



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Actividades didácticas con Google
Earth para el aprendizaje de la
geología física en la Facultad de
Ingeniería**

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de

Ingeniero Geólogo

P R E S E N T A

Oswaldo David Castillo Rodríguez

ASESORA DE MATERIAL DIDÁCTICO

Dra. Laura Mori



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado ACTIVIDADES DIDACTICAS CON GOOGLE EARTH PARA EL APRENDIZAJE DE LA GEOLOGIA FISICA EN LA FACULTAD DE INGENIERIA que presenté para obtener el título de INGENIERO GEÓLOGO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

OSWALDO DAVID CASTILLO RODRIGUEZ
Número de cuenta: 314337526

INTRODUCCIÓN

La geología es una disciplina fundamental en la formación de las y los estudiantes de Ingeniería en ciencias de la Tierra, ya que les permite conocer los materiales terrestres, entender los procesos que los generan, analizar el impacto de los fenómenos geológicos en la sociedad y el efecto de las actividades humanas en el planeta. En la Facultad de Ingeniería, el alumnado examina por primera vez estos conceptos en los cursos de Geología Física y Geología General. Estas asignaturas representan un desafío significativo para las y los estudiantes, ya que requieren la visualización de materiales y procesos en escalas de tiempo y espacio que, al menos en un principio, pueden resultar difíciles de entender.

Con el propósito de facilitar la visualización inmediata de los conceptos teóricos abordados en clase y su conexión con ejemplos del mundo real, se ha recopilado un cuaderno de actividades para los cursos de Geología Física y Geología General en donde se utiliza la plataforma de Google Earth Pro como herramienta didáctica. De acuerdo con la literatura, Google Earth es un recurso accesible e interactivo que enriquece el aprendizaje de la geología y motiva a los estudiantes a explorar y comprender mejor su entorno (Monet y Greene, 2012; Giorgis, 2015).

Las actividades incluidas en el cuaderno abarcan temas clave de la geología física, como la tectónica de placas, el magmatismo, la meteorización física y química, el transporte y el depósito de sedimentos, las rocas sedimentarias, el metamorfismo, las estructuras de deformación, los principios de la estratigrafía, el tiempo geológico, la erosión fluvial y los paisajes kársticos. Además, al tratar temas como el impacto ambiental de la explotación de los recursos naturales, el riesgo sísmico, los efectos devastadores de un tsunami, los peligros volcánicos y el riesgo de movimientos en masa en carreteras, los ejercicios permiten relacionar la geología con aspectos sociales y ambientales, lo cual es crucial en la profesión de las y los Ingenieros en ciencias de la Tierra.

A lo largo de las diversas actividades, denominadas "Georutas", las y los estudiantes tienen acceso a sitios geológicos icónicos, como el Gran Cañón de Arizona o el Parque Nacional de Yellowstone, así como a lugares representativos de la geología mexicana, como el volcán Pico de Orizaba o el Parque Nacional de las Grutas de Cacahuamilpa. Los ejercicios permiten entrenar habilidades de identificación e interpretación de materiales (minerales, rocas y sedimentos) y estructuras geológicas (estratos sedimentarios, edificios volcánicos, fallas y pliegues); habilidades de análisis de patrones de deformación y erosión; habilidades cuantitativas (cálculo de las tasas de procesos geológicos como la erosión fluvial, el movimiento de las placas tectónicas o el desplazamiento de tsunamis); y habilidades de lectura de mapas topográficos y geológicos.

Las Georutas ubicadas en México (Georutas 4, 8, 9, 12 y 15) son actividades originales creadas específicamente para este proyecto. En cambio, las Georutas de otras regiones del mundo se han desarrollado a partir de ejercicios disponibles en la literatura (Ludman y Marshak, 2019), los cuales se han traducido, modificado y adaptado para los cursos de Geología Física y Geología General de la Facultad de Ingeniería.

Enlace de descarga al archivo .kmz de las georutas:

<https://www.dropbox.com/scl/fi/br1sqe8tpk1rluq4pfct1/GEORUTAS..kmz?rlkey=qfxme7czgwi9po1fek9o5la5l&st=rysho2j1&dl=0>

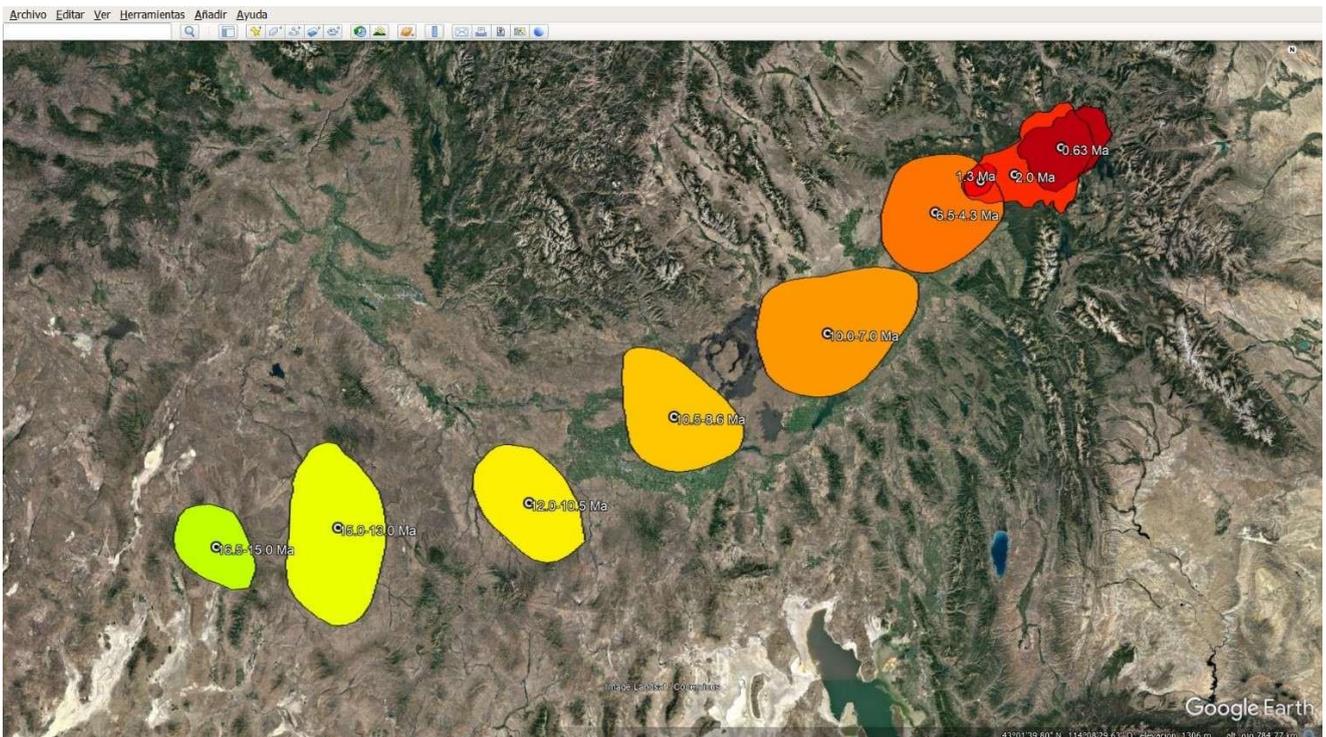
GEORUTAS

Georuta 1. Movimiento de una placa continental sobre un punto caliente	4
Georuta 2. Procesos y productos del ciclo de las rocas	6
Georuta 3. Los batolitos de la Sierra Nevada de California	8
Georuta 4. Las formaciones rocosas del Parque Nacional Grutas de Cacahuamilpa	10
Georuta 5. Ambientes sedimentarios	12
Georuta 6. Análisis del grado metamórfico en los Montes Apalaches de Nueva Inglaterra	14
Georuta 7. Impacto ambiental de la extracción de minerales	16
Georuta 8. Recursos naturales de México y problemáticas asociadas a su explotación	18
Georuta 9. Estructuras de deformación en México	20
Georuta 10. Ubicación probable de un futuro sismo a partir del análisis de la sismicidad histórica	22
Georuta 11. Los efectos devastadores de un tsunami	24
Georuta 12. Análisis de volcanes mexicanos: estructuras, productos ígneos y peligros asociados	26
Georuta 13. Viaje en el tiempo geológico en el Gran Cañón de Arizona	28
Georuta 14. Interpretación de la historia geológica del Gran Cañón de Arizona	30
Georuta 15. Métodos de prevención de movimientos en masa en carreteras	32
Georuta 16. Paisajes esculpidos por los ríos	34
Georuta 17. Disolución del paisaje operada por el agua subterránea	36

Georuta 1. Movimiento de una placa continental sobre un punto caliente

Objetivos de aprendizaje:

- Determinar la dirección del desplazamiento de la Placa de Norteamérica sobre el punto caliente de Yellowstone.
- Calcular la velocidad de desplazamiento de la Placa de Norteamérica.
- Analizar los patrones temporales de las erupciones y sus implicaciones.
- Predecir en qué estado se encontraría el punto caliente en el futuro si la placa cambiara de dirección.



Selecciona y haz doble clic en el ícono de la carpeta **Georuta 1** en Google Earth para dirigirte a una región al sur de Idaho. Esta vista resalta las ubicaciones y las edades de las principales calderas que se formaron por el paso de la Placa de Norteamérica sobre el punto caliente de Yellowstone durante los últimos 16.5 millones de años [Ma] (puedes ajustar a tu conveniencia la opacidad de las trazas de las calderas usando el control ubicado en la parte inferior del panel de "Lugares" de Google Earth).

A) Con base en las edades de las calderas, establece en qué dirección (NE o SW) se está desplazando la Placa de Norteamérica sobre el punto caliente estacionario.

B) Haz clic en el ícono "Mostrar regla" en la barra de herramientas de Google Earth y selecciona la pestaña "Ruta" para trazar una ruta que conecte los puntos centrales de todas las calderas, desde la más antigua (16.5 Ma) hasta la más reciente (0.63 Ma). Anota la longitud de la traza del punto caliente (en centímetros) y calcula la velocidad promedio de la Placa de Norteamérica (en cm/año).

C) Las tres calderas más recientes tienen edades de 2.0 Ma, 1.3 Ma y 0.63 Ma, respectivamente. ¿Qué patrón observas en estas edades y qué podría sugerir esto sobre la temporalidad de la próxima gran erupción?

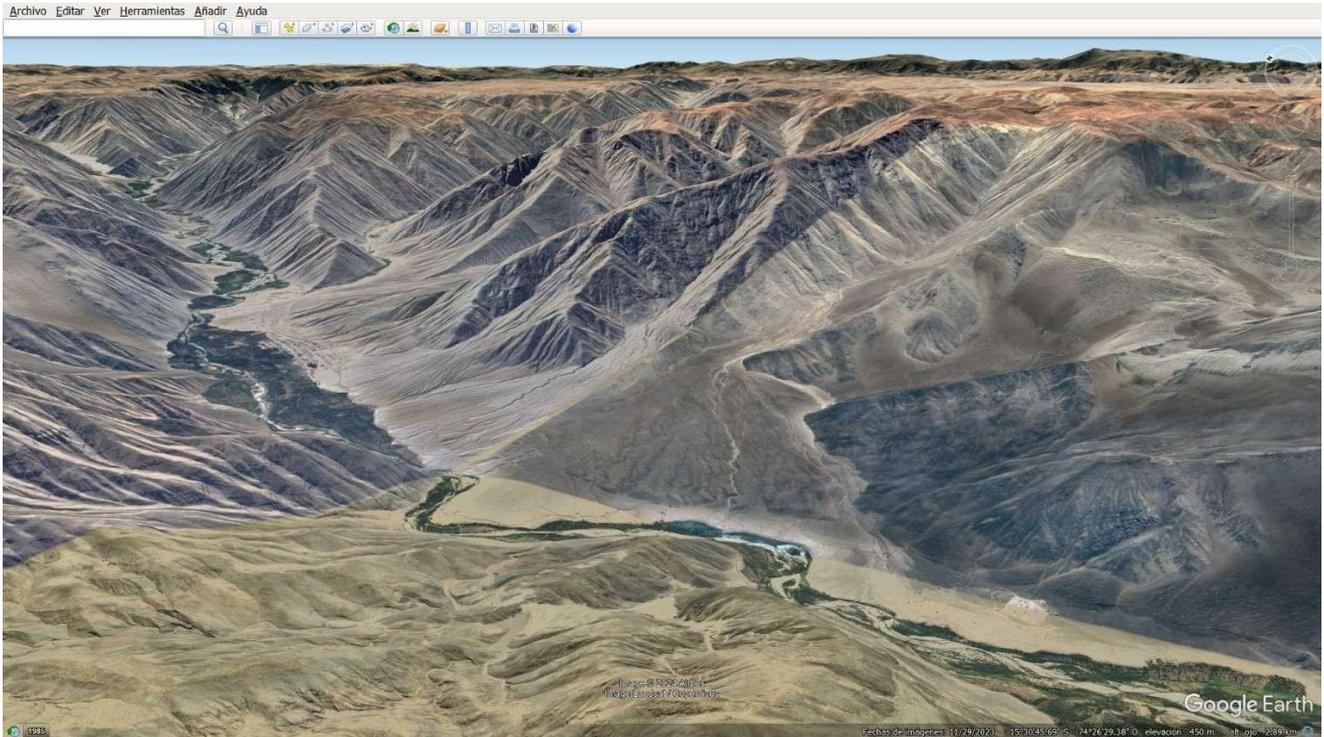
D) Antes de preocuparte demasiado por tu respuesta a la pregunta C), observa las edades de las calderas más antiguas. ¿El mismo patrón temporal se mantiene a lo largo de toda la traza del punto caliente? ¿Qué sugiere esta observación sobre la predicción de futuras erupciones en el punto caliente de Yellowstone?

E) Supongamos que la Placa de Norteamérica comenzara a moverse hacia el sur. Si la placa mantuviera la misma velocidad de desplazamiento que has calculado, después de 10 millones de años ¿qué estado se encontraría directamente sobre el punto caliente?

Georuta 2. Procesos y productos del ciclo de las rocas

Objetivos de aprendizaje:

- Identificar procesos a partir de la observación de diferentes rasgos geológicos.
- Reconocer el tipo de rocas en función de los procesos observados.



El ciclo de las rocas describe las relaciones entre los procesos geológicos y los productos que generan, es decir, los diferentes tipos de rocas. Al observar un proceso geológico, se puede predecir el producto que generará. De la misma manera, al observar cierto tipo de roca, es posible inferir el proceso responsable de su formación. Expande la carpeta **Georuta 2** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. La carpeta contiene tres marcas de posición que te dirigirán a lugares en donde están operando o han operado distintos procesos geológicos. Deberás identificar los procesos característicos de cada zona (fusión/cristalización, calor/presión, transporte/depósito/litificación) y predecir los respectivos productos (rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas).

A) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Argentina** para explorar una región en la que se distinguen numerosas estructuras cónicas. Observa las rocas negras y analiza los rasgos del paisaje para inferir a qué grupo pertenecen y cuáles procesos las generaron.

B) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Canadá** para dirigirte al norte de Quebec. Aquí, la distribución de los lagos permite reconocer dos tendencias bien definidas de capas rocosas plegadas (N-

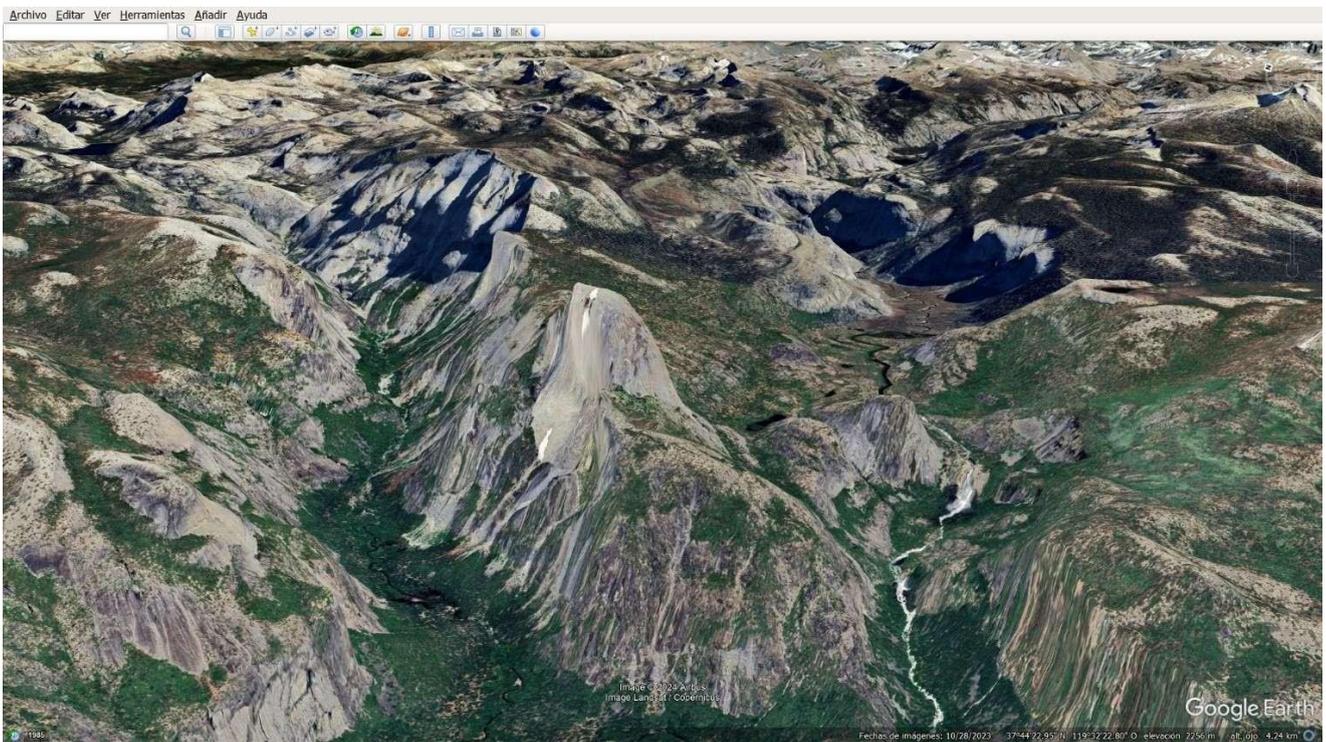
S y SW-NE). Estas formaciones rocosas, de edad precámbrica, conforman el núcleo del cratón de Norteamérica. Basándote en las estructuras geológicas que puedes apreciar a la escala regional, interpreta los procesos que estuvieron involucrados en su formación. ¿A qué tipo de rocas es más probable que pertenezcan estas formaciones?

C) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición [Perú](#) para dirigirte al Desierto de Atacama. Aquí, una gran estructura parece haber desviado el curso del arroyo que fluye por la región. Interpreta los procesos geológicos que han operado en esta zona y determina a qué clase de rocas es más probable que pertenezcan las rocas que conforman este paisaje.

Georuta 3. Los batolitos de la Sierra Nevada de California

Objetivos de aprendizaje:

- Determinar la textura de las rocas ígneas en función de su profundidad de cristalización.
- Clasificar las rocas intrusivas según su composición mineralógica.
- Identificar el proceso de meteorización relacionado con la exposición de las rocas.



Expande la carpeta **Georuta 3** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Half Dome** para dirigirte a esta impresionante estructura ubicada en el Parque Nacional de Yosemite, en California. Aquí, puedes apreciar unas exposiciones espectaculares del batolito de la Sierra Nevada. El batolito está compuesto por múltiples cuerpos ígneos que se originaron durante el Mesozoico en un contexto de subducción.

A) Considerando que estas rocas ígneas cristalizaron a profundidades de ~20-25 km por debajo de un arco volcánico continental, ¿qué textura presentarán: fanerítica, afanítica, porfídica o vítrea?

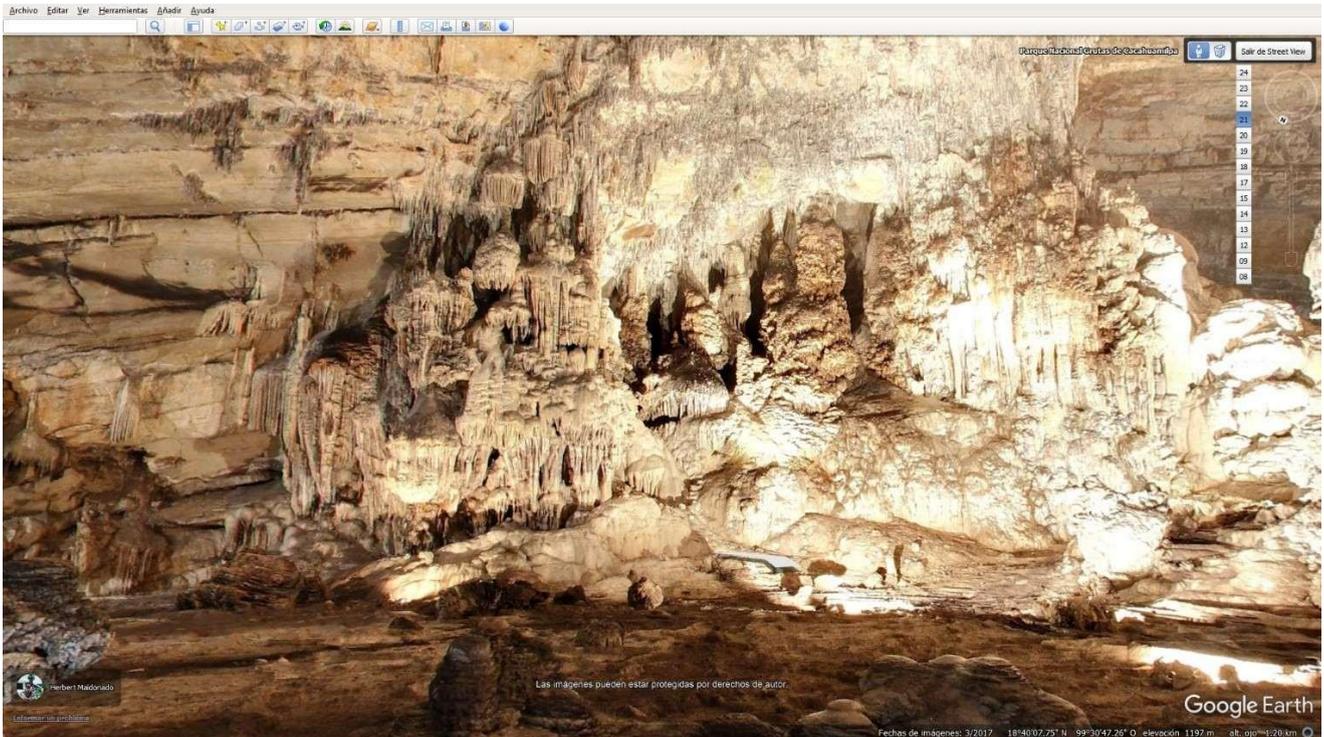
B) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Tipo de roca** para observar más de cerca estas rocas. Aquí, unos diques rosados ricos en ortoclasa cortan las rocas del Half Dome, de color predominantemente claro. ¿A cuál de los cuatro grupos mineralógicos (félsico, intermedio, máfico o ultramáfico) crees que pertenecen estas rocas ígneas?

C) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Fracturas**. La apariencia redondeada de la parte posterior del Half Dome es un rasgo característico de esta estructura. El cuerpo intrusivo presenta una fracturación laminar, parecida a la estratificación en capas de una cebolla, la cual fue producida por la descompresión que sufrieron las rocas ígneas al ser exhumadas y expuestas en la superficie. ¿Cómo se denomina este proceso? ¿Es un ejemplo de meteorización mecánica o química?

Georuta 4. Las formaciones rocosas del Parque Nacional Grutas de Cacahuamilpa

Objetivos de aprendizaje:

- Determinar la composición de las formaciones geológicas características de un sistema de cuevas.
- Describir los procesos de formación de los espeleotemas.



Selecciona y haz doble clic en el ícono de la carpeta **Georuta 4** en Google Earth para ingresar al sistema de cuevas del Parque Nacional Grutas de Cacahuamilpa, ubicado en el estado de Guerrero, México. Explora el interior de la gruta, desplazándote a lo largo del camino (haz doble clic en las flechas que aparecen en el piso). Para tener otras perspectivas del recorrido, puedes utilizar las casillas numeradas del 19 al 23, ubicadas en la parte superior derecha de la ventana de Google Earth.

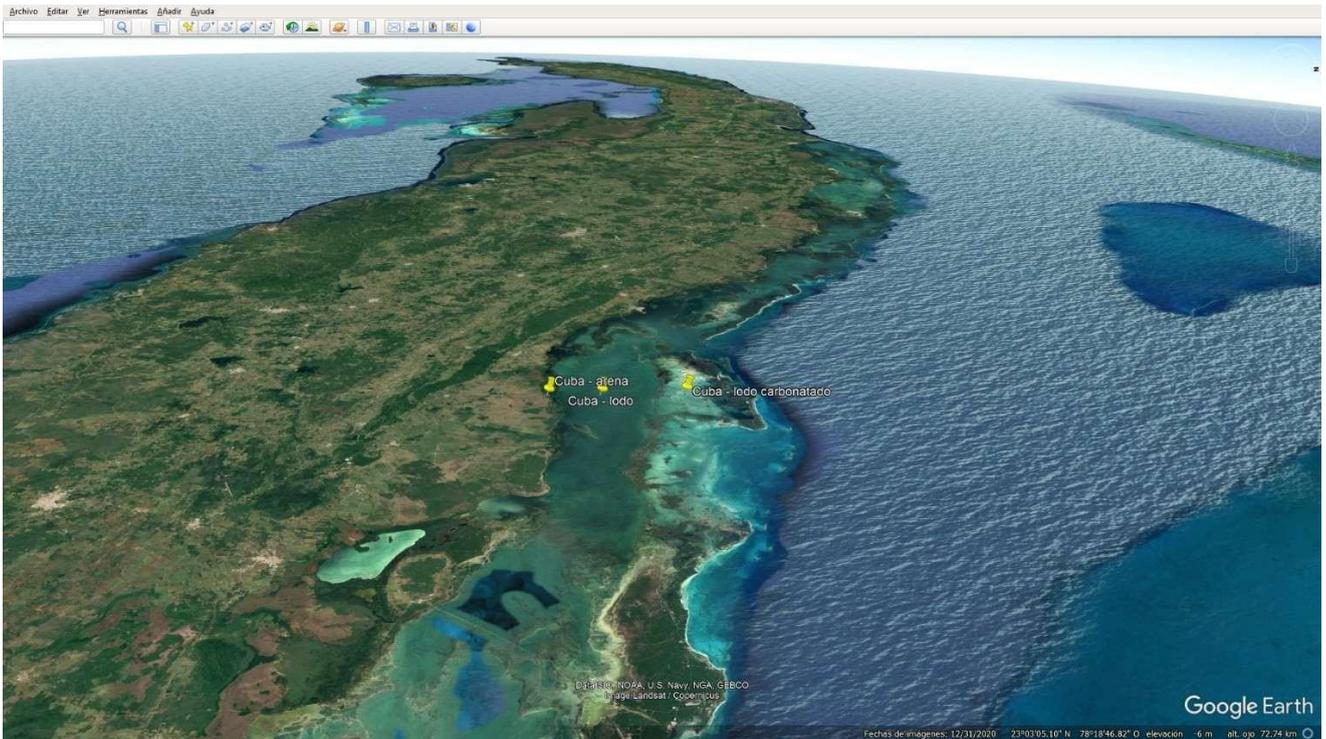
A) Identifica las estructuras visibles como estalactitas o estalagmitas. ¿De qué tipo de rocas están compuestas y cuál es su composición química?

B) Explica cómo se forman los espeleotemas, resaltando los dos procesos principales operados por el agua subterránea.

Georuta 5. Ambientes sedimentarios

Objetivos de aprendizaje:

- Comparar ambientes de depósito modernos y antiguos.
- Inferir qué tipo de roca sedimentaria se formaría en un ambiente específico.
- Identificar trasgresiones y regresiones marinas a partir del análisis del registro estratigráfico



Los ambientes de depósito modernos brindan una excelente oportunidad para interpretar los ambientes de depósito antiguos y las rocas sedimentarias que se forman en dichos ambientes. Expande la carpeta **Georuta 5** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. A su vez, la carpeta contiene dos carpetas que te dirigirán a lugares en donde puedes comparar ambientes de depósito modernos y antiguos.

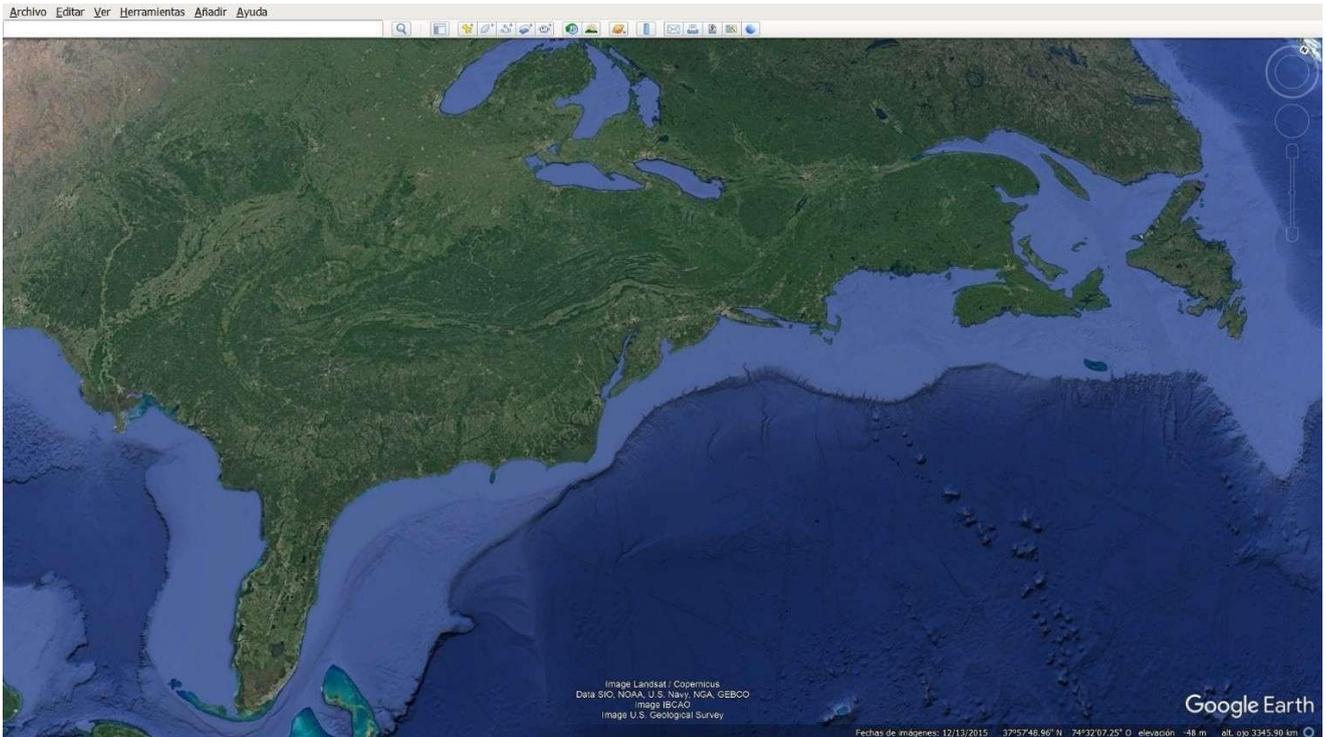
A) Expande la carpeta **Dunas de arena**. Selecciona y haz doble clic en las marcas de posición **Namibia** y **Sandhills, Nebraska** para explorar estos lugares. En ambas regiones puedes observar dunas de arena; en el caso de Sandhills, las dunas están cubiertas de vegetación, lo que indica que ya no están activas. Posteriormente, selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Parque Nacional de Zion, Utah** para observar un afloramiento de rocas que podrían haberse formado en un ambiente sedimentario análogo. Si las dunas de Sandhills sufrieran un proceso de diagénesis, ¿qué rocas sedimentarias generarían y qué estructura sedimentaria presentarían?

B) Expande la carpeta **Trasgresiones/Regresiones**. Selecciona todas las marcas de posición de **Cuba** y haz doble clic en una de ellas para dirigirte a la costa norte de la isla. Aquí, hay depósito de arena en la zona más cercana a la costa, depósito de lodo (limo y arcilla) a una distancia intermedia de la costa y depósito de lodo rico en carbonatos marinos más lejos de la costa. Considera cómo se apilarían los sedimentos si el nivel del mar descendiera (regresión) y si ascendiera (trasgresión), imaginando la migración de la línea de costa hacia el mar y hacia la tierra, respectivamente. Ahora, selecciona todas las marcas de posición del **Gran Cañón** y haz doble clic en una de ellas para dirigirte al Gran Cañón de Arizona. Aquí, puedes observar una secuencia de unidades rocosas del Cámbrico: Arenisca Tapeats (unidad inferior), Lodolita Bright Angel (unidad intermedia) y Caliza Muav (unidad superior). El apilamiento vertical de estas unidades podría reflejar una regresión (descenso) o una transgresión (ascenso) del nivel del mar. ¿Cuál de estos eventos crees que ocurrió en la región durante el Cámbrico? ¿Por qué?

Georuta 6. Análisis del grado metamórfico en los Montes Apalaches de Nueva Inglaterra

Objetivos de aprendizaje:

- Determinar el grado metamórfico de las rocas.
- Identificar los minerales presentes en las rocas metamórficas analizadas.
- Determinar el tipo de metamorfismo que generó las rocas metamórficas identificadas.



Expande la carpeta **Georuta 6** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. Selecciona y haz doble clic en la capa **Zonas metamórficas de Nueva Inglaterra** para observar un mapa de grados metamórficos superpuesto a los Montes Apalaches (puedes ajustar a tu conveniencia la opacidad del mapa usando el control ubicado en la parte inferior del panel de "Lugares" de Google Earth).

A) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Grado**. Si viajaras hacia el norte desde esta marca de posición, ¿entrarías en rocas de mayor o menor grado metamórfico?

B) Selecciona las marcas de posición **Oeste** y **Este**. Con base en tu respuesta anterior, ¿el núcleo metamórfico de la región (es decir, la zona de mayor metamorfismo) estaría más cerca de la marca de posición **Oeste** o **Este**?

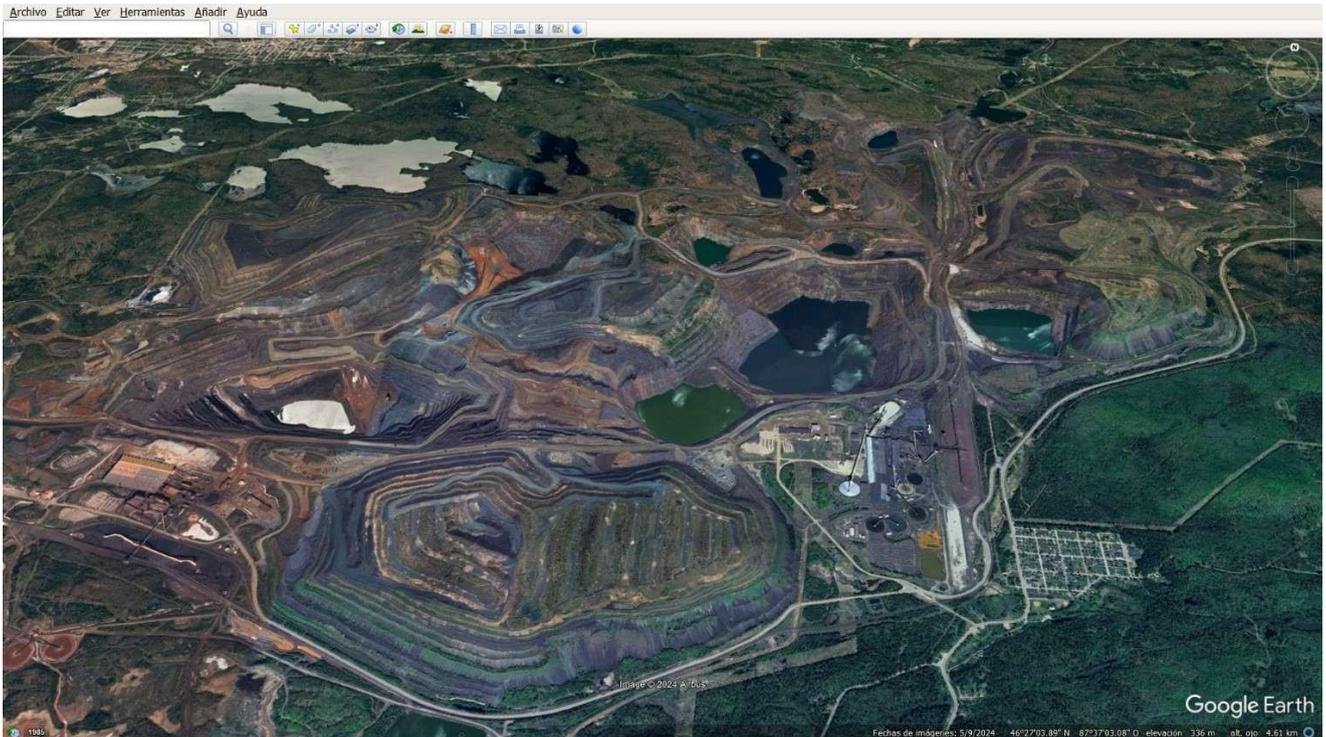
C) Selecciona y haz clic en la marca de posición **Esquisto**. Tomando en cuenta la ubicación de la marca de posición, ¿qué minerales serán los de color rojo sangre que se aprecian en la foto del esquisto en la ventana emergente?

D) ¿Qué tipo de metamorfismo pudo haber generado las rocas metamórficas de los Montes Apalaches?

Georuta 7. Impacto ambiental de la extracción de minerales

Objetivos de aprendizaje:

- Identificar los minerales presentes en las formaciones de hierro bandeado.
- Evaluar el impacto ambiental de la actividad minera.



Expande la carpeta **Georuta 7** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Formación de hierro bandeado** para dirigirte a un lugar al sur de Ishpeming, Michigan. Aquí, la marca de posición muestra un gran tajo de donde se están extrayendo minerales ricos en hierro (Fe). En esta área, unos minerales metálicos ricos en Fe de color gris están comúnmente intercalados con jaspe (cuarzo microcristalino rojo) para formar la espectacular formación de hierro bandeado que se muestra en la ventana emergente del marcador de posición.

A) Los minerales grises ricos en Fe en las formaciones de hierro bandeado pueden estar representados por magnetita (Fe_3O_4) o hematita especular (Fe_2O_3). A pesar de tener colores similares, estos minerales presentan rayas distintas: de hecho, la hematita especular, al igual que otras variedades de hematita, produce una raya de color marrón rojizo, mientras que la magnetita exhibe típicamente una raya gris oscura/negra. Selecciona y haz doble clic en la foto etiquetada como **Raya**. Considerando el color de la raya en la foto, ¿qué mineral rico en Fe está presente en la formación de hierro bandeado considerada?

B) Los minerales son increíblemente valiosos en nuestras vidas. Sin embargo, su extracción tiene un costo muy alto para el medio ambiente. Selecciona y haz doble clic en las marcas de posición **Fondo del**

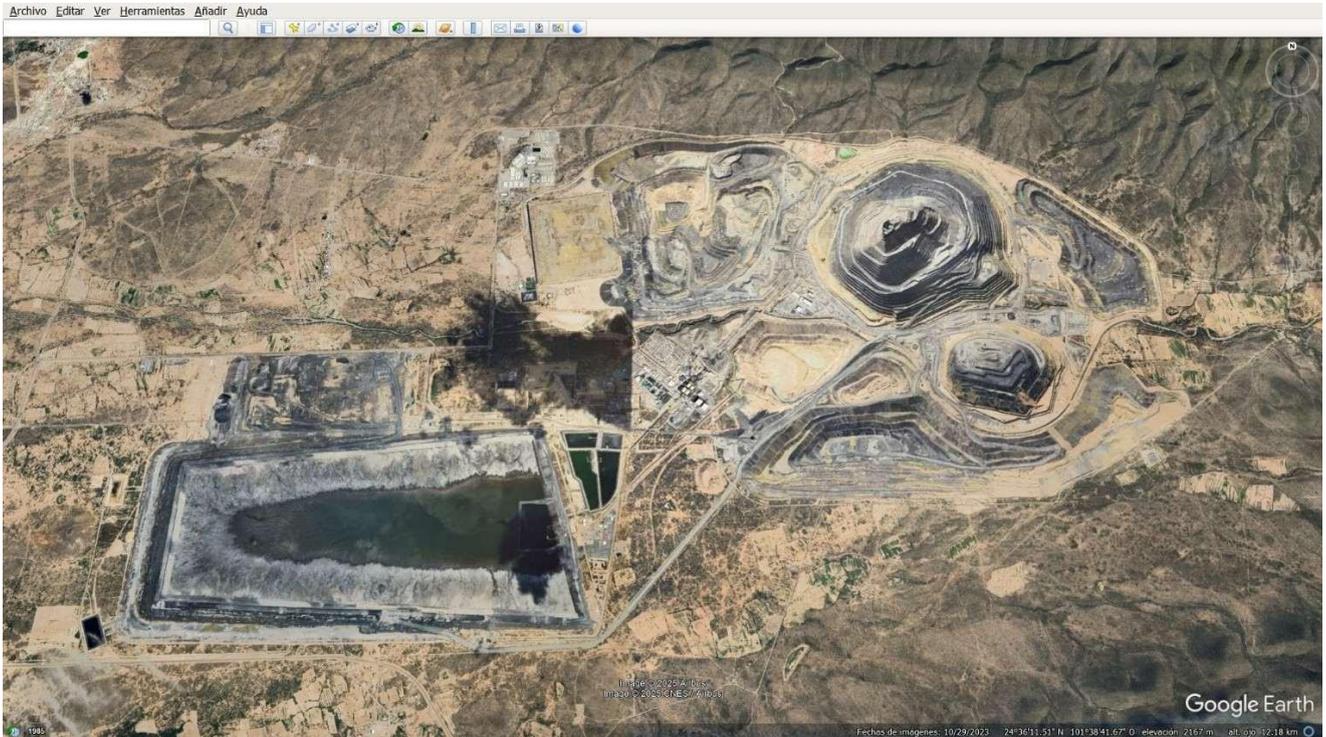
tajo y **Borde del tajo**. Para tener una idea de la escala de estas cicatrices en el paisaje, mantén el cursor sobre cada marca de posición y lee su elevación en la parte inferior derecha de la ventana de Google Earth. ¿Qué rango describe mejor la profundidad de este hoyo? ¿Menos de 100 metros? ¿100-200 metros? ¿200-300 metros? ¿300-400 metros? ¿Más de 400 metros?

C) Regresa a una perspectiva regional y explora los tajos y las pilas de desechos presentes en el área. ¿Qué otro impacto ecológico de la minería es evidente?

Georuta 8. Recursos naturales de México y problemáticas asociadas a su explotación

Objetivos de aprendizaje:

- Analizar el impacto ambiental, social y económico de la explotación de recursos naturales en México.



Expande la carpeta **Georuta 8** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. La carpeta contiene las marcas de posición de tres lugares representativos de México relacionados con la explotación de recursos naturales (hidrocarburos y minerales).

A) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Pozo San Diego de la Mar 3** para dirigirte a esta estructura ubicada en el estado de Veracruz. El pozo San Diego de la Mar 3, perforado a inicios del siglo XX, es un lugar emblemático en la historia de la industria petrolera en México, no solo por su inmenso potencial, sino también porque fue afectado por un terrible accidente que remarcó los riesgos asociados a la extracción de hidrocarburos (Ortiz-Ortiz, 2017). El 4 de julio de 1908, el pozo colapsó. Petróleo y gas comenzaron a brotar a gran presión y altura, lo que ocasionó una explosión y un incendio cuando los hidrocarburos entraron en contacto con un área de calderas. A más de un siglo del accidente, el pozo continúa emanando hidrocarburos, lo que resalta su capacidad extraordinaria. Los daños ambientales fueron devastadores, afectando la población, la fauna y la vegetación de la zona. Originalmente, el pozo tenía un diámetro de 15 cm. ¿Cuál es el diámetro actual (en metros) del cráter provocado por el colapso del pozo? Haz clic en el ícono "Mostrar regla" en la barra de herramientas de Google Earth y selecciona la pestaña "Línea" para medirlo.

B) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición [Macropera](#) para explorar un campo petrolero en Poza Rica, Veracruz. En este sitio hay pozos petroleros en operación dentro de una zona deportiva en el centro de la ciudad. Selecciona y haz doble clic en la foto [Macropera](#) (tomada por Oswaldo Castillo-Rodríguez) para obtener otra vista del lugar. Este sitio es un ejemplo de cómo la explotación de hidrocarburos, si se realiza de forma responsable y bien planificada, puede llevarse a cabo sin comprometer la salud de las personas. ¿Qué beneficios sociales pueden derivarse de este tipo de proyectos?

C) Haz doble clic en la marca de posición [Peñasquito](#) para dirigirte a la mina Peñasquito, en el estado de Zacatecas. Esta mina es la principal productora de oro en México. Para extraer este metal, se requiere remover una enorme cantidad de tierra, lo que conlleva un impacto ambiental significativo. Sal de "Street view" de Google Earth, regresa a una perspectiva regional y explora la mina y sus alrededores. ¿Qué efectos negativos podría tener la actividad minera sobre el medio ambiente? Por otra parte, ¿qué efectos positivos podría tener la mina en las comunidades locales?

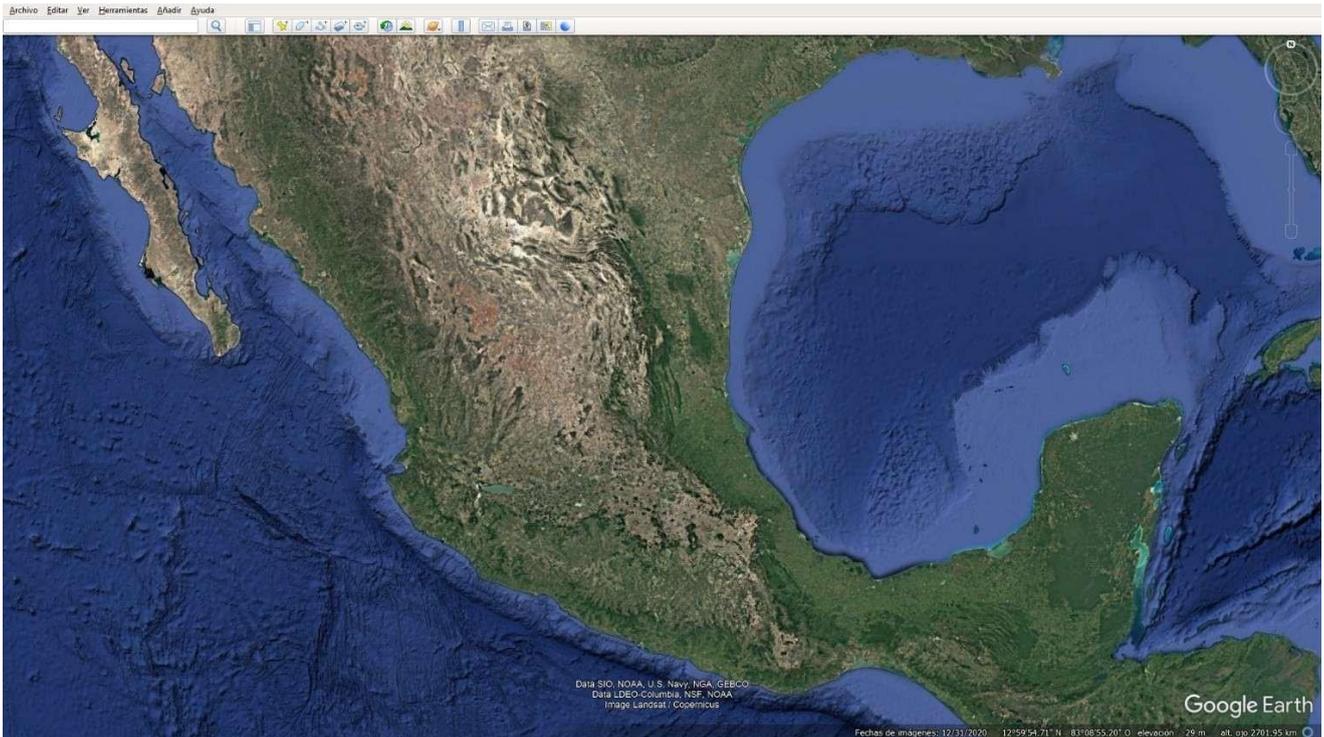
Referencia bibliográfica:

- Ortiz-Ortiz, M., 2017. Incendio del pozo petrolero Dos Bocas de San Diego de la Mar, en 1908. Revista Iberoamericana de Ciencias, 4 (6), 60-72.

Georuta G. Estructuras de deformación en México

Objetivos de aprendizaje:

- Identificar y clasificar afloramientos de estructuras tectónicas con base en su geometría o a partir de la edad de los bloques desplazados.
- Relacionar diferentes tipos de estructuras geológicas con los esfuerzos tectónicos responsables de su formación.



Expande la carpeta **Georuta G** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. La carpeta contiene las marcas de posición de tres afloramientos rocosos en carreteras de México, donde es posible observar estructuras geológicas producidas por la acción de esfuerzos tectónicos.

A) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Falla de Santa Lucía** para dirigirte a un afloramiento de esta falla a lo largo de la Carretera Federal 135D (Autopista Puebla-Oaxaca, estado de Puebla). En este punto, la Falla de Santa Lucía (Elías-Herrera et al., 2005) pone en contacto los gneises del Complejo Oaxaqueño (a la izquierda) con los conglomerados de la Formación Matzitzi (a la derecha). Considerando que el Complejo Oaxaqueño tiene edad Proterozoica, mientras que la Formación Matzitzi remonta al Pérmico, indica si la falla de Santa Lucía presenta una cinemática normal o inversa.

B) Selecciona y haz doble clic en la foto [El Arco](#) (tomada por Oswaldo Castillo-Rodríguez) para observar un afloramiento ubicado en una carretera sin nombre en el estado de Puebla. ¿Qué tipo de falla observas? ¿Qué tipo de esfuerzo pudo haberla producido?

C) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición [Sierra Madre Oriental](#), en la cual podrás observar un afloramiento de rocas calizas a lo largo de la Carretera Federal 120, en el estado de Querétaro. ¿Qué estructuras geológicas reconoces? ¿Qué tipo de esfuerzo pudo haberlas producido?

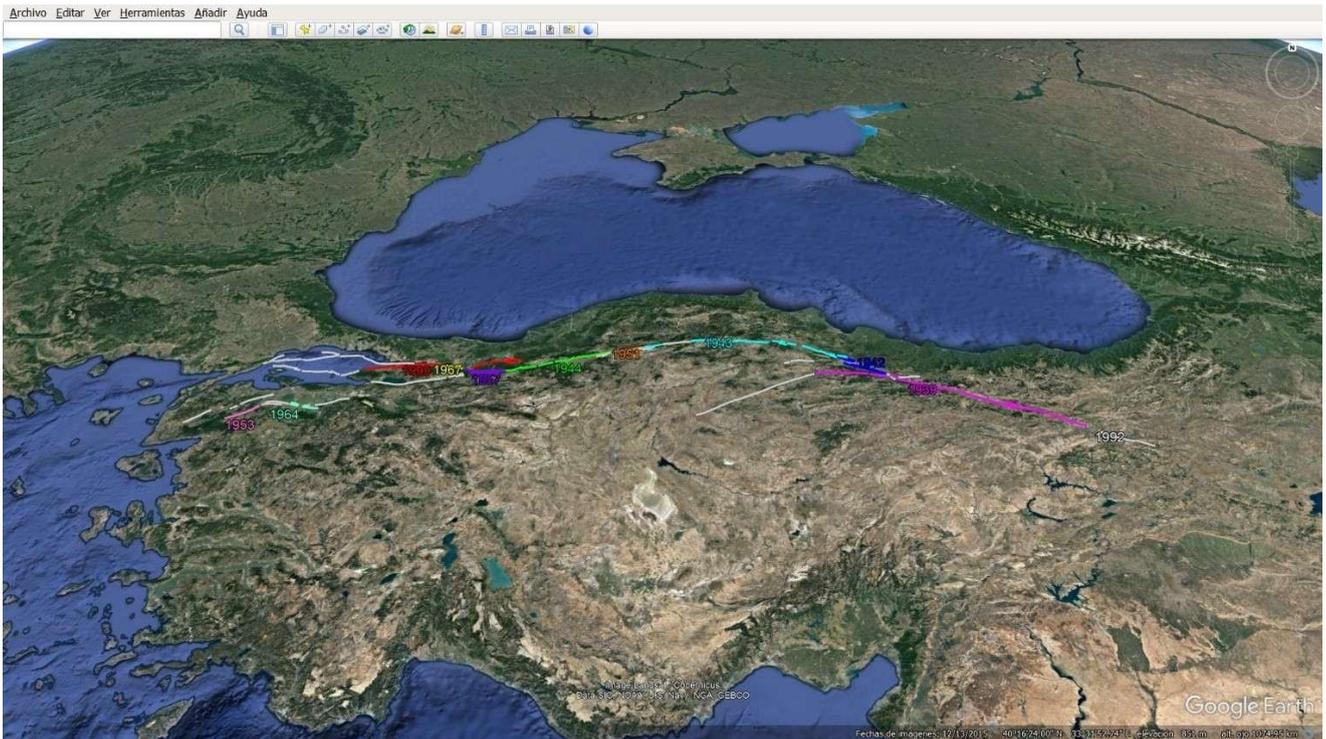
Referencia bibliográfica:

- Elías-Herrera, M., Ortega-Gutiérrez, F., Sánchez-Zavala, J. L., Macías-Romo, C., Ortega-Rivera, A., Iriondo, A., 2005. La falla de Caltepec: raíces expuestas de una frontera tectónica de larga vida entre dos terrenos continentales del sur de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, LVII (1), 83-109.

Georuta 10. Ubicación probable de un futuro sismo a partir del análisis de la sismicidad histórica

Objetivos de aprendizaje:

- Identificar patrones en la actividad sísmica a lo largo de las fallas del Norte de Anatolia.
- Analizar las posibles causas de dichos patrones.
- Predecir la ubicación probable de un futuro sismo de gran magnitud a partir del análisis de la sismicidad histórica.



Expande la carpeta **Georuta 10** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. Selecciona y haz doble clic en la carpeta **Fallas del Norte de Anatolia** para dirigirte al norte de Turquía. Las fallas están etiquetadas e iluminadas con diferentes colores para mostrar la actividad reciente relacionada con sismos de magnitud significativa (las fallas grises no han estado activas en tiempos recientes).

A) ¿Cuál es el patrón dominante de los sismos más significativos que han ocurrido a lo largo del sistema de Fallas del Norte de Anatolia de 1939 a 1999?

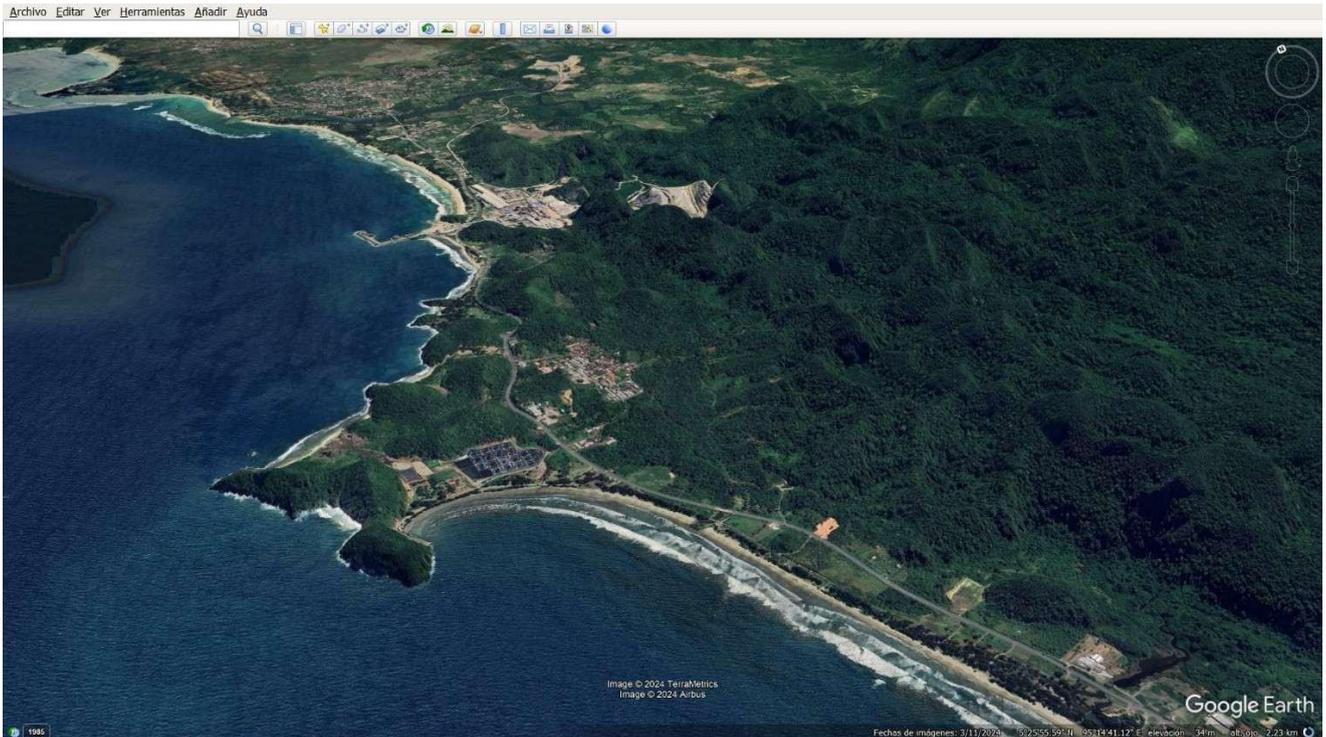
B) ¿A qué podría deberse este patrón?

C) ¿En qué zona crees que podría ocurrir el próximo terremoto significativo asociado con este sistema de fallas? Selecciona y haz doble clic en las marcas de posición [Área de Estambul](#), [Área de Osmancik](#), [Área de Alaca](#) y [Área de Duzce](#) para explorar cada lugar.

Georuta 11. Los efectos devastadores de un tsunami

Objetivos de aprendizaje:

- Calcular la velocidad de desplazamiento de un tsunami.
- Analizar los cambios producidos por el tsunami en la zona costera.
- Reflexionar sobre el nivel de seguridad que se puede tener en una zona propensa a sufrir eventos de tsunamis.



El 26 de diciembre de 2004, en la zona de subducción de Sumatra, Indonesia se produjo el tercer terremoto más grande registrado en la historia (magnitud 9.1). Este sismo generó un tsunami que devastó las costas de todo el Océano Índico. Para comenzar a explorar los efectos de esta ola devastadora, expande la carpeta **Georuta 11** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta.

A) Selecciona y haz doble clic en la capa **Tiempos de desplazamiento del tsunami**. Consulta el enlace para entender a qué tiempos corresponden los diferentes colores y luego cierra la ventana emergente. Posteriormente, selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Cuerno de África**. ¿Cuántas horas tardó el tsunami en viajar desde Sumatra hasta el Cuerno de África?

B) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Epicentro**, manteniendo activas la capa **Tiempos de desplazamiento del tsunami** y la marca de posición **Cuerno de África**. Haz clic en el ícono "Mostrar regla" en la barra de herramientas de Google Earth y selecciona la pestaña "Ruta" para medir la distancia

entre el epicentro del sismo y el Cuerno de África (traza una ruta aproximadamente perpendicular a las líneas de contorno). Utiliza esta distancia y tu respuesta a la pregunta A) para calcular la velocidad promedio (en km/hora) del tsunami.

C) Desactiva la capa **Tiempos de desplazamiento del tsunami**. Posteriormente, selecciona y haz doble clic en las marcas de posición **Lho-nga** y **Leupung** para observar unas imágenes de antes y después del tsunami de dos áreas costeras de Sumatra. ¿Qué cambios observas?

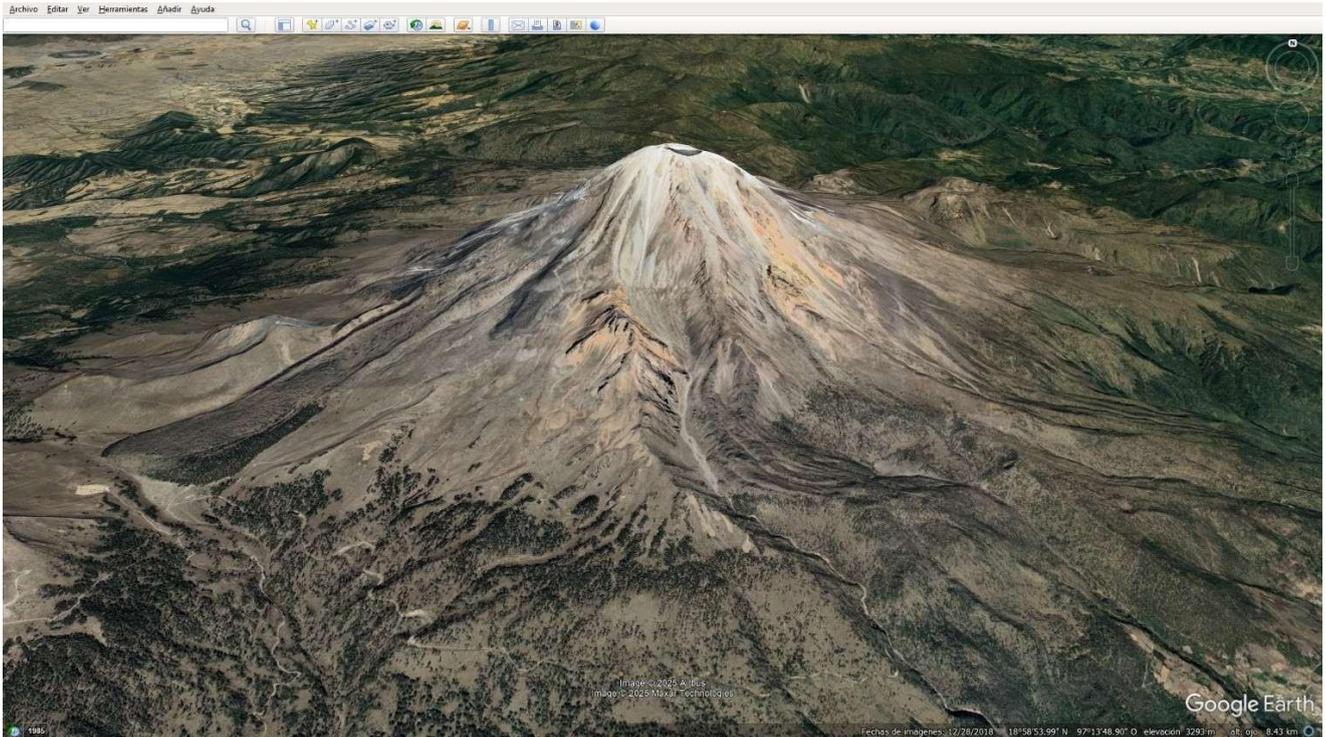
D) ¿Crees que los edificios cercanos a la costa representaron un refugio seguro durante el tsunami? ¿Por qué o por qué no?

E) Activa y haz doble clic en la marca de posición **Península** para explorar la península situada a medio camino entre las ciudades de Lho-nga y Leupung. ¿Toda el área sufrió la misma entidad de daños? ¿Qué lecciones sobre seguridad en áreas propensas a tsunamis se pueden aprender al examinar este lugar?

Georuta 12. Análisis de volcanes mexicanos: estructuras, productos ígneos y peligros asociados

Objetivos de aprendizaje:

- Analizar el perfil de elevación de un volcán para identificar el tipo de estructura.
- Describir los productos ígneos asociados con diferentes tipos de volcanes.
- Identificar la modalidad eruptiva característica de cierto tipo de volcán.
- Describir los peligros asociados con las erupciones plinianas.



México es hogar de numerosos volcanes, muchos de los cuales están inactivos, pero los activos representan un riesgo significativo para las comunidades cercanas. Comprender sus características, como el tipo de estructura, la composición y los peligros asociados, es esencial para desarrollar estrategias efectivas de prevención y respuesta ante posibles erupciones volcánicas. Expande la carpeta **Georuta 12** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. La carpeta contiene las marcas de posición de tres volcanes ubicados en diferentes estados de México.

A) Selecciona y haz doble clic la marca de posición **El Jorullo** para dirigirte a este volcán ubicado en el estado de Michoacán. Activa y haz clic derecho en la ruta **El Jorullo** y selecciona "Mostrar perfil de elevación" para visualizar una gráfica del cambio de elevación (eje y) contra la distancia a lo largo de la ruta (eje x). Basándote en la morfología del volcán observada en el perfil de elevación y en su tamaño, ¿a qué tipo de volcán crees que pertenece El Jorullo? ¿Qué productos ígneos están típicamente asociados con esta estructura volcánica? Describe su composición y características principales.

B) Selecciona y haz doble clic la marca de posición **Pico de Orizaba** para dirigirte a este volcán ubicado en el estado de Puebla. Activa y haz clic derecho en la ruta **Pico de Orizaba** y selecciona "Mostrar perfil de elevación" para visualizar una gráfica del cambio de elevación (eje y) contra la distancia a lo largo de la ruta (eje x). Basándote en la morfología del volcán observada en el perfil de elevación y en su tamaño, ¿a qué tipo de volcán crees que pertenece el Pico de Orizaba? ¿Qué modalidad eruptiva es típica de este volcán? Describe brevemente las características de dicha erupción.

C) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **El Chichón** para dirigirte a este volcán ubicado en el estado de Chiapas. El 3 de abril de 1982, después de un periodo de inactividad de algunos cientos de años, El Chichón experimentó una violenta erupción de tipo pliniano que causó más de 2,000 víctimas mortales, convirtiéndose en una de las mayores tragedias provocadas por fenómenos volcánicos en la historia de México (Tilling, 2009). ¿Qué tipos de peligros están asociados con las erupciones plinianas? Descríbelos brevemente.

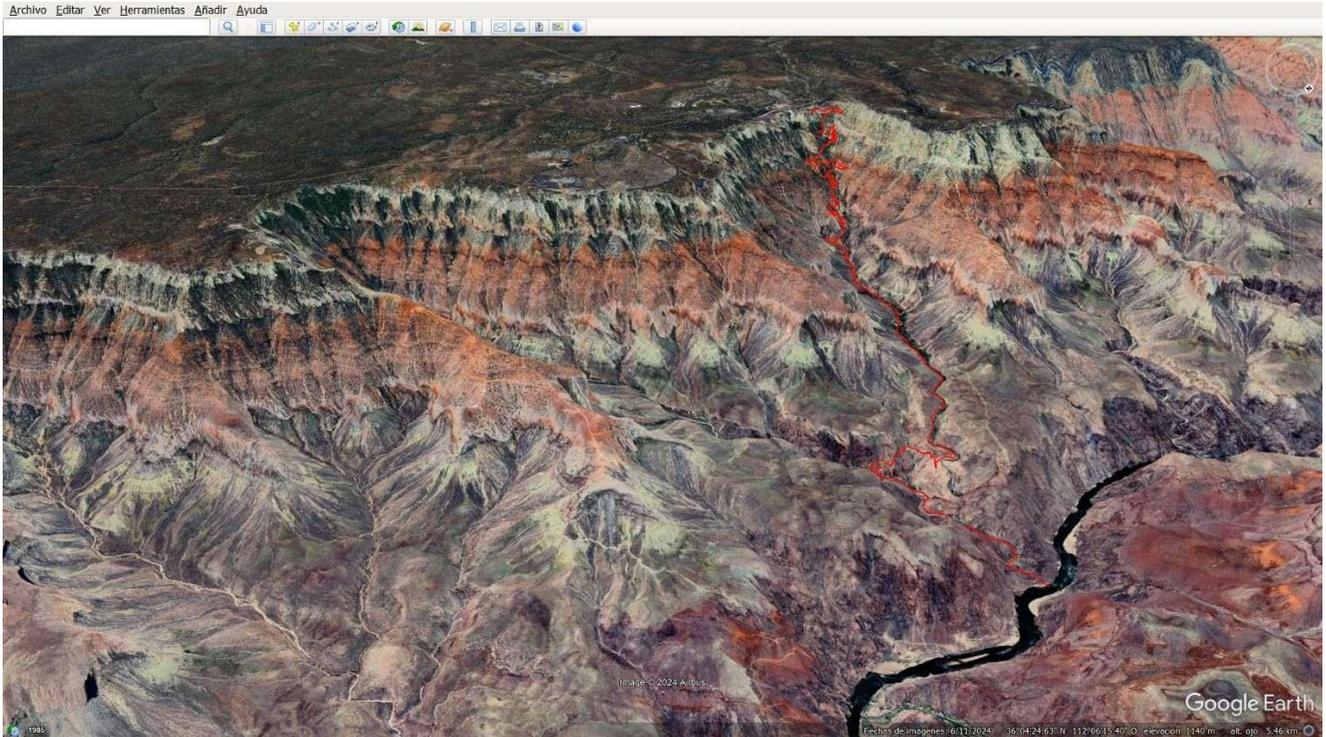
Referencia bibliográfica:

- Tilling, R., 2009. El Chichón's "surprise" eruption in 1982: lessons for reducing volcano risk. *Geofísica internacional*, 48 (1), 3-19.

Georuta 13. Viaje en el tiempo geológico en el Gran Cañón de Arizona

Objetivos de aprendizaje:

- Estimar la edad de las rocas a lo largo del Sendero Bright Angel.
- Calcular en cuánto tiempo se formó el Gran Cañón.



Selecciona y haz doble clic en el ícono de la carpeta **Georuta 13** en Google Earth para dirigirte al Gran Cañón del norte de Arizona. Aquí, la erosión operada por el Río Colorado ofrece una de las exposiciones más espectaculares de la historia geológica del planeta, desde la Caliza Kaibab, de aproximadamente 270 Ma, hasta el Esquisto Vishnu, de aproximadamente 2,000 Ma. Haz clic derecho en el **Sendero Bright Angel** (ruta roja) y selecciona "Mostrar perfil de elevación" para visualizar una gráfica del cambio de elevación (eje y) contra la distancia a lo largo del sendero (eje x).

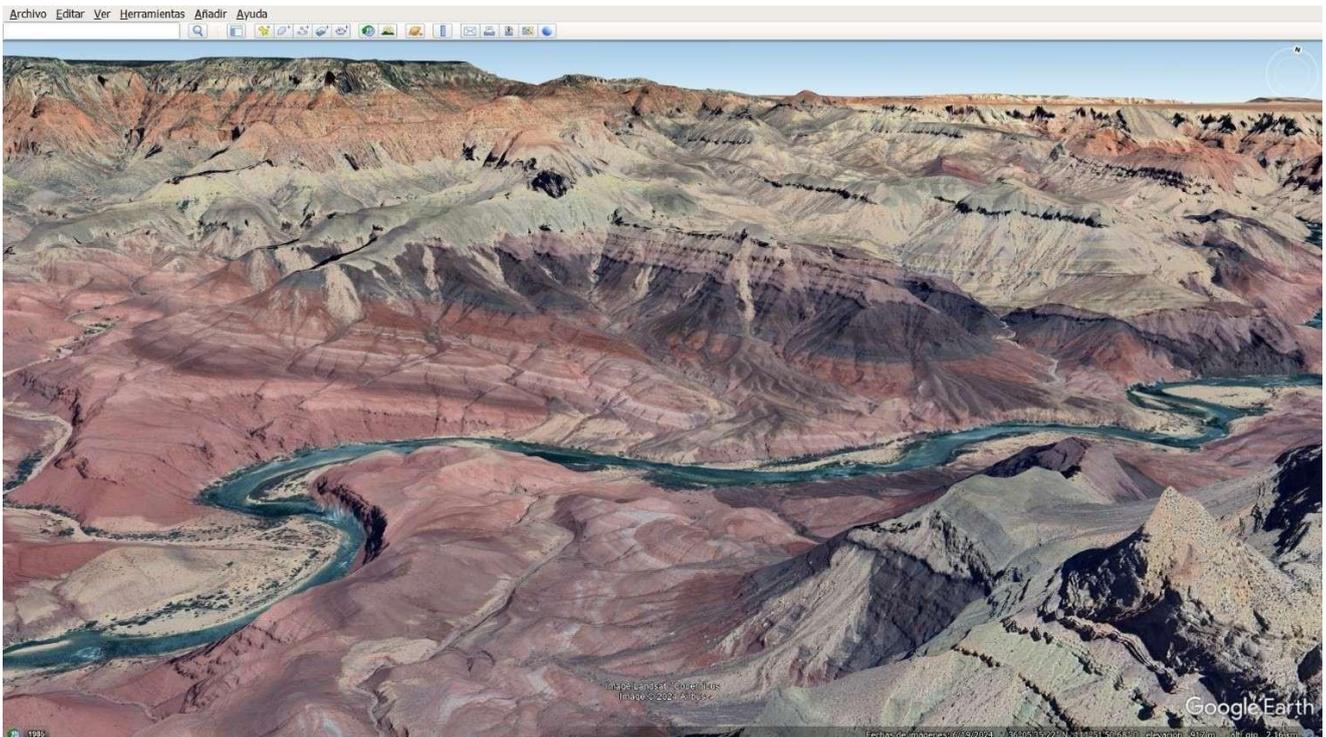
A) La distancia desde el punto de partida del sendero, en donde afloran las rocas más jóvenes (270 Ma), hasta el punto final, donde afloran las rocas más antiguas (2,000 Ma), es de aproximadamente 12.6 km. Usa esta información para estimar cuántos años atrás en el tiempo retrocederías por cada metro recorrido a lo largo del sendero.

B) Utilizando la diferencia de elevación entre el borde del cañón y el río, y tomando en cuenta una tasa de erosión promedio de 0.5 mm/año, calcula cuánto tiempo se tardó aproximadamente el Río Colorado en esculpir el Gran Cañón.

Georuta 14. Interpretación de la historia geológica del Gran Cañón de Arizona

Objetivos de aprendizaje:

- Aplicar los principios de continuidad original, superposición e inclusión para ordenar cronológicamente las capas rocosas.
- Reconocer el tipo de discordancias que separan diferentes unidades rocosas.



Expande la carpeta **Georuta 14** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. Esta carpeta contiene marcas de posición de diferentes rasgos característicos del Gran Cañón de Arizona que ayudan a comprender algunos de los conceptos/principios clave que se usan para el fechamiento relativo.

A) Selecciona las marcas de posición **Fuente**, **Capa 1**, **Capa 2** y **Capa 3** y haz doble clic en una de ellas para dirigirte a la parte este del Gran Cañón. De acuerdo con el principio de continuidad original, ¿cuál de las tres capas corresponde a la que está etiquetada como **Fuente**?

B) Selecciona las marcas de posición **Capa 1 bis**, **Capa 2 bis** y **Capa 3 bis** y haz doble clic en una de ellas para dirigirte a otra área en donde puedes observar las tres capas. De acuerdo con el principio de superposición, ordena las capas de la más antigua a la más reciente.

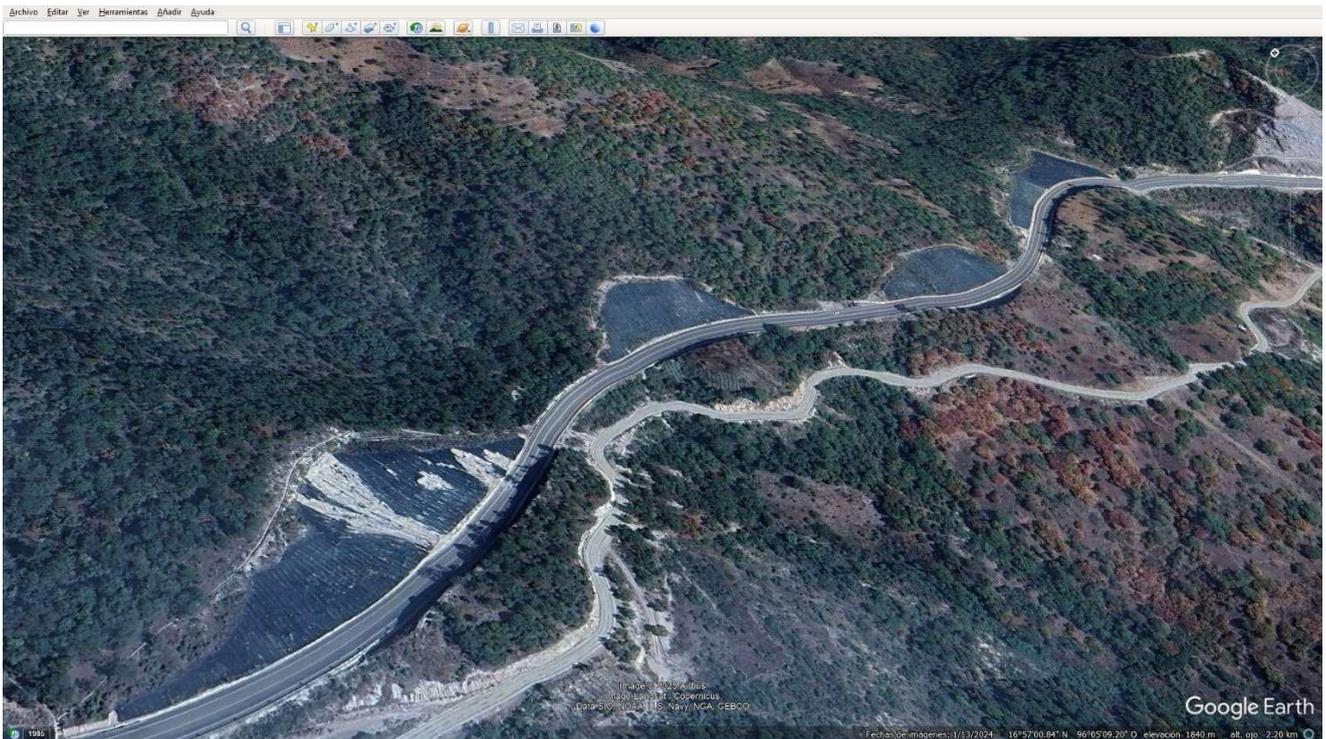
C) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Gran Discordancia I** para dirigirte a un afloramiento de la Gran Discordancia, una superficie que separa unidades rocosas del Precámbrico de una unidad sedimentaria del Cámbrico, marcando una laguna de 1,200 millones de años en el registro geológico. ¿Qué tipo de discordancia observas en este lugar?

D) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Gran Discordancia II** para dirigirte a otro afloramiento de la Gran Discordancia. Aquí, rocas metamórficas cristalinas y un dique ígneo de color blanco están truncados y cubiertos por la misma unidad sedimentaria del Cámbrico. Tomando en cuenta las relaciones estratigráficas, ¿consideras que es más antiguo el dique o la capa sedimentaria del Cámbrico? ¿Cuál de los dos es más probable que contenga inclusiones del otro? ¿Qué tipo de discordancia reconoces en este lugar?

Georuta 15. Métodos de prevención de movimientos en masa en carreteras

Objetivos de aprendizaje:

- Identificar en qué tipo de materiales geológicos conviene utilizar concreto lanzado, drenaje o malla como método de prevención de movimientos en masa en carreteras.
- Analizar los factores ambientales/climáticos que podrían afectar la eficacia de los métodos de estabilización de taludes.
- Proponer medidas para garantizar la efectividad de los métodos de estabilización de taludes frente a condiciones climáticas extremas o en el largo plazo.



Los movimientos en masa representan uno de los principales problemas geológicos en carreteras, ya que pueden causar daños a la infraestructura y poner en riesgo las vidas humanas. Comprender y analizar las medidas de prevención más comunes es esencial para reducir estos riesgos. Expande la carpeta **Georuta 15** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. La carpeta contiene las marcas de posición de tres afloramientos en carreteras de México en donde es posible observar diferentes métodos de estabilización de taludes.

A) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Concreto lanzado** (Carretera Federal 179, Autopista Oaxaca-Istmo, estado de Oaxaca). ¿Para qué tipo de materiales geológicos se emplea este método? ¿En qué manera el concreto lanzado ayuda a reducir el riesgo de movimientos en masa? ¿Qué factores ambientales/climáticos deberían tomarse en cuenta antes de aplicar concreto lanzado?

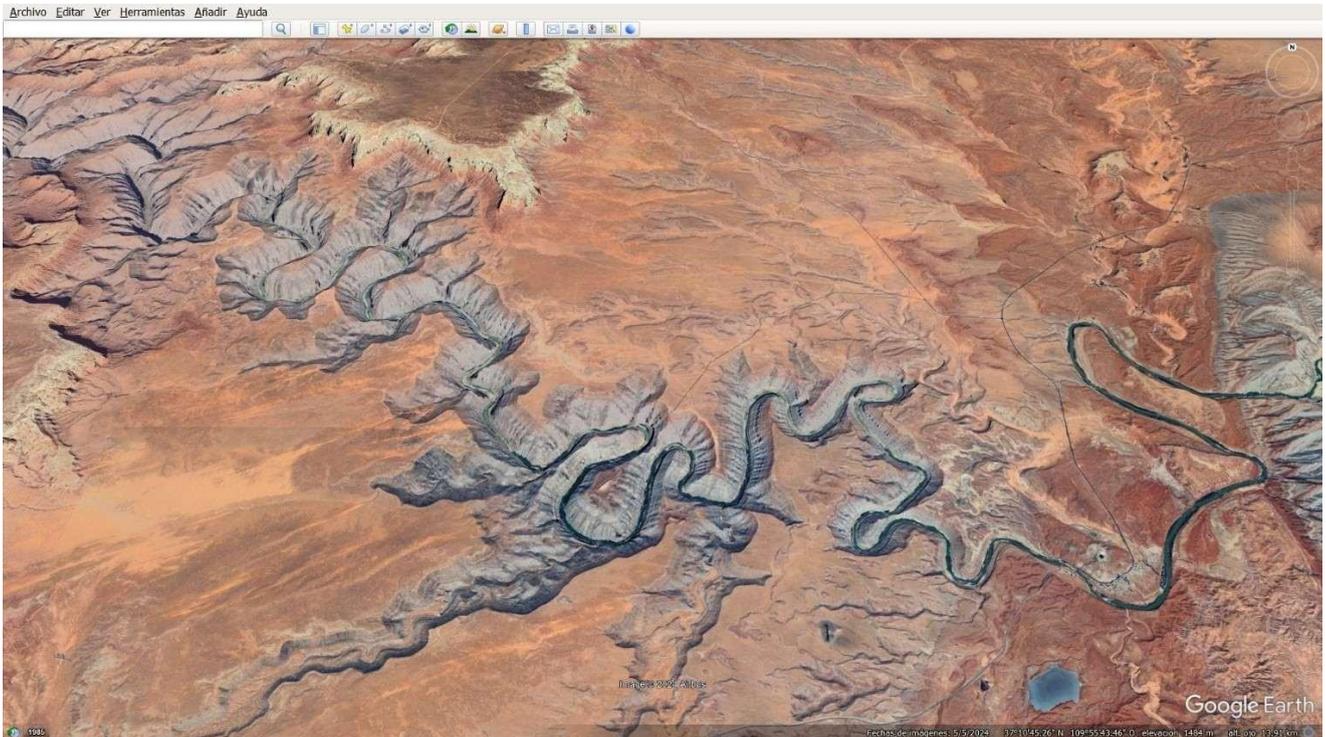
B) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Drenes** (Autopista Mitla-Tehuantepec, estado de Oaxaca). ¿Para qué tipo de materiales geológicos se emplea este método? ¿En qué manera los drenes ayudan a reducir el riesgo de movimientos en masa? ¿Qué medidas adicionales podrían adoptarse para garantizar la efectividad del sistema de drenaje en caso de precipitaciones extraordinarias?

C) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Malla** (Autopista Mitla-Tehuantepec, estado de Oaxaca). ¿Para qué tipo de materiales geológicos se emplea este método? ¿En qué manera las mallas ayudan a reducir el riesgo de movimientos en masa? ¿Qué aspectos deberían monitorearse regularmente para garantizar la funcionalidad de las mallas en el largo plazo?

Georuta 16. Paisajes esculpidos por los ríos

Objetivos de aprendizaje:

- Describir la evolución de los meandros de un río en el tiempo.
- Analizar los procesos que de formación de los meandros.



Expande la carpeta **Georuta 16** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. La carpeta contiene las marcas de posición de dos distintos lugares en los que puedes apreciar unos paisajes espectaculares esculpidos por los ríos.

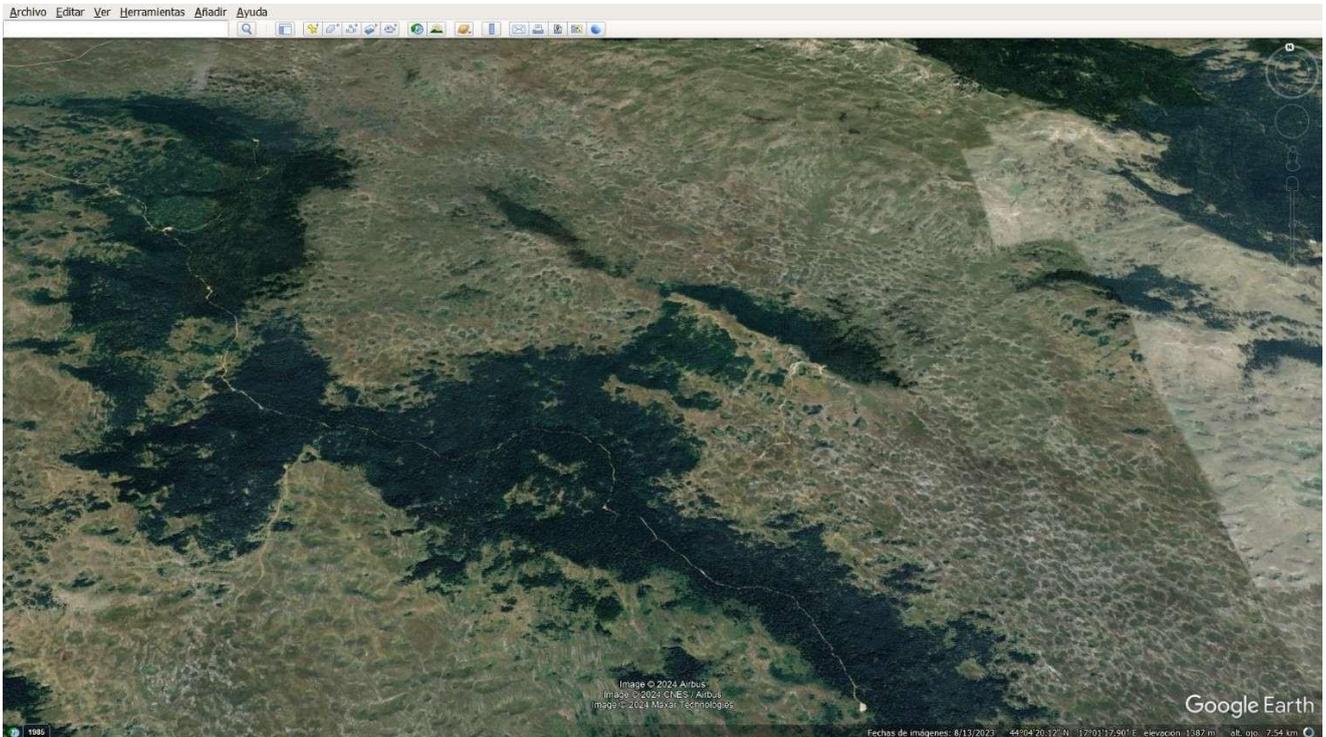
A) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Río Ucayali, Perú** para dirigirte a este río en Sudamérica. Observa la animación en la ventana emergente y describe cómo han evolucionado los meandros del río entre 1984 y 2012.

B) Selecciona y haz doble clic en el **Mapa topográfico del Parque Estatal de Goosenecks** para dirigirte a una sección del río San Juan cerca de Mexican Hat, Utah. ¿Cómo pudieron haberse formado unos meandros tan estrechamente espaciados?

Georuta 17. Disolución del paisaje operada por el agua subterránea

Objetivos de aprendizaje:

- Identificar formaciones kársticas y sus características en diferentes regiones.
- Evaluar el impacto de la disolución en el paisaje y en la hidrología local.



Expande la carpeta **Georuta 17** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. Las marcas de posición contenidas en esta carpeta te permitirán explorar paisajes kársticos de diferentes regiones del planeta y observar sus rasgos característicos. Los paisajes kársticos se forman por la disolución de un basamento de roca caliza operada por el agua subterránea.

A) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Bosnia y Herzegovina** para dirigirte a la región de Europa en la cual se describieron por primera vez los rasgos del paisaje kárstico. ¿Qué tipo de formaciones kársticas observas en esta zona?

B) Selecciona el **Mapa topográfico de Orleans, Indiana**. Posteriormente, selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Rasgo kárstico** para dirigirte a un terreno kárstico similar ubicado cerca de Orleans, en Indiana. Esta marca de posición resalta el mismo tipo de estructura que observaste en la marca de posición **Bosnia y Herzegovina**. Con la ayuda del mapa topográfico superpuesto, describe las principales características de este rasgo geomorfológico.

C) Selecciona y haz doble clic en el polígono **Área kárstica** para observar la gran cantidad de estructuras del mismo tipo que se concentran en esta parte del mapa. Posteriormente, deselecciona el polígono y selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Profundidad** para dirigirte a una estructura específica ubicada cerca del Lost River. ¿Qué tan profunda es la estructura?

D) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Manantial**. En el tramo comprendido entre la marca de posición **Profundidad** y la marca de posición **Manantial**, el Lost River se convierte en un arroyo intermitente que solo tiene agua durante los períodos de lluvia intensa. Al oeste de la marca de posición **Manantial**, el Lost River vuelve a fluir como una corriente perenne en la superficie. ¿Qué le podría ocurrir al Lost River en este tramo? Selecciona y deselecciona repetidamente el **Mapa topográfico de Orleans, Indiana** para explorar la zona.

E) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Valle Seco** para dirigirte a un valle en donde el arroyo intermitente se desvía al subsuelo. ¿Cómo se denomina este tipo de arroyo?

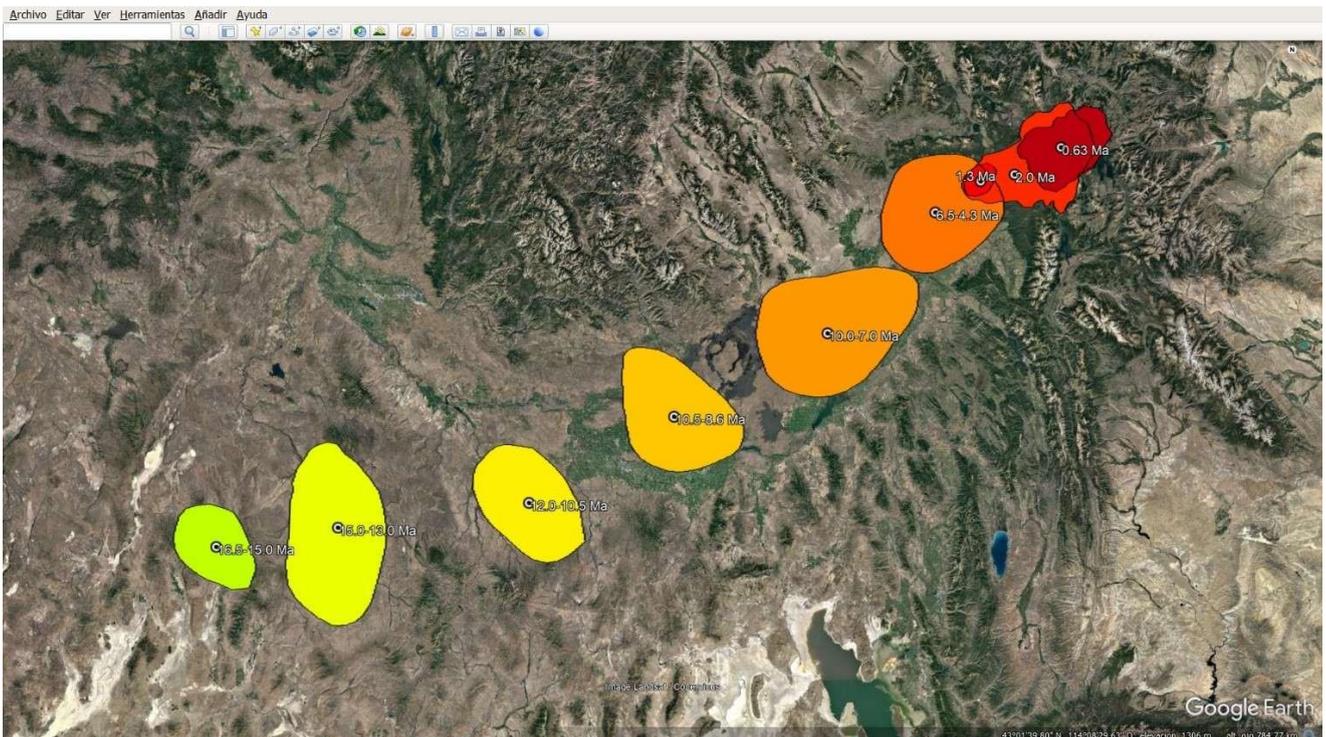
SOLUCIONARIO

Georuta 1. Movimiento de una placa continental sobre un punto caliente	39
Georuta 2. Procesos y productos del ciclo de las rocas	41
Georuta 3. Los batolitos de la Sierra Nevada de California	43
Georuta 4. Las formaciones rocosas del Parque Nacional Grutas de Cacahuamilpa	45
Georuta 5. Ambientes sedimentarios	47
Georuta 6. Análisis del grado metamórfico en los Montes Apalaches de Nueva Inglaterra	49
Georuta 7. Impacto ambiental de la extracción de minerales	51
Georuta 8. Recursos naturales de México y problemáticas asociadas a su explotación	53
Georuta 9. Estructuras de deformación en México	55
Georuta 10. Ubicación probable de un futuro sismo a partir del análisis de la sismicidad histórica	57
Georuta 11. Los efectos devastadores de un tsunami	59
Georuta 12. Análisis de volcanes mexicanos: estructuras, productos ígneos y peligros asociados	61
Georuta 13. Viaje en el tiempo geológico en el Gran Cañón de Arizona	64
Georuta 14. Interpretación de la historia geológica del Gran Cañón de Arizona	66
Georuta 15. Métodos de prevención de movimientos en masa en carreteras	68
Georuta 16. Paisajes esculpidos por los ríos	70
Georuta 17. Disolución del paisaje operada por el agua subterránea	72

Georuta 1. Movimiento de una placa continental sobre un punto caliente

Objetivos de aprendizaje:

- Determinar la dirección del desplazamiento de la Placa de Norteamérica sobre el punto caliente de Yellowstone.
- Calcular la velocidad de desplazamiento de la Placa de Norteamérica.
- Analizar los patrones temporales de las erupciones y sus implicaciones.
- Predecir en qué estado se encontraría el punto caliente en el futuro si la placa cambiara de dirección.



Selecciona y haz doble clic en el ícono de la carpeta **Georuta 1** en Google Earth para dirigirte a una región en el sur de Idaho. Esta vista resalta las ubicaciones y las edades de las principales calderas que se formaron por el paso de la Placa de Norteamérica sobre el punto caliente de Yellowstone durante los últimos 16.5 millones de años (puedes ajustar a tu conveniencia la opacidad de las trazas de las calderas usando el control ubicado en la parte inferior del panel de "Lugares" de Google Earth).

A) Basándote en las edades de las calderas, establece en qué dirección (NE o SW) se está desplazando la Placa de Norteamérica sobre el punto caliente estacionario.

La Placa de Norteamérica se está desplazando hacia el SW.

B) Haz clic en el ícono "Mostrar regla" en la barra de herramientas de Google Earth y selecciona la pestaña "Ruta" para trazar una ruta que conecte los puntos centrales de todas las calderas, desde la más antigua (16.5 Ma) hasta la más reciente (0.63 Ma). Anota la longitud de la traza del punto caliente (en centímetros) y calcula la velocidad promedio de la Placa de Norteamérica (en cm/año).

Longitud de la traza del punto caliente: $669.8204557 \text{ km} = 66,982,045.57 \text{ cm}$

Intervalo de tiempo: $16.5 \text{ Ma} - 0.63 \text{ Ma} = 15.87 \text{ Ma} = 15,870,000 \text{ años}$

$66,982,045.57 \text{ cm} : 15,870,000 \text{ años} = X \text{ cm} : 1 \text{ año}$

$X = 66,982,045.57 \cdot 1 / 15,870,000 = 4.2 \text{ cm}$

La Placa de Norteamérica se ha desplazado sobre la pluma a una velocidad de 4.2 cm/año .

C) Las tres calderas más recientes tienen edades de 2.0 Ma , 1.3 Ma y 0.63 Ma , respectivamente. ¿Qué patrón observas en estas edades y qué podría sugerir esto sobre la temporalidad de la próxima gran erupción?

Las edades indican que las tres calderas más recientes se formaron a intervalos de aproximadamente 0.7 millones de años. Considerando que la última caldera se formó hace 0.63 millones de años, esto podría sugerir que una nueva caldera podría formarse en tiempos geológicos muy cercanos.

D) Antes de preocuparte demasiado por tu respuesta a la pregunta C), observa las edades de las calderas más antiguas. ¿El mismo patrón temporal se mantiene a lo largo de toda la traza del punto caliente? ¿Qué sugiere esta observación sobre la predicción de futuras erupciones en el punto caliente de Yellowstone?

Al analizar las edades de las calderas más antiguas en la traza del punto caliente de Yellowstone, se aprecia que no todas se formaron a intervalos temporales de 0.7 millones de años. Esto indica que los patrones en la edad de las estructuras volcánicas no representan un criterio robusto y confiable para predecir erupciones futuras, ya que otros factores geológicos pueden influir en la temporalidad del volcanismo.

E) Supongamos que la Placa de Norteamérica comenzara a moverse hacia el sur. Si la placa mantuviera la misma velocidad de desplazamiento que has calculado, después de 10 millones de años ¿qué estado se encontraría directamente sobre el punto caliente?

$4.2 \text{ cm} : 1 \text{ año} = X \text{ cm} : 10,000,000 \text{ años}$

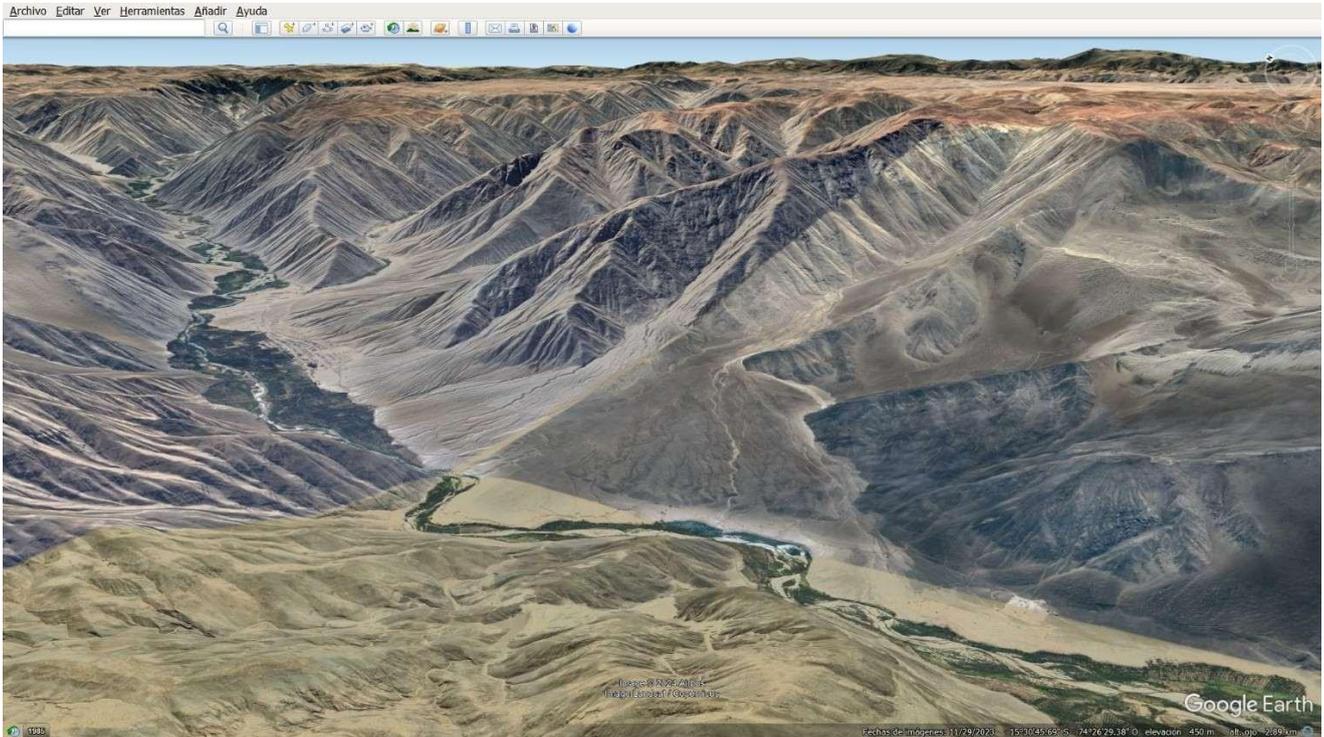
$X = 4.2 \cdot 10,000,000 / 1 = 42,000,000 \text{ cm} = 420 \text{ km}$

Si la Placa de Norteamérica comenzara a desplazarse hacia el sur a una velocidad de 4.2 cm/año , en 10 millones de años se habría desplazado de 420 km , por lo que el estado ubicado sobre el punto caliente sería Montana.

Georuta 2. Procesos y productos del ciclo de las rocas

Objetivos de aprendizaje:

- Identificar procesos a partir de la observación de diferentes rasgos geológicos.
- Reconocer el tipo de rocas en función de los procesos observados.



El ciclo de las rocas describe las relaciones entre los procesos geológicos y los productos que generan, es decir, los diferentes tipos de rocas. Al observar un proceso geológico, se puede predecir el producto que generará. De la misma manera, al observar cierto tipo de roca, es posible inferir el proceso responsable de su formación. Expande la carpeta **Georuta 2** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. La carpeta contiene tres marcas de posición que te dirigirán a lugares en donde están operando o han operado distintos procesos geológicos. Deberás identificar los procesos característicos de cada zona (fusión/cristalización, calor/presión, transporte/depósito/litificación) y predecir los respectivos productos (rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas).

A) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Argentina** para explorar una región en la que se distinguen numerosas estructuras cónicas. Observa las rocas negras y analiza los rasgos del paisaje para inferir a qué grupo pertenecen y cuáles procesos las generaron.

Las rocas negras son rocas ígneas efusivas de composición máfica, derivadas del enfriamiento rápido de las lavas emitidas por los conos volcánicos aledaños.

B) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Canadá** para dirigirte al norte de Quebec. Aquí, la distribución de los lagos permite reconocer dos tendencias bien definidas de capas rocosas plegadas (N-

S y SW-NE). Estas formaciones rocosas, de edad precámbrica, conforman el núcleo del cratón de Norteamérica. Basándote en las estructuras geológicas que puedes apreciar a la escala regional, interpreta los procesos que estuvieron involucrados en su formación. ¿A qué tipo de rocas es más probable que pertenezcan estas formaciones?

Los plegamientos observados deben ser el resultado de un proceso de colisión continental que deformó las rocas en condiciones de alta temperatura y presión. Estas formaciones probablemente están compuestas de rocas metamórficas.

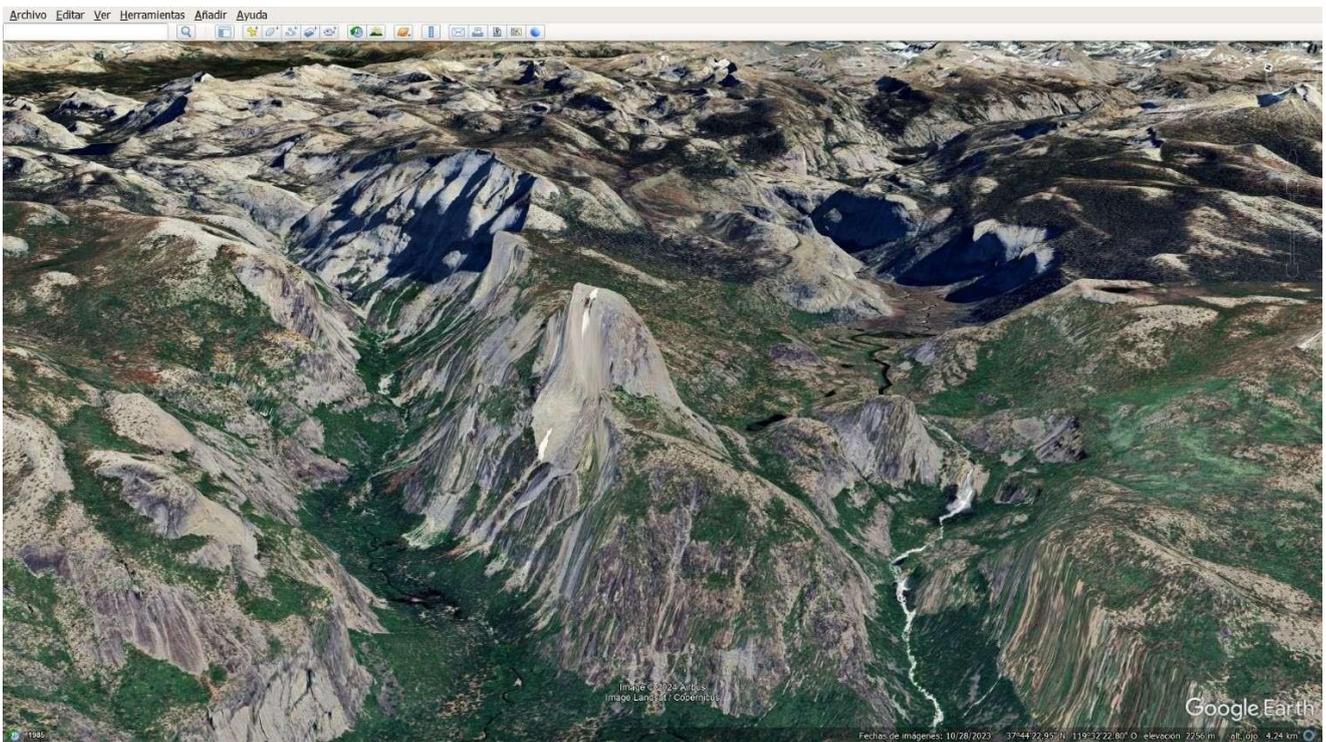
C) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición [Perú](#) para dirigirte al Desierto de Atacama. Aquí, una gran estructura parece haber desviado el curso del arroyo que fluye por la región. Interpreta los procesos geológicos que han operado en esta zona y determina a qué clase de rocas es más probable que pertenezcan las rocas que conforman este paisaje.

La estructura que se observa se formó por el depósito de sedimento clástico transportado por un río al bajar de una ladera empinada. Las rocas que conforman este paisaje probablemente son sedimentarias.

Georuta 3. Los batolitos de la Sierra Nevada de California

Objetivos de aprendizaje:

- Determinar la textura de las rocas ígneas en función de su profundidad de cristalización.
- Clasificar las rocas intrusivas según su composición mineralógica.
- Identificar el proceso de meteorización relacionado con la exposición de las rocas.



Expande la carpeta **Georuta 3** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Half Dome** para dirigirte a esta impresionante estructura ubicada en el Parque Nacional de Yosemite, en California. Aquí, puedes apreciar unas exposiciones espectaculares del batolito de la Sierra Nevada. El batolito está compuesto por múltiples cuerpos ígneos que se originaron durante el Mesozoico en un contexto de subducción.

A) Considerando que estas rocas ígneas cristalizaron a profundidades de ~20-25 km por debajo de un arco volcánico continental, ¿qué textura presentarán: fanerítica, afanítica, porfídica o vítrea?

El enfriamiento lento del magma en condiciones intrusivas generaría una textura fanerítica.

B) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Tipo de roca** para observar más de cerca estas rocas. Aquí, unos diques rosados ricos en ortoclasa cortan las rocas del Half Dome, de color predominantemente claro. ¿A cuál de los cuatro grupos mineralógicos (félsico, intermedio, máfico o ultramáfico) crees que pertenecen estas rocas ígneas?

Son rocas félsicas, ya que presentan colores claros y unas contienen ortoclasa.

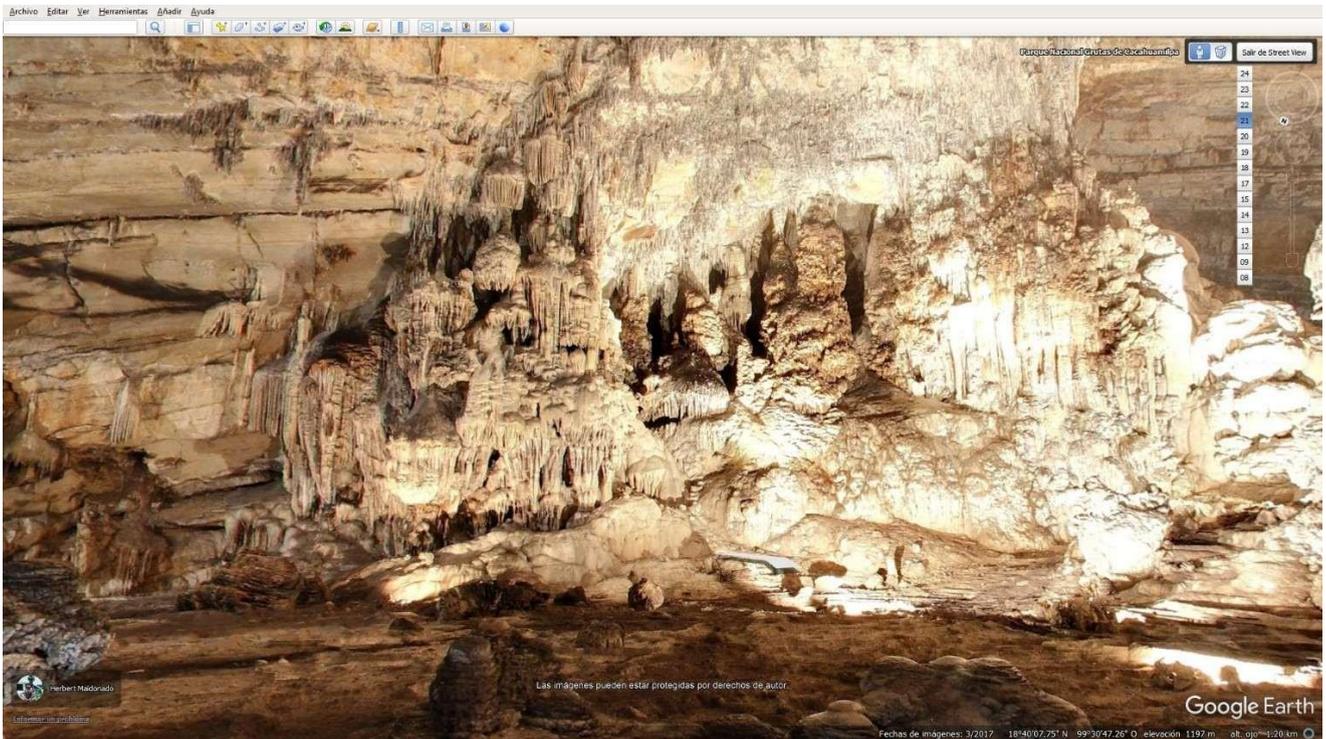
C) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Fracturas**. La apariencia redondeada de la parte posterior del Half Dome es un rasgo característico de esta estructura. El cuerpo intrusivo presenta una fracturación laminar, parecida a la estratificación en capas de una cebolla, la cual fue producida por la descompresión que sufrieron las rocas ígneas al ser exhumadas y expuestas en la superficie. ¿Cómo se denomina este proceso? ¿Es un ejemplo de meteorización mecánica o química?

Este proceso es una exfoliación y es un ejemplo de meteorización mecánica.

Georuta 4. Las formaciones rocosas del Parque Nacional Grutas de Cacahuamilpa

Objetivos de aprendizaje:

- Determinar la composición de las formaciones geológicas características de un sistema de cuevas.
- Describir los procesos de formación de los espeleotemas.



Selecciona y haz doble clic en el ícono de la carpeta **Georuta 4** en Google Earth para ingresar al sistema de cuevas del Parque Nacional Grutas de Cacahuamilpa, ubicado en el estado de Guerrero, México. Explora el interior de la gruta, desplazándote a lo largo del camino (haz doble clic en las flechas que aparecen en el piso). Para tener otras perspectivas del recorrido, puedes utilizar las casillas numeradas del 19 al 23, ubicadas en la parte superior derecha de la ventana de Google Earth.

A) Identifica las estructuras visibles como estalactitas o estalagmitas. ¿De qué tipo de rocas están compuestas y cuál es su composición química?

Las estalactitas y estalagmitas son calizas, unas rocas sedimentarias químicas compuestas de calcita (CaCO_3).

B) Explica cómo se forman los espeleotemas, resaltando los dos procesos principales operados por el agua subterránea.

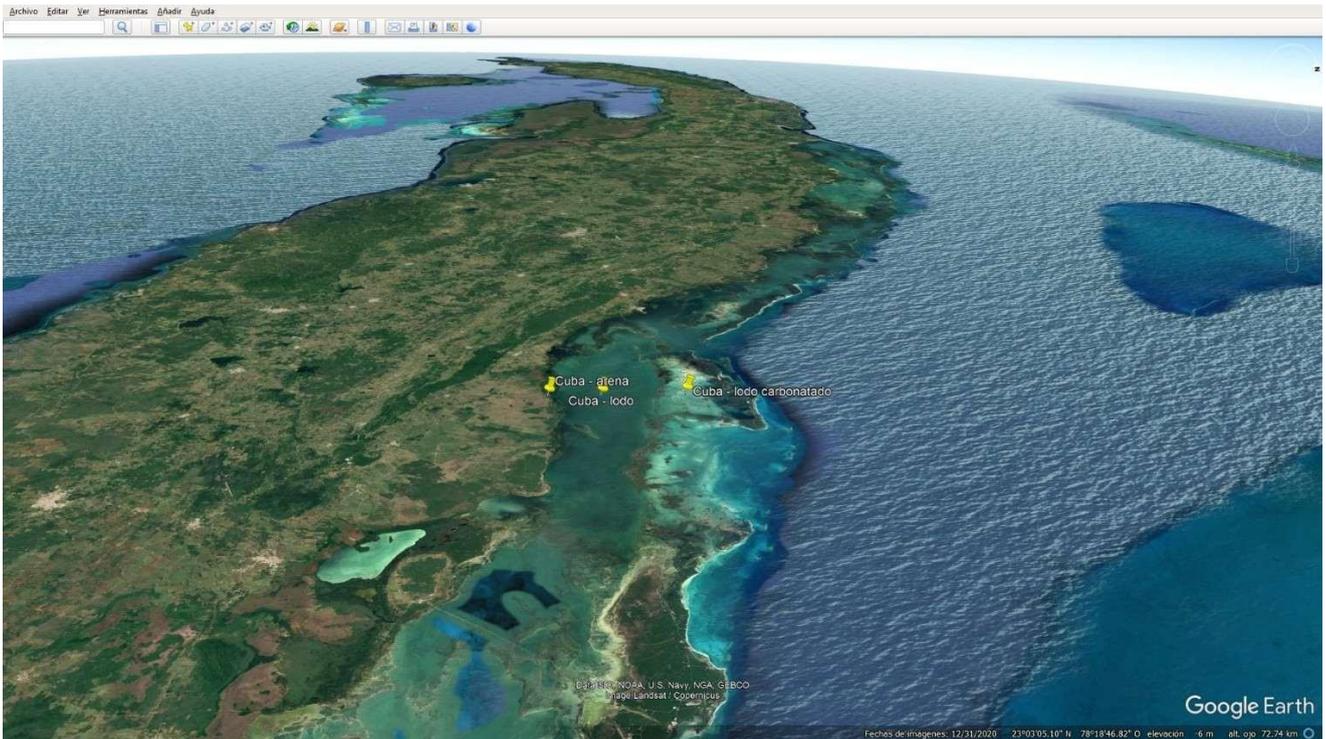
Los espeleotemas se forman por la acción del agua subterránea que disuelve el carbonato de calcio de las calizas, para posteriormente volver a precipitarlo.

El agua, al infiltrarse en el suelo, se enriquece en dióxido de carbono (CO_2) y se acidifica, por lo que tiende a disolver el carbonato de calcio presente en las rocas. Cuando gotea dentro de una cueva, el agua subterránea entra en contacto con aire y pierde CO_2 , por lo que reduce su acidez y se sobresatura en CaCO_3 . El carbonato de calcio precipita químicamente en forma de calcita, generando las estalactitas y estalagmitas. Las estalactitas crecen desde el techo hacia abajo (el agua fluye a través de un conducto central y deposita el mineral gota tras gota), mientras que las estalagmitas crecen desde el suelo hacia arriba (el carbonato de calcio contenido en las gotas que van cayendo se acumula progresivamente).

Georuta 5. Ambientes sedimentarios

Objetivos de aprendizaje:

- Comparar ambientes de depósito modernos y antiguos.
- Inferir qué tipo de roca sedimentaria se formaría en un ambiente específico.
- Identificar trasgresiones y regresiones marinas a partir del análisis del registro estratigráfico.



Los ambientes de depósito modernos brindan una excelente oportunidad para interpretar los ambientes de depósito antiguos y las rocas sedimentarias que se forman en dichos ambientes. Expande la carpeta **Georuta 5** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. A su vez, la carpeta contiene dos carpetas que te dirigirán a lugares en donde puedes comparar ambientes de depósito modernos y antiguos.

A) Expande la carpeta **Dunas de arena**. Selecciona y haz doble clic en las marcas de posición **Namibia** y **Sandhills, Nebraska** para explorar estos lugares. En ambas regiones puedes observar dunas de arena; en el caso de Sandhills, las dunas están cubiertas de vegetación, lo que indica que ya no están activas. Posteriormente, selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Parque Nacional de Zion, Utah** para observar un afloramiento de rocas que podrían haberse formado en un ambiente sedimentario análogo. Si las dunas de Sandhills sufrieran un proceso de diagénesis, ¿qué rocas sedimentarias generarían y qué estructura sedimentaria presentarían?

Si las dunas de Sandhills sufrieran un proceso de diagénesis, generarían unas areniscas con estratificación cruzada.

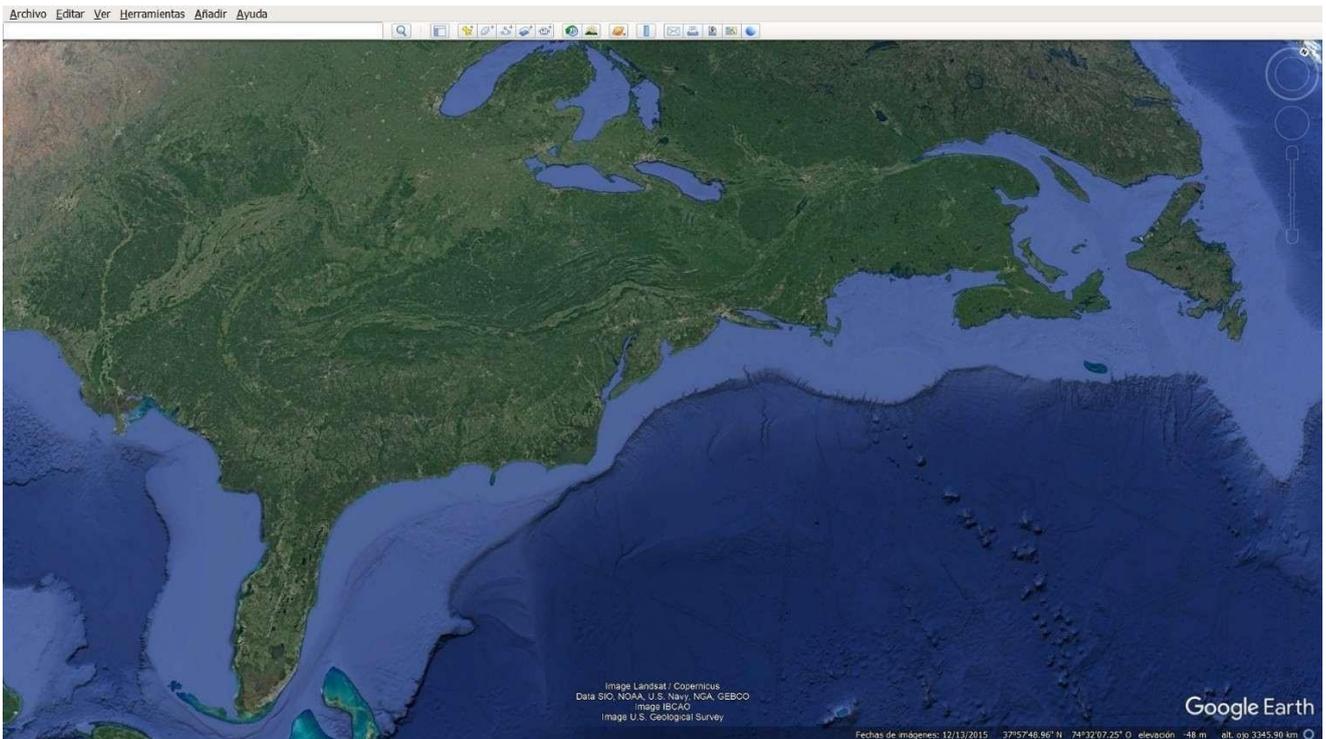
B) Expande la carpeta **Trasgresiones/Regresiones**. Selecciona todas las marcas de posición de **Cuba** y haz doble clic en una de ellas para dirigirte a la costa norte de la isla. Aquí, hay depósito de arena en la zona más cercana a la costa, depósito de lodo (limo y arcilla) a una distancia intermedia de la costa y depósito de lodo rico en carbonatos marinos más lejos de la costa. Considera cómo se apilarían los sedimentos si el nivel del mar descendiera (regresión) y si ascendiera (trasgresión), imaginando la migración de la línea de costa hacia el mar y hacia la tierra, respectivamente. Ahora, selecciona todas las marcas de posición del **Gran Cañón** y haz doble clic en una de ellas para dirigirte al Gran Cañón de Arizona. Aquí, puedes observar una secuencia de unidades rocosas del Cámbrico: Arenisca Tapeats (unidad inferior), Lodolita Bright Angel (unidad intermedia) y Caliza Muav (unidad superior). El apilamiento vertical de estas unidades podría reflejar una regresión (descenso) o una trasgresión (ascenso) del nivel del mar. ¿Cuál de estos eventos crees que ocurrió en la región durante el Cámbrico?

Creo que, durante el Cámbrico, ocurrió una trasgresión marina. El incremento del nivel del mar provocó la deposición de carbonatos de ambiente marino (la Caliza Muav) sobre las lodolitas, que normalmente se depositan a distancia intermedia de la costa (la Lodolita Bright Angel) y sobre las areniscas, que son típicas de un ambiente costero (la Arenisca Tapeats).

Georuta 6. Análisis del grado metamórfico en los Montes Apalaches de Nueva Inglaterra

Objetivos de aprendizaje:

- Determinar el grado metamórfico de las rocas.
- Identificar los minerales presentes en las rocas metamórficas analizadas.
- Determinar el tipo de metamorfismo que generó las rocas metamórficas identificadas.



Expande la carpeta **Georuta 6** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. Selecciona y haz doble clic en la capa **Zonas metamórficas de Nueva Inglaterra** para observar un mapa de grados metamórficos superpuesto a los Montes Apalaches (puedes ajustar a tu conveniencia la opacidad del mapa usando el control ubicado en la parte inferior del panel de "Lugares" de Google Earth).

A) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Grado**. Si viajaras hacia el norte desde esta marca de posición, ¿entrarías en rocas de mayor o menor grado metamórfico?

Entraría en rocas de menor grado metamórfico.

B) Selecciona las marcas de posición **Oeste** y **Este**. Con base en tu respuesta anterior, ¿el núcleo metamórfico de la región (es decir, la zona de mayor metamorfismo) estaría más cerca de la marca de posición **Oeste** o **Este**?

El núcleo metamórfico estaría más cerca de la marca de posición Este.

C) Selecciona y haz clic en la marca de posición **Esquisto**. Tomando en cuenta la ubicación de la marca de posición, ¿qué minerales serán los de color rojo sangre que se aprecian en la foto del esquisto en la ventana emergente?

Los minerales rojos que se aprecian en la foto del esquisto son unos granates.

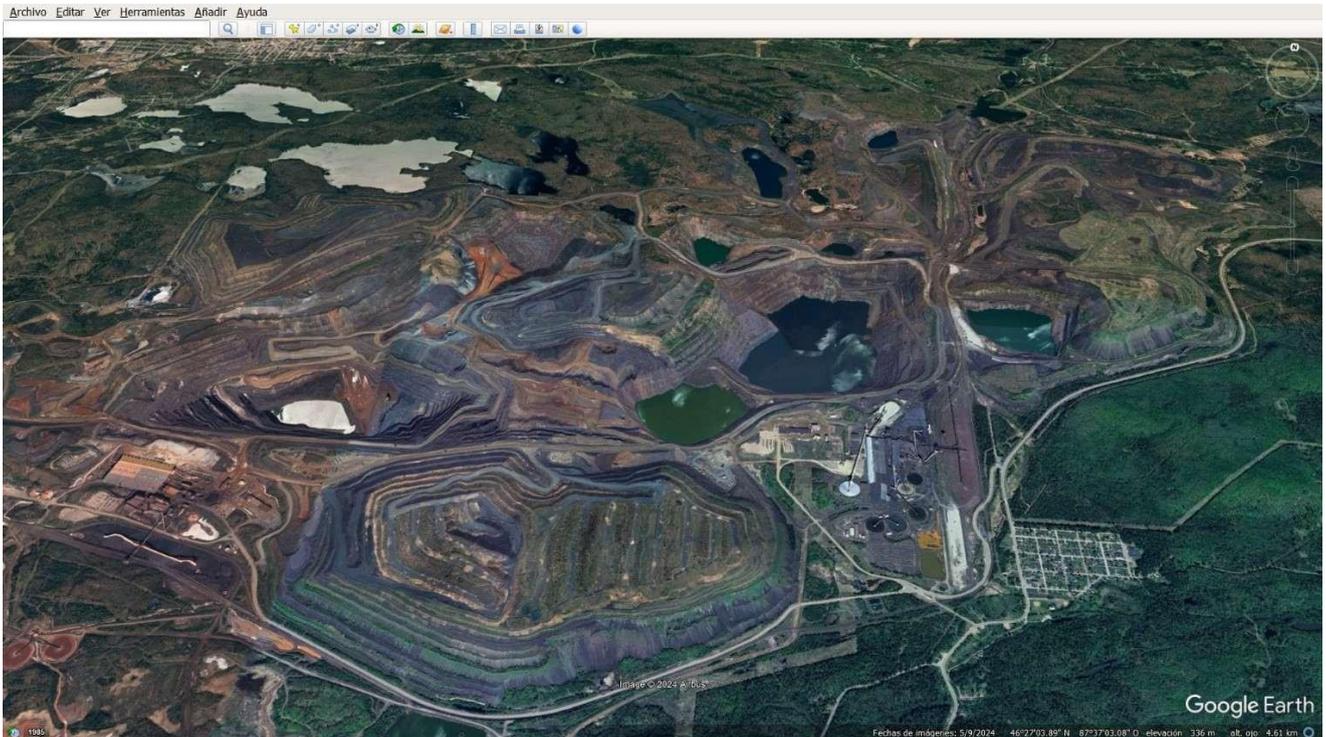
D) ¿Qué tipo de metamorfismo pudo haber generado las rocas metamórficas de los Montes Apalaches?

Un metamorfismo regional, típico de zonas de colisión continental.

Georuta 7. Impacto ambiental de la extracción de minerales

Objetivos de aprendizaje:

- Identificar los minerales presentes en las formaciones de hierro bandeado.
- Evaluar el impacto ambiental de la actividad minera.



Expande la carpeta **Georuta 7** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Formación de hierro bandeado** para dirigirte a un lugar al sur de Ishpeming, Michigan. Aquí, la marca de posición muestra una gran cantera de donde se están extrayendo minerales ricos en hierro (Fe). En esta área, unos minerales metálicos ricos en Fe de color gris están comúnmente intercalados con jaspe (cuarzo microcristalino rojo) para formar la espectacular formación de hierro bandeado que se muestra en la ventana emergente del marcador de posición.

A) Los minerales grises ricos en Fe en las formaciones de hierro bandeado pueden estar representados por magnetita (Fe_3O_4) o hematita especular (Fe_2O_3). A pesar de tener colores similares, estos minerales presentan rayas distintas: de hecho, la hematita especular, al igual que otras variedades de hematita, produce una raya de color marrón rojizo, mientras que la magnetita exhibe típicamente una raya gris oscura/negra. Selecciona y haz doble clic en la foto etiquetada como **Raya**. Considerando el color de la raya en la foto, ¿qué mineral rico en Fe está presente en la formación de hierro bandeado considerada?

El mineral rico en Fe presente en la formación de hierro bandeado es la hematita.

B) Los minerales son increíblemente valiosos en nuestras vidas. Sin embargo, su extracción tiene un costo muy alto para el medio ambiente. Selecciona y haz doble clic en las marcas de posición **Fondo del**

tajo y **Borde del tajo**. Para tener una idea de la escala de estas cicatrices en el paisaje, mantén el cursor sobre cada marca de posición y lee su elevación en la parte inferior derecha de la ventana de Google Earth. ¿Qué rango describe mejor la profundidad de este hoyo? ¿Menos de 100 metros? ¿100-200 metros? ¿200-300 metros? ¿300-400 metros? ¿Más de 400 metros?

Más de 400 metros.

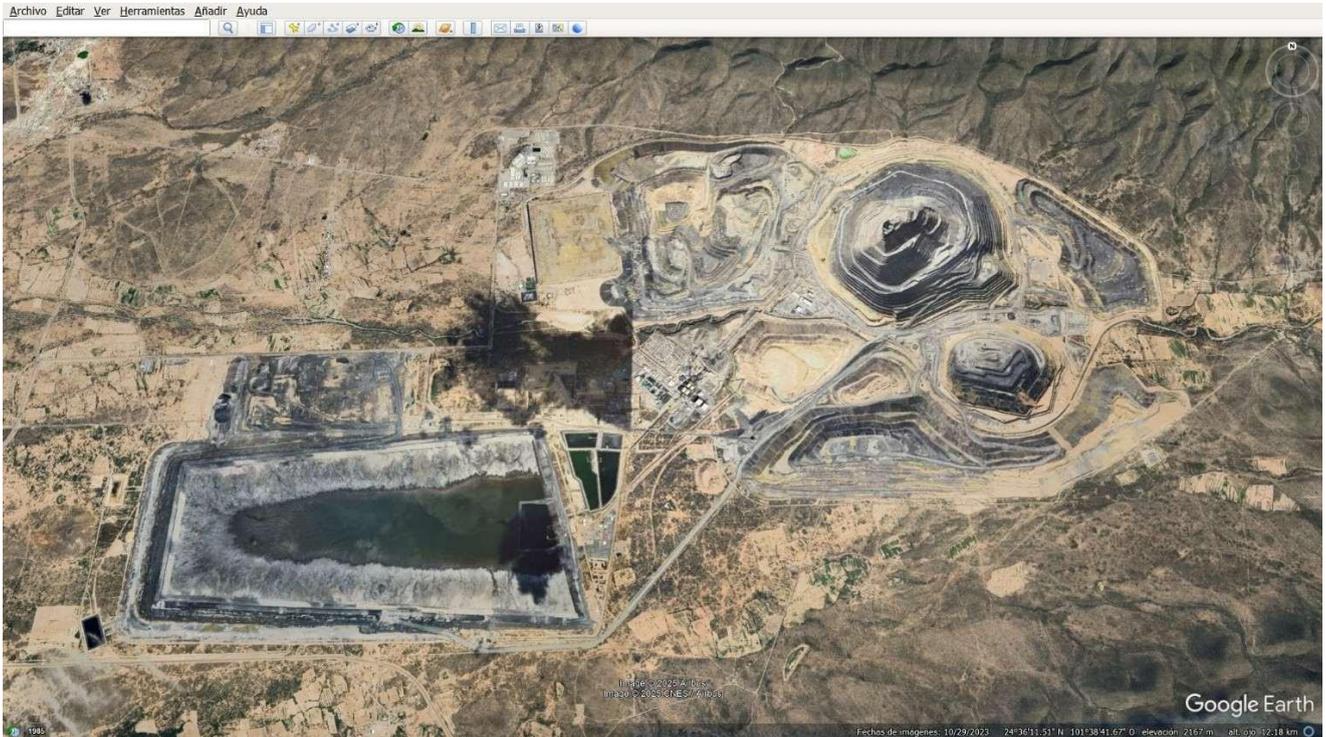
C) Regresa a una perspectiva regional y explora los tajos y las pilas de desechos presentes en el área. ¿Qué otro impacto ecológico de la minería es evidente?

Además de las grandes excavaciones, otros impactos ecológicos de la minería son los desechos mineros (depósitos grisáceos y marrón claro visibles cerca de las zonas de extracción), las áreas deforestadas (claros grandes y regulares en un entorno que estaría densamente arbolado) y la alteración de los cuerpos de agua (en proximidad de la zona minera se ven unas lagunas o estanques que podrían ser artificiales y que han cambiado de color, posiblemente debido a la contaminación minera).

Georuta 8. Recursos naturales de México y problemáticas asociadas a su explotación

Objetivos de aprendizaje:

- Analizar el impacto ambiental, social y económico de la explotación de recursos naturales en México.



Expande la carpeta **Georuta 8** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. La carpeta contiene las marcas de posición de tres lugares representativos de México relacionados con la explotación de recursos naturales (hidrocarburos y minerales).

A) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Pozo San Diego de la Mar 3** para dirigirte a esta estructura ubicada en el estado de Veracruz. El pozo San Diego de la Mar 3, perforado a inicios del siglo XX, es un lugar emblemático en la historia de la industria petrolera en México, no solo por su inmenso potencial, sino también porque fue afectado por un terrible accidente que remarcó los riesgos asociados a la extracción de hidrocarburos (Ortiz-Ortiz, 2017). El 4 de julio de 1908, el pozo colapsó. Petróleo y gas comenzaron a brotar a gran presión y altura, lo que ocasionó una explosión y un incendio cuando los hidrocarburos entraron en contacto con un área de calderas. A más de un siglo del accidente, el pozo continúa emanando hidrocarburos, lo que resalta su capacidad extraordinaria. Los daños ambientales fueron devastadores, afectando la población, la fauna y la vegetación de la zona. Originalmente, el pozo tenía un diámetro de 15 cm. ¿Cuál es el diámetro actual (en metros) del cráter provocado por el colapso del pozo? Haz clic en el ícono "Mostrar regla" en la barra de herramientas de Google Earth y selecciona la pestaña "Línea" para medirlo.

El diámetro actual del cráter es de ~470 metros.

B) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición [Macropera](#) para explorar un campo petrolero en Poza Rica, Veracruz. En este sitio hay pozos petroleros en operación dentro de una zona deportiva en el centro de la ciudad. Selecciona y haz doble clic en la foto [Macropera](#) (tomada por Oswaldo Castillo-Rodríguez) para obtener otra vista del lugar. Este sitio es un ejemplo de cómo la explotación de hidrocarburos, si se realiza de forma responsable y bien planificada, puede llevarse a cabo sin comprometer la salud de las personas. ¿Qué beneficios sociales pueden derivarse de este tipo de proyectos?

Los proyectos de explotación de hidrocarburos pueden fomentar la creación de empleos, impulsar la economía local y el desarrollo de infraestructura urbana. Para que estos beneficios sean sostenibles en el largo plazo, sin embargo, es fundamental que se dé prioridad a la seguridad y la salud de la población.

C) Haz doble clic en la marca de posición [Peñasquito](#) para dirigirte a la mina Peñasquito, en el estado de Zacatecas. Esta mina es la principal productora de oro en México. Para extraer este metal, se requiere remover una enorme cantidad de tierra, lo que conlleva un impacto ambiental significativo. Sal de "Street view" de Google Earth, regresa a una perspectiva regional y explora la mina y sus alrededores. ¿Qué efectos negativos podría tener la actividad minera sobre el medio ambiente? Por otra parte, ¿qué efectos positivos podría tener la mina en las comunidades locales?

La actividad minera en Peñasquito puede tener numerosos efectos negativos en el medio ambiente, como la contaminación del suelo y del agua provocada por los químicos empleados en la extracción; la destrucción del entorno provocada por la remoción de grandes cantidades de tierra; la emisión de polvo y partículas que afectan la calidad del aire; y un consumo excesivo de agua, que puede reducir su disponibilidad para las comunidades y ecosistemas cercanos. Por otra parte, los efectos positivos de la mina incluyen la generación de empleos, el impulso a la economía regional, la generación de materias primas minerales y la inversión en infraestructura y servicios.

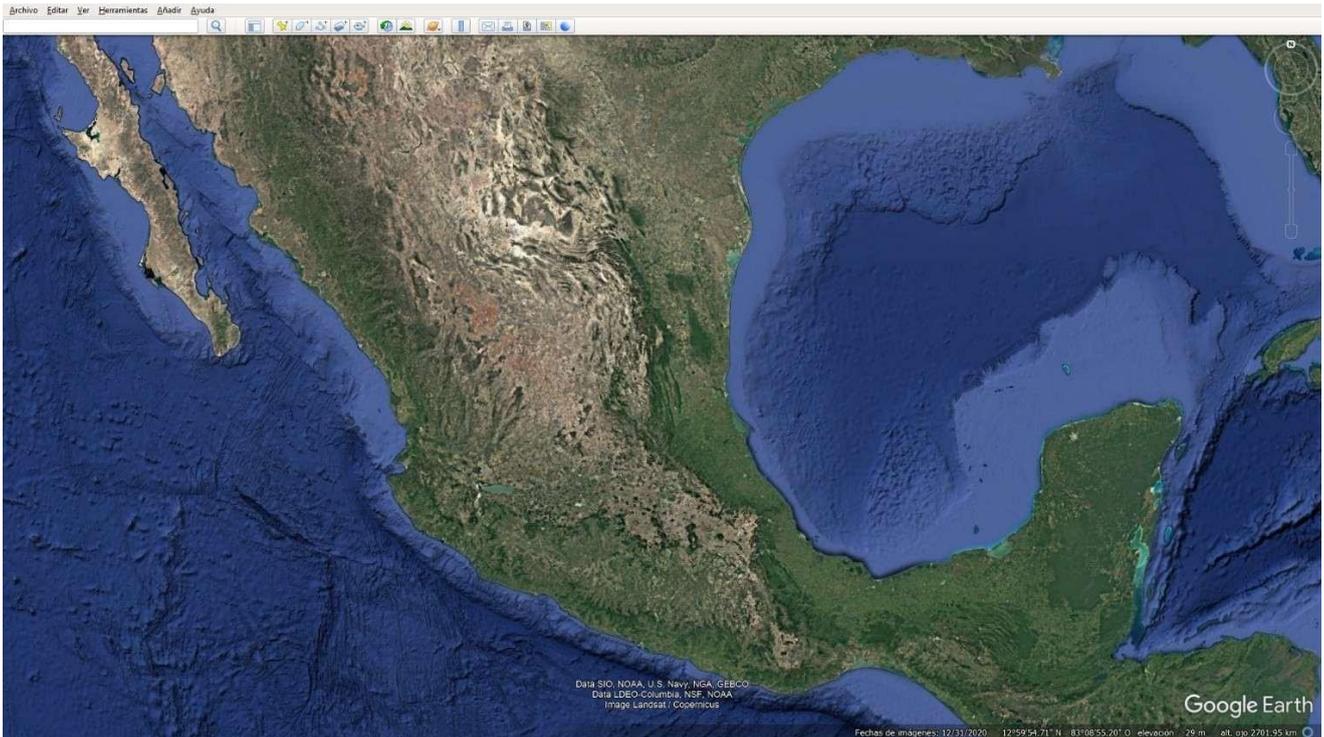
Referencia bibliográfica:

- Ortiz-Ortiz, M., 2017. Incendio del pozo petrolero Dos Bocas de San Diego de la Mar, en 1908. Revista Iberoamericana de Ciencias, 4 (6), 60-72.

Georuta G. Estructuras de deformación en México

Objetivos de aprendizaje:

- Identificar y clasificar afloramientos de estructuras tectónicas con base en su geometría o a partir de la edad de los bloques desplazados.
- Relacionar diferentes tipos de estructuras geológicas con los esfuerzos tectónicos responsables de su formación.



Expande la carpeta **Georuta G** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. La carpeta contiene las marcas de posición de tres afloramientos rocosos en carreteras de México, donde es posible observar estructuras geológicas producidas por la acción de esfuerzos tectónicos.

A) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Falla de Santa Lucía** para dirigirte a un afloramiento de esta falla a lo largo de la Carretera Federal 135D (Autopista Puebla-Oaxaca, estado de Puebla). En este punto, la Falla de Santa Lucía (Elías-Herrera et al., 2005) pone en contacto los gneises del Complejo Oaxaqueño (a la izquierda) con los conglomerados de la Formación Matzitzi (a la derecha). Considerando que el Complejo Oaxaqueño tiene edad Proterozoica, mientras que la Formación Matzitzi remonta al Pérmico, indica si la falla de Santa Lucía presenta una cinemática normal o inversa.

La Falla de Santa Lucía presenta una cinemática normal. De hecho, el bloque de techo, representado en este caso por los conglomerados de la Formación Matzitzi, se ha desplazado hacia abajo a lo largo del plano de falla, hasta alcanzar las rocas más antiguas del Complejo Oaxaqueño.

B) Selecciona y haz doble clic en la foto [El Arco](#) (tomada por Oswaldo Castillo-Rodríguez) para observar un afloramiento ubicado en una carretera sin nombre en el estado de Puebla. ¿Qué tipo de falla observas? ¿Qué tipo de esfuerzo pudo haberla producido?

La falla en la foto tiene una cinemática normal, ya que el bloque de techo, ubicado a la izquierda del plano de falla, se está desplazando hacia abajo. La geometría de los pliegues de arrastre que se observan en los estratos en proximidad del plano de falla proporciona una evidencia adicional de la cinemática normal de la estructura. Esta falla representa una estructura de deformación frágil producida por la acción de un esfuerzo tectónico extensional en niveles superficiales de la corteza.

C) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición [Sierra Madre Oriental](#), en la cual podrás observar un afloramiento de rocas calizas a lo largo de la Carretera Federal 120, en el estado de Querétaro. ¿Qué estructuras geológicas reconoces? ¿Qué tipo de esfuerzo pudo haberlas producido?

Se observa un sistema de pliegues inclinados. Los pliegues son unas estructuras de deformación dúctil producidas por la acción de un esfuerzo tectónico compresivo en niveles relativamente profundos de la corteza.

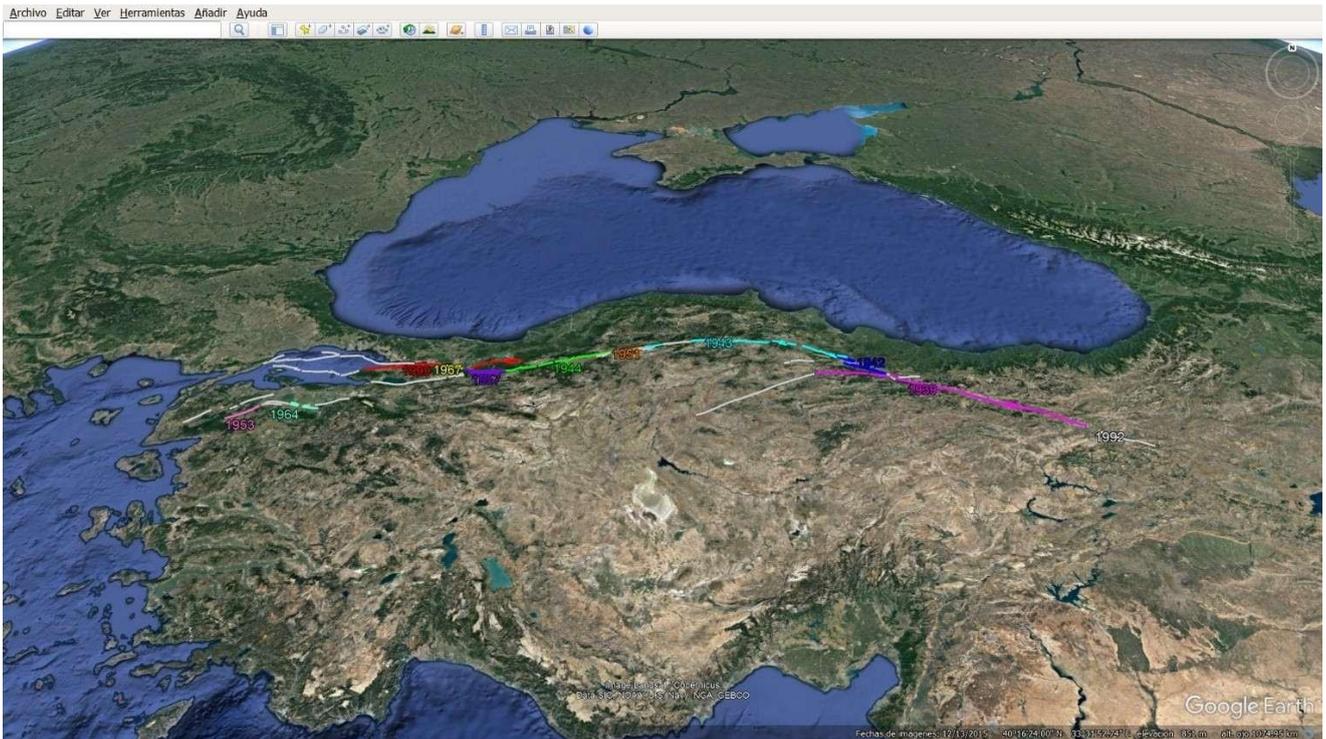
Referencia bibliográfica:

- Elías-Herrera, M., Ortega-Gutiérrez, F., Sánchez-Zavala, J. L., Macías-Romo, C., Ortega-Rivera, A., Iriondo, A., 2005. La falla de Caltepec: raíces expuestas de una frontera tectónica de larga vida entre dos terrenos continentales del sur de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, LVII (1), 83-109.

Georuta 10. Ubicación probable de un futuro sismo a partir del análisis de la sismicidad histórica

Objetivos de aprendizaje:

- Identificar patrones en la actividad sísmica a lo largo de las fallas del Norte de Anatolia.
- Analizar las posibles causas de dichos patrones.
- Predecir la ubicación probable de un futuro sismo de gran magnitud a partir del análisis de la sismicidad histórica.



Expande la carpeta **Georuta 10** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. Selecciona y haz doble clic en la carpeta **Fallas del Norte de Anatolia** para dirigirte al norte de Turquía. Las fallas están etiquetadas e iluminadas con diferentes colores para mostrar la actividad reciente relacionada con sismos de magnitud significativa (las fallas grises no han estado activas en tiempos recientes).

A) ¿Cuál es el patrón dominante de los sismos más significativos que han ocurrido a lo largo del sistema de Fallas del Norte de Anatolia de 1939 a 1999?

De 1939 a 1999, en general se registra una migración de la actividad sísmica de este a oeste.

B) ¿A qué podría deberse este patrón?

La actividad sísmica es producida por la liberación de la energía elástica acumulada en las rocas a lo largo de las fallas. Por ende, la migración de la actividad sísmica refleja una migración de este a oeste en la actividad de las fallas.

Estas fallas definen el límite entre la Placa de Anatolia y la Placa Eurasiática, que se están desplazando horizontalmente una respecto a otra (margen de placa transforme).

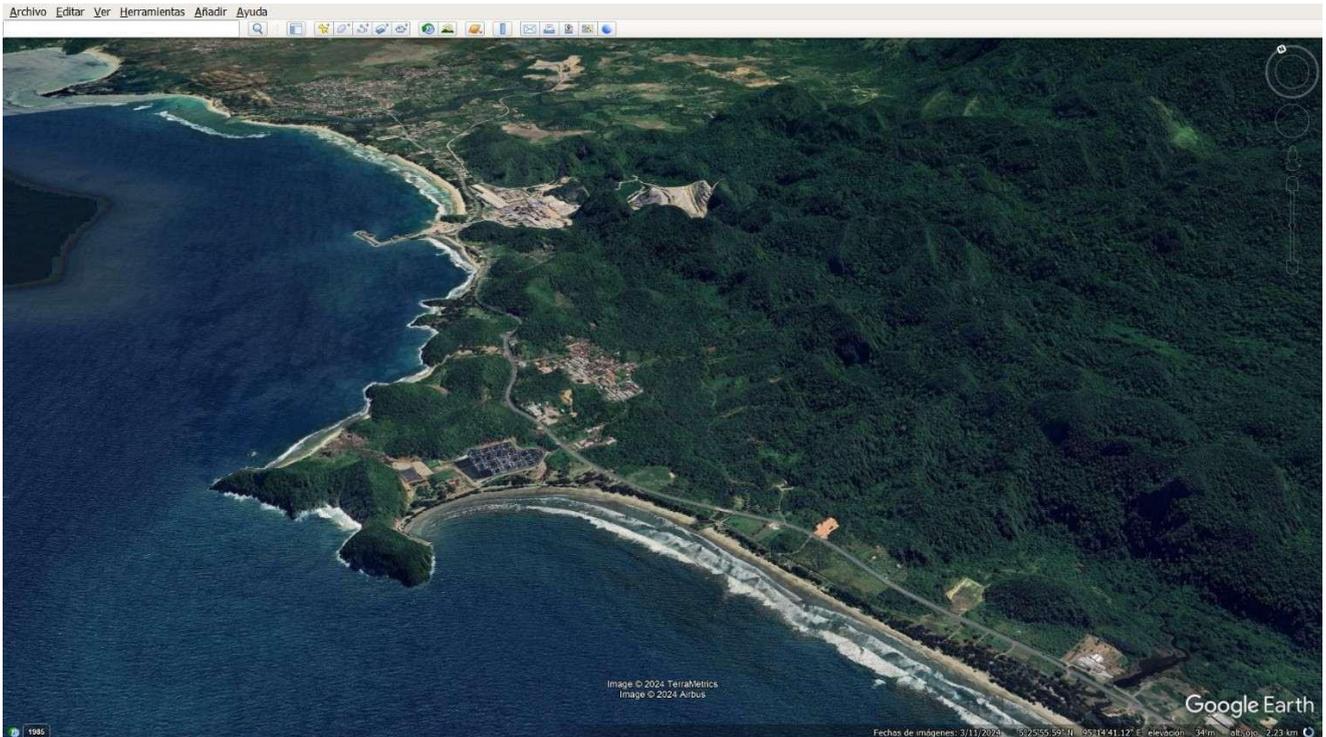
C) ¿En qué zona crees que podría ocurrir el próximo terremoto significativo asociado con este sistema de fallas? Selecciona y haz doble clic en las marcas de posición [Área de Estambul](#), [Área de Osmancik](#), [Área de Alaca](#) y [Área de Duzce](#) para explorar cada lugar.

Considerando el patrón general de migración de la actividad sísmica de este a oeste, es probable que el próximo terremoto significativo asociado con el sistema de Fallas de Anatolia del Norte ocurra en el área de Estambul. En esta zona hay fallas que han estado inactivas en tiempos recientes.

Georuta 11. Los efectos devastadores de un tsunami

Objetivos de aprendizaje:

- Calcular la velocidad de desplazamiento de un tsunami.
- Analizar los cambios producidos por el tsunami en la zona costera.
- Reflexionar sobre el nivel de seguridad que se puede tener en una zona propensa a sufrir eventos de tsunamis.



El 26 de diciembre de 2004, en la zona de subducción de Sumatra, Indonesia se produjo el tercer terremoto más grande registrado en la historia (magnitud 9.1). Este sismo generó un tsunami que devastó las costas de todo el Océano Índico. Para comenzar a explorar los efectos de esta ola devastadora, expande la carpeta **Georuta 11** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta.

A) Selecciona y haz doble clic en la capa **Tiempos de desplazamiento del tsunami**. Consulta el enlace para entender a qué tiempos corresponden los diferentes colores y luego cierra la ventana emergente. Posteriormente, selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Cuerno de África**. ¿Cuántas horas tardó el tsunami en viajar desde Sumatra hasta el Cuerno de África?

El tsunami se tardó unas 7 horas en desplazarse desde Sumatra hasta el Cuerno de África.

B) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Epicentro**, manteniendo activas la capa **Tiempos de desplazamiento del tsunami** y la marca de posición **Cuerno de África**. Haz clic en el ícono "Mostrar regla" en la barra de herramientas de Google Earth y selecciona la pestaña "Ruta" para medir la distancia

entre el epicentro del sismo y el Cuerno de África (traza una ruta aproximadamente perpendicular a las líneas de contorno). Utiliza esta distancia y tu respuesta a la pregunta A) para calcular la velocidad promedio (en km/hora) del tsunami.

Distancia entre el epicentro del sismo y el Cuerno de África: 5,051.63 km

5,051.63 km: 7 horas = X km: 1 hora

$X = 5,051.63 \cdot 1/7 = 721.6$ km/hora

El tsunami se desplazó a una velocidad promedio de 721.6 km/hora.

C) Desactiva la capa **Tiempos de desplazamiento del tsunami**. Posteriormente, selecciona y haz doble clic en las marcas de posición **Lho-nga** y **Leupung** para observar unas imágenes de antes y después del tsunami de dos áreas costeras de Sumatra. ¿Qué cambios observas?

En las áreas costeras de Lho-nga y Leupung, el tsunami ha provocado pérdida de infraestructura, con muchos edificios dañados o completamente destruidos. Las playas y la línea de costa han sufrido mucha erosión, y la topografía ha quedado modificada por la acumulación de escombros. La cubierta de vegetación del área costera también ha sido destruida.

D) ¿Crees que los edificios cercanos a la costa representaron un refugio seguro durante el tsunami? ¿Por qué o por qué no?

Los edificios cercanos a la costa no representaron un refugio seguro durante el tsunami, ya que la mayoría fueron destruidos o sufrieron graves daños.

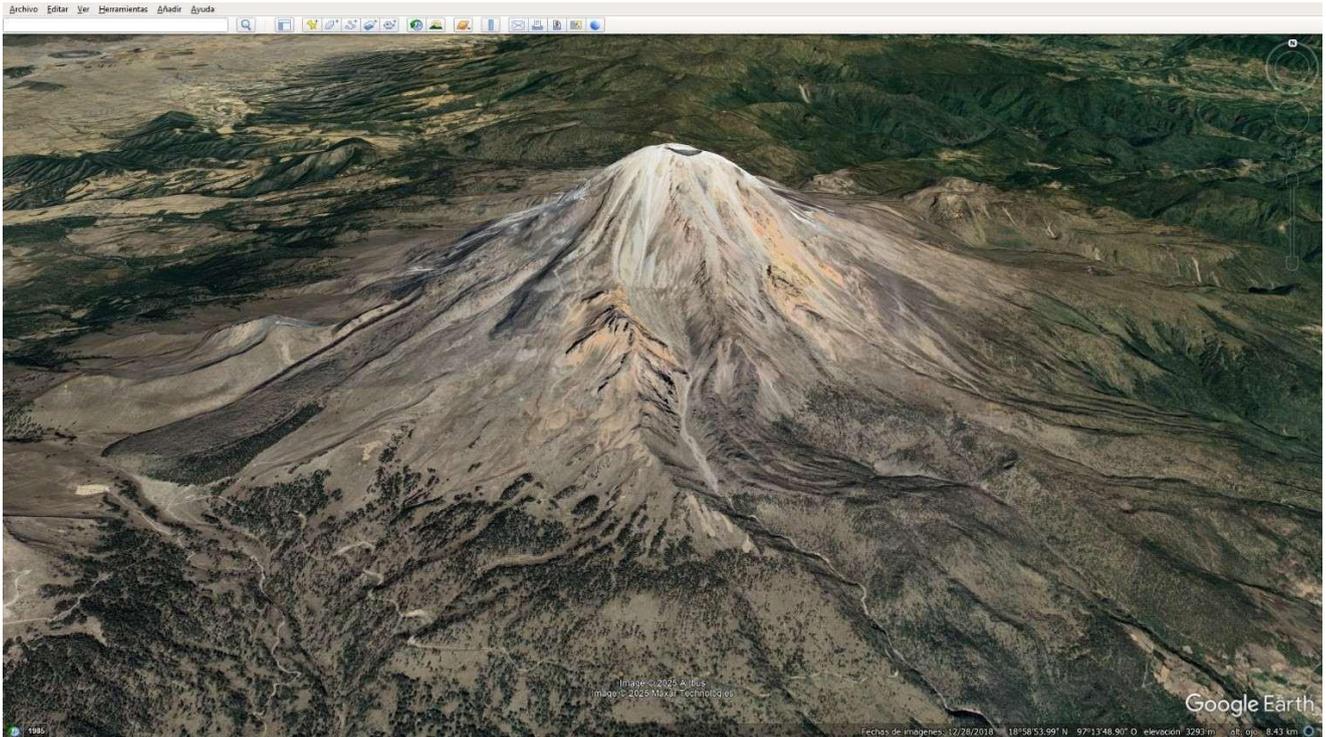
E) Activa y haz doble clic en la marca de posición **Península** para explorar la península situada a medio camino entre las ciudades de Lho-nga y Leupung. ¿Toda el área sufrió la misma entidad de daños? ¿Qué lecciones sobre seguridad en áreas propensas a tsunamis se pueden aprender al examinar este lugar?

En la península entre Lho-nga y Leupung, se observa que algunas áreas sufrieron daños menores respecto a las zonas expuestas directamente al mar. Esto indica que la topografía y la ubicación pueden influir en la gravedad del impacto de un tsunami. El desastre natural que afectó esta región sugiere que, para mejorar la seguridad en áreas propensas a tsunamis, es necesario limitar la construcción de edificios en las zonas costeras más vulnerables, construir estructuras de protección contra tsunamis, e implementar planes de evacuación efectivos en caso de emergencia.

Georuta 12. Análisis de volcanes mexicanos: estructuras, productos ígneos y peligros asociados

Objetivos de aprendizaje:

- Analizar el perfil de elevación de un volcán para identificar el tipo de estructura.
- Describir los productos ígneos asociados con diferentes tipos de volcanes.
- Identificar la modalidad eruptiva característica de cierto tipo de volcán.
- Describir los peligros asociados con las erupciones plinianas.



México es hogar de numerosos volcanes, muchos de los cuales están inactivos, pero los activos representan un riesgo significativo para las comunidades cercanas. Comprender sus características, como el tipo de estructura, la composición y los peligros asociados, es esencial para desarrollar estrategias efectivas de prevención y respuesta ante posibles erupciones volcánicas. Expande la carpeta **Georuta 12** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. La carpeta contiene las marcas de posición de tres volcanes ubicados en diferentes estados de México.

A) Selecciona y haz doble clic la marca de posición **El Jorullo** para dirigirte a este volcán ubicado en el estado de Michoacán. Activa y haz clic derecho en la ruta **El Jorullo** y selecciona "Mostrar perfil de elevación" para visualizar una gráfica del cambio de elevación (eje y) contra la distancia a lo largo de la ruta (eje x). Basándote en la morfología del volcán observada en el perfil de elevación y en su tamaño, ¿a qué tipo de volcán crees que pertenece El Jorullo? ¿Qué productos ígneos están típicamente asociados con esta estructura volcánica? Describe su composición y características principales.

El Jorullo tiene una forma cónica y un tamaño relativamente pequeño (diámetro basal de ~1.7 km), por lo que podría clasificarse como cono de ceniza o escoria. Los

productos ígneos típicamente asociados a este volcán son ceniza, lapilli (escoria) y pequeños flujos de lava máfica. La acumulación de ceniza y lapilli alrededor del cráter es la que produce la estructura característica del cono de ceniza.

B) Selecciona y haz doble clic la marca de posición **Pico de Orizaba** para dirigirte a este volcán ubicado en el estado de Puebla. Activa y haz clic derecho en la ruta **Pico de Orizaba** y selecciona "Mostrar perfil de elevación" para visualizar una gráfica del cambio de elevación (eje y) contra la distancia a lo largo de la ruta (eje x). Basándote en la morfología del volcán observada en el perfil de elevación y en su tamaño, ¿a qué tipo de volcán crees que pertenece el Pico de Orizaba? ¿Qué modalidad eruptiva es típica de este volcán? Describe brevemente las características de dicha erupción.

En el perfil de elevación, el Pico de Orizaba muestra una forma cónica con pendientes pronunciadas y presenta un diámetro basal de ~13.6 km, lo que indica que se trata de un estratovolcán. Por lo general, los estratovolcanes experimentan erupciones explosivas de tipo pliniano, en las que se emiten grandes volúmenes de magmas intermedios-félsicos, altamente viscosos y muy enriquecidos en volátiles. Las erupciones plinianas generan columnas de gas y ceniza que rebasan los 50 km de altura.

C) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **El Chichón** para dirigirte a este volcán ubicado en el estado de Chiapas. El 3 de abril de 1982, después de un periodo de inactividad de algunos cientos de años, El Chichón experimentó una violenta erupción de tipo pliniano que causó más de 2,000 víctimas mortales, convirtiéndose en una de las mayores tragedias provocadas por fenómenos volcánicos en la historia de México (Tilling, 2009). ¿Qué tipos de peligros están asociados con las erupciones plinianas? Descríbelos brevemente.

Los principales peligros asociados con las erupciones plinianas son: la caída de ceniza y lapilli (piroclastos dispersados por el viento sobre áreas muy extensas, los cuales pueden provocar daños a la salud y a los cultivos, interrupciones del transporte aéreo y el colapso de estructuras); los flujos piroclásticos (flujos calientes de gas, ceniza y fragmentos rocosos derivados del colapso de la columna pliniana, que bajan a gran velocidad por las laderas del volcán, destruyendo todo a su paso); los lahares (flujos de lodo que se generan cuando la ceniza volcánica se mezcla con agua de lluvia o de deshielo, los cuales arrasan comunidades y alteran el paisaje); y las emisiones de gases tóxicos (principalmente CO₂ y SO₂, que pueden provocar problemas respiratorios y contribuir al cambio climático).

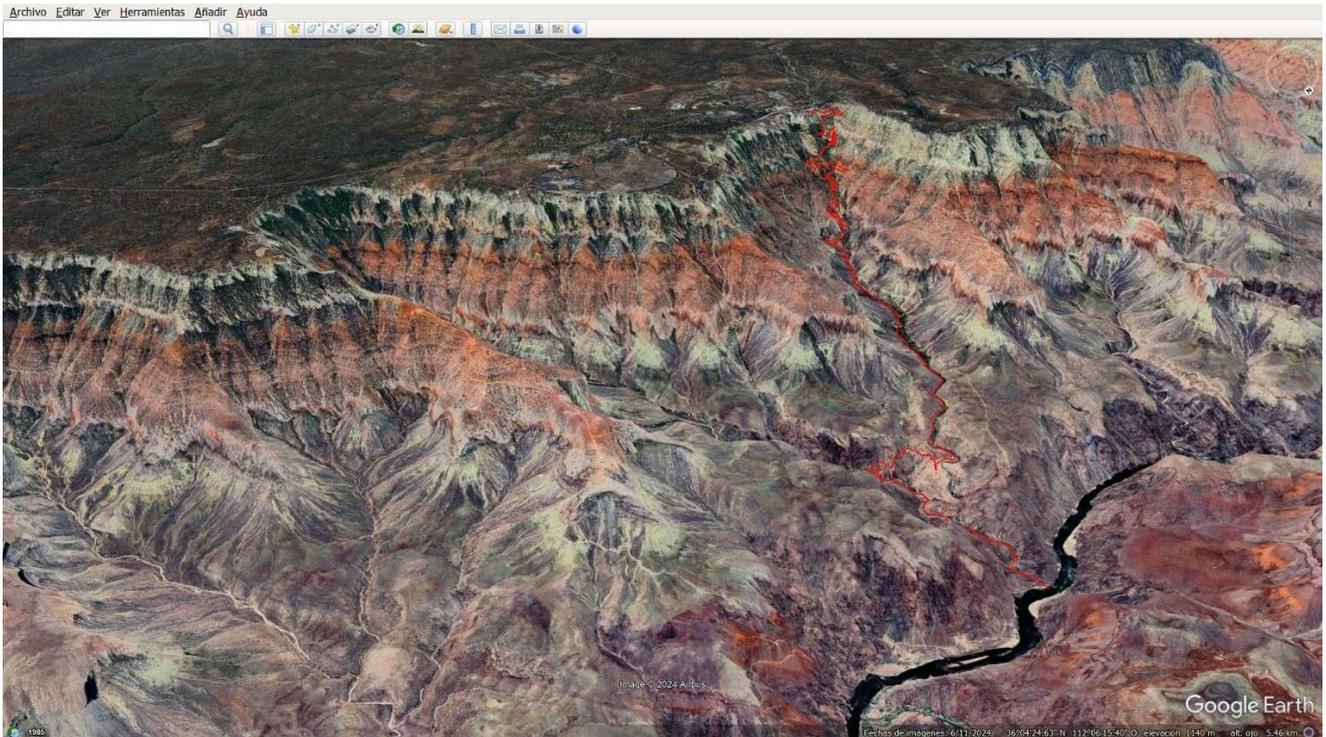
Referencia bibliográfica:

- Tilling, R., 2009. El Chichón's "surprise" eruption in 1982: lessons for reducing volcano risk. *Geofísica internacional*, 48 (1), 3-19.

Georuta 13. Viaje en el tiempo geológico en el Gran Cañón de Arizona

Objetivos de aprendizaje:

- Estimar la edad de las rocas a lo largo del Sendero Bright Angel.
- Calcular en cuánto tiempo se formó el Gran Cañón.



Selecciona y haz doble clic en el ícono de la carpeta **Georuta 13** en Google Earth para dirigirte al Gran Cañón del norte de Arizona. Aquí, la erosión operada por el Río Colorado ofrece una de las exposiciones más espectaculares de la historia geológica del planeta, desde la Caliza Kaibab, de aproximadamente 270 Ma, hasta el Esquisto Vishnu, de aproximadamente 2,000 Ma. Haz clic derecho en el **Sendero Bright Angel** (ruta roja) y selecciona "Mostrar perfil de elevación" para visualizar una gráfica del cambio de elevación (eje y) contra la distancia a lo largo del sendero (eje x).

A) La distancia desde el punto de partida del sendero, en donde afloran las rocas más jóvenes (270 Ma), hasta el punto final, donde afloran las rocas más antiguas (2,000 Ma), es de aproximadamente 12.6 km. Usa esta información para estimar cuántos años atrás en el tiempo retrocederías por cada metro recorrido a lo largo del sendero.

Intervalo de tiempo: 2,000 Ma - 270 Ma = 1,730 Ma = 1,730,000,000 años

Camino: 12.6 km = 12600 m

12600 m: 1,730,000,000 años = 1 m: X años

$X = (1,730,000,000 \cdot 1) / 12,600 = 137,301.6$ años

Por cada metro recorrido a lo largo del sendero retrocedería de 137,301.6 años.

B) Utilizando la diferencia de elevación entre el borde del cañón y el río, y tomando en cuenta una tasa de erosión promedio de 0.5 mm/año, calcula cuánto tiempo se tardó aproximadamente el Río Colorado en esculpir el Gran Cañón.

Diferencia de elevación: $2,085 \text{ m} - 734 \text{ m} = 1,351 \text{ m} = 1,351,000 \text{ mm}$

$1,351,000 \text{ mm} : X \text{ años} = 0.5 \text{ mm} : 1 \text{ año}$

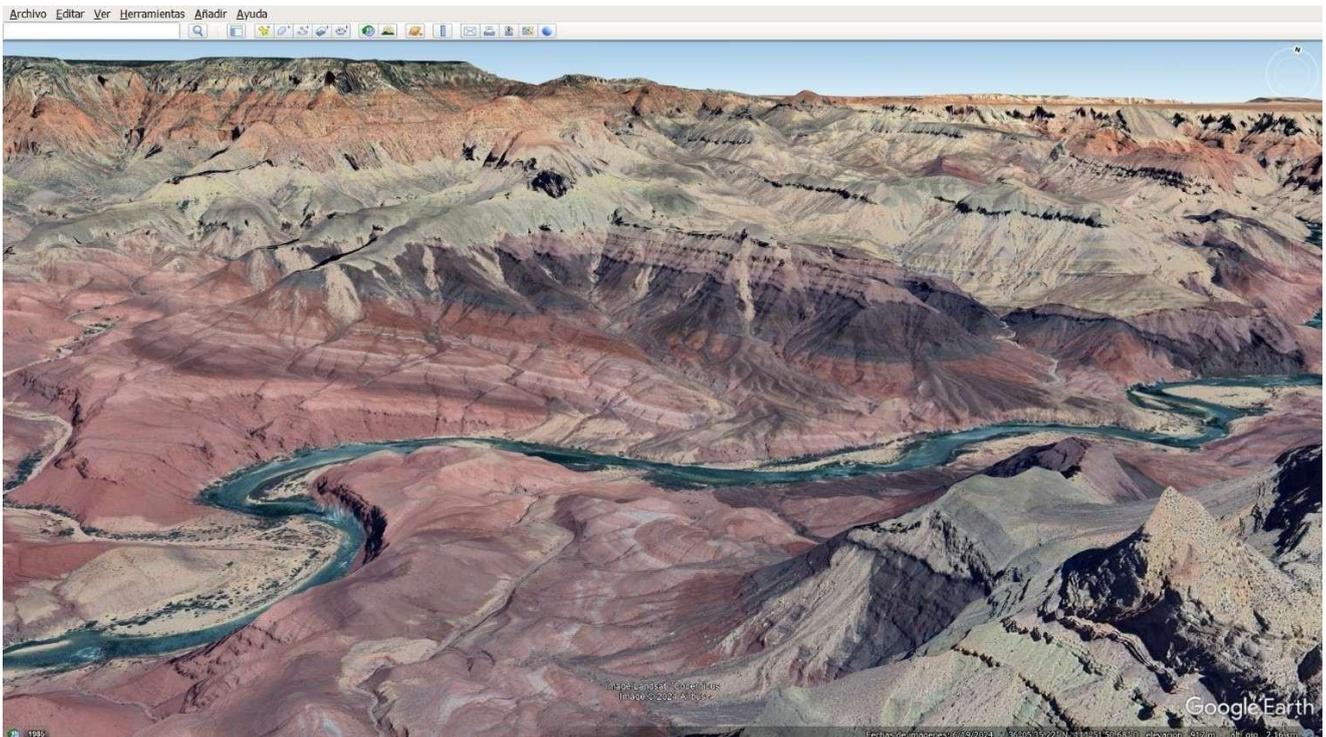
$X = 1,351,000 \cdot 1 / 0.5 = 2,702,000 \text{ años} = 2.702 \text{ Ma}$

El Río Colorado se tardó aproximadamente 2.702 Ma en esculpir el Gran Cañón.

Georuta 14. Interpretación de la historia geológica del Gran Cañón de Arizona

Objetivos de aprendizaje:

- Aplicar los principios de continuidad original, superposición e inclusión para ordenar cronológicamente las capas rocosas.
- Reconocer el tipo de discordancias que separan diferentes unidades rocosas.



Expande la carpeta **Georuta 14** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. Esta carpeta contiene marcas de posición de diferentes rasgos característicos del Gran Cañón de Arizona que ayudan a comprender algunos de los conceptos/principios clave que se usan para el fechamiento relativo.

A) Selecciona las marcas de posición **Fuente**, **Capa 1**, **Capa 2** y **Capa 3** y haz doble clic en una de ellas para dirigirte a la parte este del Gran Cañón. De acuerdo con el principio de continuidad original, ¿cuál de las tres capas corresponde a la que está etiquetada como **Fuente**?

De acuerdo con el principio de continuidad original, la capa que está etiquetada como **Fuente** es la **Capa 3**.

B) Selecciona las marcas de posición **Capa 1 bis**, **Capa 2 bis** y **Capa 3 bis** y haz doble clic en una de ellas para dirigirte a otra área en donde puedes observar las tres capas. De acuerdo con el principio de superposición, ordena las capas de la más antigua a la más reciente.

Capa 1 bis, **Capa 3 bis** y **Capa 2 bis**.

C) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Gran Discordancia I** para dirigirte a un afloramiento de la Gran Discordancia, una superficie que separa unidades rocosas del Precámbrico de una unidad sedimentaria del Cámbrico, marcando una laguna de 1,200 millones de años en el registro geológico. ¿Qué tipo de discordancia observas en este lugar?

Observo una discordancia angular que separa rocas sedimentarias más antiguas, con estratos inclinados, de rocas sedimentarias más recientes, con estratos horizontales.

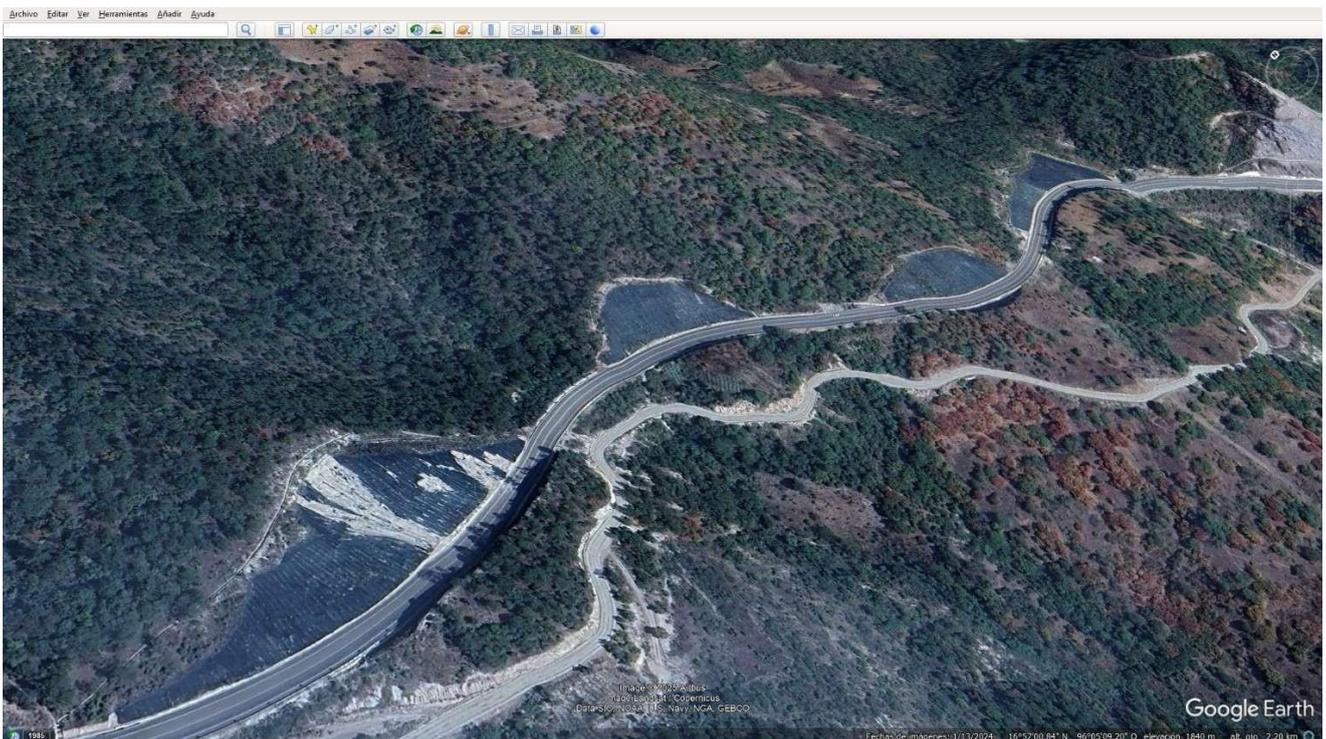
D) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Gran Discordancia II** para dirigirte a otro afloramiento de la Gran Discordancia. Aquí, rocas metamórficas cristalinas y un dique ígneo de color blanco están truncados y cubiertos por la misma unidad sedimentaria del Cámbrico. Tomando en cuenta las relaciones estratigráficas, ¿consideras que es más antiguo el dique o la capa sedimentaria del Cámbrico? ¿Cuál de los dos es más probable que contenga inclusiones del otro? ¿Qué tipo de discordancia reconoces en este lugar?

El dique es más antiguo, ya que está truncado y cubierto por la unidad del Cámbrico. La unidad sedimentaria del Cámbrico podría contener clastos derivados del dique más antiguo. Observo una discordancia litológica que separa rocas metamórficas e ígneas más antiguas de unas rocas sedimentarias más jóvenes.

Georuta 15. Métodos de prevención de movimientos en masa en carreteras

Objetivos de aprendizaje:

- Identificar en qué tipo de materiales geológicos conviene utilizar concreto lanzado, drenaje o malla como método de prevención de movimientos en masa en carreteras.
- Analizar los factores ambientales/climáticos que podrían afectar la eficacia de los métodos de estabilización de taludes.
- Proponer medidas para garantizar la efectividad de los métodos de estabilización de taludes frente a condiciones climáticas extremas o en el largo plazo.



Los movimientos en masa representan uno de los principales problemas geológicos en carreteras, ya que pueden causar daños a la infraestructura y poner en riesgo las vidas humanas. Comprender y analizar las medidas de prevención más comunes es esencial para reducir estos riesgos. Expande la carpeta **Georuta 15** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. La carpeta contiene las marcas de posición de tres afloramientos en carreteras de México en donde es posible observar diferentes métodos de estabilización de taludes.

A) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Concreto lanzado** (Carretera Federal 179, Autopista Oaxaca-Istmo, estado de Oaxaca). ¿Para qué tipo de materiales geológicos se emplea este método? ¿En qué manera el concreto lanzado ayuda a reducir el riesgo de movimientos en masa? ¿Qué factores ambientales/climáticos deberían tomarse en cuenta antes de aplicar concreto lanzado?

El concreto lanzado se emplea comúnmente para estabilizar rocas fracturadas o sedimentos no consolidados que son muy propensos a la erosión. Al aplicar el

concreto lanzado, se reduce la exposición a la lluvia y se minimiza la infiltración de agua, reduciendo el riesgo de movimientos en masa. Antes de aplicar el concreto lanzado, deberían tomarse en cuenta factores como la cantidad de lluvias de la zona (precipitaciones abundantes podrían comprometer la efectividad de la cubierta); excursiones térmicas significativas que podrían agrietarlo; y la presencia de vegetación (la capa de concreto podría afectar su sobrevivencia).

B) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Drenes** (Autopista Mitla-Tehuantepec, estado de Oaxaca). ¿Para qué tipo de materiales geológicos se emplea este método? ¿En qué manera los drenes ayudan a reducir el riesgo de movimientos en masa? ¿Qué medidas adicionales podrían adoptarse para garantizar la efectividad del sistema de drenaje en caso de precipitaciones extraordinarias?

El método del drenaje se emplea comúnmente en sedimentos no consolidados de tamaño limo o arena que podrían favorecer la infiltración del agua y sobresaturarse. Al implementar un sistema de drenaje, se garantiza la salida del agua almacenada entre los clastos del sedimento que, de esta forma, mantiene su cohesión y estabilidad. Para garantizar la efectividad del sistema de drenaje en caso de eventos extremos de lluvias, se podrían usar tubos de diámetro mayor que aumenten la capacidad del drenaje, instalar canaletas que redirijan el agua de la lluvia hacia áreas seguras, y mantener los drenajes libres de obstrucciones para asegurar la salida del agua.

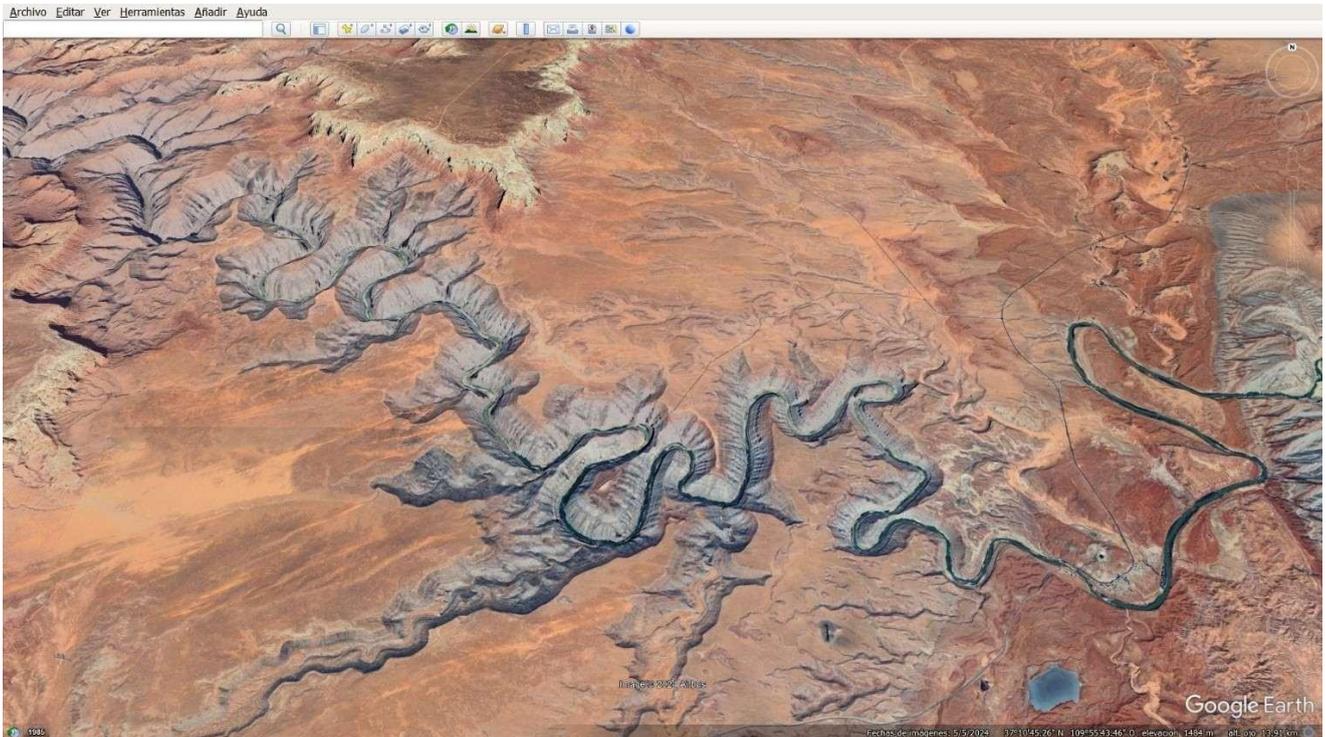
C) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Malla** (Autopista Mitla-Tehuantepec, estado de Oaxaca). ¿Para qué tipo de materiales geológicos se emplea este método? ¿En qué manera las mallas ayudan a reducir el riesgo de movimientos en masa? ¿Qué aspectos deberían monitorearse regularmente para garantizar la funcionalidad de las mallas en el largo plazo?

El método de las mallas se emplea comúnmente en rocas fracturadas propensas al desprendimiento de fragmentos rocosos. Las mallas actúan como una barrera que retiene los fragmentos, evitando que caigan hacia la carretera. Para asegurar la eficacia de las mallas, se debería controlar de manera regular el estado de los anclajes y revisar que la cantidad de fragmentos que se van acumulando dentro de las mallas no llegue a obstruir su función de contención.

Georuta 16. Paisajes esculpidos por los ríos

Objetivos de aprendizaje:

- Describir la evolución de los meandros de un río en el tiempo.
- Analizar los procesos que de formación de los meandros.



Expande la carpeta **Georuta 16** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. La carpeta contiene las marcas de posición de dos distintos lugares en los que puedes apreciar unos paisajes espectaculares esculpidos por los ríos.

A) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Río Ucayali, Perú** para dirigirte a este río en Sudamérica. Observa la animación en la ventana emergente y describe cómo han evolucionado los meandros del río entre 1984 y 2012.

Al observar la animación de la evolución del Río Ucayali entre 1984 y 2012, se puede ver que los meandros del río se han desplazado con el tiempo, erosionando las orillas exteriores y depositando sedimentos en las orillas interiores. Este proceso ha provocado la formación de nuevos meandros y la desaparición de algunos antiguos, además de generar áreas de corte donde el río se endereza al cortar los meandros más extremos.

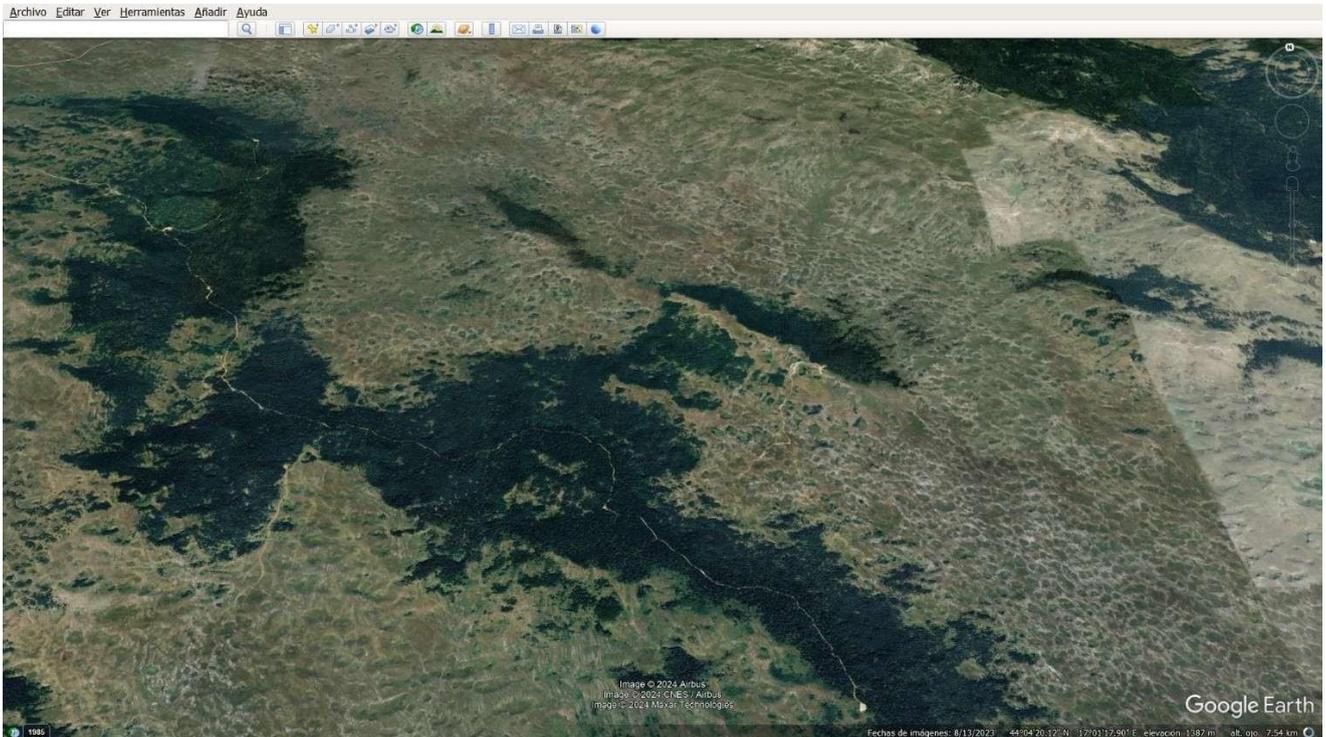
B) Selecciona y haz doble clic en el [Mapa topográfico del Parque Estatal de Goosenecks](#) para dirigirte a una sección del río San Juan cerca de Mexican Hat, Utah. ¿Cómo pudieron haberse formado unos meandros tan estrechamente espaciados?

Los meandros estrechamente espaciados del río San Juan se formaron por la combinación de una erosión constante en las orillas exteriores, sedimentación en las orillas interiores, y una topografía plana que, en general, facilita el desarrollo de un canal curvilíneo. La composición uniforme de las rocas también pudo haber contribuido a la formación de estos meandros pronunciados.

Georuta 17. Disolución del paisaje operada por el agua subterránea

Objetivos de aprendizaje:

- Identificar formaciones kársticas y sus características en diferentes regiones.
- Evaluar el impacto de la disolución en el paisaje y en la hidrología local.



Expande la carpeta **Georuta 17** en Google Earth haciendo clic en el triángulo a la izquierda del ícono de la carpeta. Las marcas de posición contenidas en esta carpeta te permitirán explorar paisajes kársticos de diferentes regiones del planeta y observar sus rasgos característicos. Los paisajes kársticos se forman por la disolución de un basamento de roca caliza operada por el agua subterránea.

A) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Bosnia y Herzegovina** para dirigirte a la región de Europa en la cual se describieron por primera vez los rasgos del paisaje kárstico. ¿Qué tipo de formaciones kársticas observas en esta zona?

En el área se observa una multitud de depresiones y agujeros kársticos producidos por la disolución de las rocas calizas. Los agujeros también pueden formarse por el colapso repentino del techo de cuevas subterráneas derivadas del mismo proceso de disolución por parte del agua subterránea.

B) Selecciona el **Mapa topográfico de Orleans, Indiana**. Posteriormente, selecciona y haz doble clic en la marca de posición **Rasgo kárstico** para dirigirte a un terreno kárstico similar ubicado cerca de Orleans, en Indiana. Esta marca de posición resalta el mismo tipo de estructura que observaste en la marca de

posición [Bosnia y Herzegovina](#). Con la ayuda del mapa topográfico superpuesto, describe las principales características de este rasgo geomorfológico.

Se observa una depresión que contiene algunos agujeros. Uno de los agujeros contiene agua (en esa zona, el nivel freático aflora en la superficie).

C) Selecciona y haz doble clic en el polígono [Área kárstica](#) para observar la gran cantidad de estructuras del mismo tipo que se concentran en esta parte del mapa. Posteriormente, deselecciona el polígono y selecciona y haz doble clic en la marca de posición [Profundidad](#) para dirigirte a una estructura específica ubicada cerca del Lost River. ¿Qué tan profunda es la estructura?

La estructura tiene 2 metros de profundidad.

D) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición [Manantial](#). En el tramo comprendido entre la marca de posición [Profundidad](#) y la marca de posición [Manantial](#), el Lost River se convierte en un arroyo intermitente que solo tiene agua durante los períodos de lluvia intensa. Al oeste de la marca de posición [Manantial](#), el Lost River vuelve a fluir como una corriente perenne en la superficie. ¿Qué le podría ocurrir al Lost River en este tramo? Selecciona y deselecciona repetidamente el [Mapa topográfico de Orleans, Indiana](#) para explorar la zona.

Esta zona está punteada de agujeros kársticos, por lo que es posible que, en algunos tramos, el río fluya en cuevas subterráneas y solo aparezca en superficie cuando las lluvias producen un incremento del nivel freático hasta la superficie.

E) Selecciona y haz doble clic en la marca de posición [Valle Seco](#) para dirigirte a un valle en donde el arroyo intermitente se desvía al subsuelo. ¿Cómo se denomina este tipo de arroyo?

Este tipo de arroyo se denomina río subterráneo.

Referencias bibliográficas:

- Giorgis, S., 2015. Google Earth mapping exercises for structural geology students - a promising intervention for improving penetrative visualization ability. *Journal of Geoscience Education*, 63 (2), 140-146.

- Ludman, A., Marshak, S., 2019. Laboratory manual for introductory geology. W. W. Norton C Company, Inc., 49 edición.
- Monet, J., Greene, T., 2012. Using Google Earth and satellite imagery to foster place-based teaching in an introductory Physical Geology course. *Journal of Geoscience Education*, 60 (1), 10-20.