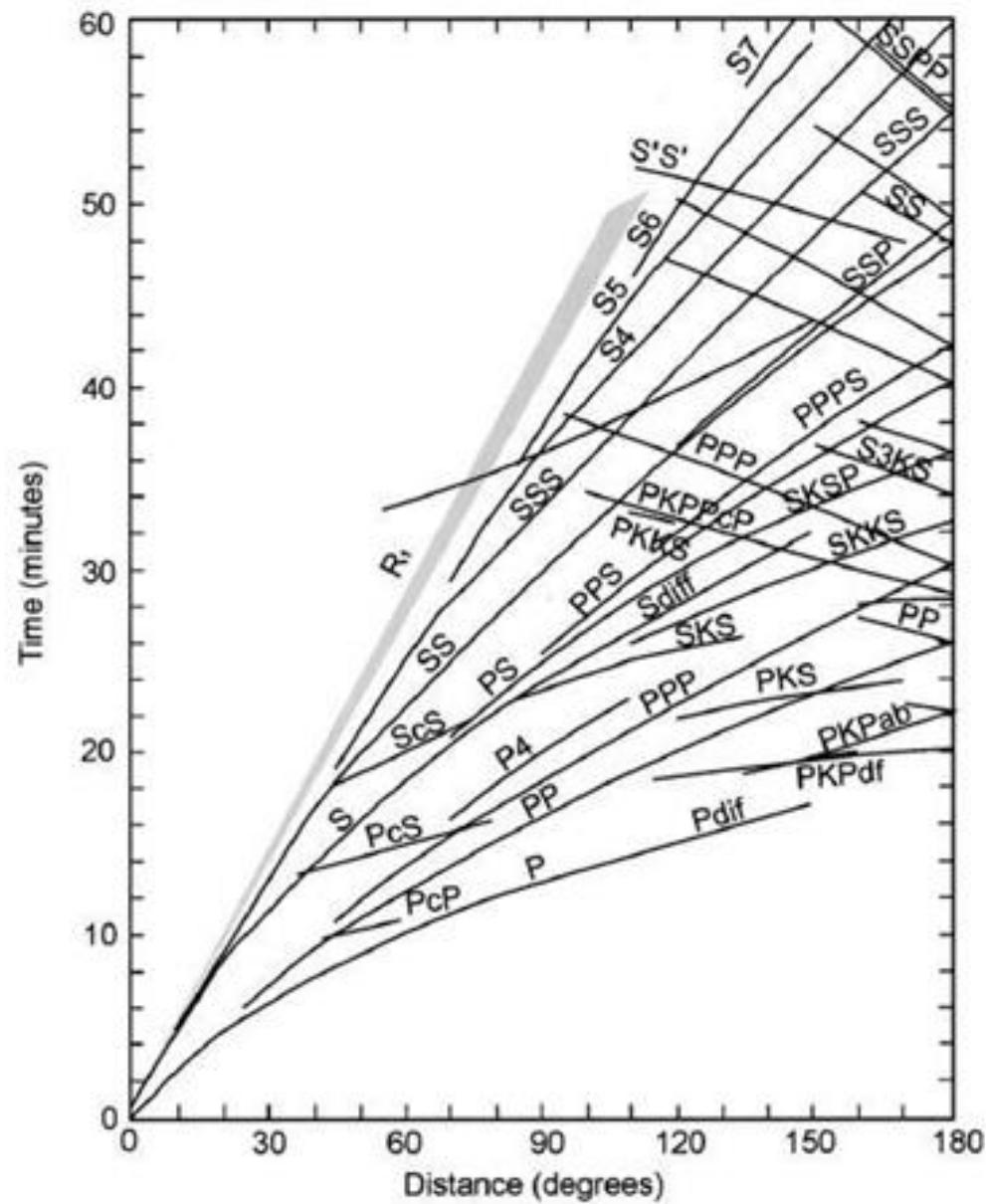
SEISMICX

DISEÑANDO Y CONSTRUYENDO SEGURO

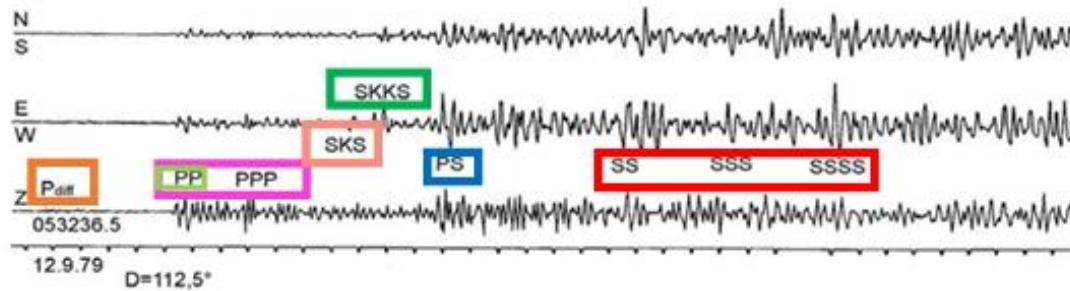
Se pide dibujar las ondas :

- Manto
  - Núcleo externo
  - Núcleo interno
- 

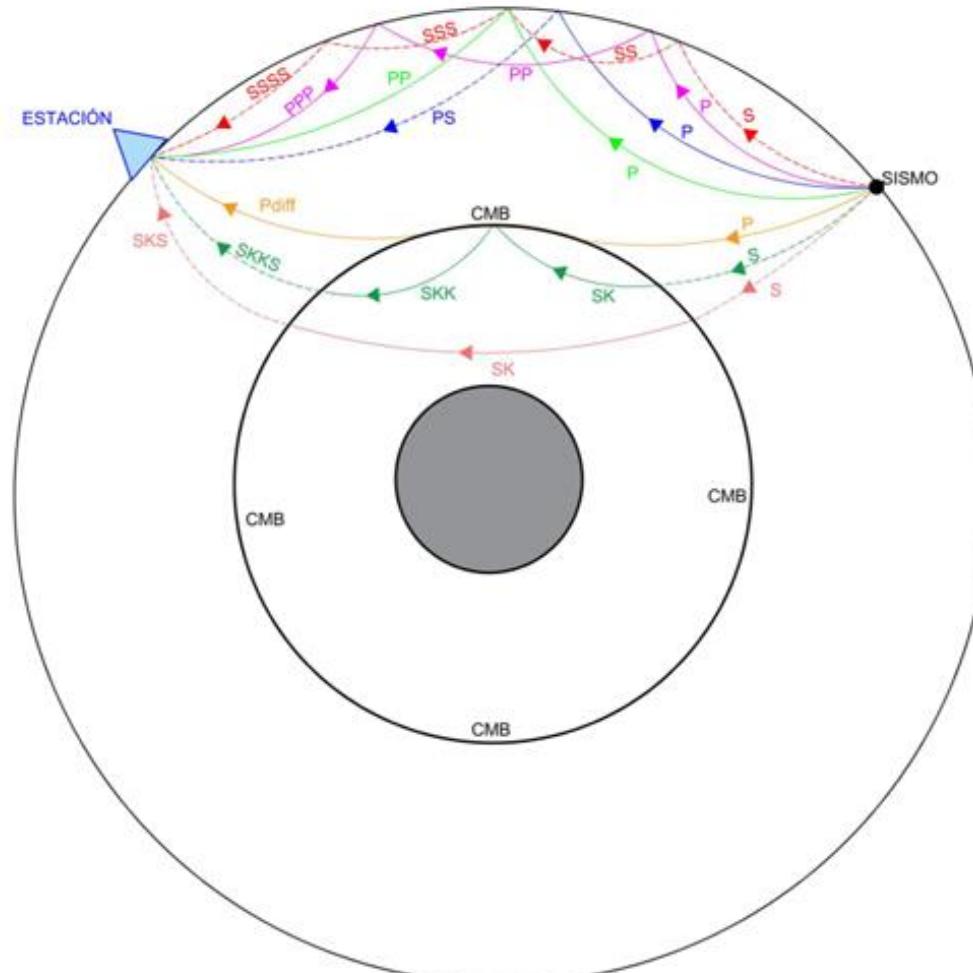




IDENTIFICAMOS LAS ONDAS CON LOS COLORES QUE SE DIBUJARÁ: (Se hará uso del AutoCAD para el respectivo dibujo):



- **Pdif:** (antiguo: Pdiff) P difractado a lo largo del CMB en el manto
- **PP:** Reflexión en superficie libre de una onda P que sale de una fuente hacia abajo (2 curvas P se dibujan hasta llegar a la estación)
- **PPP:** Análogo al PP (3 curvas P se dibujan hasta llegar a la estación)
- **SKS:** (alt: S') onda S no especificada que atraviesa el núcleo externo como P, está P lo dibuje con SK pero en realidad se comporta como P.
- **SKKS:** Onda S no especificada que atraviesa el núcleo externo como P con un reflejo desde el lado interior del CMB. (en el núcleo externo se reflecta en lado interior del CMB, como P, a los cuales los dibuje como SK para la primera curva y la reflectada hasta salir del núcleo externo lo llame SKK y al salir se vuelve en S volviéndose SKKS)
- **PS:** Arranca como P, y al tocar la superficie se reflejada como una S en la superficie libre. Por eso la primera curva lo dibuje como P y la reflejada como S.
- **SS:** Reflexión superficial libre de una onda S que sale de una fuente hacia abajo (2 curvas S hasta llegar a la estación)
- **SSS:** Análogo al SS (3 curvas S hasta llegar a la estación)
- **SSSS:** Análogo al SSS (4 curvas S hasta llegar a la estación)

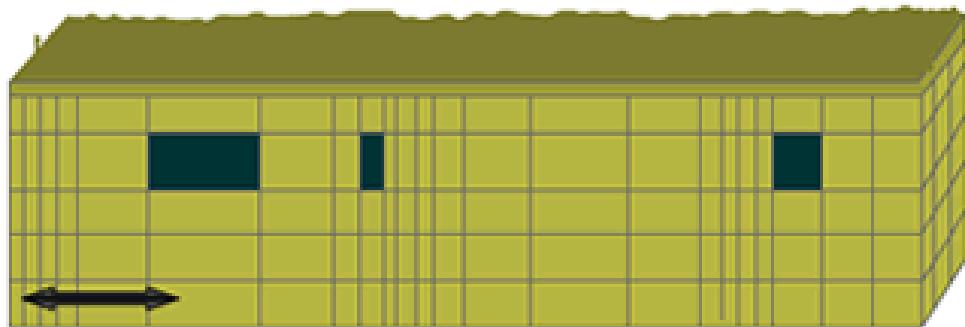


**SEISMICX**

DISEÑANDO Y CONSTRUYENDO SEGURO

## ONDAS INTERNAS

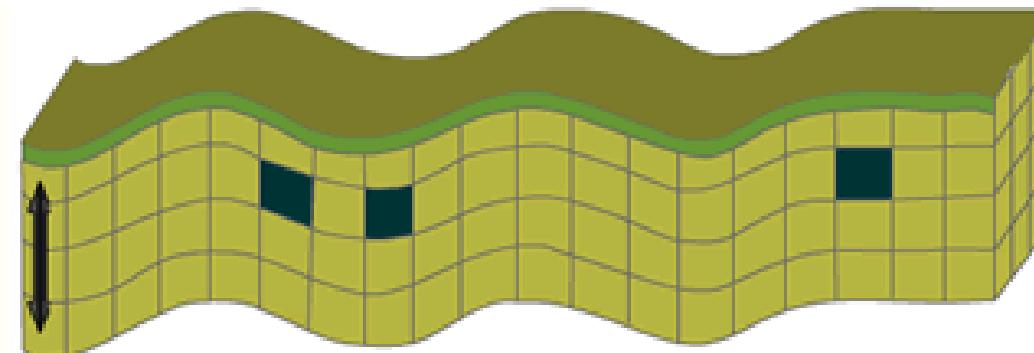
Las ondas internas viajan a través del interior de la tierra, siguen caminos curvos debido a la variada densidad y composición del interior de la tierra.



Ondas P (primarias)

Son ondas longitudinales que se propagan produciendo oscilaciones del material con el que se encuentran en el mismo sentido en el cual se propagan.

Se denominan así porque son las primeras en llegar a la superficie de la Tierra. Su velocidad de propagación es de aproximadamente 7,5 kilómetros por segundo, aunque ésta puede cambiar dependiendo de la densidad del medio en el que se transmiten.



Ondas S (secundarias)

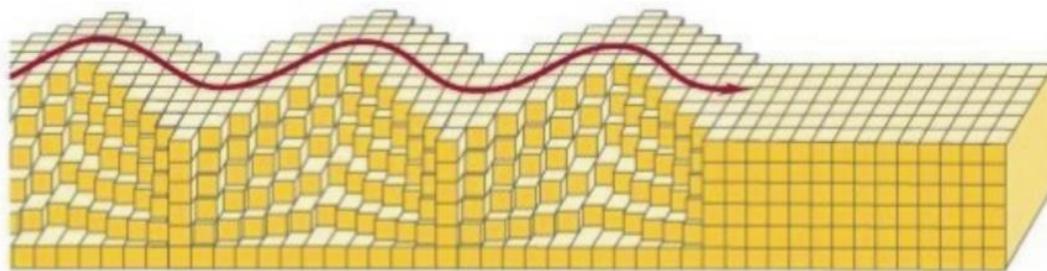
Son ondas longitudinales que se propagan produciendo oscilaciones del material con el que se encuentran en el mismo sentido en el cual se propagan.

Son ondas transversales que se propagan produciendo movimientos perpendiculares a la dirección en que se propagan, a través del material en que se transmiten.

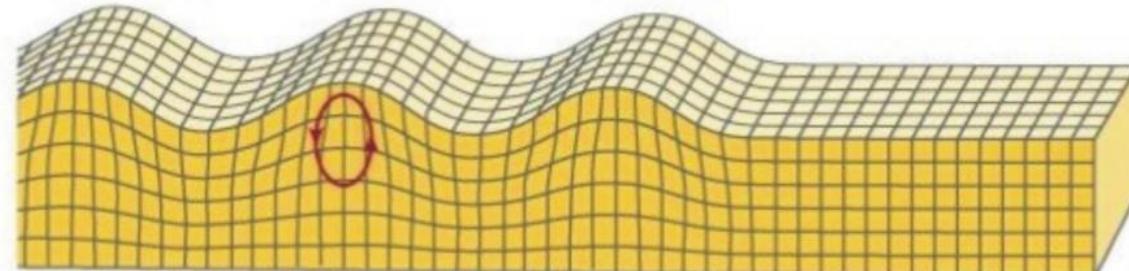
Su nombre se debe al hecho de que llegan a la superficie de la Tierra después de las ondas P, en segundo lugar. Las ondas S tienen una velocidad de propagación de alrededor de 4,2 kilómetros por segundo, aunque al igual que las P, estas también varía de acuerdo con el material en el que se propagan.

## ONDAS SUPERFICIALES

Las ondas superficiales, se generan cuando las ondas internas llegan a la superficie. Son las responsables de los daños que producen los terremotos.



- Mismo movimiento de las ondas S pero restringido.
- Viajan más rápido que las ondas Rayleigh
- Son ondas superficiales que producen un movimiento horizontal de corte en superficie.
- La velocidad de las ondas Love es un 90 % de la velocidad de las ondas S y es ligeramente superior a la velocidad de las ondas Rayleigh. Estas ondas solo se propagan por las superficies, es decir, por el límite entre zonas 0 niveles.



- Movimiento vertical similar a las olas del mar
- Son ondas superficiales que producen un movimiento elíptico retrógrado del suelo.
- Son ondas mas lentas que las ondas internas y su velocidad de propagación es casi un 90% de la velocidad de las ondas S.

# DESPLAZAMIENTO DE LAS ONDAS P Y S

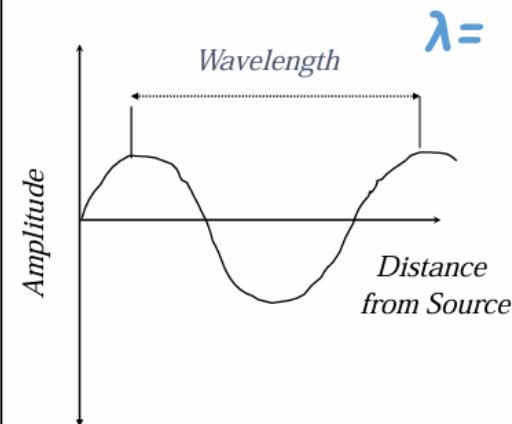
## ❖ Ondas Primarias (P)

- Movimiento regular de compresión/retracción, que cambia el volumen del material atravesado
- Se propagan a través de **sólidos y fluidos**
- En general, para cualquier sólido, las ondas P viajan alrededor de **1.7 veces más rápido que las ondas S**

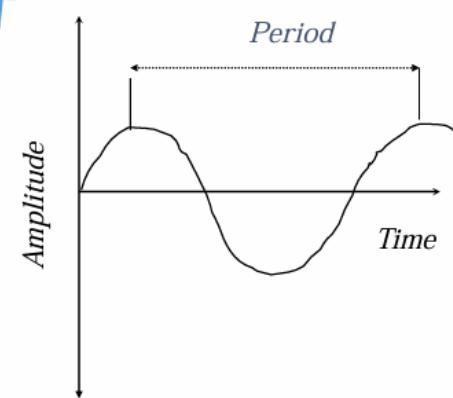
## ❖ Ondas Secundarias o de Cizalla (S)

- Movimiento en la dirección **perpendicular al de propagación del rayo sísmico**
- Solo se propagan a través de los **sólidos**
- Menor velocidad de propagación que las P y amplitud algo mayor que estas

Longitud de onda ( $\lambda$ ), periodo (T), velocidad de propagación (V)



$$\lambda = V \cdot T$$



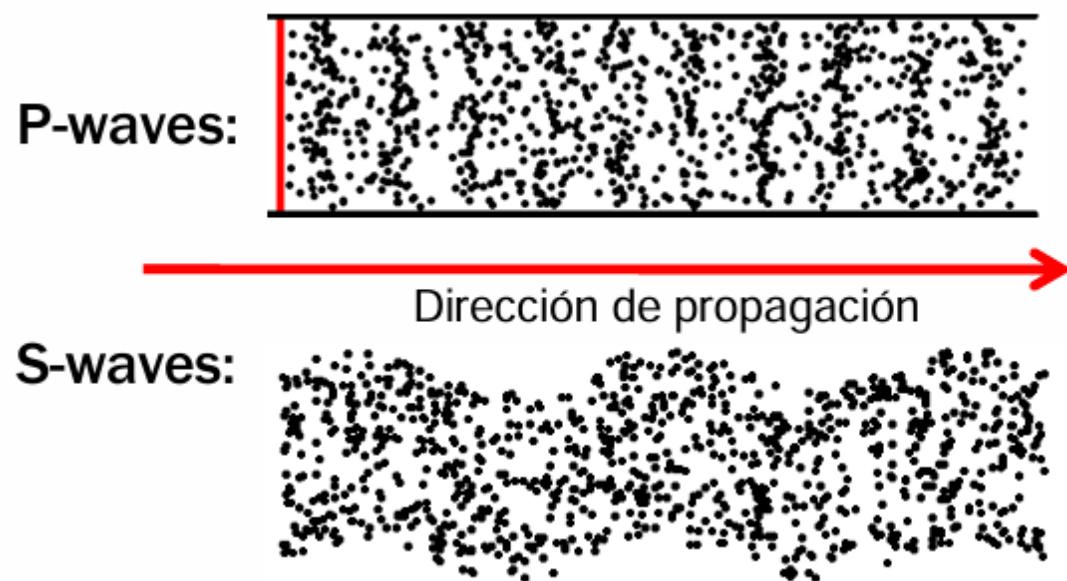
En un instante de tiempo, el desplazamiento es periódico en el espacio (distancia).

En un punto del espacio, el desplazamiento es periódico con el tiempo.



**SEISMICX**

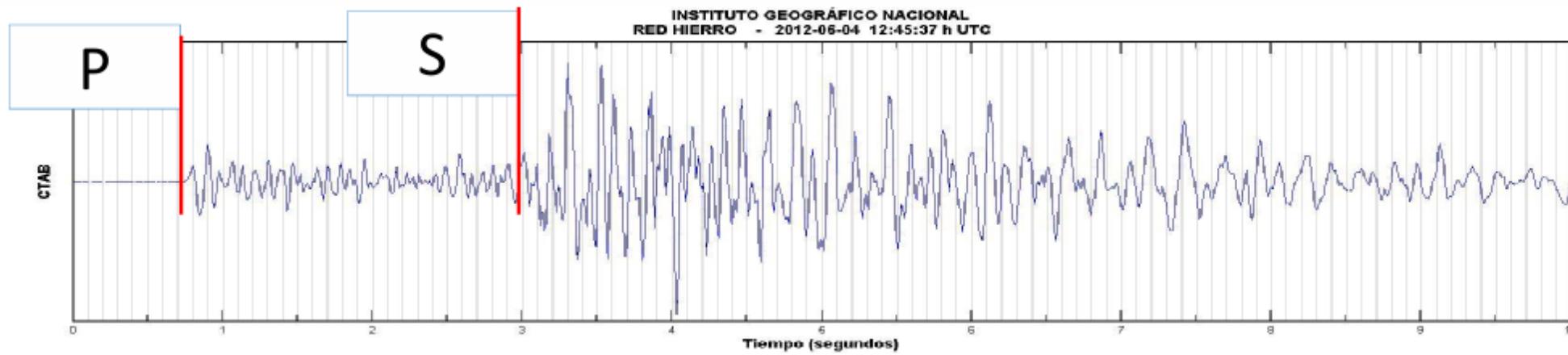
DISEÑANDO Y CONSTRUYENDO SEGURO



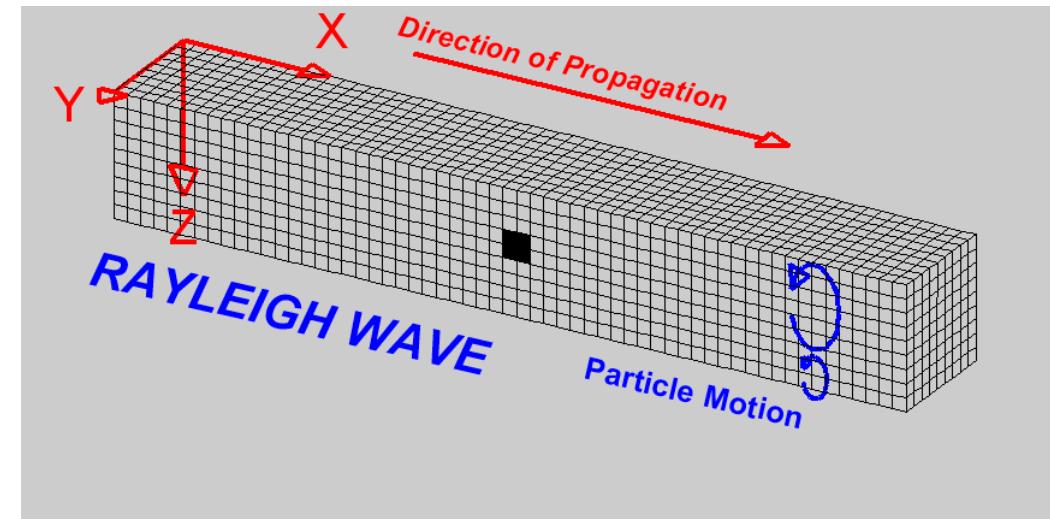
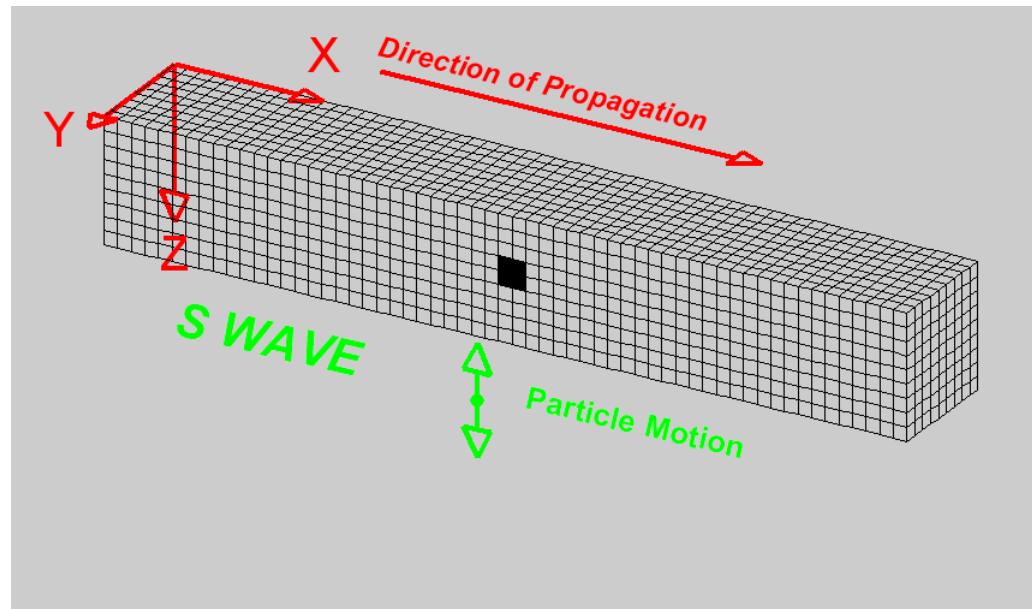
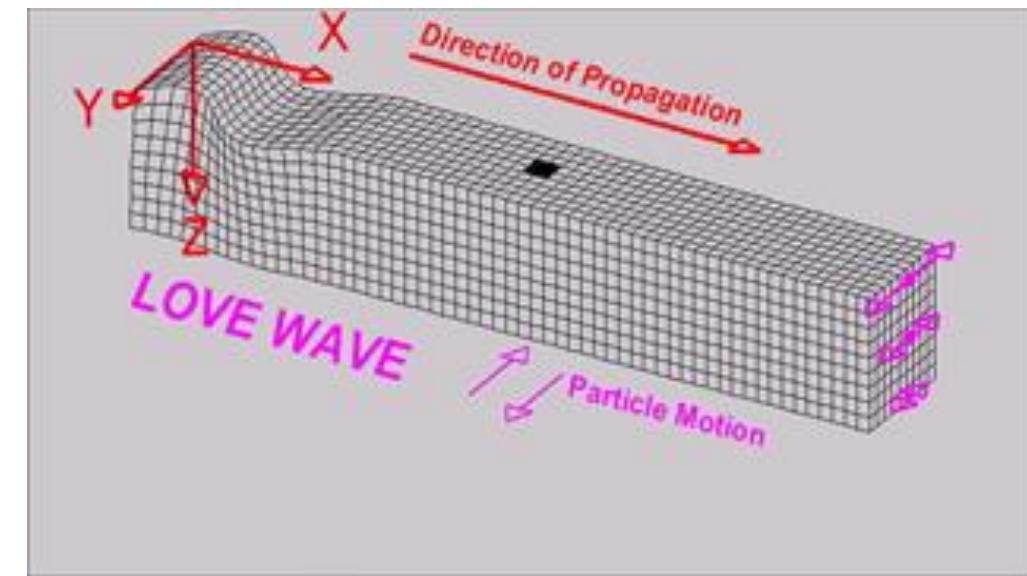
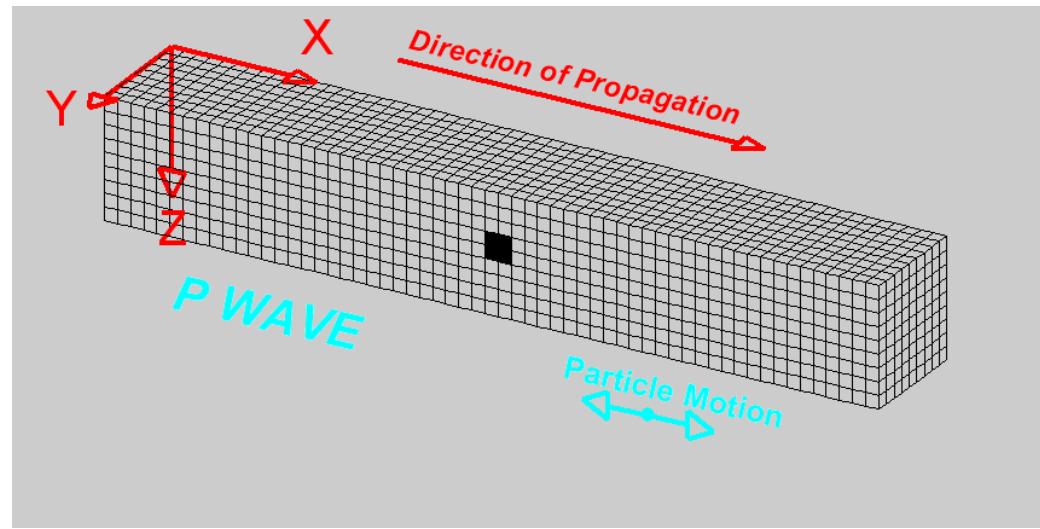
$$V_p = \left\{ \frac{(\lambda + 2\mu)}{\rho} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Relación Vp/Vs

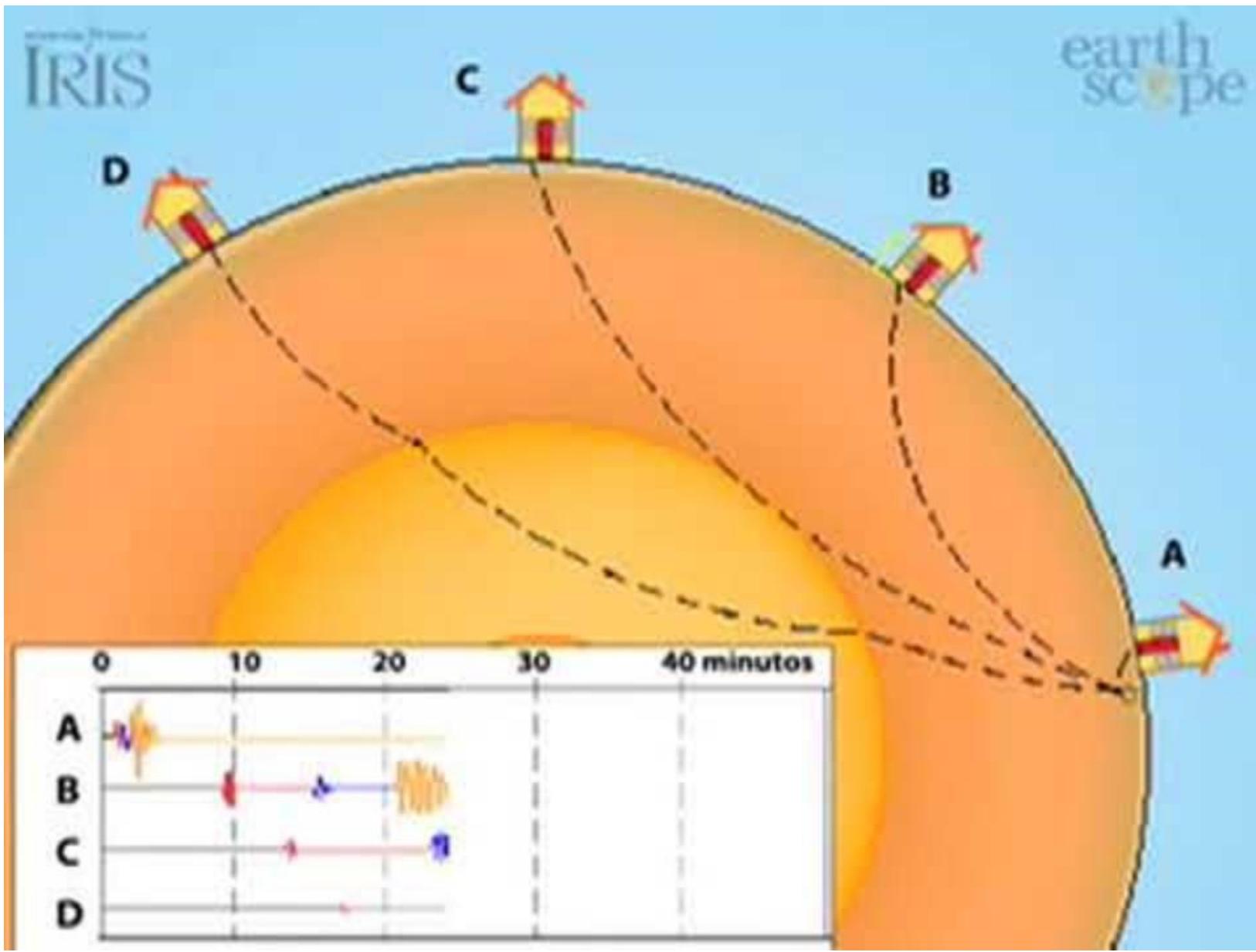
$$\frac{V_p}{V_s} = \left( \frac{K}{\mu} + \frac{4}{3} \right)^{\frac{1}{2}} = \left( \frac{1-\sigma}{\frac{1}{2}-\sigma} \right)^{\frac{1}{2}} \simeq \sqrt{3}$$



**SEISMICX**  
DISEÑANDO Y CONSTRUYENDO SEGURO

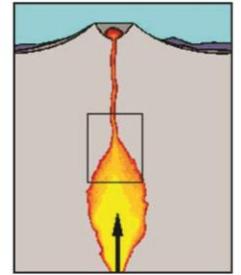


## Ondas P, S, y Superficiales (4 station seismic network)

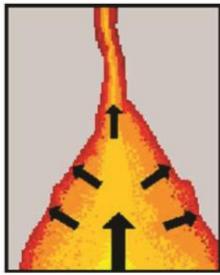


# SÍSMOLOGÍA VOLCÁNICA

Fractura de la roca debido a la sobrepresión del magma. Señales DIFERENCIALES a las tectónicas



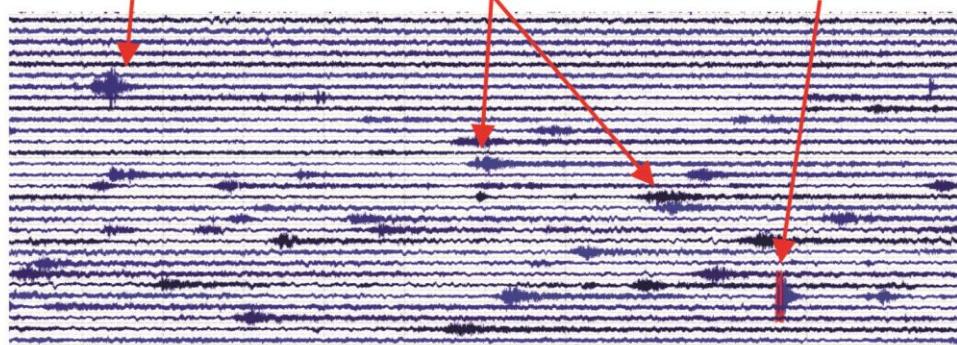
El ascenso de magma hacia el cráter provoca una vibración en el volcán



Al ascender los gases volcánicos ejercen presión sobre las paredes internas del volcán



La alta presión causa rompimiento de las rocas de las paredes internas del volcán

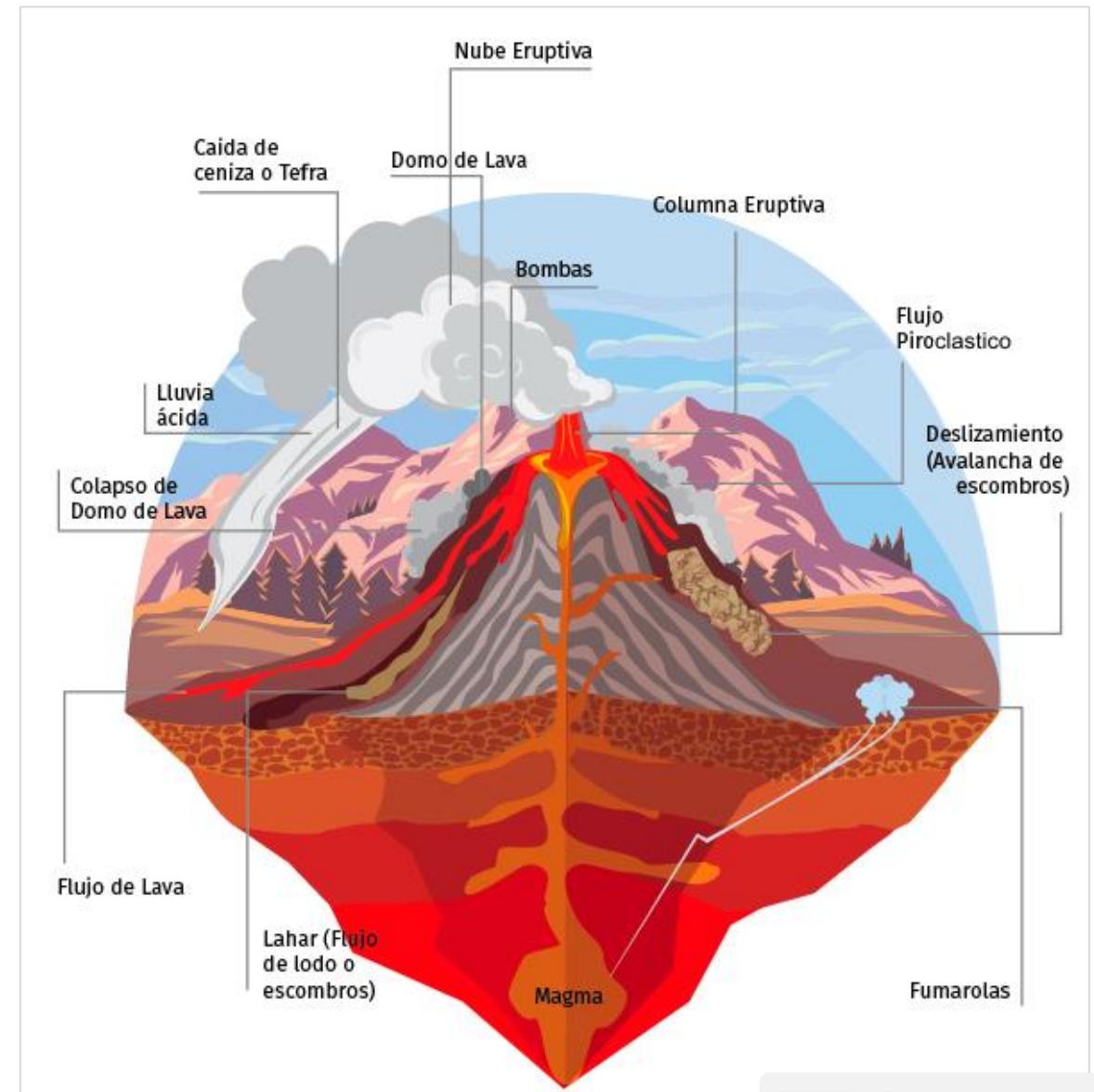


Tipos de sismos:

- Volcano-Tectónicos (VT)
- Largo Periodo (LP)
- Tremor (TR)
- Hibridos (HB)

Otros fenómenos detectables:

- Explosiones
- Derrumbes
- Fluxos



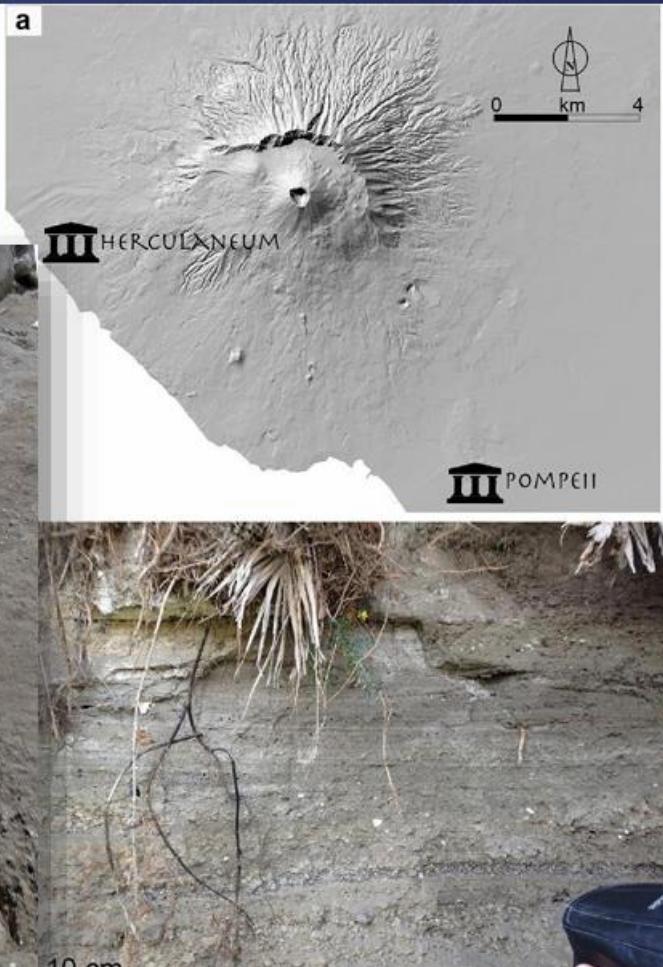
Fuente: Secretaría de Minería – Ministerio de Economía Argentina, link:<https://oavv.segmar.gob.ar/preguntas-frecuentes-sobre-los-volcanes/>



SEISMICX

DISEÑANDO Y CONSTRUYENDO SEGURO





Fuente: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-84456-7>

# LA ERUPCIÓN DE POMPEYA (79 DC)

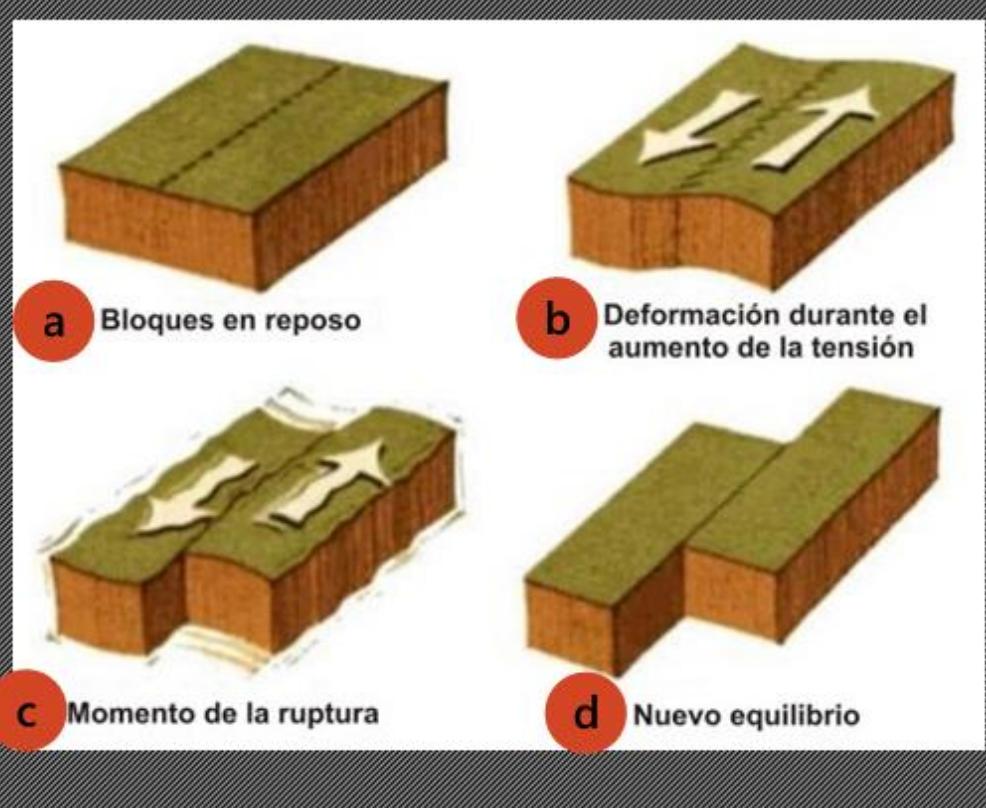
# GEOLOGÍA DE TERREMOTOS

La ciencia del estudio de los terremotos (sismología, sismotectónica, geología estructural, geomorfología, etc.) es una disciplina reciente. Algunos hitos históricos sobre su desarrollo son:

- **1884 G. K. Gilbert** publica observaciones en relación con las fracturas generadas por el terremoto de Owens Valley de 1872.
- **1910 H.F. Reid** publica el modelo del rebote elástico para explicar las observaciones del terremoto de San Francisco de 1906.
- **1935 C. F. Richter** cuantifica el tamaño de los terremotos mediante la creación de una escala de magnitud.
- **1954 Gutenberg y Richter** relacionan la frecuencia de los terremotos con su tamaño mediante una ley potencial.
- **1965 J.T. Wilson** formula las bases de la Tectónica de placas.
- **1966 K.Aki** publica las primeras medidas de momento sísmico para el terremoto de 1964 en Niigata(Japón).

# EL ORIGEN DE LOS TERREMOTOS: TEORÍA DEL REBOTE ELÁSTICO (REID, 1911).

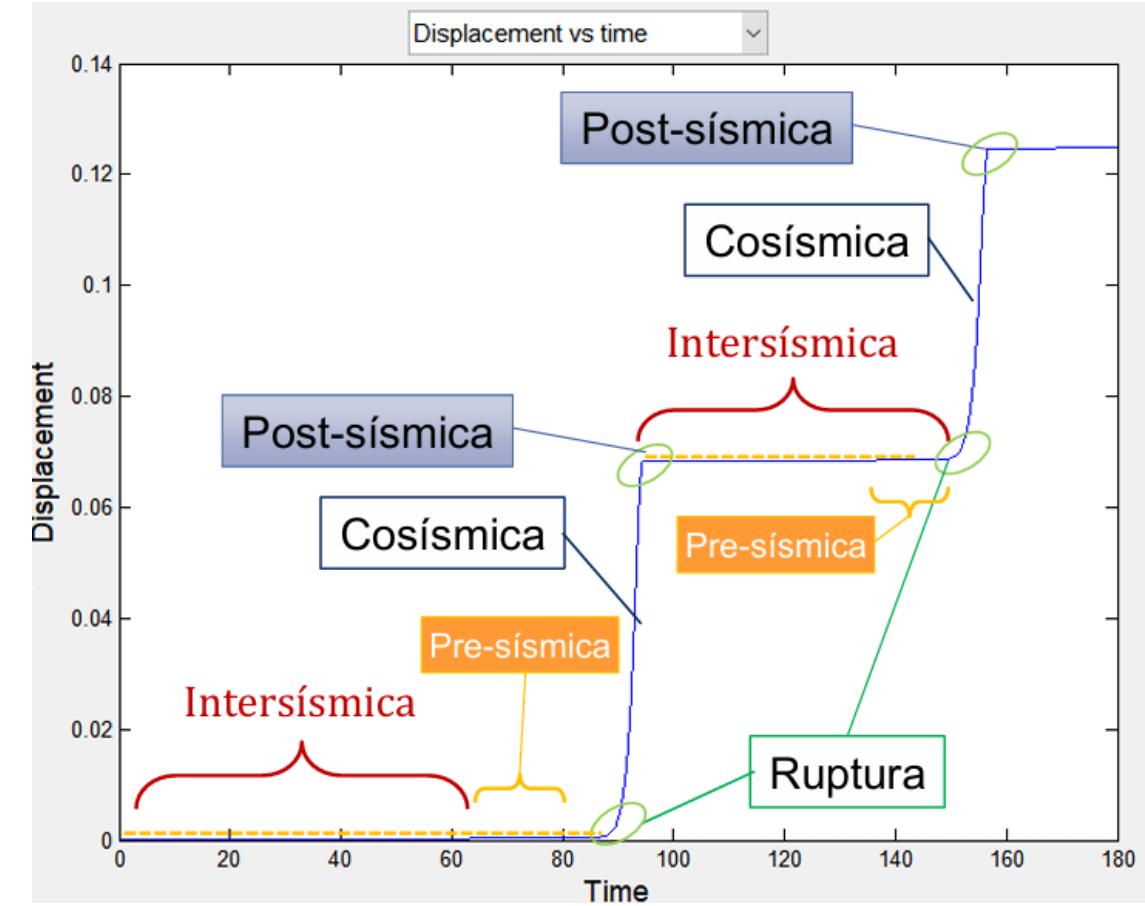
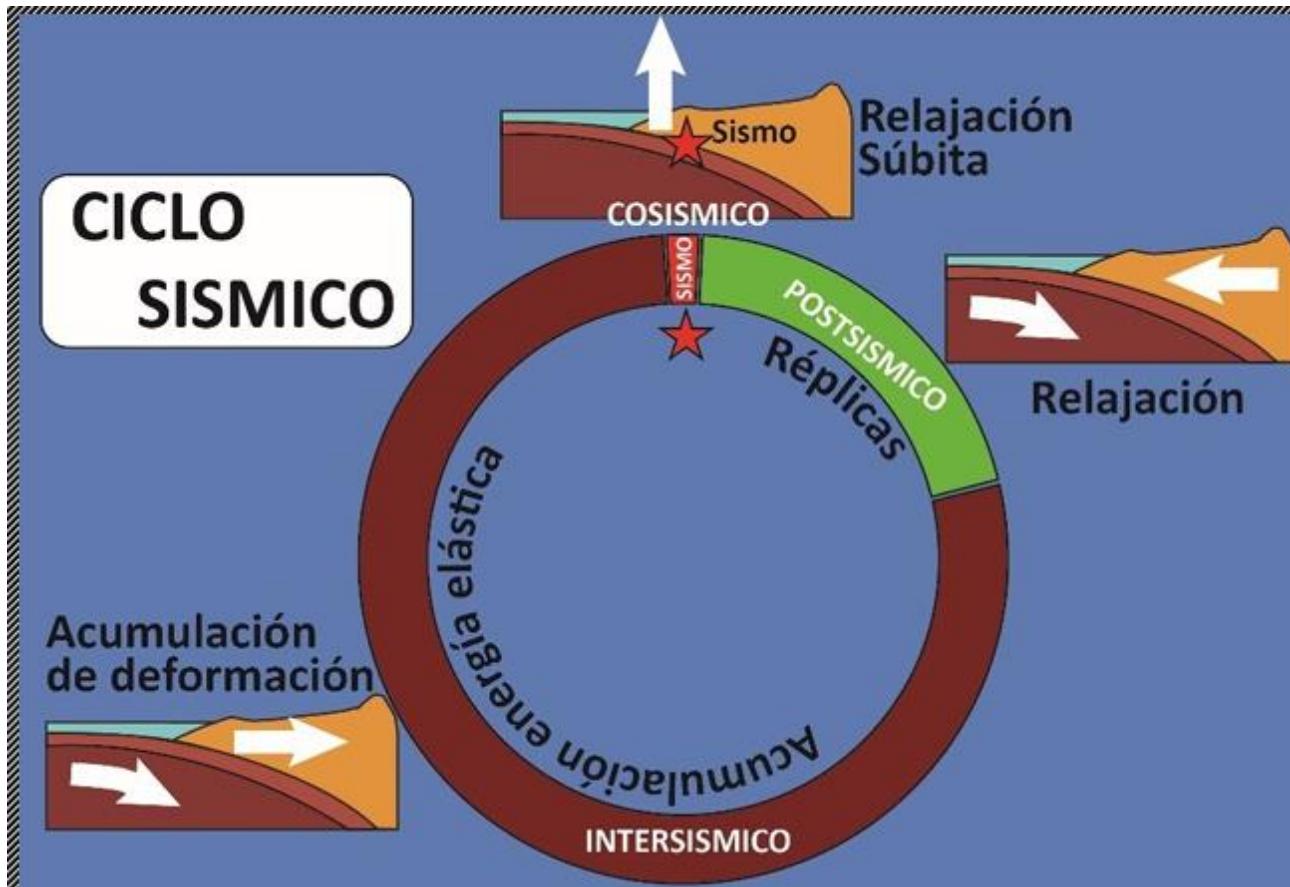
- a Bloques contiguos de la corteza terrestre en reposo.
- b Las fuerzas tectónicas van tensionando y deformando las rocas de la corteza.  
Los bloques no deslizan debido a la fricción resistente en la falla.
- c Se produce la fractura de las rocas y la liberación brusca de la energía de deformación acumulada, **en forma de ondas**.
- d El sistema alcanza su nuevo equilibrio.



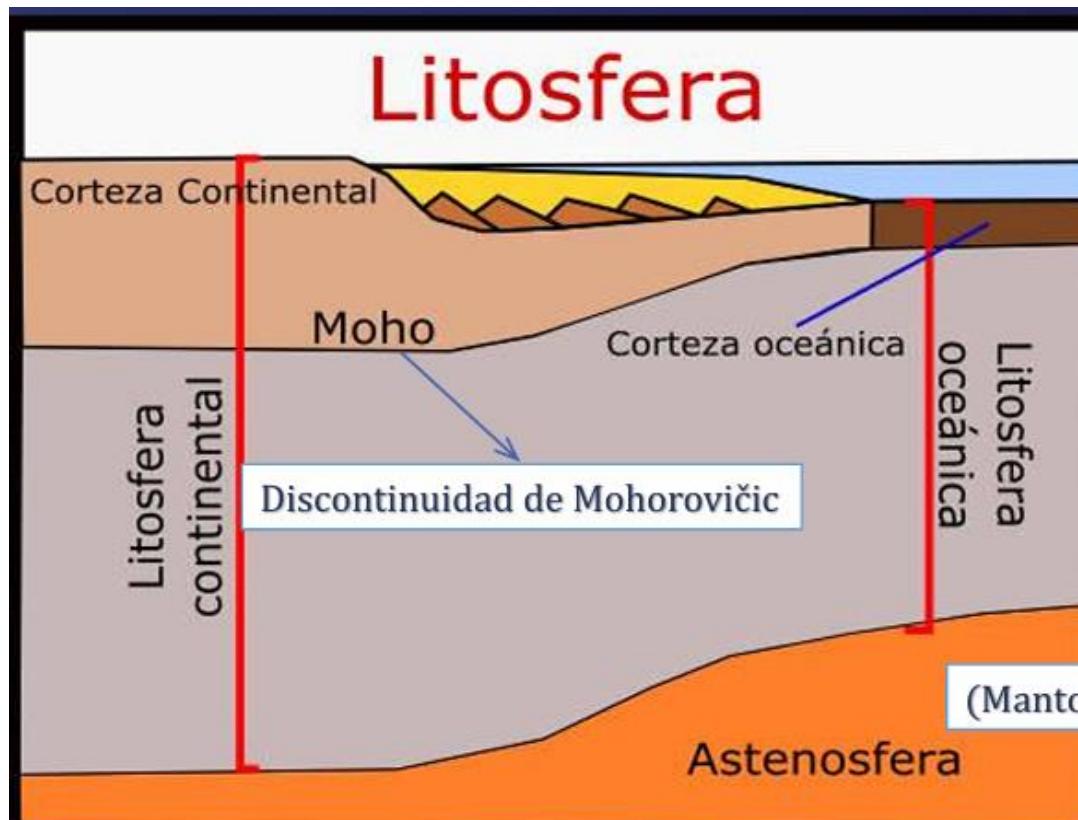
SEISMICX

DISEÑANDO Y CONSTRUYENDO SEGURO

# CICLO SÍSMICO



# DISCONTINUIDAD DE MOHOROVICIC



- El Moho, o discontinuidad de Mohorovičić, es la frontera que separa la corteza terrestre del manto superior. Se caracteriza por un cambio brusco en la velocidad de propagación de las ondas sísmicas, lo que indica una variación en la composición y densidad de los materiales.
- En la base de la corteza, la velocidad de las ondas sísmicas P aumenta debido al incremento de densidad de las rocas.
- Este horizonte, conocido como discontinuidad de Mohorovičić, representa el límite entre corteza y manto, es decir, es el límite superior del manto superior.



**SEISMICX**

DISEÑANDO Y CONSTRUYENDO SEGURO

# ¿Como se miden los sismos?

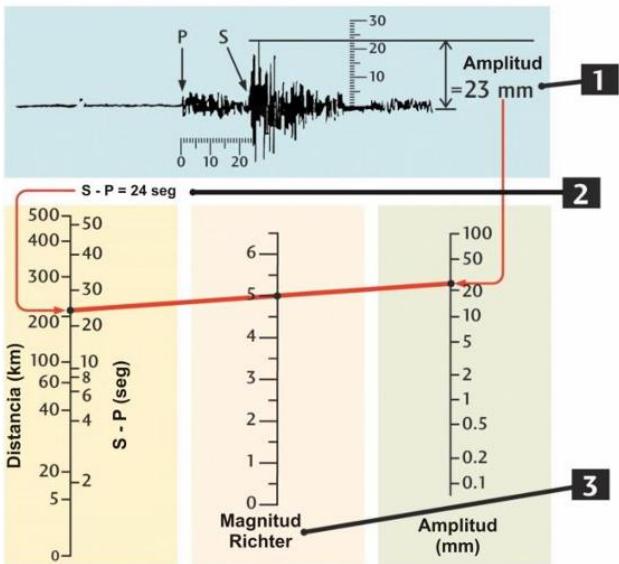
## MAGNITUD

- Cuantitativo
- Propio del sismo
- Da el valor de la energía liberada del sismo

## INTENSIDAD

- Cualitativo
- La respuesta del lugar (suelo y estructura).
- Nos dice el grado de destrucción o impacto que tiene los eventos en determinados lugares.

## Magnitud Richter



Magnitud Local (ML):

$$M_L = \log A - \log A_0$$

Magnitud Ondas Superficiales (Ms):

$$M_s = \log (A/T) + 1.66 \log \Delta^0 + 3.3$$

Magnitud Ondas de volumen (mb):

$$m_b = \log (A/T) + Q(\Delta, h)$$

Magnitud de duración (MD):

$$M_D = a + b \log t + c(h) + d\Delta$$

Magnitud de momento (MW):

$$M_o = \mu \cdot S \cdot D \quad M_w = (2/3) \log M_o - 6.0$$

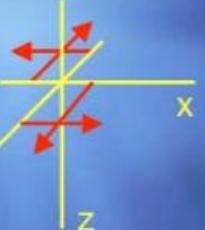
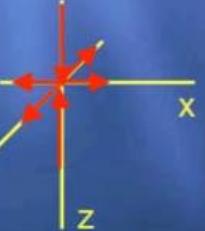
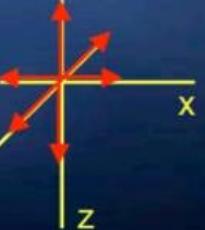
Fuente: Tavera (2023)

## ESCALA DE INTENSIDAD MERCALLI MODIFICADA ABREVIADA

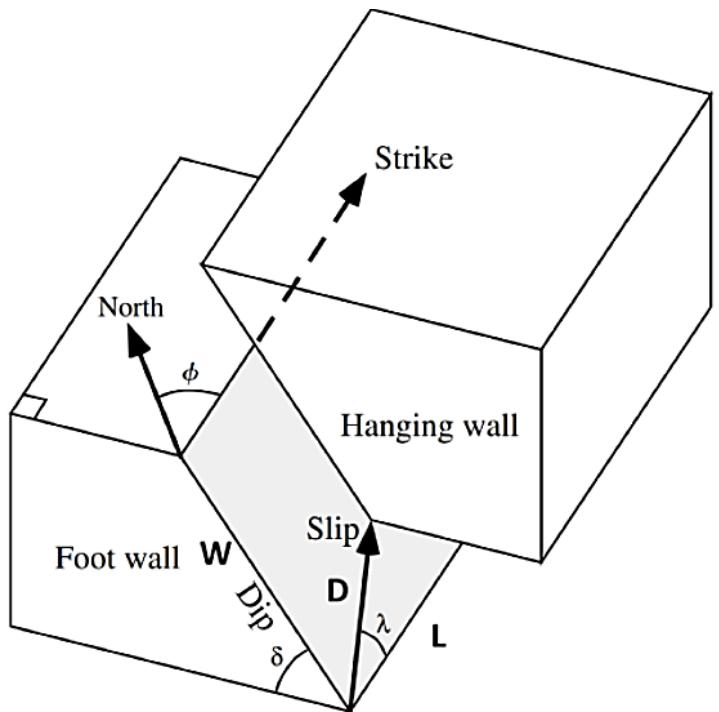
GRADO	DESCRIPCION
I	No sentido excepto por algunas personas bajo circunstancias especialmente favorables.
II	Sentido solo por muy pocas personas en reposo, especialmente en pisos altos de edificaciones. Objetos suspendidos delicadamente pueden oscilar.
III	Sentido muy sensiblemente por personas dentro de edificaciones, especialmente las ubicadas en los pisos superiores. Muchas personas no se dan cuenta que se trata de un sismo. Automóviles parados pueden balancearse ligeramente. Vibraciones como las producidas por el paso de un camión. Duración apreciable.
IV	Durante el día sentido en interiores por muchos, al aire libre por algunos. Por la noche algunos se despiertan. Platos, ventanas, puertas agitados; las paredes crujen. Sensación como si un camión pesado chocara contra el edificio. Automóviles parados se balancean apreciablemente.
V	Sentido por casi todos, muchos se despiertan. Algunos platos, ventanas y similares rotos; grietas en el revestimiento de algunos sitios. Objetos inestables volcados. Algunas veces se aprecia balanceo de árboles, postes y otros objetos altos. Los péndulos de los relojes pueden pararse.
VI	Sentido por todos, muchos se asustan y salen al exterior. Algunos muebles pesados se mueven; algunos casos de caída de revestimientos y chimeneas dañadas. Daño leve.
VII	Todo el mundo corre al exterior. Daño significante en edificios de buen diseño y construcción; leve a moderado en estructuras corrientes bien construidas; considerable en estructuras pobremente construidas o mal diseñadas; se rompen algunas chimeneas. Notado por personas que conducen automóviles.
VIII	Daño leve en estructuras de diseñadas especialmente; considerable en edificios corrientes sólidos con colapso parcial; grande en estructuras de construcción pobre. Paredes separadas de la estructura. Caída de chimeneas, rímeros de fábricas, columnas, monumentos y paredes. Muebles pesados volcados. Eyección de arena y barro en pequeñas cantidades. Cambios en pozos de agua. Conductores en automóviles entorpecidos.
IX	Daño considerable en estructuras de diseño especial; estructuras con armaduras bien diseñadas pierden la vertical; grande en edificios sólidos con colapso parcial. Los edificios se desplazan de los cimientos. Grietas visibles en el suelo. Tuberías subterráneas rotas.
X	Algunos edificios bien construidos en madera, destruidos; la mayoría de las obras de estructura de ladrillo, destruidas con los cimientos; suelo muy agrietado. Carriles torcidos. Corrimientos de tierra considerables en las orillas de los ríos y en laderas escarpadas. Movimientos de arena y barro. Agua salpicada y derramada sobre las orillas.
XI	Pocas o ninguna obra de albañilería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el suelo. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio. La tierra se hunde y el suelo se desliza en terrenos blandos. Carriles muy retorcidos.
XII	Destrucción total. Se ven ondas sobre la superficie del suelo. Líneas de mira (visuales) y de nivel deformadas. Objetos lanzados al aire.



## Seismic moment tensors

Model	Source	M	Couples	Focal Mechanism
	Double-couple (DC)	$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$		
	Compensated linear vector dipole (CLVD)	$\begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$		
	Isotropic	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$		

# GEOMETRÍA DE UNA FALLA



**Conceptos de la geometría de una falla acorde a Rueda - Nuñez (2020):**

**Strike** = Azimut de la falla. Dirección de la traza de la falla desde el Norte. ( $0-360^\circ$ )

**Dip** = Ángulo de inclinación de la falla respecto a la horizontal. ( $0-90^\circ$ )

**Rake** = Cabeceo de la falla. Ángulo  $\lambda$  entre el vector deslizamiento (slip) y el azimut de la falla (strike). ( $0-360^\circ$ ).

**Foot wall** = Bloque bajo de la falla

**Hanging wall** = Bloque alto de la falla.

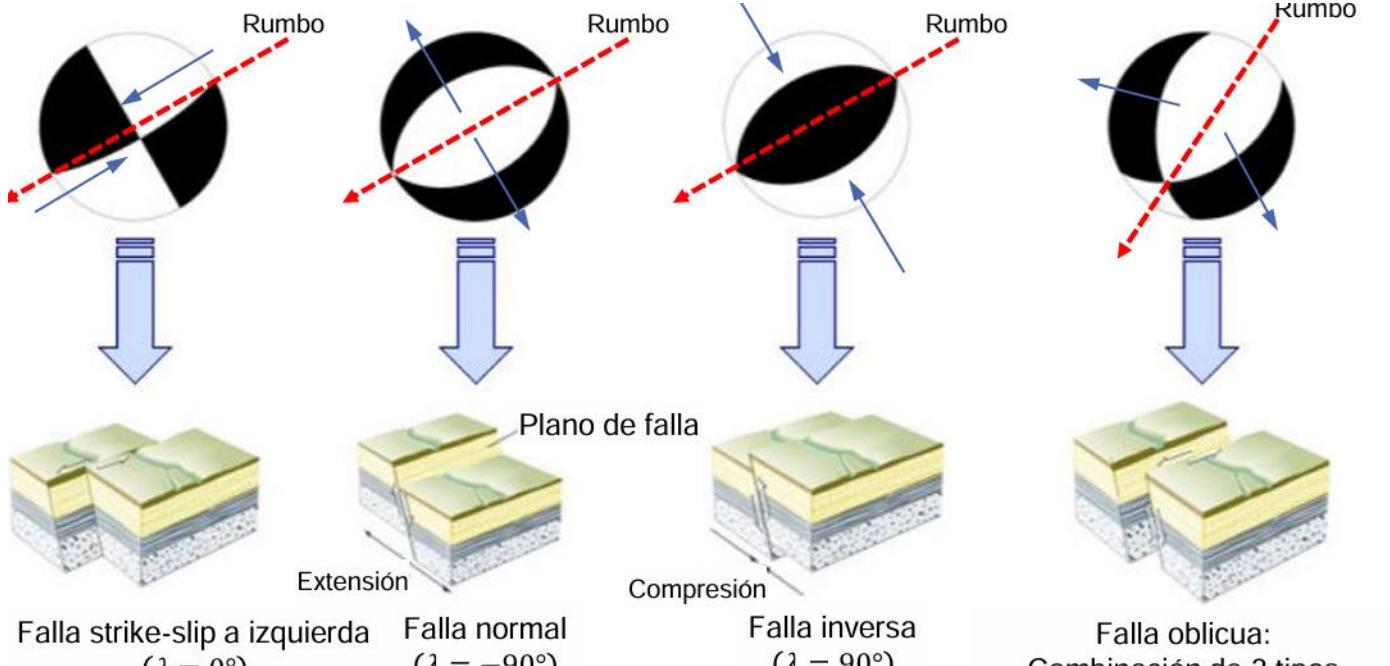
**Slip** = El vector deslizamiento se define como el movimiento del bloque bajo de la falla con relación al bloque alto de la falla.

**Rake** = Cabeceo de la falla es el ángulo  $\lambda$  entre el vector deslizamiento y la dirección de la falla. -180- 180. ( $0-360^\circ$ )



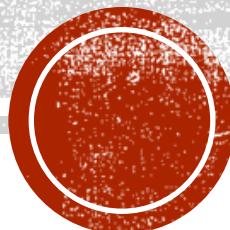
**SEISMICX**

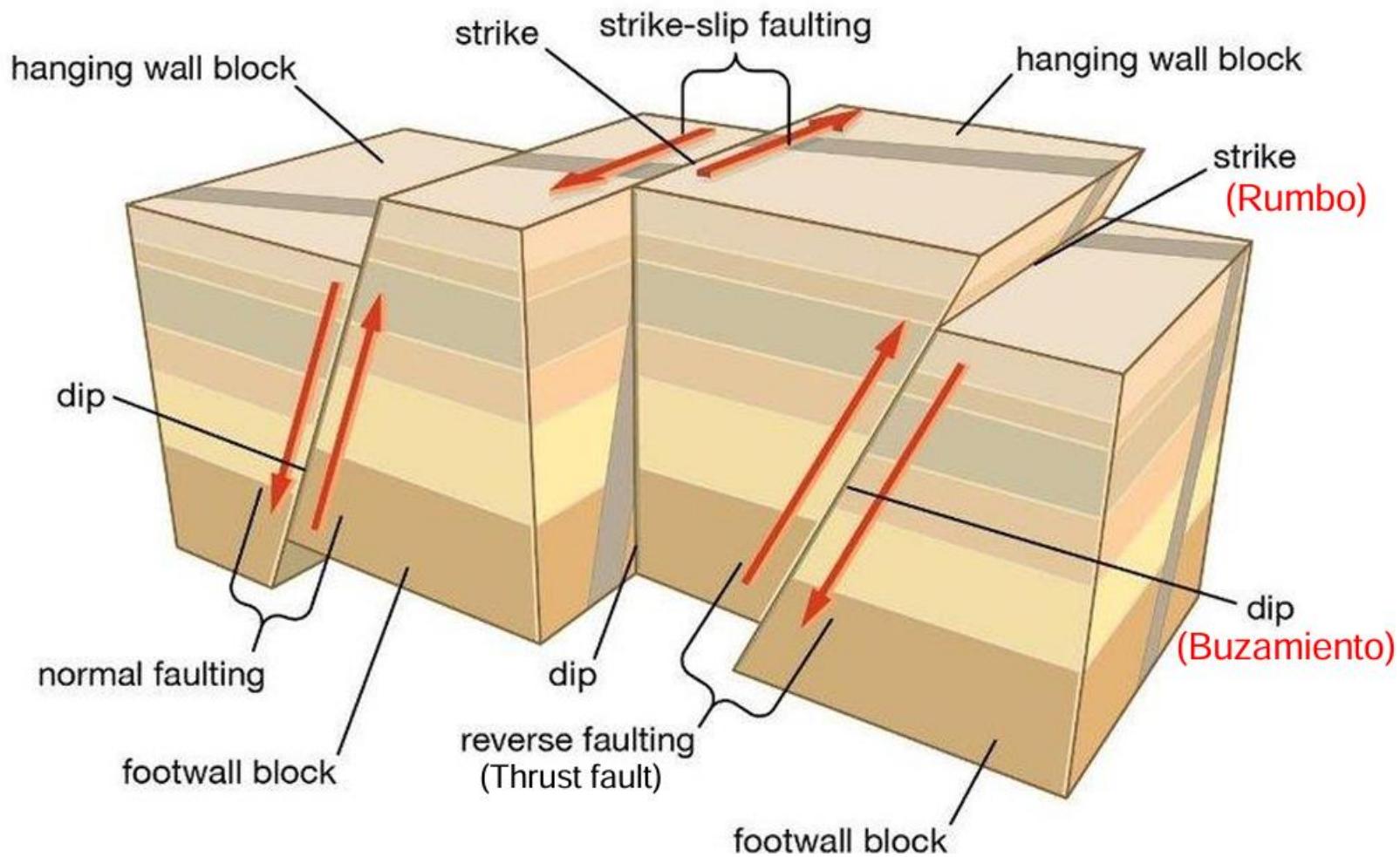
DISEÑANDO Y CONSTRUYENDO SEGURO

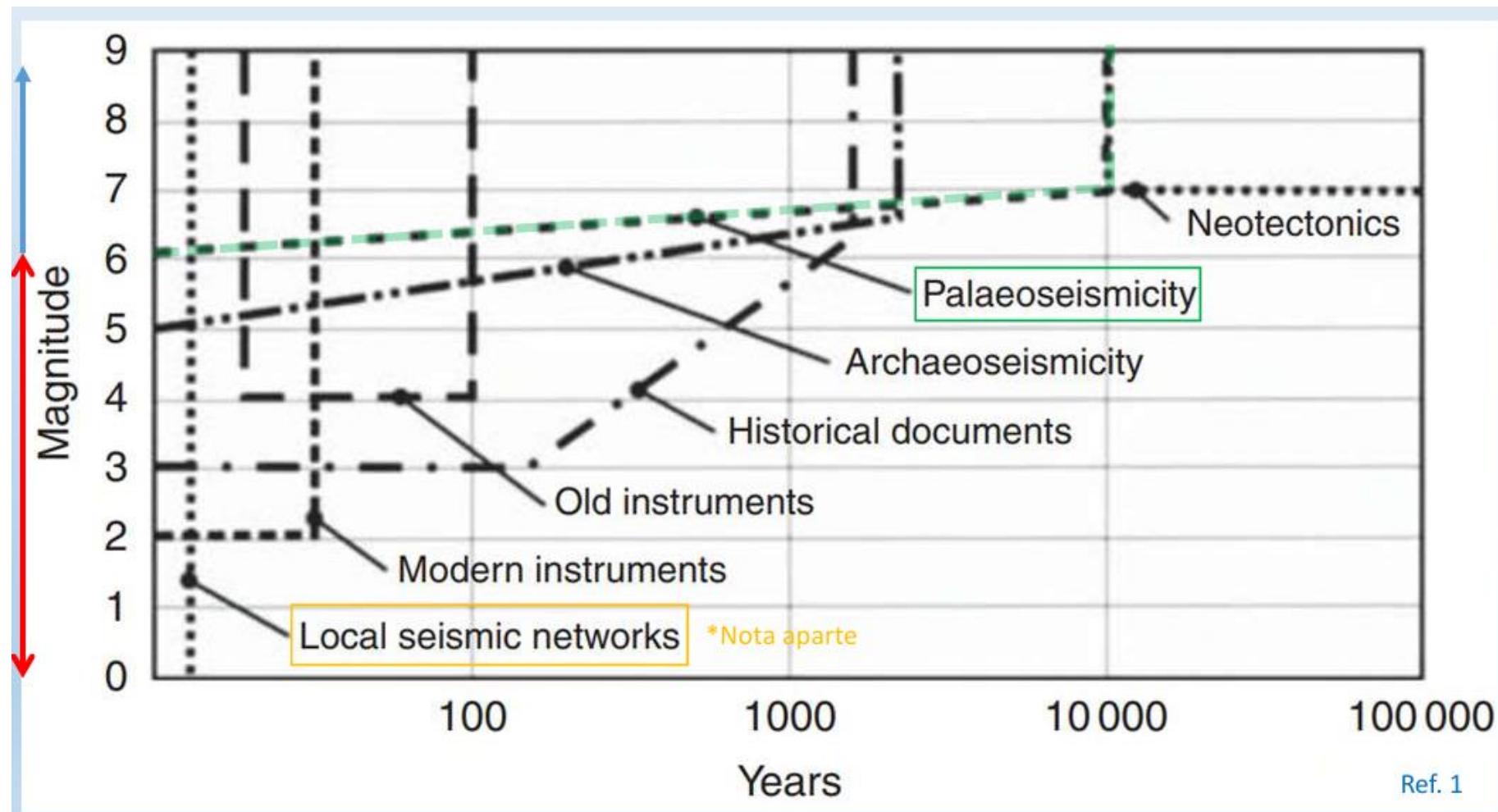


Fuente: <http://www.igeo.ucm-csic.es>

# REPRESENTACIÓN ESTEREOGRÁFICA DEL MECANISMO FOCAL







SEISMICX

DISEÑANDO Y CONSTRUYENDO SEGURO

# CARACTERES PALEOSÍSMICOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS

- **EFFECTOS PRIMARIOS**

Efectos en la superficie del terreno de la falla capaz (falla capaz de producir un terremoto), incluyendo superficies de ruptura, elevaciones y subsidencias con origen tectónico.

- **EFFECTOS SECUNDARIOS**

Efectos inducidos por la vibración del terreno: movimientos de ladera, hundimientos del terreno, grietas en el terreno, anomalías hidrológicas, etc.



**SEISMICX**

DISEÑANDO Y CONSTRUYENDO SEGURO

Nivel 1 Génesis	Primaria			
Nivel 2 Localización	Sobre la falla		Alejado de las fallas	
Nivel 3 Tiempo	Cosísmica (A)	Post sísmico (A)	Cosísmica (B)	Post sísmico (C)
<b>CARACTERES GEOMORFOLÓGICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escarpes de falla</li> <li>• Fisuras</li> <li>• Pliegues</li> <li>• Estrías</li> <li>• Crestas de presión</li> <li>• Valles colgados, obturados o decapitados (Ref. 2)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se asocian a las modificaciones geomorfológicas de la deformación cosísmica (réplicas).</li> <li>• Depósitos coluvionales (cuñas)</li> <li>• Influye en deslizamientos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superficies inclinadas.</li> <li>• Elevación de líneas de costa.</li> <li>• Subsidiencia de líneas de costa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terrazas aluviales de origen tectónico.</li> <li>• Iniciador de movimientos de ladera.</li> <li>• Se asocian a las modificaciones geomorfológicas de la deformación cosísmica (erosión remontante, sedimentación en zonas hundidas reactivadas).</li> </ul>
<b>CARACTERES ESTRATIGRÁFICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrato roto y desplazado</li> <li>• Estrato plegado</li> <li>• Estrato girado crean discordancias</li> </ul> <p>NOTA: Aparición de caracteres geológicos semejantes con <u>génesis no sísmica</u>:</p> <p>A muy poco frecuente B A veces C frecuentes</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formación de conos de deyección.</li> <li>• Relleno de fisuras.</li> <li>• Mineralizaciones (hidrotermalismos asociado a fallas).</li> <li>• Discordancias (horizonte pre y postevento).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Depósitos de material arrastrado por tsunamis y no conformidades causadas por tsunamis.</li> <li>• Depósitos en lagos que registran deslizamientos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discordancias erosivas, depósitos sedimentarios procedentes de superficies inclinadas, costas elevadas o deprimidas, todos estos procesos pueden dar registro sedimentario que indiquen cambios de paleocorrientes, suelos fosilizados, relleno sedimentario brusco, sedimentación catastrófica.</li> </ul>

Nivel 1 Génesis	Secundarios			
Nivel 2 Localización	Sobre la falla		Alejado de las fallas	
Nivel 3 Tiempo	Cosísmica (B)	Post sísmico (C)	Cosísmica (B)	Post sísmico (C)
<b>CARACTERES GEOMORFOLÓGICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volcanes de arena</li> <li>• Deslizamientos y extensión lateral de material</li> <li>• Afección a zonas arboladas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deslizamientos diferidos y que se retrotraen con origen en la zona de falla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volcanes de arena</li> <li>• Deslizamientos y extensión lateral de material</li> <li>• Afección a zonas arboladas</li> <li>• Fisuras y sackungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deslizamientos diferidos y que se retrotraen con origen en la zona de falla</li> </ul>
<b>CARACTERES ESTRATIGRÁFICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diques y sills de arena</li> <li>• Deformación sedimentos blandos</li> <li>• Deslizamiento de tierras</li> </ul> <p>NOTA: Aparición de caracteres geológicos semejantes con <u>génesis no sísmica</u>:</p> <p>A muy poco frecuente B A veces C frecuentes</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sedimentos depositados por deslizamientos de tierra o los propios sedimentos del lago</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diques de arena</li> <li>• Cráteres llenos</li> <li>• Sedimentos blandos deformados</li> <li>• Turbiditas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios en ciclos de erosión o sedimentación en una zona como respuesta a deslizamientos, extensión del sedimento.</li> </ul>



**SEISMICX**

DISEÑANDO Y CONSTRUYENDO SEGURO



# TABLA CRONOESTRATIGRÁFICA INTERNACIONAL

UGS [www.stratigraphy.org](http://www.stratigraphy.org)

## Comisión Internacional de Estratigrafía

2023/04



The chart displays the following geological time scale:

- Eonosfera / Eón**: Eratema / Era, Sistema / Periodo.
- Cenozoico**: Serie / Época, Piso / Edad, GSSP, Edad (Ma) y antigüedad.
- Paleozoico**: Serie / Época, Piso / Edad, GSSP, Edad (Ma).
- Mesozoico**: Serie / Época, Piso / Edad, GSSP, Edad (Ma).
- Cretácico**: Serie / Época, Piso / Edad, GSSP, Edad (Ma).
- Inferior**: Serie / Época, Piso / Edad, GSSP, Edad (Ma).
- Superior**: Serie / Época, Piso / Edad, GSSP, Edad (Ma).
- Neógeno**: Serie / Época, Piso / Edad, GSSP, Edad (Ma).
- Cuaternario**: Serie / Época, Piso / Edad, GSSP, Edad (Ma).
- Mesozoico**: Serie / Época, Piso / Edad, GSSP, Edad (Ma).
- Triásico**: Serie / Época, Piso / Edad, GSSP, Edad (Ma).
- Jurásico**: Serie / Época, Piso / Edad, GSSP, Edad (Ma).
- Devónico**: Serie / Época, Piso / Edad, GSSP, Edad (Ma).
- Ordovícico**: Serie / Época, Piso / Edad, GSSP, Edad (Ma).
- Cámbrico**: Serie / Época, Piso / Edad, GSSP, Edad (Ma).
- Proterozoico**: Serie / Época, Piso / Edad, GSSP, Edad (Ma).
- Precámbrico**: Serie / Época, Piso / Edad, GSSP, Edad (Ma).

Key features include:
 

- Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs)** marked with yellow triangles.
- Numerical Ages** (e.g., 538.8 ± 0.2 Ma, 358.9 ± 0.4 Ma) for many units.
- Conventions** for stages and series (e.g., S, M, I).
- Periods** and **Eras** indicated at the top of each column.

La norma de colores se rige por la de la Comisión del Mapa Geológico del Mundo (CCGM-IUGS) – [www.cccm.org](http://www.cccm.org)



Esta tabla croneoestratigráfica es una adaptación al español de América y una edición del Servicio Geológico Colombiano (SGC). La coordinación estuvo a cargo de Jorge Gómez Tapia del SGC y Juan Carlos Gutiérrez-Marco del Instituto de Geociencias (CSIC-UCM, Madrid), quienes recibieron contribuciones de diversas subcomisiones estratigráficas, servicios geológicos y profesionales radicados en México, Argentina, Chile, Perú, Ecuador y Uruguay. En Venezuela, la terminología croneoestratigráfica sigue las pautas del castellano de España.



nición del Estratotípico Global de Límite (GSSP—Global Boundary Type Section and Point) para la base de las unidades de los rangos es un proceso que aún no ha sido completado. Tampoco los estratotípos de límite de las unidades del Arqueano y zóco, cuya división se fundamentó por mucho tiempo en una clasificación de edades abolidas (GSSA—Global Standard Stratigraphic Age). Las fuentes en cursiva indican unidades informales y marcadas por unidades innombradas. Las diferentes versiones y los detalles de los GSSP están disponibles en el sitio web [www.stratigraphy.org](http://www.stratigraphy.org). La URL de esta versión de la Tabla se tra más adelante.

ades numéricas están sujetas a revisión y no definen unidades en el Cenozoico ni en el Ediacariano; solo los GSSP lo hacen. Para los que en el Fanerozoico que no tienen un GSSP formal o edades numéricamente trinidadas, se proporciona una edad numérica aproximada (~).

Series/Subépocas ratificadas se abrevian como S (Superior), M y I (Inferior). Las edades numéricas para todos los sistemas, excepto para el Cuaternario, Paleógeno superior, Cretácico, Jurásico, Pérmico, Cámbrico y Precámbrico se tomaron de *A Geologic Scale* 2012 de Gradstein et al. (2012), las del Cuaternario, Paleógeno superior, Cretácico, Jurásico, Tríásico, Pérmico, Cámbrico y Precámbrico fueron proporcionadas por las subcomisiones respectivas.

diseñada por K.M. Cohen, D.A.T. Harper, P.L. Gibbard, N. Carrasco y la International Commission on Stratigraphy (IUGS), abril de 2023

Citar como: Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. y Fan, J.-X. (2013; actualizado The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes 36: 199-204.

URL: <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2023-04SpanishAmer.pdf>

# MÉTODOS DE DATACIÓN NUMÉRICA Y RELATIVA

## Datación absoluta o numérica:

- **Radiometría (Métodos Isotópicos):**
- **Carbono-14:** Se usa para datar restos orgánicos en sedimentos y puede proporcionar fechas de hasta unos 50,000 años, útil para terremotos recientes.
- **Uranio-Torio (U/Th), Potasio-Argón (K-Ar) y Argón-Argón (Ar-Ar):** Se aplican a rocas y minerales, permitiendo fechar eventos geológicos en escalas de tiempo más largas.
- **Termoluminiscencia (TL) y Radiometría de Luminiscencia:** Estos métodos se utilizan para determinar cuándo se expuso un sedimento al calor o a la luz, lo que puede estar relacionado con la actividad sísmica y el recubrimiento o reanudación de la sedimentación.
- **Dendrocronología:** El estudio de los anillos de crecimiento en árboles puede revelar rupturas en la continuidad del crecimiento debido a perturbaciones causadas por terremotos, proporcionando fechas precisas de eventos en regiones con vegetación.
- **Datación con Nuclidos Cosmogénicos:** Se mide la acumulación de isótopos en la superficie de rocas expuestas para estimar el tiempo de exposición, lo cual es útil para determinar la edad de superficies deformadas por movimientos tectónicos.

## Datación relativa:

- **Principio de Superposición:** Las capas sedimentarias se depositan de manera que las más antiguas quedan en la parte inferior y las más jóvenes en la superior. Esto ayuda a establecer la secuencia de eventos tectónicos y sedimentarios.
- **Relaciones Cruzadas y Cortes de Trinchera:** Al excavar trincheras a lo largo de fallas activas, se pueden identificar estratos que han sido desplazados por movimientos sísmicos. Las relaciones entre estos estratos y las estructuras asociadas (como desconformidades o intrusiones) permiten ordenar cronológicamente los eventos.
- **Observaciones Geomorfológicas:** Se analizan características del paisaje, como terrazas fluviales, lineamientos de fallas y otras deformaciones, para inferir la edad relativa de los eventos sísmicos. Por ejemplo, un offset en una línea de riberas puede indicar la ocurrencia de un terremoto y su posición relativa en el tiempo.
- **Correlación Estratigráfica:** Al comparar secciones estratigráficas en distintas áreas, se puede correlacionar unidades sedimentarias y eventos tectónicos, estableciendo un marco temporal relativo para los terremotos.

# SIG

## Sistema de Información Geográfica



## ANÁLISIS GEOESPACIAL

- Es el estudio cuantitativo de aquellos fenómenos que se manifiestan en el espacio
- Una de las principales aplicaciones de los SIG
- Necesita información georreferenciada, y la localización importa, ¡no se puede cambiar!
- Conjunto de procesos (técnicas y modelos) que hacen uso explícito de la posición de cada dato



**SEISMICX**

DISEÑANDO Y CONSTRUYENDO SEGURO

# ANÁLISIS GEODESICO

Conceptos importantes:

- **Medición de datos – Unidad espacial**

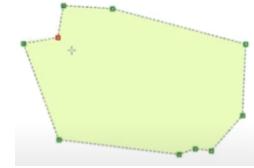
1. Vectorial: Los datos vectoriales representan los elementos geográficos mediante **puntos, líneas y polígonos**. Se basan en **coordenadas (X, Y)** y pueden incluir atributos adicionales en bases de datos.



Punto

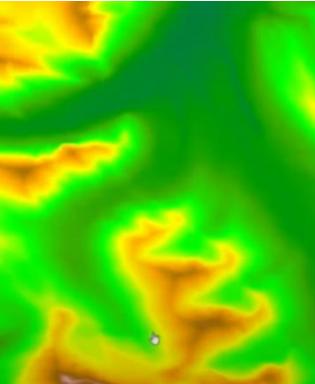
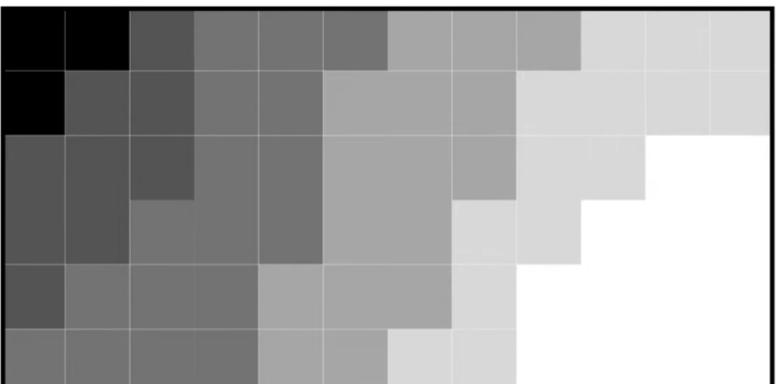


Línea



Polígono

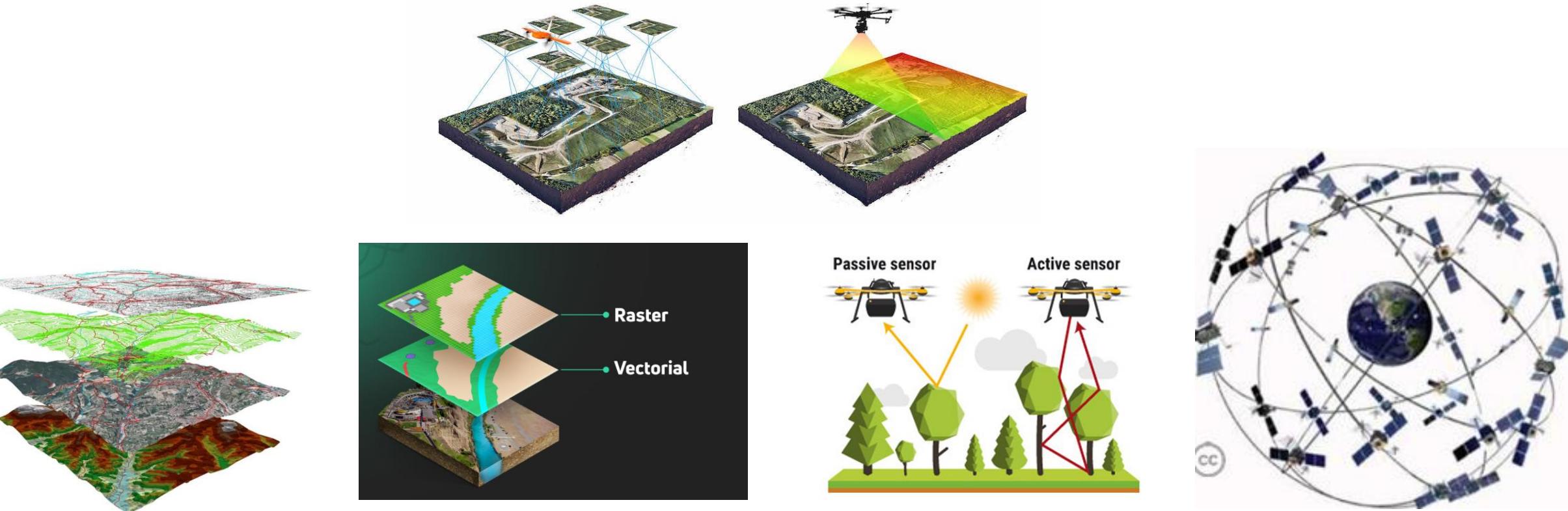
2. Ráster: Los datos ráster representan la información espacial en una **malla de celdas o píxeles**, donde cada celda tiene un valor que representa una característica (ej., elevación, temperatura, peligrosidad sísmica).

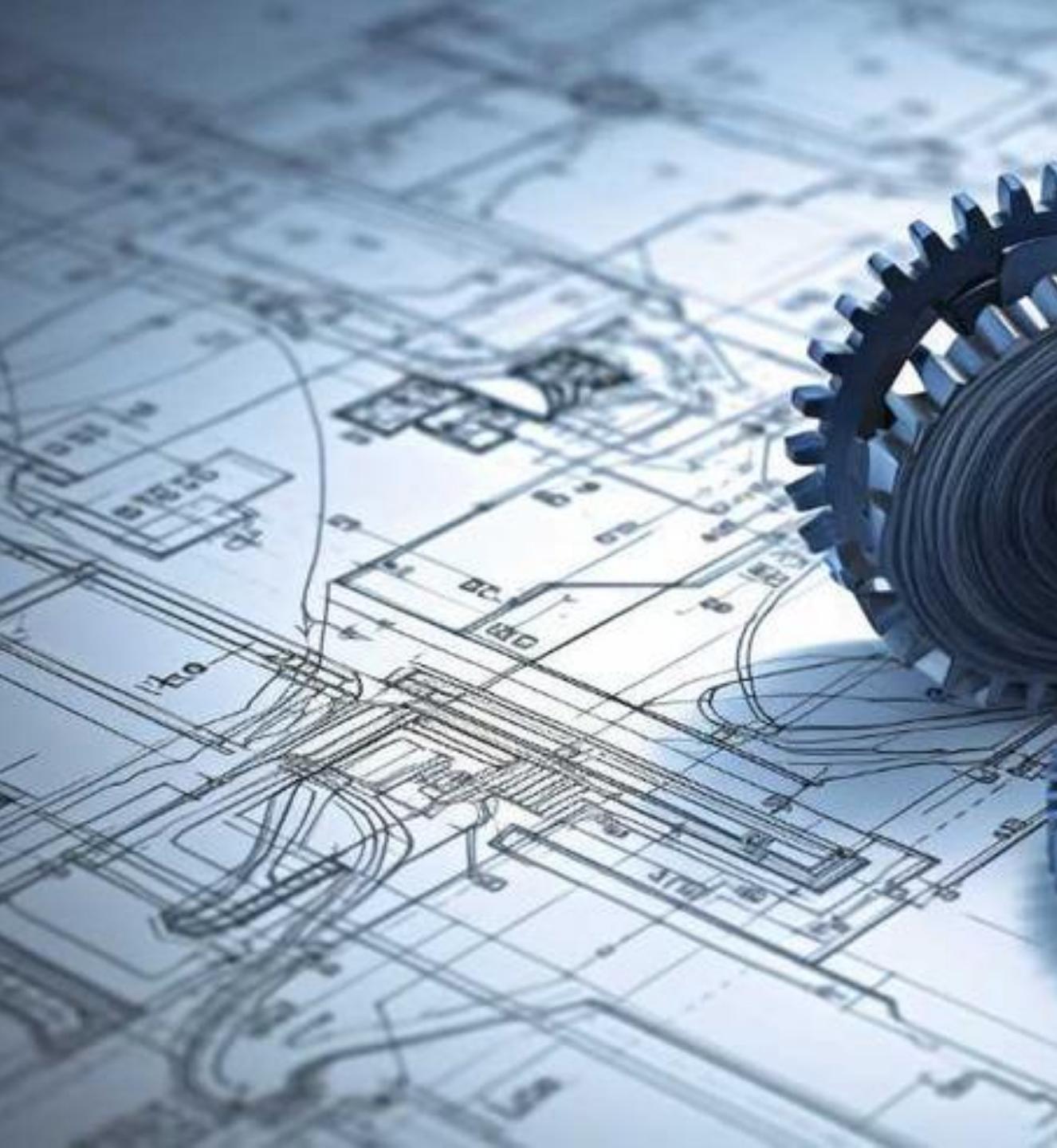


# ¿Qué son las Tecnologías de Información Geográfica (TIGs)?

Técnicas, aplicaciones, sistemas y recursos orientados a la captura, tratamiento y análisis de la realidad geográfica

- SIG
- GNSS
- Fotogrametría
- Lidar
- Teledetección
- Sistemas basados en localización





**GRACIAS POR LA  
ATENCIÓN**

□ 92 777 0169

✉ seismicx.proyectos@gmail.com

🌐 <https://seismicx.github.io/Intranet-DHSA/>