

Civically engaged to ensure that an earthquake is not a social issue

Introducción	4
Título	4
Autores	4
Resumen del escenario	4
Edad del alumnado	4
Ciencia de Datos en STEAM para el compromiso cívico y la justicia social desde la primera infancia	5
Asignaturas y temas	5
Preguntas de la vida cotidiana	5
Objetivos del escenario	5
Destrezas y competencias	6
Perspectivas de la enseñanza y aprendizaje estrategias y teorías	8
Relación entre el escenario de DataScEd4CiEn y el currículo nacional	8
Planificación del escenario educativo	10
Planificación	10
Temporalización	15
Recursos didácticos	15
Materiales	15
Herramientas en línea	15
Evaluación	16
Evaluación inicial	16
Instrumentos de evaluación	16
Referencias:	16
Biology and geology annexes:	17
Anexos de Biología y Geología:	17
S1: ¿Por qué la Tierra tiene capas?	17
S2: ¿Cómo sabemos qué hay debajo de la corteza terrestre?	17
S3: Ondas sísmicas	20
Grupo de expertos 1. Ondas superficiales	21
1. Ondas superficiales	21
a. Ondas Love	21

b. Ondas Rayleigh	22
Grupo de expertos 2. Ondas de cuerpo: ondas P	22
2. Ondas de cuerpo	22
a. Ondas primarias (ondas P)	22
2. Ondas de cuerpo	23
b. Ondas secundarias (ondas S)	23
Summary of Key Differences	23
Grupo de expertos 4. Ondas de cuerpo y el interior de la Tierra	24
¿Cómo nos ayudan a comprender el interior de la Tierra?	24
Vamos a realizar un pequeño experimento: demostración de ondas sísmicas P y S	25
S4: Experimento de ondas sísmicas.	25
Vocabulario	25
Objetivos	25
Materiales	26
Desarrollo de la actividad	26
Parte 1: Introducción a las ondas sísmicas	26
Parte 2: Actividad práctica	26
Actividad 1: Modelización de las ondas P	26
Actividad 2: Modelización de las ondas S	27
Parte 3: Comparación entre ondas P y ondas S	27
Parte 4: Conclusiones	27
S5: El campo magnético terrestre, nuestro escudo y localización del epicentro de un terremoto	27
Parte 1: El campo magnético terrestre, nuestro escudo	27
Consecuencias de una futura inversión del campo magnético	29
1. Debilitamiento del campo magnético terrestre	29
2. Cambios geofísicos	30
3. Efectos climáticos (incierto)	30
Conclusión	30
Parte 2: Actividad práctica — Localización del epicentro de un terremoto	30
1. Comprender las ondas P y S	30
2. Diferencia de tiempo y distancia	31
3. Determinación del epicentro	31
4. ¿Por qué tres estaciones?	31
Ejercicio: Localización del epicentro de un terremoto	31
Anexos matemáticos: Cívicamente comprometidos para asegurarnos que un terremoto no es un problema de justicia social	35
Justification	35
Previo a la lectura	35
Lectura	36
S1 and S2. Reconocimiento de patrones en terremotos históricos	41
S3 and 4. Comprensión de la probabilidad condicional para predecir la ocurrencia de un terremoto en Puerto Real	43
S5. Muchas magnitudes y unidades de medida de la magnitud de los terremotos	46

Antes de la lectura	46
Durante la lectura	46
Después de la lectura	46
S6. Representación gráfica de la magnitud momento	47
Después de la lectura	47
S7. Producto final. Escribe un artículo periodístico	48
Referencias bibliográficas	49

Introducción

Título

Cívicamente comprometido para que un terremoto no sea un problema de justicia social

Autores

Manuel Pavón Iglesias y Ana Serradó Bayés from Colegio La Salle-Buen Consejo

Resumen del escenario

En esta situación de aprendizaje, los estudiantes explorarán la ciencia y la ciencia de datos detrás de los terremotos a través de un enfoque multidisciplinario que integra geografía, biología y geología, matemáticas y estadística, y lenguaje. A lo largo de 15 sesiones, los estudiantes investigarán qué es un terremoto, cómo y por qué ocurre, cómo se mide su magnitud y dónde ocurren comúnmente los terremotos alrededor del mundo. También estudiarán datos históricos de algunos de los terremotos más intensos registrados en la historia y los datos históricos de los terremotos en la región donde se encuentra el colegio, y evaluarán cómo los científicos utilizan la ciencia de datos para monitorear e intentar predecir la actividad sísmica.

A medida que los estudiantes recopilen e interpreten datos de eventos sísmicos reales y registros históricos, se les desafiará a evaluar si los terremotos representan una amenaza realista para su propia comunidad. Esta exploración culminará con la creación de un artículo periodístico titulado «¿Tienes miedo de un terremoto en Puerto Real, sí o no?». En este producto final, los estudiantes utilizarán los datos, gráficos y conclusiones que hayan desarrollado durante el proceso de aprendizaje para tomar una postura, presentar evidencias y comunicar sus hallazgos a un público más amplio de manera convincente e informativa.

Edad del alumnado

15 y 16 años

Ciencia de Datos en STEAM para el compromiso cívico y la justicia social desde la primera infancia

Asignaturas y temas

Biología, Matemáticas and Digitalización

Preguntas de la vida cotidiana

1. ¿Qué causa que ocurra un terremoto y cómo contribuyen las placas tectónicas a la actividad sísmica?
2. ¿Cómo miden los científicos la intensidad de un terremoto y qué es la Escala de Magnitud de Momento?
3. ¿Qué regiones del mundo son más vulnerables a los terremotos y por qué estas áreas experimentan mayor actividad sísmica?
4. ¿Cómo podemos predecir la ocurrencia de un terremoto y por qué es tan difícil la predicción?
5. ¿Cómo podemos utilizar datos en tiempo real de fuentes como el IGN para seguir la evolución de los terremotos?
6. ¿Cómo influyen los eventos sísmicos históricos, como los ocurridos en Japón o Chile, en nuestra comprensión de los riesgos sísmicos?
7. ¿Qué riesgos enfrentan los residentes de Puerto Real en caso de un terremoto de gran magnitud y cuán probable es que ocurra en esta región?
8. ¿Cómo podemos representar visualmente los datos de terremotos para comunicar los hallazgos de manera efectiva?
9. ¿Qué consideraciones éticas debemos tener en cuenta al comunicar datos sobre terremotos al público?
10. Basado en tu investigación, ¿deberían las personas de Puerto Real tener miedo de los terremotos? ¿Por qué sí o por qué no?

Objetivos del escenario

Biología y Geología:

1. Definir qué es un terremoto y cómo se forma.
2. Identificar los procesos tectónicos responsables de la actividad sísmica.
3. Comprender cómo se mide la magnitud de un terremoto utilizando la Escala de Magnitud de Momento (M_w) a partir de la escala Richter original.

1) Contexto Geográfico:

1. Localizar las zonas sísmicas globales e identificar las regiones más propensas a sufrir terremotos.

2. Evaluar el riesgo local de terremotos en Puerto Real y su zona de influencia.

2) Indagación Histórica:

1. Investigar los principales terremotos de la historia mundial según su magnitud y los daños causados.
2. Analizar las causas y consecuencias de estos terremotos.

3) Alfabetización en Datos:

1. Utilizar la base de datos de terremotos del IGN en línea para rastrear y visualizar la actividad de los últimos 10 años en la zona.
2. Crear gráficos y representaciones visuales para mostrar la frecuencia, magnitud y ubicación de los terremotos.
3. Analizar posibles asociaciones entre las diferentes variables relacionadas con los terremotos.
4. Deducir modelos generativos para el razonamiento inferencial informal, analizando la variabilidad de los datos y buscando patrones.
5. Construir modelos predictivos de aprendizaje automático basados en árboles de decisión para establecer los respaldos y calificadores de la ocurrencia de terremotos.
6. Interpretar datos sísmicos reales y eventos históricos.

4) Comunicación y Periodismo:

1. Desarrollar un artículo periodístico basado en los datos recopilados y las representaciones visuales.
2. Presentar los hallazgos sobre los riesgos de terremotos en Puerto Real basados en los modelos predictivos de aprendizaje automático mediante árboles de decisión que se han establecido.
3. Tomar una postura respecto a la pregunta del título del artículo «¿Tienes miedo de un terremoto en Puerto Real, sí o no?» y respaldarla con evidencias.

Destrezas y competencias

Escepticismo hacia los datos

Los estudiantes aprenderán a no aceptar los datos al pie de la letra. Mientras analizan datos de terremotos (como magnitud, ubicación y frecuencia), se les animará a cuestionar:

- ¿De dónde provienen los datos?
- ¿Cómo se recopilaron o midieron?
- ¿Qué podría faltar o ser engañoso?

Esta actitud crítica ayudará a los estudiantes a realizar interpretaciones más informadas y responsables de los datos.

2. Disposición a trabajar con la incertidumbre

La predicción de terremotos y la evaluación de riesgos implican variables complejas y datos incompletos. Los estudiantes experimentarán de primera mano que:

- Los datos no siempre ofrecen respuestas claras.
- Los modelos científicos (por ejemplo, para pronosticar terremotos) tienen limitaciones.

Esto les ayudará a sentirse cómodos con la ambigüedad y a razonar de forma probabilística, una disposición esencial en la ciencia de datos.

3. Dar sentido a los datos

Más allá de crear gráficos o resumir estadísticas, los estudiantes:

- Formularán preguntas significativas.
- Usarán los datos para generar insights y respaldar conclusiones.
- Combinarán evidencia cuantitativa con el contexto del mundo real en su artículo periodístico.

Esto refuerza el hábito de utilizar los datos no solo para cálculos, sino para comprender y explicar los fenómenos.

4. Argumentación usando datos

Los estudiantes practicarán el uso de los datos como evidencia para:

- Tomar una posición al responder la pregunta del producto final: «¿Tienes miedo de un terremoto en Puerto Real, sí o no?».
- Defender esa posición por escrito con razonamiento, evidencias y elementos visuales.

Esta disposición fomenta el razonamiento basado en datos, ayudando a los estudiantes a comunicar ideas complejas de manera efectiva y responsable.

5. Curiosidad y motivación para explorar

A través del acceso a datos sísmicos reales y herramientas, se incentivará a los estudiantes a:

1. Explorar patrones y anomalías.
2. Investigar temas de interés personal o local.

6. Conciencia ética y responsabilidad

Al interpretar y compartir datos sobre desastres naturales, los estudiantes reflexionarán sobre:

1. El impacto real que tiene la forma en que se presentan los datos (por ejemplo, miedo frente a preparación).

2. La importancia de la precisión, la transparencia y el contexto en la comunicación.

Esto cultiva un sentido de responsabilidad ética al trabajar con datos que afectan la comprensión pública y la seguridad.

Perspectivas de la enseñanza y aprendizaje estrategias y teorías

En esta situación de aprendizaje, se introducirá la metodología de aprendizaje basado en la indagación (IBL) como enfoque principal para fomentar el compromiso de los estudiantes y la comprensión científica a través de la investigación activa y la resolución de problemas. El proceso de indagación comienza presentando a los estudiantes preguntas del mundo real, como «¿Deberían las personas de Puerto Real tener miedo de un terremoto?». Esta pregunta abierta anima a los estudiantes a desarrollar el pensamiento crítico y el análisis de datos mientras investigan la actividad sísmica tanto a nivel local (usando el IGN) como global, empleando herramientas digitales para crear gráficos e identificar patrones en la ocurrencia y magnitud de los terremotos.

Al trabajar en grupos y realizar investigaciones independientes, los estudiantes practicarán la formulación de hipótesis, la comprobación de predicciones y la síntesis de datos para respaldar sus conclusiones. El producto final —un artículo periodístico— sirve como plataforma para que los estudiantes comuniquen sus hallazgos, utilizando evidencias para argumentar a favor o en contra del riesgo percibido de terremotos en Puerto Real. Este enfoque no solo desarrolla habilidades de indagación científica, como la interpretación de datos, sino que también nutre disposiciones críticas, entre ellas el escepticismo, la curiosidad y la responsabilidad ética, a medida que los estudiantes aprenden a evaluar y comunicar datos científicos complejos de manera efectiva.

A través del aprendizaje basado en la indagación, se empodera a los estudiantes para explorar, cuestionar y evaluar críticamente la información, profundizando tanto su comprensión de los terremotos como sus habilidades analíticas más amplias.

Relación entre el escenario de DataScEd4CiEn y el currículum nacional

1. Competencia científica

- **Comprensión de los fenómenos naturales:** El alumnado comprenderá cómo se forman los terremotos, cómo se miden (Escala de Magnitud de Momento) y cómo las placas tectónicas influyen en la actividad sísmica.
- **Análisis e interpretación de datos:** El alumnado trabajará con datos sísmicos reales para identificar patrones, comparar magnitudes y comprender los riesgos sísmicos a escala global y regional.

- **Uso del lenguaje científico:** Desarrollarán la capacidad de explicar conceptos complejos utilizando la terminología científica adecuada tanto en la comunicación escrita como oral.
2. Competencia digital
- **Búsqueda y verificación de información:** El alumnado aprenderá a navegar por bases de datos en línea (por ejemplo, USGS, EMSC) para extraer datos relevantes sobre terremotos.
 - **Visualización de datos:** Utilizarán herramientas digitales (por ejemplo, hojas de cálculo, software de creación de gráficos) para elaborar gráficos y diagramas significativos que respalden sus conclusiones.
 - **Uso crítico de la tecnología:** Evaluarán las fuentes y verificarán la fiabilidad de la información recopilada en Internet.
3. Comunicación en la lengua materna (competencia lingüística)
- **Escritura con un propósito y para una audiencia:** A través del artículo periodístico final, el alumnado practicará una escritura estructurada y con intención informativa y persuasiva.
 - **Comunicación oral:** Los debates, discusiones en clase y presentaciones ayudarán al alumnado a expresar los resultados científicos de forma clara y coherente.
 - **Análisis y producción textual:** El alumnado analizará ejemplos de textos periodísticos y aplicará técnicas similares para estructurar sus propios artículos.
4. Competencia social y cívica
- **Conciencia de problemas locales y globales:** El alumnado explorará cómo los desastres naturales, como los terremotos, afectan a comunidades de todo el mundo y evaluará el riesgo para su propia localidad (Puerto Real).
 - **Responsabilidad cívica y preparación:** La unidad fomenta la reflexión sobre cómo las comunidades pueden prepararse ante riesgos naturales y promueve una ciudadanía activa e informada.
5. Aprender a aprender
- **Habilidades de investigación:** El alumnado planificará y llevará a cabo investigaciones, sintetiza diversas fuentes de información y extraerá conclusiones basadas en evidencias.
 - **Autorregulación y autonomía:** A través del proceso de elaboración del artículo final, el alumnado gestionará el tiempo, tomará decisiones y revisará su trabajo de forma autónoma.
 - **Colaboración y reflexión:** El trabajo en grupo y la participación en sesiones de retroalimentación ayudarán al alumnado a evaluar su propio aprendizaje y a mejorar mediante las aportaciones de sus compañeros.
6. Pensamiento crítico y resolución de problemas
- **Evaluación del riesgo:** El alumnado utilizará el razonamiento científico y los datos para evaluar si un terremoto supone una amenaza real para su región.
 - **Toma de decisiones basada en evidencias:** Adoptarán una postura en su artículo (sí o no) y la justificarán mediante hechos, cifras y una argumentación razonada.

Planificación del escenario educativo

Descripción de la planificación didáctica: nombre de la actividad, materia, procedimientos, tiempo y recursos. Completa la siguiente tabla e incluye los enlaces a la sección de Anexos con la descripción detallada de la actividad.

Planificación

Nombre de la actividad	Procedimientos	Tiempo/A nexos
Sesión 1: Motivación del proyecto		
Materias STEAM: Biología y geología	Actividad: ¿Por qué la Tierra tiene capas? A través de dos actividades de escucha, el alumnado debe intentar recordar el mayor número posible de aspectos relacionados con las capas de la Tierra.	Annex B1 60'
Resultados de aprendizaje esperados	Capas de la Tierra, discontinuidades y características.	

Sesión 2: ¿Cómo sabemos qué hay bajo la corteza terrestre?		
Materias STEAM: Biología y geología	Cómo sabes qué hay bajo la corteza terrestre? Lectura con actividades para familiarizarse con los métodos indirectos para conocer el interior de la Tierra.	Annex B2 60'
Resultados de aprendizaje esperados	Conocer los métodos indirectos para estudiar el interior de la Tierra.	

Sesión 3: Ondas sísmicas		
--------------------------	--	--

Materias STEAM: Biología y geología	Actividad: Ondas sísmicas El alumnado trabaja en equipos; después, cada equipo se divide y el alumnado se reúne en grupos de expertos para analizar los tipos de ondas sísmicas. Posteriormente, regresan a los equipos originales para compartir la información. En casa, el alumnado debe ver vídeos para preparar	Annex B3 60'
--	---	---------------------------------

	la siguiente sesión.	
Resultados de aprendizaje esperados	Tipos y características de las ondas sísmicas.	

Sesión 4: Experimento sobre ondas sísmicas		
Materias STEAM: Biología y geología	Actividad: Experimento sobre ondas sísmicas Mediante una actividad práctica con un muelle (slinky), el alumnado debe: - Comprender las diferencias entre ondas P y ondas S. - Aprender cómo se propagan las ondas sísmicas a través de la Tierra. - Relacionar el movimiento ondulatorio con fenómenos geológicos reales.	Annex B4 60'
Resultados de aprendizaje esperados	 Comprender las diferencias entre ondas P y S.  Aprender cómo se propagan las ondas sísmicas.  Relacionar el movimiento de las ondas con fenómenos geológicos reales.	

Sesión 5: El campo magnético terrestre, nuestro escudo, y localización del epicentro de un terremoto		
Materias STEAM: Biología y geología	La sesión tiene dos partes y requiere al menos 2,5 horas. En la primera parte, mediante una lectura, el alumnado analiza las características del campo magnético terrestre y las consecuencias de un hipotético debilitamiento. La segunda parte consiste en una actividad práctica para localizar el epicentro de un terremoto.	Annex B5 2.5 h
Resultados de aprendizaje esperados	 Características e importancia del campo magnético terrestre.  Cómo se localizan los epicentros.	

Materias STEAM: Biología y geología	Prueba final	1 hora
Resultados de aprendizaje esperados	La prueba resume los contenidos sobre la geosfera trabajados en las cinco sesiones anteriores.	

Lesson 7: Justification		
STEAM materia Matemáticas	Preguntas de prelectura. Imaginar un terremoto fuerte y responder a la pregunta: ¿Qué crees que le pasaría a tu barrio? ¿Qué crees que sería lo más afectado? 1. Lectura sobre las implicaciones históricas y sociales de los terremotos. 2. Preguntas de poslectura para analizar cuáles son las consecuencias en términos de justicia social de un terremoto.	Annex I 20'
Productos esperados	Pensar en un terremoto como un gran problema social. Leer cómo un terremoto puede convertirse en una cuestión de justicia social. Investigar los principales terremotos de la historia mundial según su magnitud y los daños causados. Analizar las causas y consecuencias de estos terremotos.	

Sesión 8: S1 and S2. Reconocimiento de patrones en terremotos históricos		
Materia STEAM: Matemáticas	1. Ver un vídeo y resumir cómo los datos históricos ayudan a predecir y prepararse para futuros terremotos. 2. Reflexionar sobre cuántos terremotos han ocurrido en la Península Ibérica en los últimos diez años. 3. Acceder a la web del Instituto Geográfico Nacional y buscar información sobre la cuestión anterior. 4. Acceder al catálogo de terremotos desde el año 1370 hasta la actualidad y extraer los datos de los últimos diez años. 5. Analizar las variables que ofrece la tabla de información obtenida. 6. Acceder a CODAP con una muestra de 5000 casos y realizar un análisis de datos. 7. Analizar la veracidad de una noticia periodística mediante un análisis exhaustivo de datos oficiales.	Annex 2 120'
Resultados de aprendizaje esperados	 Utilizar la base de datos sísmica del IGN para seguir y visualizar la actividad de los últimos diez años en la zona.	

	- Crear gráficos y visualizaciones que representen la frecuencia, magnitud y localización de los terremotos. - Analizar posibles asociaciones entre las distintas variables relacionadas con los terremotos. - Deducir modelos generativos para la inferencia informal sobre la variabilidad de los datos y la búsqueda de patrones. - Evaluar el riesgo sísmico local en Puerto Real y su entorno.
--	--

Sesión 9: S3 and 4. Comprensión de la probabilidad condicionada para predecir la ocurrencia de un terremoto en Puerto Real		
Materia STEAM: Matemáticas	- Comprender qué es una tabla de contingencia y la probabilidad condicionada. - Determinar, mediante una tabla de contingencia, las probabilidades simples y condicionadas de terremotos con epicentro en Puerto Real. - Acceder al catálogo de terremotos del IGN y utilizar el algoritmo de árboles de decisión de CODAP para realizar un análisis de modelización predictiva considerando diferentes variables y construir una tabla de contingencia con la información del árbol de decisión. - Concluir las diferencias encontradas al trabajar con distintas muestras. - Analizar la representatividad de las muestras para introducir los principios del aprendizaje automático. - Comprender los conceptos de población, muestra y muestreo mediante Edpuzzle: https://edpuzzle.com/assignments/67c5cad0851a1199b5ff31d6/watch	Annex 3 120'
Resultados de aprendizaje esperados	- Construir modelos predictivos de aprendizaje automático mediante árboles de decisión para establecer los fundamentos y matices de la ocurrencia de terremotos. - Interpretar datos sísmicos reales y acontecimientos históricos.	

Sesión 10: S5. Múltiples magnitudes y unidades de medida de la magnitud de un terremoto		
Materia STEAM: Matemáticas	- Con el objetivo de conectar con la materia de Biología y Geología, se plantea al alumnado la pregunta: ¿sabéis cómo se mide la magnitud de un terremoto? - Lectura de un texto de una web oficial del Gobierno de los Estados Unidos sobre la Magnitud	Annex 4 60'

	de Momento y la escala de Richter: cuáles son las diferentes escalas de magnitud y por qué existen tantas. 🎬 Razonamiento sobre los números y las variables que aparecen en las ecuaciones que modelizan las distintas escalas de magnitud de un terremoto. 🎬 Introducción a la notación del logaritmo Esta actividad puede servir como motivación para introducir el significado del logaritmo, su notación o el cambio de base.	
Resultados de aprendizaje esperados	Comprender cómo se mide la magnitud de un terremoto utilizando la Escala de Magnitud de Momento (M_w) a partir de la escala original de Richter.	

Sesión 11: S6. Representación gráfica de la magnitud de momento		
Materia STEAM: Matemáticas	🎬 Lectura sobre el significado de la magnitud de momento y otras escalas. 🎬 Transformar la ecuación del momento sísmico en una función en la que la variable independiente sea M_0 y la variable dependiente sea M_w. 🎬 Utilizar GeoGebra Classic para representar la función y analizar sus propiedades. 🎬 Determinar la tasa de variación y la tasa de variación media del momento sísmico. 🎬 Interpretar la tasa de variación y la tasa de variación media para comprender el crecimiento de la función del momento. 🎬 Generalizar la situación a otras funciones logarítmicas.	Annex 5 60'
Resultados de aprendizaje esperados	Comprender cómo se mide la magnitud de un terremoto utilizando la Escala de Magnitud de Momento (M_w) a partir de la escala original de Richter.	

Session 12: S7. Producto final. Redacción de un artículo periodístico		
Materia STEAM: Matemáticas	🎬 Lectura sobre cuáles son las señas de identidad de la escritura periodística. 🎬 Redactar un artículo periodístico basado en los datos y gráficos elaborados durante la situación de aprendizaje con el título: «¿Tienes miedo a un terremoto en Puerto Real, sí o no?»	Annex 6 120'

	 Analizar si el artículo periodístico cumple los principios definidos en las características de la escritura periodística.  Mejorar el artículo si es necesario.	
Resultados de aprendizaje esperados	 Elaborar un artículo periodístico basado en los datos recogidos y en representaciones visuales.  Presentar conclusiones sobre el riesgo sísmico en Puerto Real basadas en modelos predictivos de aprendizaje automático mediante árboles de decisión.  Tomar una postura en la pregunta del título del artículo («¿Tienes miedo a un terremoto en Puerto Real, sí o no?») y respaldarla con evidencias.	

Temporalización

Describe el tiempo previsto para cada categoría de implementación

- **Tiempo de preparación:** 1 hora

Tiempo de docencia previsto para cada materia STEAM

- **STEAM Biología y Geología:** 7 sesiones de 60 minutos cada una
- **STEAM Matemáticas:** 5 lecciones con un total de 500 minutos

Tiempo de evaluación:

2 horas: una en biología y una en matemáticas.

Recursos didácticos

Describe los materiales y herramientas tecnológicas que se utilizarán en las distintas lecciones

Materiales

Los materiales a utilizar están incluidos en los distintos anexos del escenario.

Herramientas en línea

Geogebra: [geogebra.org](https://www.geogebra.org)

CODAP: <https://codap.concord.org/>

Spanish National Geographic Institute: <https://www.ign.es/web/ign/portal>

Evaluación

Evaluación inicial

No se requiere evaluación inicial, ya que la secuencia comienza con una sesión de motivación y de evaluación de las ideas previas del alumnado sobre las capas de la Tierra.

Instrumentos de evaluación

Describe los instrumentos utilizados para evaluar:

- **Herramientas de evaluación en Biología y Geología:**
 - Sesión 4: Actividad práctica con un muelle (slinky).
 - Sesión 5: Actividad práctica: localización del epicentro de un terremoto.
 - Sesión 6: Prueba final.
- **Conocimientos de ciencia de datos del alumnado en compromiso cívico y justicia social relacionados con la temática del escenario:**
 - Las actividades elaboradas por el alumnado en las lecciones 7, 8 y 10.
 - El producto final: redacción de un artículo periodístico.
- **Disposición del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia de datos** (se pueden incluir anexos utilizados en el aula):
 - Encuesta final al alumnado del proyecto DataScEd4CiEn
 -

Referencias:

Lee, H. S., Wilkerson, M., Grover, S., Shin, H., & Macrander, C. (2022). *Developing students' data science competencies through exploratory data analysis tasks: A framework and design principles*. Journal of the Learning Sciences, 31(1), 60–101.

Biology and geology annexes:

Anexos de Biología y Geología:

S1: ¿Por qué la Tierra tiene capas?



1. Observa la imagen. ¿Qué está ocurriendo? ¿Por qué?
2. Escucha a tu profesor/a e intenta completar la información que falta en tu fotocopia. Hazlo con el bolígrafo azul. **S1 SA5 Capas de la Tierra.**
3. Comparte con tus compañeros lo que has completado y, a su vez, rellena con el bolígrafo negro la información que no hayas conseguido.
4. Mira el vídeo y completa la información que falte con el bolígrafo rojo. **Why Does the Earth Have Layers?**

Pero... el agujero más profundo jamás perforado en la Tierra es el pozo de Kola, con una profundidad de 12.262 m, es decir, 12 km de los 6.378 km del radio terrestre. En otras palabras, solo hemos perforado el 0,18 % de la Tierra. Entonces, ¿cómo sabemos cómo es el interior de la Tierra?

S2: ¿Cómo sabemos qué hay debajo de la corteza terrestre?

A pesar de varios proyectos ambiciosos para perforar toda la corteza terrestre, nunca se ha conseguido. Sin embargo, eso no ha impedido que los científicos investiguen y aprendan sobre la estructura interna y la composición de la Tierra. Existen otros métodos para conocer el interior del planeta.

1. Por ejemplo, cuando un volcán entra en erupción, rocas procedentes del interior de la Tierra llegan a la superficie. Una de esas rocas es la kimberlita, una roca ígnea y una variante poco común de la peridotita, conocida por ser la principal roca portadora de diamantes. Un diamante se forma a una profundidad de unos 150 km cuando el carbono cristaliza. Esto nos proporciona evidencias sobre la composición de las rocas a esa profundidad.
2. Además, los volcanes muestran que el material del interior de la Tierra puede alcanzar temperaturas muy elevadas, lo que indica que existe una relación directa entre profundidad y temperatura. Las rocas son un excelente material aislante, por lo que el interior de la Tierra sigue estando caliente tras 4.500 millones de años.
¿Cuáles son las fuentes de ese calor?
 - a. El calor residual de las colisiones que tuvieron lugar durante la formación de la Tierra.
 - b. El manto contiene elementos radiactivos como el uranio y el torio, que sufren reacciones de fisión al transformarse en plomo y liberan energía.
 - c. El núcleo externo es líquido, pero se va solidificando progresivamente, lo que

también libera calor.

d. Observa el gráfico. ¿Ha sido siempre igual el aporte de calor de los elementos radiactivos? ¿Qué isótopos aportaban más calor en la Tierra primitiva? ¿Por qué crees que ahora no aportan tanto calor?

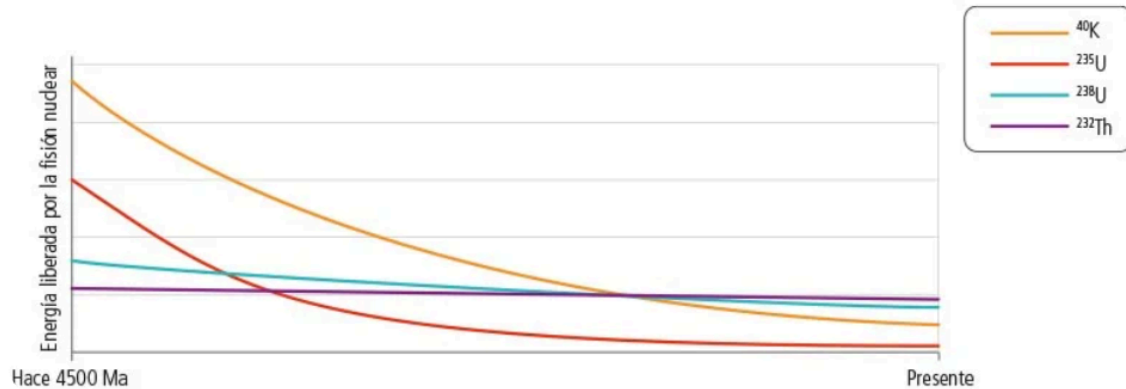


Image: Sm e-book biología y geología 4º de ESO.

■ Todos los cuerpos del Sistema Solar se formaron al mismo tiempo y proceden de la materia de una nebulosa. Los meteoritos forman parte de esos cuerpos. Existen meteoritos compuestos de hierro y níquel, llamados sideritos, y otros, los condritos, formados por silicatos (olivino y piroxeno), similares a la peridotita. Esto sugiere que el interior de la Tierra podría contener materiales similares.

■ La densidad es una propiedad que nos puede dar evidencias sobre la composición del interior de la Tierra.

a. Calcula la densidad de la roca más común en la superficie terrestre: el granito.



Image: Sm e-book biología y geología 4º de ESO.

a. b. Observa la tabla: ¿qué rocas son más densas, las de la superficie como el granito o las del interior como los condritos o los sideritos?

	Granito	Condrito	Siderito
Densidad (g/cm ³)	¿?	3.3	8.0

c. La masa de la Tierra es $5,97 \cdot 10^{24}$ kg y su volumen se puede calcular conociendo su radio:

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 = 1,08 \cdot 10^{12} \text{ km}^3.$$

Con estos datos, la densidad media es de $5,5 \text{ g/cm}^3$. Si en la superficie tenemos granito con una densidad de $2,75 \text{ g/cm}^3$ y la densidad media es $5,5 \text{ g/cm}^3$... ¿qué significa esto?

5. El campo magnético. El núcleo interno es sólido y está formado por hierro y níquel; además, está rodeado por metal fundido (núcleo externo) con corrientes de convección y corrientes eléctricas asociadas al campo magnético. Este campo nos protege del viento solar (protones, núcleos de helio y electrones), que viajan a velocidades de entre 300 y 1.200 km/s. Sin el campo magnético, el viento solar eliminaría nuestra atmósfera.

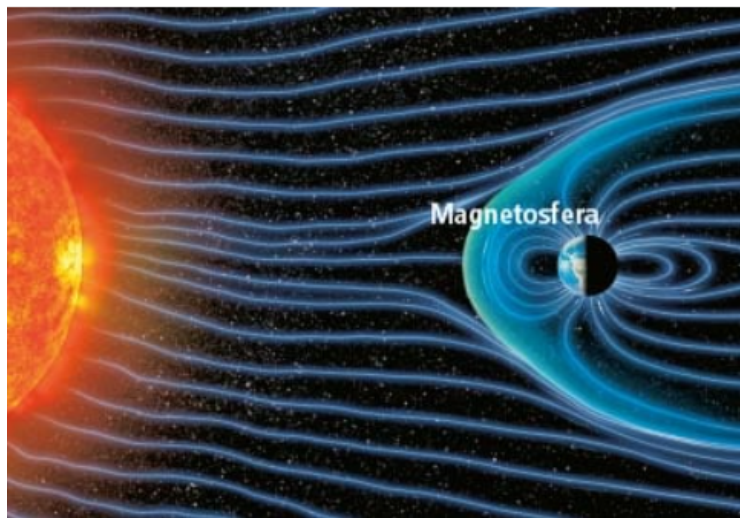


Image: Sm e-book biología y geología 4º de ESO.

2. Ondas sísmicas

Las ondas sísmicas generadas en los terremotos son la principal fuente de información sobre el interior de la Tierra. Su velocidad depende del material por el que se propagan. Existen dos tipos de ondas: ondas P y ondas S.

- Las ondas P se transmiten tanto por sólidos como por líquidos.
- Las ondas S solo se transmiten por sólidos.

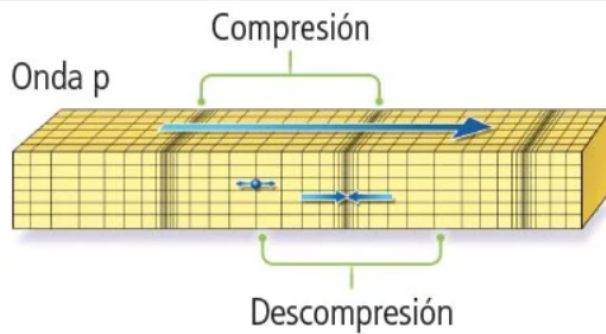


Image: Sm e-book biología y geología 4º de ESO.

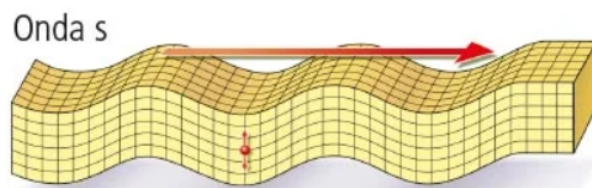


Image: Sm e-book biología y geología 4º de ESO.

Un terremoto en el punto O (foco sísmico) se registra tras un cierto tiempo en las estaciones sísmicas A, B, C y D. La imagen muestra las trayectorias de los frentes de onda y, en la tabla inferior, la distancia entre el foco y las distintas estaciones, así como el tiempo transcurrido hasta que las ondas llegan a ellas.

S3: Ondas sísmicas

Aprendizaje cooperativo: grupos de expertos

¿Recuerdas algo sobre las ondas sísmicas?



Image from: [Mezclas coloidales y Efecto Tyndall](#)

Hoy vamos a aprender más sobre las ondas sísmicas. Cada miembro de cada equipo se reunirá con miembros de otros equipos para profundizar en su conocimiento sobre las ondas sísmicas.

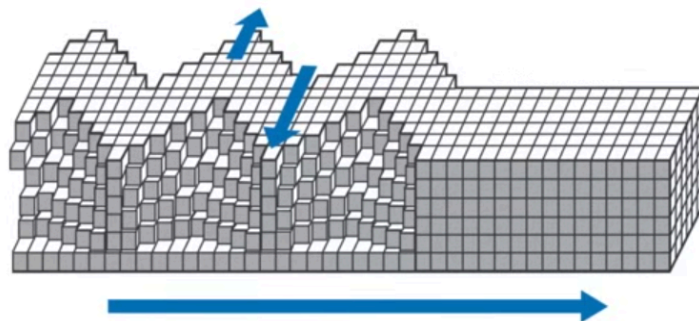
Grupo de expertos 1. Ondas superficiales

Las ondas sísmicas son vibraciones que se propagan a través de la Tierra, generadas por fuentes como terremotos, actividad volcánica o explosiones. Estas ondas se clasifican en dos tipos principales según cómo se desplazan por la Tierra: **ondas de cuerpo** y **ondas superficiales**. Cada tipo presenta características y comportamientos distintos.

1. Ondas superficiales

Las ondas superficiales se propagan a lo largo de la superficie terrestre y son más lentas que las ondas de cuerpo. Suelen ser las responsables de los mayores daños durante un terremoto. Existen dos tipos:

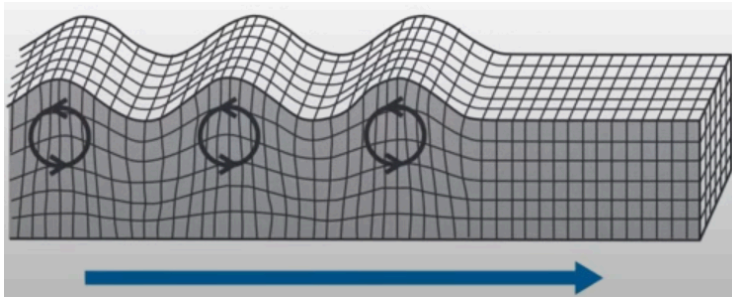
a. Ondas Love



Peycheva (2021). Seismic waves propagation: love waves (image adapted from Olivadoti, 2001)

- **Tipo:** Onda superficial con movimiento horizontal, de lado a lado, similar al desplazamiento de una serpiente.
- **Velocidad:** Más rápidas que las ondas Rayleigh, pero más lentas que las ondas de cuerpo.
- **Efecto:** Provocan daños significativos debido a su movimiento horizontal y a las intensas sacudidas que generan en la superficie terrestre.

b. Ondas Rayleigh



Peycheva (2021). Seismic waves propagation: Rayleigh waves (image adapted from Olivadoti, 2001)

- **Tipo:** Onda superficial que produce un movimiento de rodadura, similar al de las olas del océano. El suelo se mueve tanto vertical como horizontalmente en la dirección de propagación de la onda.
- **Velocidad:** Más lentas que las ondas Love y, por lo general, las más lentas de todas las ondas sísmicas.
- **Efecto:** Suelen provocar movimientos verticales del terreno, lo que puede causar daños extensos en edificios, carreteras y otras estructuras.

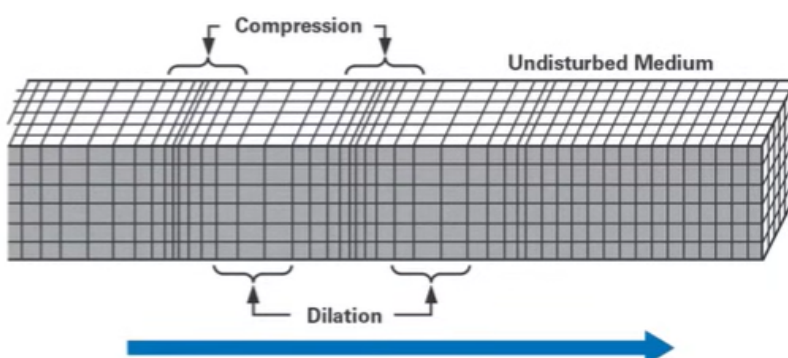
Grupo de expertos 2. Ondas de cuerpo: ondas P

Las ondas sísmicas son vibraciones que se propagan a través de la Tierra, generadas por fuentes como terremotos, actividad volcánica o explosiones. Estas ondas se clasifican en ondas de cuerpo y ondas superficiales.

2. Ondas de cuerpo

Las ondas de cuerpo se propagan por el interior de la Tierra y se dividen en dos subtipos:

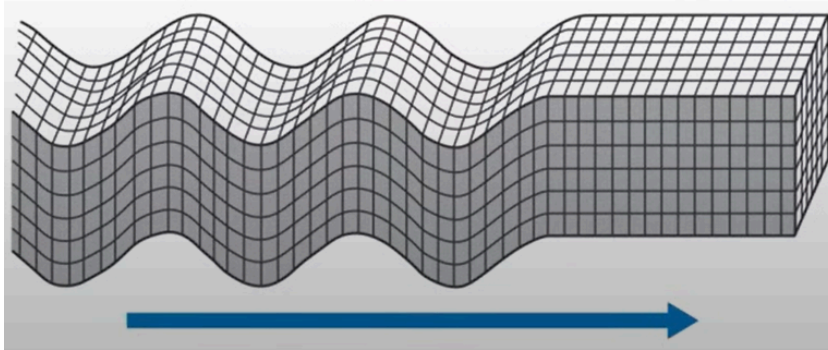
a. Ondas primarias (ondas P)



Peycheva (2021). Seismic waves propagation: Primary waves (image adapted from Olivadoti, 2001)

- **Tipo:** Ondas longitudinales (de compresión).
- **Movimiento:** Las ondas P se desplazan mediante un movimiento de vaivén en la misma dirección de propagación (similar a las ondas sonoras).
- **Velocidad:** Son las ondas sísmicas más rápidas y las primeras en ser detectadas por los sismógrafos.
- **Medio:** Pueden propagarse tanto en sólidos como en líquidos.
- **Efecto:** Debido a su alta velocidad, son las primeras ondas detectadas durante un terremoto, pero suelen causar los menores daños.

Grupo de expertos 3. Ondas de cuerpo: ondas S



Peycheva (2021). Seismic waves propagation: Secondary waves (image adapted from Olivadoti, 2001)

Las ondas sísmicas son vibraciones que se propagan a través de la Tierra, generadas por fuentes como terremotos, actividad volcánica o explosiones. Se clasifican en ondas de cuerpo y ondas superficiales.

2. Ondas de cuerpo

Las ondas de cuerpo se propagan por el interior de la Tierra y se dividen en dos subtipos:

b. Ondas secundarias (ondas S)

- **Tipo:** Ondas transversales (de cizalla).
- **Movimiento:** Las ondas S mueven el terreno perpendicularmente a la dirección de propagación, provocando un movimiento lateral o de arriba abajo.
- **Velocidad:** Son más lentas que las ondas P, por lo que llegan en segundo lugar al sismógrafo.
- **Medio:** Las ondas S solo pueden propagarse a través de sólidos y no pueden atravesar líquidos (por ejemplo, el núcleo externo de la Tierra es líquido).
- **Efecto:** Suelen causar más daños que las ondas P debido a su mayor amplitud y al movimiento lateral que generan.

Summary of Key Differences

Tipo de onda	Movimiento	Velocidad	Medio	Daños causados
--------------	------------	-----------	-------	----------------

Ondas P	Compresional (longitudinal)	Más rápidas	Sólidos y líquidos	Daños bajos
Ondas S	Cizalla (transversal)	Más lentas que las P	Sólidos	Daños moderados
Ondas Love	Horizontal (lado a lado), como una serpiente	Más rápidas que Rayleigh	Superficie sólida	Daños altos
Ondas Rayleigh	Elíptico (rodante)	Las más lentas	Superficie	Daños altos

Las ondas sísmicas desempeñan un papel fundamental para comprender la estructura interna de la Tierra y el comportamiento de los terremotos.

Grupo de expertos 4. Ondas de cuerpo y el interior de la Tierra

Las ondas sísmicas son vibraciones que se propagan a través de la Tierra, generadas por fuentes como terremotos, actividad volcánica o explosiones. Se clasifican en ondas de cuerpo y ondas superficiales.

¿Cómo nos ayudan a comprender el interior de la Tierra?

1. Revelar las capas de la Tierra

○ La forma en que las ondas P y S se propagan por el interior del planeta proporciona pistas sobre las distintas capas de la Tierra.

■ **Núcleo externo:** Dado que las ondas S no pueden propagarse por líquidos, su ausencia en determinadas regiones (como la zona de sombra, donde no se detectan ondas S) indica que el núcleo externo es líquido. Las ondas P sí pueden atravesarlo, pero se refractan (se desvían), lo que ayuda a comprender la densidad y la composición de esta capa.

■ **Núcleo interno:** Las ondas P pueden propagarse por el núcleo interno (que es sólido), lo que proporciona evidencias de su naturaleza sólida. Los tiempos de recorrido y las trayectorias de estas ondas ayudan a determinar la composición y el tamaño del núcleo interno.

2. Determinación de la composición y densidad

○ La velocidad a la que se propagan las ondas P y S a través de las distintas capas informa sobre la densidad y la elasticidad de los materiales. Por ejemplo, ondas sísmicas más lentas suelen indicar materiales menos densos o más fluidos, mientras que ondas más rápidas sugieren materiales más densos y rígidos.

3. Creación del modelo sísmico de la Tierra

○ Analizando cómo las ondas P y S se propagan por la Tierra, los científicos pueden elaborar modelos detallados de la estructura interna del planeta, incluyendo el grosor y la composición de la corteza, el manto, el núcleo externo y el núcleo interno. Esto se logra

estudiando cómo las ondas sísmicas se refractan, reflejan o se absorben en los límites entre capas.

4. Tomografía sísmica

○ La tomografía sísmica utiliza los tiempos de recorrido y las trayectorias de las ondas sísmicas para generar imágenes tridimensionales del interior de la Tierra. Esta técnica ha permitido revelar detalles complejos sobre las corrientes de convección del manto, la distribución del calor y la dinámica del núcleo terrestre.

En resumen, las ondas P y S son fundamentales para comprender el interior de la Tierra. Su comportamiento al atravesar distintos materiales permite a los sismólogos inferir la composición, el estado (sólido o líquido) y la estructura de las capas terrestres.

In summary, P-waves and S-waves are fundamental to understanding the Earth's interior. Their behavior as they pass through different materials allows seismologists to infer the composition, state (solid or liquid), and structure of the Earth's layers.

Vamos a realizar un pequeño experimento: demostración de ondas sísmicas P y S

Videos para ayudarte a estudiar:

[GCSE Physics - Seismic Waves #75](#)

[How earthquakes show us the inside of the Earth](#)

[Earthquakes and Seismology in Earth's Interior](#)

Para casa: [Seismic Slinky—An analogy for P & S waves \[educational\]](#)

S4: Experimento de ondas sísmicas.

Actividad práctica de geología sobre las ondas P (primarias) y las ondas S (secundarias) utilizando un muelle (slinky).

Escribe el título en tu cuaderno:

Explorando las ondas sísmicas con un muelle

Vocabulario

- **Coil:** anillo, muelle.
- **Shear motion:** movimiento lateral (de lado a lado).
- **Hands-on:** práctico / experimental.

Objetivos

El alumnado será capaz de:

1. Comprender las diferencias entre las ondas P y las ondas S.
2. Aprender cómo se propagan las ondas sísmicas a través de la Tierra.
3. Relacionar el movimiento de las ondas con fenómenos geológicos reales.

Materiales

- 1 muelle largo por grupo (preferiblemente metálico para una mejor propagación de las ondas).
- Cinta adhesiva o rotuladores para marcar.
- Cronómetro (opcional).
- Ficha de trabajo con preguntas guiadas y esquemas.

Desarrollo de la actividad

Parte 1: Introducción a las ondas sísmicas

1. Introducción y conceptos clave:

- Las ondas sísmicas son producidas por los terremotos y las ondas de cuerpo se clasifican en ondas P (ondas de compresión) y ondas S (ondas de cizalla).
- Las ondas P son longitudinales y viajan más rápido. Las partículas se mueven paralelas a la dirección de propagación de la onda.
- Las ondas S son transversales y viajan más despacio. Las partículas se mueven perpendicularmente a la dirección de propagación.
- Diagrama o animación para mostrar cómo se propagan estas ondas a través de las capas de la Tierra.

i. [P and S Waves Animation](#)

ii. [Seismic Wave - Javalab](#)

iii. https://ds.iris.edu/seismon/swaves/index.php?lat=-36&lon=-73&depth=19&mag=8.8&title=2010%20Off%20of%20Chile&date=2010-02-27T06:34Z&w_terrain=false&wiki=https%3A%2F%2Fwww.iris.edu%2Fhq%2Fetm%2Fevent%2F962

Parte 2: Actividad práctica

Actividad 1: Modelización de las ondas P

1. Estira el muelle sobre una superficie plana con dos estudiantes sujetando cada extremo.
2. Un estudiante empuja y tira rápidamente de su extremo del muelle (comprimir y soltar) para generar una onda longitudinal.
3. Observa:
 - Cómo se desplaza la onda a lo largo del muelle.
 - La dirección del movimiento de las partículas en comparación con la propagación de la onda.
4. Responde en tu cuaderno:
 - ¿Qué ocurre con la separación entre los anillos del muelle cuando pasa la onda?

Actividad 2: Modelización de las ondas S

1. Sujeta el muelle como antes, pero esta vez un estudiante mueve su extremo de lado a lado, perpendicularmente a la longitud del muelle.
2. Observa:
 - Cómo cambia la forma de la onda.
 - La dirección del movimiento de las partículas en comparación con la propagación de la onda.
3. Responde en tu cuaderno:
 - ¿En qué se diferencia este movimiento del de las ondas P?

Parte 3: Comparación entre ondas P y ondas S

1. Genera ambos tipos de ondas una tras otra y observa la diferencia de velocidad:
 - Movimiento de empujar y tirar para las ondas P.
 - Movimiento lateral para las ondas S.
2. Responde en tu cuaderno:
 - Teniendo en cuenta solo la observación realizada, ¿qué ondas parecen más rápidas, las ondas P o las ondas S?
 - ¿Ocurre esto mismo en la realidad? ¿Por qué crees que sucede así en el modelo?

Parte 4: Conclusiones

1. Responde en tu cuaderno:
 - ¿Por qué las ondas P llegan primero a los sismómetros durante un terremoto?
 - ¿Por qué las ondas S desaparecen en el núcleo externo de la Tierra?
 - ¿Cuál es la diferencia entre las ondas S y las ondas P?
 - ¿Qué ocurre con la velocidad de las ondas si aumenta la densidad del material por el que se propagan?
 - ¿Qué les ocurre a las ondas P cuando se propagan a través de un líquido?
 - Dibuja y señala el movimiento de las partículas en las ondas P y en las ondas S.
 - Investiga qué es la **zona de sombra**.

S5: El campo magnético terrestre, nuestro escudo y localización del epicentro de un terremoto

Parte 1: El campo magnético terrestre, nuestro escudo

El campo magnético de la Tierra sufre **inversiones a lo largo de escalas de tiempo geológicas**, lo que significa que puede cambiar su polaridad: el norte se convierte en sur y viceversa. Este proceso, conocido como **inversión geomagnética**, no ocurre de forma regular, sino a lo largo de periodos de miles o millones de años.

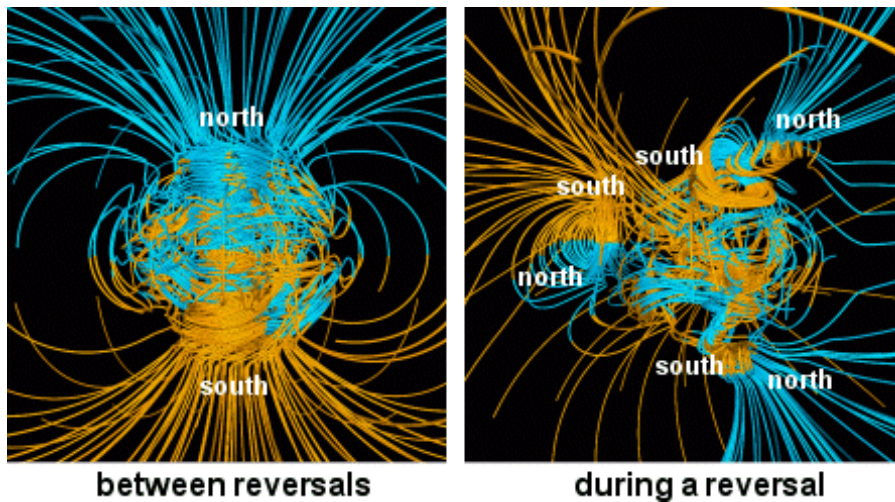
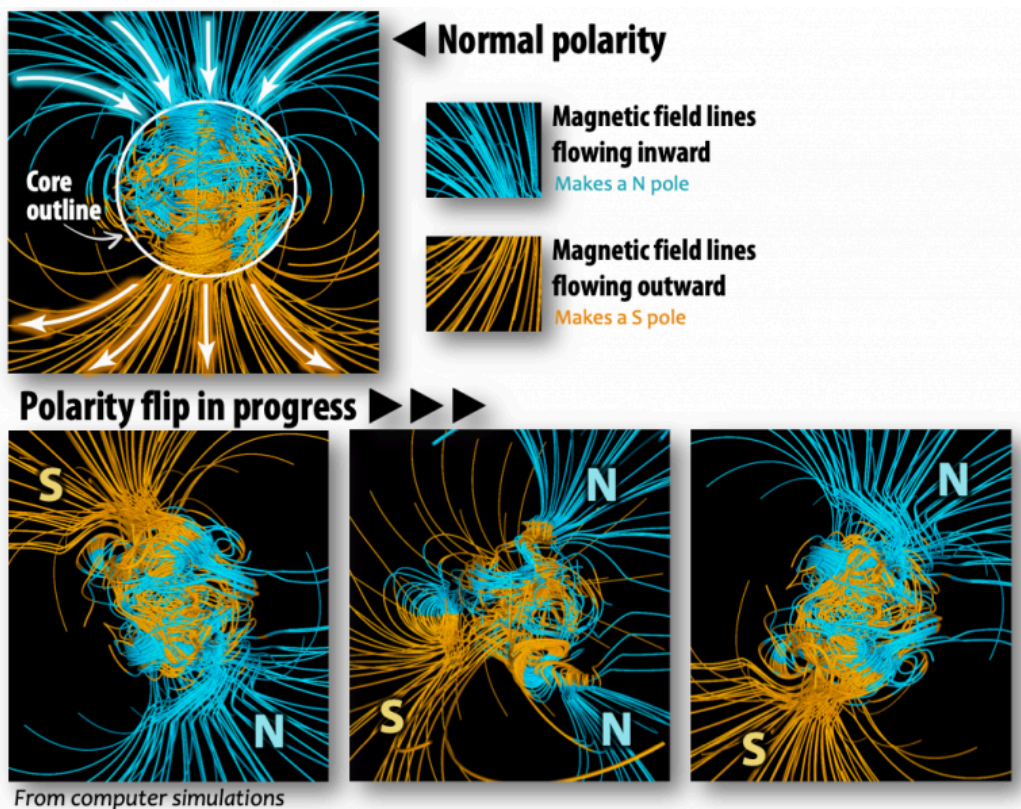


Image: Glatzmaiers and Roberts (1995). A three-dimensional self-consistent computer simulation of a geomagnetic field reversal

De media, el campo magnético terrestre se invierte cada 200.000–300.000 años, aunque existe una gran variabilidad. Por ejemplo, la última inversión, conocida como la inversión Brunhes–Matuyama, ocurrió hace aproximadamente 780.000 años. El tiempo necesario para completar una inversión puede variar desde unos pocos miles de años hasta varias decenas de miles de años.

Durante el proceso de inversión, el campo no se invierte de manera instantánea. Primero se debilita, se vuelve desordenado y puede presentar múltiples polos en distintas latitudes antes de estabilizarse en la nueva orientación. Este proceso es gradual y no existe un calendario exacto para cada inversión.



<https://pressbooks.bccampus.ca/physicalgeologyh5p/chapter/3-4-earths-magnetic-field-2/>

Consecuencias de una futura inversión del campo magnético

La próxima inversión geomagnética tendría consecuencias importantes, pero no catastróficas. Entre las principales se encuentran:

1. Debilitamiento del campo magnético terrestre

- Durante una inversión, el campo magnético se debilita considerablemente, lo que podría aumentar la vulnerabilidad frente a la radiación solar y los rayos cósmicos.
- La magnetosfera, que protege a la Tierra de estas partículas energéticas, no ofrecería el mismo nivel de protección durante un tiempo. Esto podría incrementar el riesgo de exposición a la radiación para astronautas, vuelos a gran altitud e incluso, a largo plazo, para personas que viven en zonas cercanas a los polos o a gran altitud.
- El aumento de partículas cargadas podría afectar a los satélites, dañando circuitos electrónicos.
- Podría producirse una mayor interferencia en sistemas de comunicación que dependen de ondas de radio, como el GPS, las comunicaciones por satélite y las emisiones de radio.
- **Efectos sobre la orientación de los animales:** muchas especies, como aves migratorias y tortugas marinas, utilizan el campo magnético terrestre para orientarse. Una inversión podría alterar estos procesos, aunque no se conoce con certeza su gravedad.
- Podrían observarse auroras más intensas (boreales y australes) en latitudes más alejadas de los polos.

- Las tormentas geomagnéticas y partículas de alta energía podrían interferir en redes eléctricas y sistemas electrónicos.

2. Cambios geofísicos

- Aunque una inversión geomagnética no provoca directamente erupciones volcánicas ni terremotos, se cree que el proceso está relacionado con cambios a largo plazo en la dinámica interna de la Tierra. No existe evidencia directa que relacione las inversiones magnéticas con desastres en la superficie.

3. Efectos climáticos (incierto)

- No hay pruebas concluyentes de que las inversiones geomagnéticas provoquen cambios climáticos significativos.
- El campo magnético influye principalmente en la exposición a la radiación solar, no en la temperatura global del planeta.

Conclusión

El carácter gradual de la inversión hace poco probable que sus efectos se perciban de forma repentina o que provoquen grandes alteraciones a escala humana. Aunque no es un evento catastrófico, una inversión geomagnética puede tener efectos duraderos sobre la tecnología, la navegación animal y las infraestructuras espaciales. Sin embargo, al producirse a lo largo de un periodo muy extenso, permitiría la adaptación y la mitigación de sus efectos. La mayor preocupación inmediata sería el aumento de la exposición a la radiación y su impacto en sistemas electrónicos sensibles. Las inversiones geomagnéticas son eventos naturales poco frecuentes en la historia geológica de la Tierra y han ocurrido muchas veces sin provocar extinciones masivas ni cambios climáticos irreversibles.

Parte 2: Actividad práctica — Localización del epicentro de un terremoto

Los científicos utilizan la diferencia de tiempo entre la llegada de las ondas P y las ondas S a una estación sísmica para calcular la distancia entre la estación y el epicentro del terremoto. Este método se conoce como **triangulación** e incluye los siguientes pasos:

1. Comprender las ondas P y S

- Las ondas P (primarias) son más rápidas y llegan primero a la estación sísmica.
- Las ondas S (secundarias) son más lentas y llegan después de las ondas P.

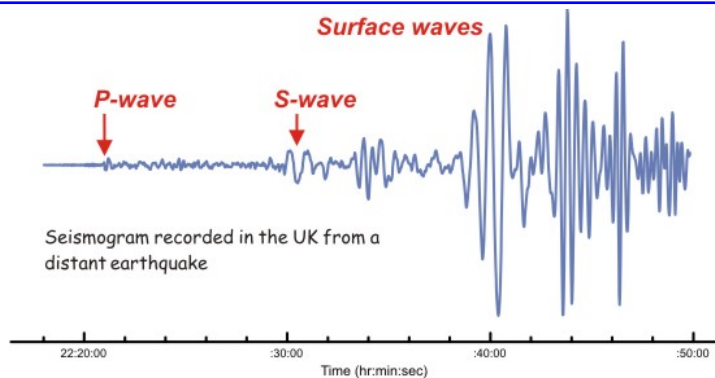


Image:

https://earthquakes.bgs.ac.uk/education/eq_guide/eq_booklet_how_we_measure.htm

La diferencia de amplitud entre las ondas P y S en un sismógrafo está relacionada con sus propiedades físicas y dinámicas. Las ondas P, al ser longitudinales, producen menor deformación del medio y generan amplitudes más pequeñas. Las ondas S, al ser transversales, provocan mayor deformación y, por tanto, amplitudes mayores en el registro sísmico.

2. Diferencia de tiempo y distancia

La diferencia en los tiempos de llegada entre las ondas P y S ($\Delta T = T_S - T_P$) aumenta con la distancia al epicentro. Los sismólogos utilizan esta diferencia para estimar a qué distancia se ha producido el terremoto.

Se emplea una **curva tiempo-distancia** o una ecuación que relaciona ΔT con la distancia entre el sismógrafo y el epicentro.

3. Determinación del epicentro

Para localizar el epicentro:

- Mide la diferencia de tiempo (ΔT) entre la llegada de las ondas P y S en una estación sísmica.
- Utiliza la curva tiempo-distancia para calcular la distancia (D) desde la estación al epicentro.
- Repite el proceso con al menos tres estaciones sísmicas. Cada estación define un círculo en el mapa con centro en la estación y radio D. El punto donde se cruzan los círculos indica la localización del epicentro.

4. ¿Por qué tres estaciones?

Con dos estaciones, la localización se reduce a dos posibles puntos (intersección de dos círculos). El uso de tres estaciones permite obtener un único punto de intersección, proporcionando una localización precisa del epicentro.

Ejercicio: Localización del epicentro de un terremoto

Encuentra el epicentro de este terremoto registrado en tres estaciones sísmicas distintas.

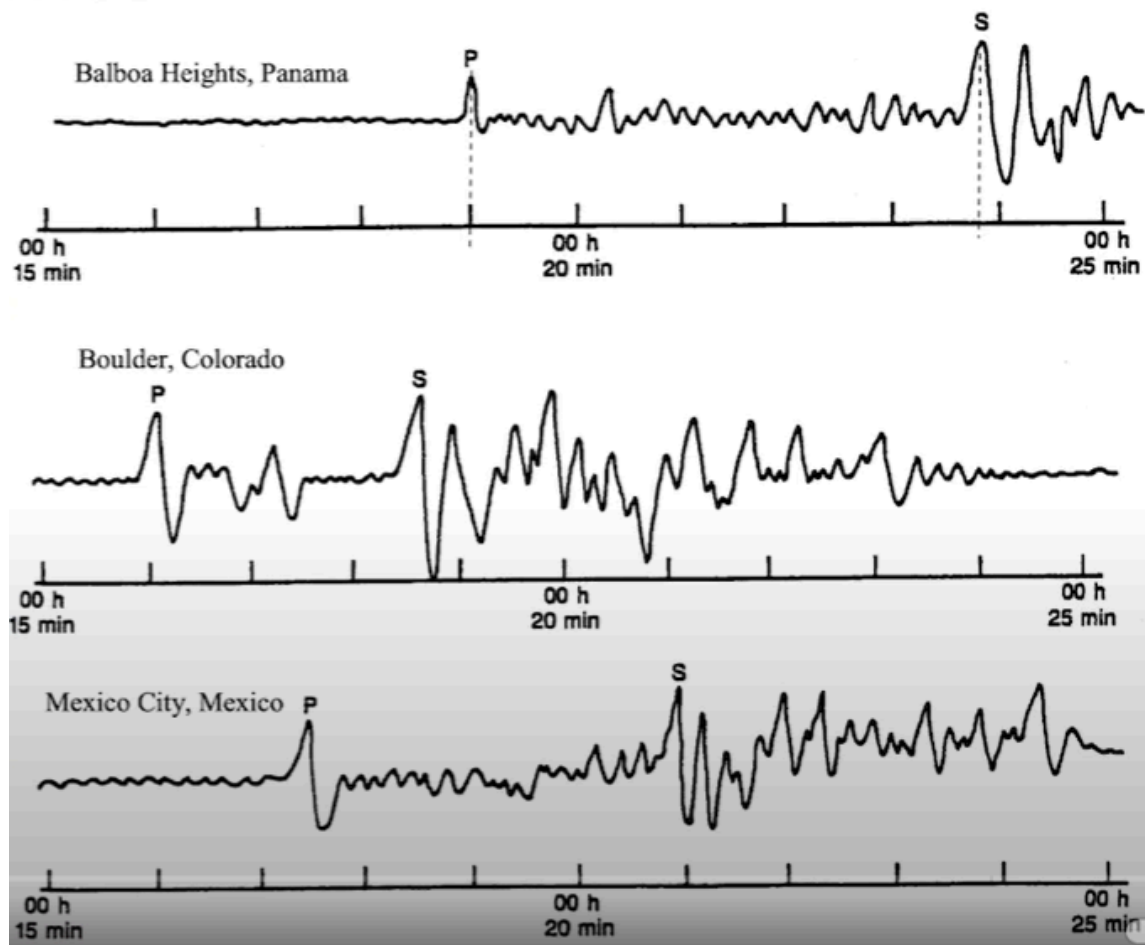


Image: [How to Find the Epicenter of an Earthquake](#)

Data table:

Ciudad	Diferencia entre ondas P y S	Distancia epicentro al
Balboa Heights		
Boulder		
Ciudad de México		

Earthquake P- and S-wave travel time

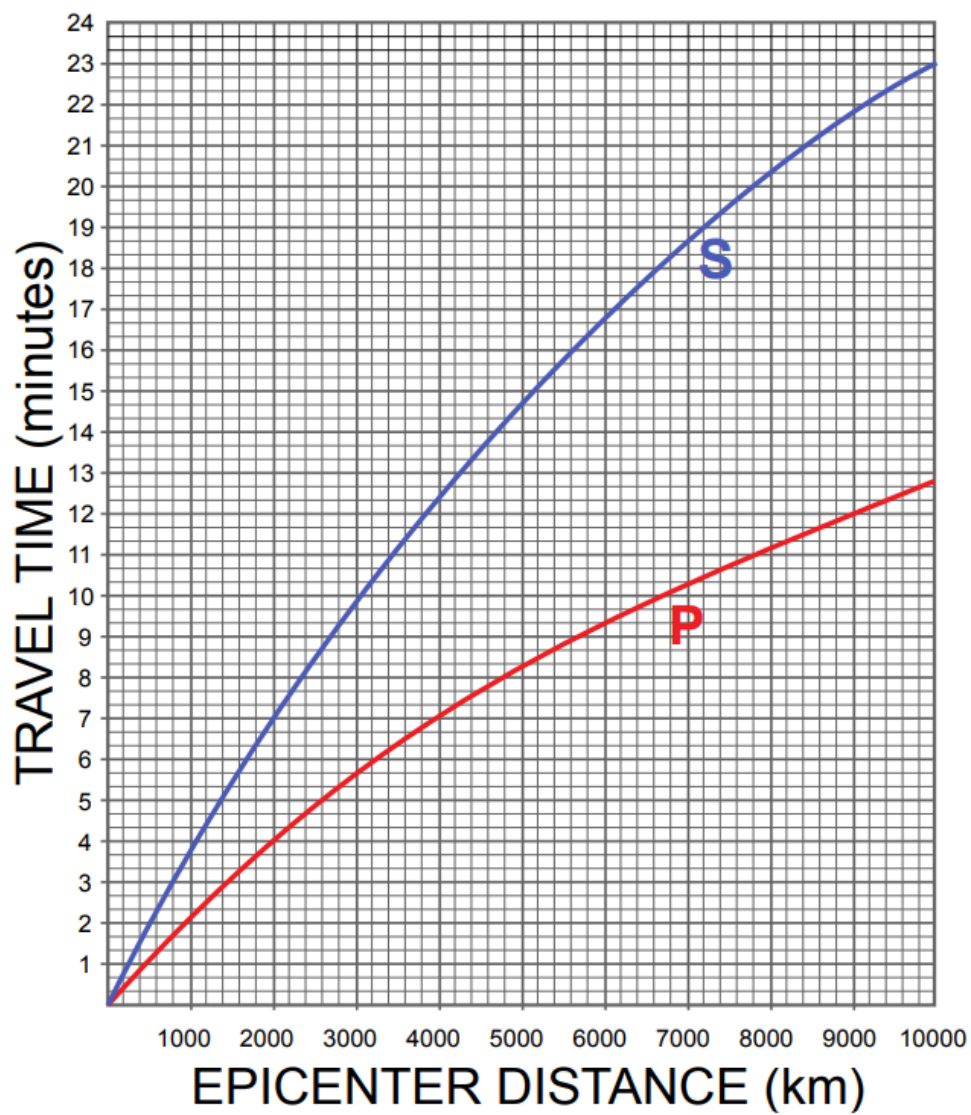


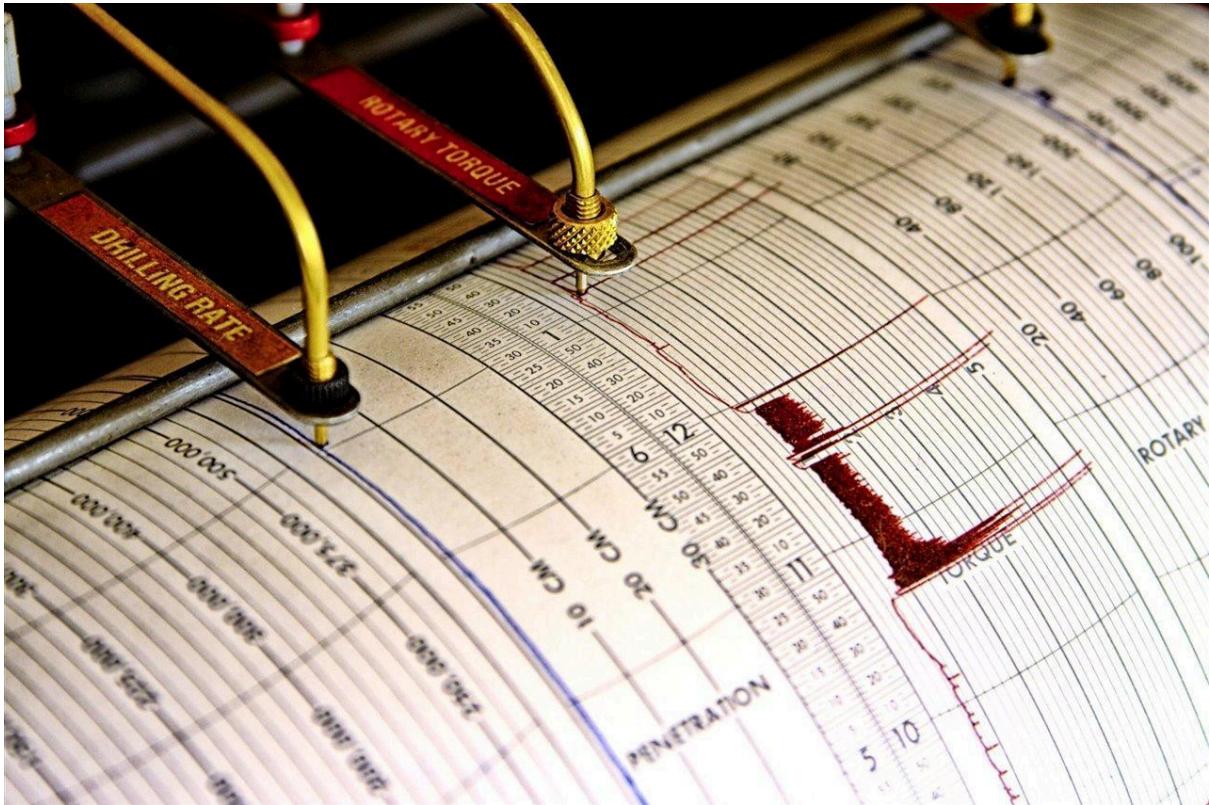
Image: https://d32ogoqmya1dw8.cloudfront.net/files/mathyouneed/p-s_wave_plot.pdf



Image: [How to Find the Epicenter of an Earthquake](#)

Solución: [How to Find the Epicenter of an Earthquake](#)

Anexos matemáticos: Cívicamente comprometidos para asegurarnos que un terremoto no es un problema de justicia social



https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/terremoto-como-medir-e-escala-richter_18965

Justification

Previo a la lectura

Imagina que mañana golpea un fuerte terremoto en Puerto Real. ¿Qué piensas que pasaría en tu barrio? ¿Qué crees que se vería más afectado?

Lectura

Los terremotos son eventos naturales. Ocurren cuando el suelo se mueve repentinamente debido a la energía dentro de la Tierra. Muchas personas piensan que los terremotos afectan a todos de la misma manera. Sin embargo, las investigaciones muestran que esto no es cierto. Algunas comunidades están más en riesgo que otras. Por esta razón, los terremotos también pueden ser una cuestión de justicia social.

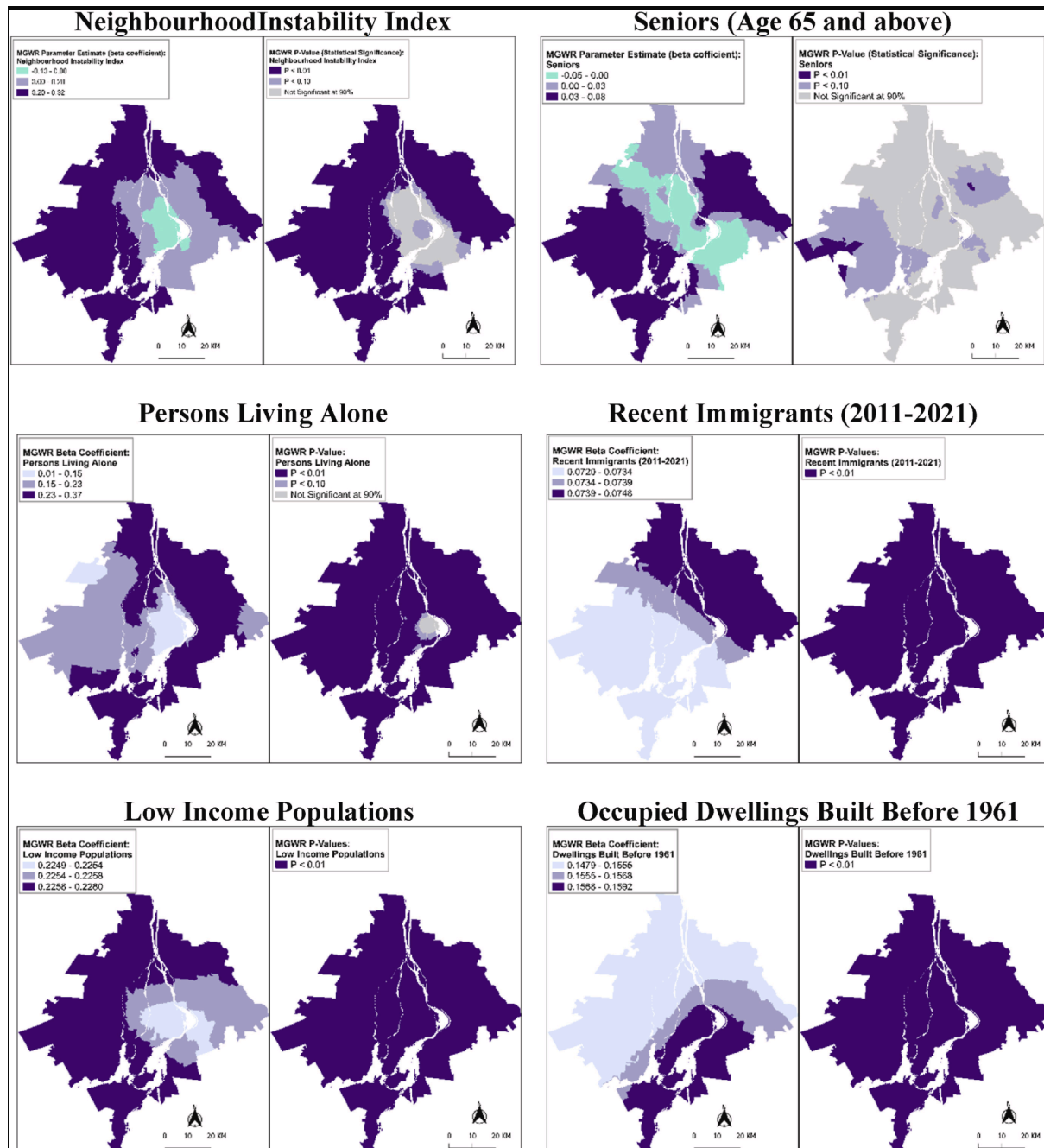
Un estudio reciente en el International Journal of Disaster Risk Reduction analizó el riesgo sísmico en las ciudades de Montreal y Ottawa-Gatineau. Los investigadores (Chakraborty et al., 2025) querían entender no solo dónde podrían ocurrir terremotos, sino también quiénes sufrirían más daños.

El estudio encontró que el riesgo sísmico está relacionado con las condiciones sociales. Las personas con bajos ingresos suelen vivir en edificios más antiguos o más débiles. Estos edificios pueden no cumplir con las normas modernas de seguridad sísmica. Si ocurre un terremoto, es más probable que estas viviendas sufran daños. En cambio, las personas con mayores ingresos pueden vivir en edificios más nuevos, que son más resistentes y seguros.

Los investigadores también descubrieron que algunos grupos de personas son más vulnerables durante los desastres. Por ejemplo, las personas mayores pueden tener dificultades para salir de sus hogares rápidamente. Las personas que no hablan el idioma principal pueden no entender las alertas de emergencia (como las que tenemos en nuestros teléfonos). Los inmigrantes recientes pueden no saber dónde encontrar ayuda. Las familias monoparentales también pueden tener más dificultades para prepararse para emergencias.

El siguiente gráfico ilustra la inestabilidad de los vecindarios y muestra una notable correlación positiva con el riesgo sísmico en la mayoría de las áreas de difusión, excepto en ciertas regiones del sureste de Montreal. Las personas mayores en las zonas este y oeste de Montreal

mostraron una asociación significativamente positiva con el riesgo sísmico. Los indicadores de privación socioeconómica, incluidos las personas que viven solas, los inmigrantes recientes, las poblaciones de bajos ingresos y los ocupantes de viviendas construidas antes de 1961, mostraron una correlación positiva significativa con el riesgo sísmico en todas las áreas de Montreal.



Debido a estos hallazgos, los investigadores señalaron que los gobiernos deben tener en cuenta la equidad y la igualdad en la

planificación ante desastres. Las ciudades deberían reparar los edificios antiguos, mejorar las normas de seguridad y asegurarse de que la información de emergencia sea fácil de entender para todos. También deberían apoyar a las comunidades que tienen menos recursos.

Una forma de comprender el impacto de los terremotos es observar eventos famosos del pasado. Un ejemplo importante para nosotros es el terremoto de Lisboa de 1755.

El terremoto del 1 de noviembre de 1755 es uno de los más destructivos registrados en los anales de las ciencias de la Tierra, y ha centrado la atención tanto en la interpretación del suceso como en las cuestiones filosóficas que provocó. Dada la destrucción que causó y el impacto que tuvo en Lisboa y en la bahía de Cádiz, dejó un amplio conjunto de documentos y elementos iconográficos que se han utilizado desde principios del siglo pasado en el estudio de la sismología histórica.

El análisis de las fuentes históricas muestra que el terremoto de Lisboa marcó un hito en la percepción de las “anomalías” de la naturaleza y puso de relieve la frágil posición del ser humano frente a los efectos disruptivos de un cataclismo enorme e inesperado (Araujo, 2021).

A diferencia de Lisboa, la ciudad portuaria española de Cádiz fue considerada como milagrosamente salvada, a pesar de los temores recogidos en las descripciones de sus ciudadanos: “la crecida del mar hizo temer que la ciudad pudiera quedar sumergida [...] Las aguas derribaron el parapeto de la muralla por el lado oeste [...]. Llegaron a entrar entre 3 y 4 pies de agua en las casas de la pequeña zona inundada. Allí se ahogaron mujeres y tres niños. Ese fue todo el daño que el mar causó a la ciudad”.

Todos los relatos de ese día en Cádiz señalan daños en la misma zona: el frente occidental de la muralla de la ciudad, a lo largo de la ensenada y la playa llamada La Caleta, entre el Fuerte de Santa Catalina y el espigón hacia el Fuerte de San Sebastián.



Figura 1. Posiciones relativas de los lugares mencionados en la discusión sobre los daños en la ciudad (Blanc, 2008).

Los efectos de un terremoto pueden clasificarse generalmente en las siguientes categorías:

- impactos físicos,
- impactos sociales (el impacto en las personas),
- impactos económicos (el impacto en la riqueza de un área),
- impactos ambientales (el impacto en el paisaje).

Durante mucho tiempo ha sido un sueño de sismólogos, geólogos y responsables de la seguridad pública poder predecir con precisión la ubicación, magnitud y momento de los terremotos en escalas de tiempo que sean útiles para minimizar el peligro para la población y los daños a las infraestructuras.

Se han explorado muchas vías diferentes de predicción, como el uso de observaciones de precursores sísmicos (foreshocks), cambios en los campos magnéticos, temblores sísmicos, variaciones en los niveles de aguas subterráneas, comportamientos extraños de los animales, periodicidad observada, consideraciones sobre la transferencia de tensiones, entre otros. Hasta ahora, ninguna de las investigaciones sobre la predicción de terremotos ha proporcionado un método fiable. El problema de las predicciones sísmicas, como ocurre con cualquier otro tipo de predicción, es que deben ser precisas la mayor parte del tiempo (Earle, 2015).

Con el objetivo de predecir terremotos, el Laboratorio Lincoln del Instituto Tecnológico de Massachusetts ha establecido algunas características clave de la Inteligencia Artificial que han sido desarrolladas:

- Los modelos algorítmicos se entrenan con más de 10 años de datos TEC de la ionosfera asociados a más de 10 000 terremotos.
- El objetivo es clasificar las señales sísmicas premonitorias según la magnitud, la región geográfica y la ventana temporal del evento.
- Se han probado múltiples tipos de métodos de aprendizaje automático, demostrando la viabilidad del uso de datos TEC.

Veamos cómo funciona este aprendizaje automático

[Can You Help Seismic Researchers and AI Predict Earthquakes?](#)

Será el objetivo de esta situación de aprendizaje utilizar las matemáticas de Educación Secundaria para predecir la probabilidad de que ocurra un terremoto en Puerto Real.

Aprenderemos:

MAB.4.A.1.2. Expresar cantidades utilizando números reales con la precisión requerida.

MAB.4.A.1.3. Diferentes representaciones de una misma cantidad.

MAB.4.A.2.1. Realizar operaciones con números reales en la resolución de situaciones contextualizadas.

MAB.4.A.2.2. Propiedades inversas y relaciones de las operaciones (suma y resta; multiplicación y división; elevar al cuadrado y extraer la raíz cuadrada): cálculos con números reales, incluyendo herramientas digitales.

MAB.4.B.2. Cambio. Estudio gráfico del crecimiento y decrecimiento de funciones en contextos cotidianos con el apoyo de herramientas tecnológicas: tasas de variación absolutas, relativas y medias.

MAB.4.D.3. Variable.

Variables: asociación de expresiones simbólicas al contexto del problema y sus diferentes usos.

MAB.4.E.1.1. Estrategias para la recogida y organización de datos de una situación cotidiana que involucre una variable estadística bidimensional. Tablas de contingencia.

MAB.4.E.1.2. Análisis e interpretación de tablas y gráficos estadísticos de variables cualitativas, cuantitativas discretas y cuantitativas continuas en contextos reales.

MAB.4.E.1.3. Medidas de posición y de dispersión: interpretación y análisis de la variabilidad.

MAB.4.E.1.4. Gráficos estadísticos de una y dos variables: representación mediante diferentes tecnologías (calculadora, hoja de cálculo, aplicaciones...), análisis, interpretación y elaboración de conclusiones razonadas.

MAB.4.E.1.5. Interpretación de la relación entre dos variables, evaluando de forma gráfica con herramientas tecnológicas la pertinencia de realizar una regresión lineal. Ajuste lineal con herramientas tecnológicas.

MAB.4.E.2.1. Experimentos compuestos: planificación, realización y análisis de la incertidumbre asociada.

MAB.4.E.2.2. Probabilidad: cálculo mediante la regla de Laplace y técnicas de recuento en experimentos simples y compuestos (uso de diagramas de árbol, tablas...) y aplicación a la toma de decisiones informadas.

S1 and S2. Reconocimiento de patrones en terremotos históricos

1. Visualiza el siguiente vídeo:

<https://youtu.be/1jBHvWIRbFE?si=UvYLGt5wzXqzDOqa>

📺 y resume cómo los datos históricos pueden ayudar a predecir y prepararse para futuros terremotos.

📺 Piensa cuántos terremotos se han producido en la Península Ibérica y las Islas Canarias con una magnitud igual o superior a 1,5 en los últimos diez días.

📺 Accede a la página web del Instituto Geográfico Nacional e investiga:

¿Cuántos terremotos se han producido en los últimos 10 días con magnitud igual o superior a 1,5?

<https://www.ign.es/web/en/ign/portal/ultimos-terremotos>

📺 Accede al catálogo de terremotos desde el año 1370 d. C. hasta la actualidad y encuentra los datos correspondientes al periodo desde el 01/01/2015 hasta hoy:

<https://www.ign.es/web/ign/portal/sis-catalogo-terremotos>

📺 ¿Cuántos terremotos se han producido desde el 01/01/2015?

📺 ¿Qué variables proporciona la tabla?

Si no puedes acceder a la tabla, puedes utilizar la tabla creada en: **IGN_catalogue**.

2. Accede a la muestra CODAP de 5000 casos de datos de terremotos y realiza un análisis de datos:
<https://codap.concord.org/app/static/dg/en/cert/#shared=https%3A%2F%2Fcfm-share.d.concord.org%2FdCwE7Mq3YwZV5BJnzTTD%2Ffile.json>
 - a. Para la variable **profundidad**, resume las medidas de centralización, posición y dispersión en un gráfico y represéntalas aquí.
 - b. Para la variable **magnitud**, resume las medidas de centralización, posición y dispersión en un gráfico y represéntalas aquí.
 - c. Realiza un diagrama de dispersión que relacione profundidad y magnitud y traza la recta de regresión (línea de mínimos cuadrados y muestra la incertidumbre del ajuste).
 - d. Interpreta los resultados y concluye sobre los patrones de los terremotos de los últimos diez años (250 palabras).
3. Los periódicos del 20 de enero de 2015 escribieron:
“Un segundo terremoto en el Golfo de Cádiz en las primeras horas de la pasada noche.
El movimiento sísmico fue de 4,2 grados Richter y ocurrió a 60 kilómetros de la costa de Cádiz”.
- Accede a la muestra de datos de terremotos del Golfo de Cádiz que puedes encontrar en el siguiente enlace:
<https://codap.concord.org/app/static/dg/en/cert/#shared=https%3A%2F%2Fcfm-shared.concord.org%2FXCYuXmSxMj0h68B0R25O%2Ffile.json>
- Busca patrones temporales para terremotos con profundidad superior a 60 km y magnitud superior a 4.
- Filtra los terremotos que cumplan ambas condiciones y represéntalos en un mapa.
- Interpreta los resultados y busca patrones.
- Concluye sobre la veracidad de la información del periódico.

S3 and 4. Comprensión de la probabilidad condicional para predecir la ocurrencia de un terremoto en Puerto Real

El objetivo es determinar diferentes probabilidades de un terremoto que podría afectar a Cádiz, considerando distintas tablas de contingencia.

Una tabla de contingencia es una de las formas más comunes de resumir datos categóricos.

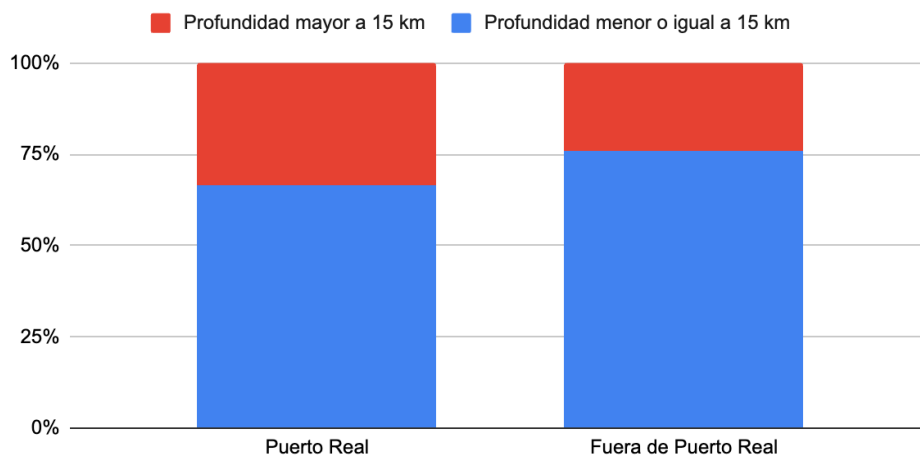
En general, el interés se centra en si existe alguna asociación entre una variable llamada fila y otra variable llamada columna, y la intensidad de esta asociación se calcula.

Por ejemplo, la tabla de contingencia asocia el número de terremotos ocurridos desde el 1 de enero de 2008 hasta el 2 de febrero de 2024 con la profundidad de los terremotos.

	Puerto Real	Fuera de Puerto Real	Total
Profundidad $\leq$ 15 km	2	105 392	105 394
Profundidad $>$ 15 km	1	33 486	33 487
Total	3	138 878	138 881

Los datos se pueden representar gráficamente

Puerto Real y Fuera de Puerto Real



Tabla

Si aplicamos la regla de Laplace, que dice que en el caso en que todos los resultados de un experimento aleatorio son equiprobables, Laplace define la probabilidad de un suceso A como el cociente entre el número de casos favorables a la ocurrencia del suceso A y el número de casos posibles del experimento. Así, podemos resumirlo con la siguiente fórmula:

$$P(A) = \frac{\text{Number of favourable cases to A}}{\text{Total number of possible cases}}$$

Tabla de probabilidades	Suceso A	Suceso no A	Total
-------------------------	----------	-------------	-------

Suceso B	$P(A \cap B)$	$P(\text{no } A \cap B)$	$P(B)$
Suceso no B	$P(A \cap \text{no } B)$	$P(\text{no } A \cap \text{no } B)$	$P(\text{no } B)$
Total	$P(A)$	$P(\text{no } A)$	1

Además, pueden determinarse probabilidades condicionadas o llamadas “a posteriori”.

En una experiencia compuesta de dos, si A es un suceso correspondiente a la primera y B es un suceso correspondiente a la segunda, has visto cómo se calcula $P(B)$ considerando los distintos caminos por los que puede alcanzarse.

A veces es interesante conocer $P(A/B)$, es decir, cuando ya sabemos que B ha ocurrido en la segunda experiencia, nos preguntamos por la probabilidad de que se haya alcanzado a través de A.

Esta es una probabilidad condicionada:

$$P(A/B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

- Determina, usando la tabla de contingencia del ejemplo anterior:
 - Completa la tabla de probabilidades.
 - Calcula la probabilidad de que el epicentro del terremoto estuviera en Puerto Real si sabemos que ocurrió a una profundidad menor de 15 km.
 - Calcula la probabilidad de que el epicentro estuviera en Puerto Real si sabemos que ocurrió a una profundidad mayor de 15 km.
 - Concluye sobre la probabilidad de un terremoto devastador en Puerto Real.

Sabemos que los terremotos de magnitud mayor que 5 MbLg pueden causar daños graves en zonas densamente pobladas si su epicentro está a menos de 15 km de profundidad.

- Determina usando la tabla de contingencia:

We know that earthquakes of magnitude greater than 5 MbLg can cause severe damage in densely populated areas if their epicentre is less than 15 km deep.

1. Determina usando la table de contingencia:

	Magnitud < 6	Magnitud ≥ 6	Total
Profundidad ≤ 15 km	105 390	2	105 392
Profundidad > 15 km	33 485	2	33 487
Total	138 875	4	138 879

- ¿Cuál es la probabilidad de un terremoto con magnitud mayor o igual a 6 y una profundidad menor o igual a 15 km?
- Si sabemos que la magnitud fue mayor o igual a 6, ¿cuál es la probabilidad de que la profundidad sea menor de 15 km?

- Accede al catálogo de terremotos del IGN desde el 1 de enero de 2015, que encontrarás en el siguiente enlace:
<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1OwZaRX62fqj8AWZHcuG4L-rVQTEURyhA2qjj2pY65b8/edit?usp=sharing>
- Copia todas las columnas y abre CODAP:
<https://codap.concord.org/>
- Selecciona la tabla e importa una nueva tabla de muestra aleatoria desde el portapapeles.
- Selecciona, de las tres líneas, la acción de importación y pega el siguiente enlace, correspondiente al “algoritmo de árbol de decisión Arbor”:
<https://codap.xyz/plugins/arbor/>
- Realiza un análisis de datos mediante árbol de decisión considerando la localización, la profundidad menor de 15 km y la magnitud mayor de 6 Mg.

¿Dónde se predice que tendrá lugar el terremoto?

4. Ejecuta de nuevo **CODAP** con otra muestra aleatoria y realiza el análisis del **árbol de decisión** teniendo en cuenta la **localización**, la **profundidad menor de 15 km** y la **magnitud mayor de 6**.

Analiza la diferencia con la muestra anterior.

5. Concluye sobre las diferencias que puedes encontrar en ambos análisis de árboles de decisión.

6. Concluye:

- ¿Cuáles han sido las diferentes etapas del estudio de los terremotos en España desde que naciste?
- ¿Cuál es la probabilidad de que un terremoto en el Golfo de Cádiz genere un tsunami devastador?
- ¿Son las muestras elegidas suficientemente representativas?

7. Comprender qué son **población**, **muestra** y **muestreo** participando en **Edpuzzle**.

S5. Muchas magnitudes y unidades de medida de la magnitud de los terremotos

Antes de la lectura

1. ¿Sabes cómo se mide la magnitud de un terremoto?

Durante la lectura

Lee el texto:

<https://www.usgs.gov/faqs/moment-magnitude-richter-scale-what-are-different-magnitude-scales-and-why-are-there-so-many>

En la siguiente tabla podemos encontrar algunas de esas magnitudes:

Tipo de magnitud	Rango de magnitud	Rango de distancia	Ecuación
M_{ww} (Momento W-phase) (notación genérica mayores Mw)	~5,0 y mayores	1 – 90 grados	$MW = 2/3 \cdot (\log_{10}(MO) - 16,1)$, donde MO es el momento sísmico
M_{wc} (centroide)	~5,5 y mayores	20 – 180 grados	$MW = 2/3 \cdot (\log_{10}(MO) - 16,1)$, donde MO es el momento sísmico
M_{wb} (onda de cuerpo)	~5,5 a ~7,0	30 – 90 grados	$MW = 2/3 \cdot (\log_{10}(MO) - 16,1)$, donde MO es el momento sísmico
M_{wr} (regional)	~4,0 a ~6,5	0 – 10 grados	$MW = 2/3 \cdot (\log_{10}(MO) - 16,1)$, donde MO es el momento sísmico
M_{s20} o M_s (onda superficial de 20 s)	~5,0 a ~8,5	20 – 160 grados	$MS = \log_{10}(A/T) + 1,66 \log_{10}(D) + 3,30$
m_b (onda de cuerpo de corto periodo)	~4,0 a ~6,5	15 – 100 grados	$mb = \log_{10}(A/T) + Q(D,h)$, donde A es la amplitud del movimiento del suelo (en micras); T es el período correspondiente (en segundos); y Q(D,h) es un factor de corrección que depende de la distancia

Después de la lectura

- ¿Has comprendido los números utilizados en cada una de las ecuaciones?

Los logaritmos pueden entenderse como “el inverso” de las potencias.

Por ejemplo, sabemos que la siguiente ecuación exponencial es cierta:

$$3^2 = 9$$

En este caso, la base es 3 y el exponente es 2. Escribimos esta ecuación en forma logarítmica como:

$$\log_3 9 = 2.$$

Nota histórica:

Los logaritmos fueron desarrollados en el siglo XVII por el matemático escocés **John Napier** (1550–1617). Eran métodos ingeniosos para reducir multiplicaciones largas a sumas mucho más simples y divisiones a restas. Cuando era joven, Napier ayudaba a su padre, que era recaudador de impuestos. John se cansó de multiplicar y dividir números grandes todo el día y creó los logaritmos para hacer su vida más fácil.

El logaritmo en base a de un número real positivo distinto de uno, b ($b > 0$), es otro número real, c , tal que la base a elevada al exponente c es igual a b :

$$\log_a b = c \Leftrightarrow a^c = b, \text{ donde } b > 0, a \in (0,1) \cup (1,\infty)$$

Lee cuidadosamente la definición para establecer:

- ¿Cuál es la relación entre la base de la potencia y la base del logaritmo?
- ¿Cuál es la relación entre el exponente de la potencia y el valor del logaritmo?
- ¿Por qué la base del logaritmo debe ser distinta de 1?

S6. Representación gráfica de la magnitud momento

La cantidad de energía liberada por un terremoto a partir del **momento sísmico** se define de la siguiente manera:

$$MO = \mu \cdot D \cdot A$$

donde MO es el momento sísmico, medido en dinas·cm; μ es la rigidez de la roca en dinas/cm²; D es el desplazamiento medio de la falla en cm y A es el área del segmento fracturado expresada en cm².

La nueva escala de magnitud, llamada **magnitud momento**, fue desarrollada por **Hiroo Kanamori** del Instituto Tecnológico de California. La siguiente expresión se utiliza para su determinación:

$$MW = 2/3 \cdot \log MO - 10,7$$

Las magnitudes de los grandes terremotos se calcularon utilizando esta nueva escala y, para algunos de ellos, cambiaron notablemente, como el terremoto de Chile de 1960, que tenía una magnitud MS de 8,3 y al calcular la magnitud momento resultó ser 9,5.

Después de la lectura

Si consideramos MO como la variable independiente y le asignamos “x”, y MW como la variable dependiente y le asignamos “y”, podemos representar la función que determina la magnitud momento (MW) a partir del momento sísmico (MO).

Para ello:

- Accede a **GeoGebra Classic** (<https://www.geogebra.org/classic>) y escribe en la barra de entradas:
 $y = \frac{2}{3} \log x - 10,7$
- Observa la gráfica y determina:
 - El dominio
 - El recorrido

- Los puntos de intersección con los ejes X e Y
- La continuidad
- Los intervalos de crecimiento y decrecimiento
- El máximo y el mínimo
- La concavidad y convexidad
- La periodicidad

Recuerda que:

La **tasa de variación** de una función es el crecimiento o decrecimiento que experimenta la función de un valor a otro del eje X.

$$TV[x_1, x_2] = f(x_2) - f(x_1)$$

La **tasa de variación media** de una función $y = f(x)$ desde $x = a$ hasta $x = b$ es:

$$TVM = (f(b) - f(a)) / (b - a)$$

- Calcula la tasa de variación y la tasa de variación media del momento sísmico:
 - $a = 50,80 \times 10^{20}$ din/cm² (correspondiente al sismo del 25/09/2016 en S. Cúllar, Granada)
 - $b = 32,70 \times 10^{24}$ din/cm² (correspondiente al sismo del 25/01/2016 en el Alborán Sur)

- Interpreta la tasa de variación y la tasa de variación media para comprender el crecimiento de la función del momento.

- Dibuja la función: $f(x) = \log_2(x)$

- Construye la tabla de valores:

x	1/4	1/2	1	2	4
y = f(x)					

- Analiza el dominio, recorrido, intersección con los ejes, continuidad, crecimiento y decrecimiento, máximos y mínimos, concavidad y convexidad.
- Calcula la tasa de variación y la tasa de variación media para $x_1 = 1$ y $x_2 = 4$.
- Dibuja la gráfica de cada una de las siguientes funciones logarítmicas con la ayuda de GeoGebra (<https://www.geogebra.org/classic>), analiza sus propiedades y calcula la tasa de variación media para $x = 4$ hasta $x = 6$:
 - $f(x) = \log x$
 - $f(x) = -\log(x - 3)$
 - $f(x) = \log_2(x + 2)$

S7. Producto final. Escribe un artículo periodístico

- Lee cuáles son las características de la escritura periodística: <https://writingcenter.uagc.edu/journalistic-writing>
- Escribe un **artículo periodístico** basado en los datos y gráficos que has elaborado durante la situación de aprendizaje con el título:
¿Tienes miedo a un terremoto en Puerto Real, sí o no?
- Analiza si tu artículo periodístico cumple los principios de **simplicidad, brevedad, precisión, objetividad, exactitud factual, imparcialidad, equilibrio y pirámide invertida**.
- Mejora tu artículo si es necesario.

Referencias bibliográficas

Araújo, A. C. (2021). The 1755 Lisbon Earthquake: The Catastrophe and the Reconstruction, "Storicamente", 17 (2021), no. 5.

<https://doi.org/10.52056/9788833138732/05>

Almagro. M. (09/03/2015). ¿Qué probabilidad hay de que haya un terremoto en Cádiz? *Voz de Cádiz*.

<https://www.lavozdigital.es/cadiz-provincia/201503/07/terremotos-posible-cadiz-20150304160610-pr.html>

Blanc, P. L. (2009). The tsunami in Cadiz on 1 November 1755: A critical analysis of reports by Antonio Ulloa and by Louis Godin. *Comptes Rendus Geoscience*, 340(4), 251-261.

Earle, S. (2015). Physical Geology. *BCcampus*.

<https://opentextbc.ca/geology/chapter/11-5-forecasting-earthquakes-and-minimizing-damage-and-casualties/>

Chakraborty, L., Spinney, J. A., Malomo, D., Thistlethwaite, J., Motlaghzadeh, K., Jahangir, M. S., Henstra, D., Andrews, S., & Pulatsu, B. (2025). Assessing the environmental justice implications of seismic risk in Ottawa–Gatineau and Montreal metropolitan areas. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 123, 105516.

Glatzmaiers, G., Roberts, P. A three-dimensional self-consistent computer simulation of a geomagnetic field reversal. *Nature* 377, 203–209 (1995). <https://doi.org/10.1038/377203a0>

IGN (s.d.). Historia del Instituto Geográfico Nacional. Recuperado de:

<https://www.ign.es/web/ign/portal/qsm-nuestra-historia>

IGN (s.d.). Catálogo de Terremotos. Recuperado de:

<https://www.ign.es/web/ign/portal/sis-catalogo-terremotos>

IGN (s.d.). Descripción del tipo de Magnitud. Recuperado de:

<https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/SIS-Tipo-Magnitud.pdf>

Población, A. J. (25/11/2019). Para qué sirven los logaritmos: dos retos sin usar la calculadora. *ABC Ciencia*. Recuperado de:

https://www.abc.es/ciencia/abci-para-sirven-logaritmos-retos-sin-usar-calculadora-201911250122_noticia.html

UAGG (2025). Journalistic Writing. *The University of Arizona. Global Campus. Writing Center.*

<https://writingcenter.uagc.edu/journalistic-writing>

USGS (s.d.). Moment magnitude, Richter scale -what are the different magnitude scales, and why are there so many?.

<https://www.usgs.gov/faqs/moment-magnitude-richter-scale-what-are-different-magnitude-scales-and-why-are-there-so-many>