



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Colección de casos de estudio y  
experiencias geológicas que enfatizan  
el impacto de la geología en la  
sociedad y el efecto de las actividades  
humanas en el planeta**

**MATERIAL DIDÁCTICO**

Que para obtener el título de  
**Ingeniera Geóloga**

**P R E S E N T A**

Fernanda Patricia Carrillo Sánchez

**ASESORA DE MATERIAL DIDÁCTICO**

Dra. Laura Mori



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022

## ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>ACTIVIDADES.....</b>	<b>5</b>
2.1.	El Agua Subterránea.....	5
2.1.1.	<i>En el abismo: El caso del agujero colapsado.</i> .....	5
2.2.	Inestabilidad de Pendientes y Movimientos en masa.....	8
2.2.1.	<i>Llevando a juicio los peligros geológicos: el movimiento en masa de La Curva Portuguesa, California</i> .....	8
2.2.2.	<i>Movimientos en masa y sociedad. Ejemplos de Perú e Italia.</i> .....	12
2.3.	Corrientes de agua superficiales e inundaciones.....	20
2.3.1.	<i>Perder la granja: cómo los cambios en la superficie terrestre afectan la escorrentía.</i> .....	20
2.4.	Volcanes y Peligros volcánicos.....	26
2.4.1.	<i>Dante's Peak</i> .....	26
2.4.2.	<i>Experiencia Geológica: Vulcanología</i> .....	30
2.5.	Actividad Sísmica y peligros relacionados.....	35
2.5.1.	<i>Experiencia Geológica: Sismología</i> .....	35
2.6.	Geología Económica.....	103
2.6.1.	<i>Experiencia Geológica: Geología Económica</i> .....	103
<b>3.</b>	<b>SOLUCIONARIO .....</b>	<b>110</b>
3.1.	El Agua Subterránea.....	110
3.1.1.	<i>En el abismo: El caso del agujero colapsado.</i> .....	110
3.2.	Inestabilidad de Pendientes y Movimientos en masa.....	113
3.2.1.	<i>Llevando a juicio los peligros geológicos: La Curva Portuguesa, California</i> .....	113
3.2.2.	<i>Movimientos en masa y sociedad. Ejemplos de Perú e Italia.</i> .....	117
3.3.	Corrientes de agua superficiales e inundaciones.....	126
3.3.1.	<i>Perder la granja: cómo los cambios en la superficie terrestre afectan la escorrentía.</i> .....	126
3.4.	Volcanes y Peligros volcánicos.....	134
3.4.1.	<i>Dante's Peak</i> .....	134
3.4.2.	<i>Experiencia Geológica: Vulcanología</i> .....	140
3.5.	Actividad Sísmica y peligros relacionados.....	148
3.5.1.	<i>Experiencia Geológica: Sismología</i> .....	148
3.6.	Geología Económica.....	152
3.6.1.	<i>Experiencia Geológica: Geología Económica</i> .....	152
<b>4.</b>	<b>MATERIAL DE REFERENCIA PARA LA ELABORACIÓN DE LAS ACTIVIDADES .....</b>	<b>159</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

En las carreras de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, el curso de Geología Física constituye un parteaguas en la decisión que el alumno tomará acerca de su futuro profesional y hacia dónde quiere encaminar su formación académica. Por esta razón es fundamental que, además de brindarle al alumno los conocimientos esenciales que necesita, esta primera experiencia de aprendizaje de la Geología resulte atractiva, dinámica y enriquecedora, y que promueva el interés del estudiante hacia las materias sucesivas. Para lograr esto, es sustancial que el alumno tenga desde un inicio la oportunidad de transferir lo aprendido en el aula a contextos reales y aplicar sus conocimientos geológicos a la resolución de problemáticas socioambientales.

Una manera de lograr que el conocimiento de las Ciencias de la Tierra trascienda el salón de clases es implementando actividades como Casos de Estudio y Experiencias Geológicas, las cuales permiten crear conexiones entre conceptos geocientíficos fundamentales y sus aplicaciones en la ingeniería. Se ha documentado que el análisis y discusión de casos produce una notable mejora en el aprendizaje y en la retención del conocimiento por parte de los estudiantes; y que este tipo de actividades fomentan el desarrollo de habilidades de alto orden que son fundamentales para ejercer la profesión (Holley, 2017).

Los Casos de Estudio y las Experiencias Geológicas que se presentan en este trabajo abordan temáticas contempladas en el programa del curso de Geología Física de las carreras de Ingeniería Geológica e Ingeniería Geofísica, cuya estrecha relación con el contexto geológico del país resulta favorable para que los alumnos conozcan de primera mano algunas aplicaciones de sus conocimientos: el agua subterránea y los peligros que ésta podría generar al disolver las rocas del basamento; las corrientes de agua superficiales y el peligro de inundaciones; los peligros relacionados con la actividad volcánica y sísmica; la inestabilidad de pendientes y los movimientos en masa; así como temas de geología económica.

Para elaborar la colección de Casos de Estudio y Experiencias Geológicas se han tomado de referencia actividades preexistentes y de acceso libre. Algunas de estas actividades han sido generadas en el marco de un proyecto internacional muy importante y reconocido, denominado InTeGrate (*Interdisciplinary Teaching about Earth for a Sustainable Future*, <https://serc.carleton.edu/integrate/index.html>), enfocado a desarrollar y difundir materiales didácticos de calidad que resalten la relación entre las geociencias y los desafíos ambientales con los que se enfrenta actualmente la sociedad global. Asimismo, se han consultado algunas actividades enfocadas a las Ciencias de la Tierra que están disponibles en la página web del *National Center for Case Study Teaching in Science* (<https://sciencecases.lib.buffalo.edu>).

Estos materiales didácticos se han adaptado a las necesidades del curso de Geología Física de la Facultad de Ingeniería, tomando en cuenta el contenido temático de la asignatura, la duración de las clases y las características de los grupos (número de estudiantes, semestre de impartición de la asignatura y nivel de formación de los alumnos). Los conceptos geológicos básicos se han traducido al español de una manera en la que puedan ser comprendidos fácilmente por los alumnos, usando un lenguaje formal y sencillo, rompiendo la barrera del idioma que en muchas ocasiones limita el acceso de los alumnos a esta clase de actividades. También, las actividades se han reorganizado y optimizado de una manera que permita su realización en menos de 50 minutos, para que cada docente pueda integrarlas fácilmente a su curso sin tener que aportar modificaciones mayores a la estructura de este. Estos ejercicios representan un excelente

complemento a la dinámica de la enseñanza tradicional, dándole al alumno la oportunidad de construir su aprendizaje de manera activa, y de convertirse en protagonista de su aprendizaje.

Aunque los materiales están dirigidas esencialmente a los alumnos y profesores de las carreras de Ingeniería Geológica y Geofísica, cabe resaltar que pueden adaptarse perfectamente al curso de Geología General impartido en las carreras de Ingeniería de Minas y Metalurgia e Ingeniería Petrolera, y pueden resultar útiles en asignaturas impartidas en otras Divisiones de la Facultad de Ingeniería, como Geología para Ingeniería Civil y Geología y Geomorfología para Ingeniería Geomática.

Por medio de los recursos didácticos elaborados, los estudiantes podrán adquirir diversos conocimientos, habilidades y competencias que les resultarán de gran utilidad en su desarrollo profesional. Tales como el aplicar, analizar, evaluar, proponer y crear, mientras trabajan con datos reales y estudian las posibles soluciones que como futuros expertos podrían dar a los grandes desafíos relacionados con el efecto de la actividad humana en el planeta, y el impacto de los fenómenos geológicos en la sociedad.

La formación del alumno a través de estas actividades le brindará una clara idea sobre las áreas de aplicación de la Geología, despertando y manteniendo su interés, curiosidad y motivación en lo que a su carrera respecta. Igualmente, el tener un primer acercamiento a la aplicación de sus conocimientos desde una etapa temprana, resultará favorable a largo plazo pues creará cierta conciencia en el alumno sobre la importancia y el impacto de la Geología en la sociedad y en el planeta Tierra, ayudándolo a comprender el papel que ejercerá como futuro profesional. Entonces, con la implementación de los Casos de Estudio y las Experiencias Geológicas, además de haber adquirido un conocimiento sólido y de haber ampliado su panorama acerca de las áreas de estudio de la geología, el alumno podrá verificar que su aprendizaje ha sido significativo y que, al relacionar lo visto en clase con casos de estudio y datos reales, su proceso ha trascendido la memorización de los conceptos básicos, y estará listo para continuar su formación académica de una manera efectiva.



## 2. ACTIVIDADES

### 2.1. El Agua Subterránea.

#### 2.1.1. En el abismo: El caso del agujero colapsado.

##### Agujeros cerca de Orlando, Florida

El área metropolitana de Orlando se encuentra en una región en la cual se pueden formar depresiones (*sinkhole*) de manera repentina, y a medida en que estos se profundizan en la superficie terrestre pueden colapsar al coincidir con alguna cavidad subterránea, formando grandes agujeros. Estas cavidades se forman en el basamento de roca caliza, la cual está cubierta por depósitos de arcilla y arena. La caliza funciona también como acuífero (Acuífero de Florida) para los residentes del área.

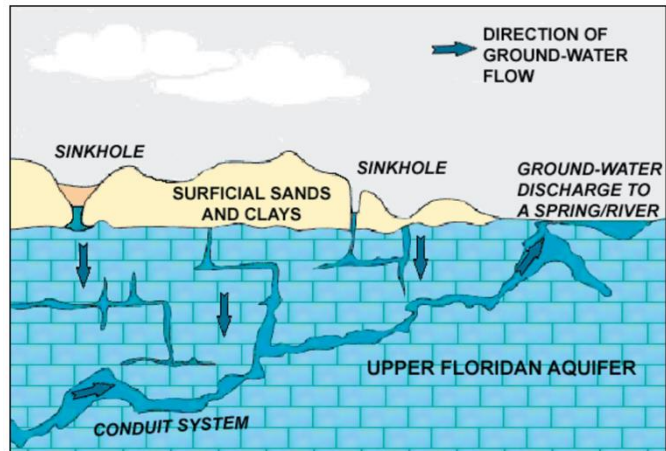


Fig. 1 Sistema de formación de agujeros.

Entre 1961 y 1986, en el área de Orlando (condados de Orange y Seminole) se formaron al menos 140 nuevos agujeros (promedio de 11 por año). Los datos disponibles indican que la aparición de nuevos agujeros no ocurrió de manera uniforme durante los años, como se puede ver en la gráfica de la derecha.

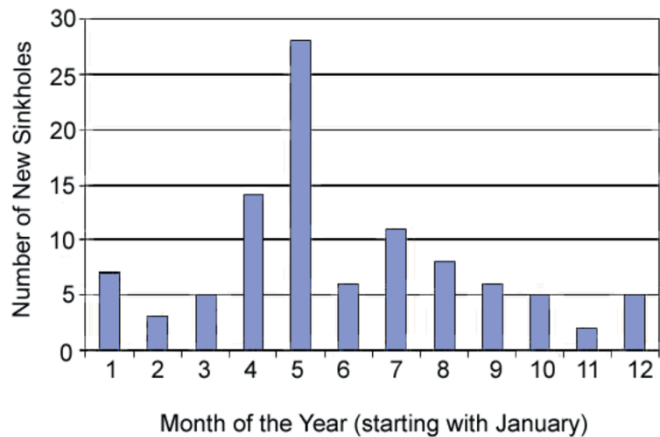


Fig. 2 Aparición promedio de nuevos agujeros en el área de Orlando.

1. ¿Durante cuáles meses del año es más probable que se formen agujeros en el área de Orlando?

---



---

2. ¿Qué hipótesis podrías sugerir para explicar este patrón de desarrollo de agujeros?

---



---



---



---

3. ¿Qué datos necesitarías para probar tus hipótesis?

---



---



---

## Empresa minera demandada por haber provocado el desarrollo de un agujero

En la primavera de 1994, un hombre que conducía su miniván cerca de Westminster, Maryland, se accidentó y falleció en un agujero que se abrió repentinamente en la carretera. Su viuda demandó a una compañía minera local por 13.5 millones de dólares, alegando que era responsable del desarrollo del agujero.

Lee el siguiente artículo y contesta las preguntas a continuación. El artículo del periódico no proporciona toda la información que se necesitaría para evaluar la validez del reclamo de la viuda. Sin embargo, usando la información geológica disponible para la región, y con base en tu conocimiento de los procesos de formación de los agujeros, puedes tener al menos una opinión informada sobre lo que sucedió, y sobre qué información adicional se necesitaría para evaluar el caso de manera más profunda.

### Demanda por agujero busca millones

El estado de Maryland y la Redland Genstar Inc. están siendo demandados por 13.5 millones de dólares por la viuda de un hombre se accidentó y murió cuando su miniván cayó en un agujero en la Ruta 31 de Maryland.

Una madrugada de marzo de 1994, Robert Knight, de 24 años, conducía por la carretera entre Westminster y New Windsor, cuando el camino se acabó. En algún momento de la noche se había desarrollado un agujero de 13.7 metros (45 pies) de ancho, y el conductor no lo vio. El nativo de Taneytown murió en un hospital ese mismo día.

Los agujeros se desarrollan por la lenta disolución del basamento de caliza, generando cuevas que se vuelven tan grandes que colapsan.

En su demanda contra el Estado y la compañía Genstar, la viuda reclama dolor emocional, sufrimiento, pérdida de compañía y de apoyo financiero para ella y sus dos hijos. En su demanda, la viuda hace referencia a una cantera de Medford situada cerca del sitio del agujero, y que pertenece a Genstar.

Según lo indicado en la demanda, Genstar no proporcionó al estado ningún reporte sobre el impacto ambiental que podría tener la actividad minera, ni sobre los peligros que podría provocar; no fue capaz de prevenir la formación de agujeros en la Ruta 31; ni avisó a la población del posible peligro. Además, la demanda alega que “la compañía Genstar extrajo mil millones de galones de agua subterránea y bajó severamente el nivel freático, llevando al desarrollo de agujeros en el área que rodea la cantera, y del agujero en la Ruta 31 en el cual Robert Knight perdió la vida”.

Un portavoz de Genstar negó la responsabilidad de la compañía por el accidente. De acuerdo con una reciente ley del estado, alrededor de las canteras se trazan unas “esferas de influencia” que señalan las áreas en las cuales la formación de agujeros y otros tipos de actividad geológica podrían atribuirse a la actividad minera. Una compañía es responsable de los daños a las propiedades que se encuentren dentro de dichas esferas, si éstos son causados por la actividad minera. Sin embargo, Genstar afirma que el área en donde se formó el agujero en la Ruta 31 se encuentra fuera de la jurisdicción de la compañía.

4. Westminster se encuentra cerca del centro del Condado de Carroll, en la porción centro-oriental de Maryland. El mapa geológico de Maryland muestra que la mayor parte del condado de Carroll está formado por rocas sedimentarias. También, el mapa de las cuevas de Estados Unidos que se encuentra más abajo señala que el oeste y el centro de Maryland se conforma por piedra caliza, por lo que la formación de agujeros es muy probable. ¿Las condiciones geológicas en esta parte del estado son apropiadas para el desarrollo de agujeros? ¿Qué otra información necesitarías para poder contestar la pregunta de manera más completa?

---

---

---

---

---

5. ¿En qué se basa la demanda de la viuda de Robert Knight? ¿Qué evidencia necesitaría la señora para probar que tiene razón?

---

---

---

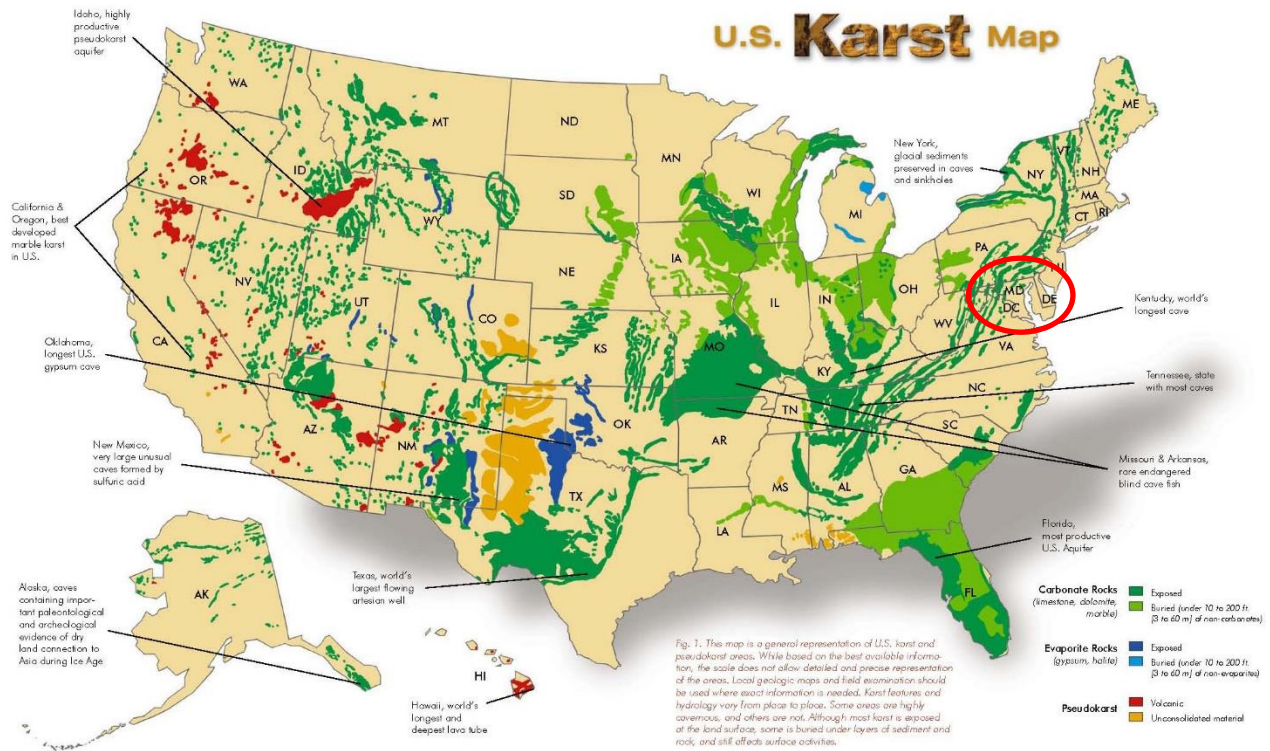


Fig. 3 Mapa de distribución de zonas kársticas en Estados Unidos.  
MD: Maryland.

## 2.2. Inestabilidad de Pendientes y Movimientos en masa.

### 2.2.1. Llevando a juicio los peligros geológicos: el movimiento en masa de La Curva Portuguesa, California

#### Un artículo en el periódico

##### **Los propietarios de viviendas presentan una demanda por negligencia**

Los propietarios de viviendas del exclusivo distrito de la Curva Portuguesa, ubicado cerca de Long Beach, en California, han presentado una demanda colectiva contra el Condado de Los Ángeles, por medio de la cual esperan obtener una remuneración por los daños que un enorme movimiento en masa ha provocado a 160 viviendas. Los propietarios sostienen que el movimiento en masa fue detonado por la construcción del Crenshaw Boulevard, la autopista del Condado que atraviesa la parte septentrional del área afectada por el movimiento en masa. Los propietarios piden también que se reconozca la negligencia de los desarrolladores que, con el apoyo del Condado, han construido la carretera en un área geológicamente inestable.



Fig. 1 Curva Portuguesa, California.

1. ¿Cuál es la esencia del artículo?

---

---

---

---

2. ¿Cuál es la base científica de la demanda de los propietarios de viviendas?

---

---

---

3. ¿Qué información se requiere para evaluar la base científica de la demanda?

---

---

---

---

## El movimiento en masa

### Uso del suelo

El uso del suelo en la península de Palos Verdes consiste principalmente en casas unifamiliares construidas en grandes lotes, muchos de los cuales tienen vistas panorámicas del océano. Los residentes tienen un estilo de vida rural; numerosas áreas en la península están dedicadas a establos y rutas de equitación. Para 1956, año del movimiento en masa de la Curva Portuguesa, se habían construido más de 100 casas en la zona afectada, la mayoría de las cuales se ubican al sur de la carretera Palos Verdes Drive. Todas las casas tenían sistemas sépticos individuales, con un tanque séptico y un área de filtración.

### Contexto geológico

La topografía de la península es sinuosa, con pendientes tanto suaves como empinadas. A lo largo de la costa hay un acantilado rocoso cuya altura varía de 30 a 60 metros sobre el nivel del mar. Antes del movimiento en masa, la topografía se caracterizaba por una serie de terrazas que se elevaban desde el mar como gigantescos escalones. En las áreas afectadas por el movimiento en masa, las terrazas han sido destruidas y el terreno aparece muy irregular y accidentado. Grandes escarpes arqueados se observan en la cabecera de las masas colapsadas. En la costa, el subsuelo está conformado por rocas volcánicas y sedimentarias, inclinadas hacia el mar con un ángulo análogo a la inclinación de la superficie. El movimiento en masa ocurrió a lo largo de la superficie basal de una unidad volcánica denominada Toba Portuguesa. Esta unidad incluye una capa de bentonitas, arcillas derivadas de la meteorización de la ceniza volcánica, que son capaces de absorber grandes cantidades de agua.

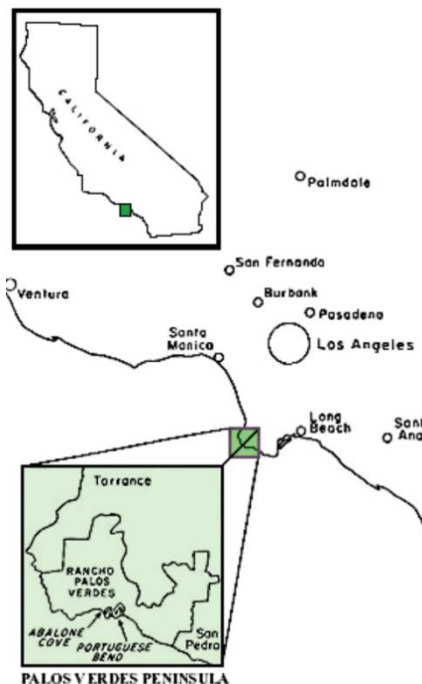


Fig. 2 Localización geográfica de La Curva Portuguesa.

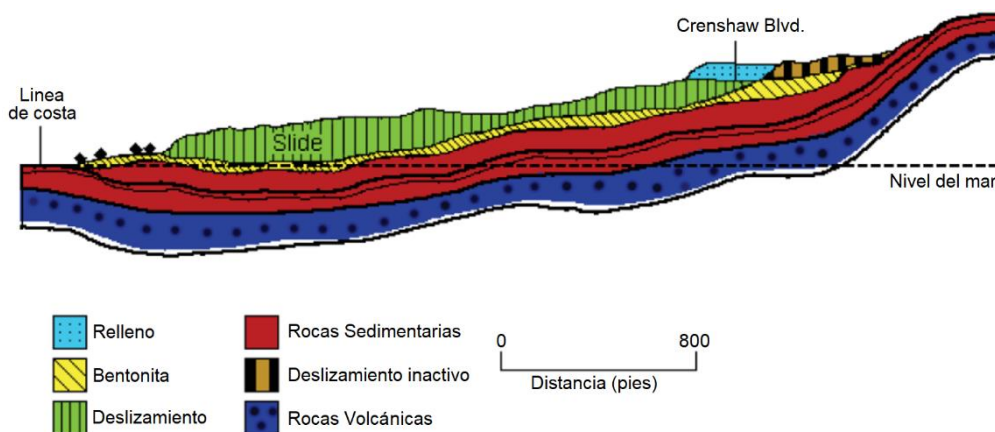


Fig. 3 Perfil geológico transversal de la península.

### El movimiento en masa

Los movimientos en masa han estado activos en la zona por miles de años, aunque los más recientes se han atribuido en parte a las acciones humanas. El movimiento en masa de la Curva Portuguesa empezó su desplazamiento moderno en agosto de 1956, cuando se observó un desplazamiento en su parte nororiental. El movimiento se extendió gradualmente pendiente abajo, de tal manera que a las seis semanas todo el borde oriental de la masa se estaba deslizando. En el verano de 1957, toda el área se estaba deslizando hacia el mar. Las tasas del deslizamiento han variado en el tiempo, desde 2-12 cm/día en los primeros dos años, a menos de 1 cm/día en los cuatro años sucesivos. La masa ha continuado su movimiento por al menos cuarenta años, tanto que el desplazamiento acumulativo en algunas áreas excede los 30 metros.

4. ¿Por cuáles características naturales la zona está propensa a sufrir movimientos en masa?

---

---

---

---

---

---

5. ¿Qué tipo de movimiento en masa específico es probable que ocurra en este contexto geológico?

---

---

---

---

6. ¿Es posible que el movimiento en masa de la Curva Portuguesa de 1956 haya sido detonado únicamente por causas naturales?

---

---

---

7. ¿Cuáles acciones humanas podrían haber contribuido o disparado dicho movimiento en masa?

---

---

---

---

---

### **Daños, demanda y mitigación**

#### ***Efectos del movimiento en masa en las estructuras***

Los efectos del deslizamiento han sido progresivos, pues primero causaron daños, y luego la destrucción de viviendas y otras estructuras. Muchas carreteras en el área sufrieron flexiones y fracturaron, lo que ha requerido múltiples reparaciones. Desde 1961, más de 150 casas han sido destruidas o seriamente damnificadas por el movimiento en masa. Desde entonces, muchas otras casas se han visto variablemente afectadas, y la carretera Palos Verdes Drive ha estado en constante reparación. Todas las tuberías públicas subterráneas se han recolocado arriba de la superficie, como tuberías de acero con conexiones flexibles.

#### ***Albers contra el Condado de Los Ángeles***

En 1961, los propietarios de las viviendas demandaron el Condado de Los Ángeles con el fin de obtener una remuneración por sus pérdidas (~10 millones de dólares de ese tiempo). La corte resolvió el caso en favor de los propietarios, declarando el Condado responsable de haber construido el Crenshaw Boulevard, y por ende de haber agregado peso, en forma de relleno artificial, a la parte superior de la masa afectada. Aunque no se pudo establecer propiamente la negligencia, el Condado fue declarado responsable de los daños a propiedades.

Los argumentos que los expertos expusieron a favor del Condado fueron ignorados en la sentencia. Éstos incluían: 1) la cantidad de relleno artificial usado para construir el Crenshaw Boulevard sólo representaba el 0.5% en peso de toda la masa involucrada en el movimiento; 2) el agua descargada por los sistemas sépticos y los sistemas de irrigación de céspedes pudieron haber provocado un aumento del nivel del agua subterránea bajo el área afectada por el movimiento en masa; 3) las sustancias químicas presentes en el agua descargada por los sistemas sépticos podrían haber disminuido la resistencia de las bentonitas saturadas.

#### ***Acciones correctivas***

Un primer intento de obstaculizar el movimiento en masa se realizó en 1957, con la instalación de tubos verticales de concreto de 1.2 metros de diámetro y 6 metros de largo colocados en la roca subyacente (incrustados a 3 metros de profundidad). Inicialmente los tubos redujeron el movimiento del 50%; sin embargo, después de cinco meses, éstos

colapsaron y el movimiento se aceleró. Posteriormente, se implementó un proyecto de estabilización en tres etapas: la primera etapa (mitad de los años '80) involucró la instalación de ocho pozos de drenaje en la masa afectada por el movimiento; la segunda etapa, terminada al final de los años '80, incluyó la reubicación de carreteras, mejoras en el sistema de drenaje superficial, la reducción de la pendiente de la masa afectada por el movimiento, y la adición de otros cinco pozos de drenaje; en la tercera etapa (inicio de los años '90), se colocaron revestimientos en la base del acantilado rocoso para protegerlo de la acción erosiva de las olas. Tras la finalización de la tercera etapa, gran parte del área logró estabilizarse.

8. ¿Qué información se necesitaría para evaluar el efecto de la descarga de los sistemas sépticos y de irrigación en el nivel del agua subterránea?

---

---

---

9. ¿Qué aspecto de la construcción del Crenshaw Boulevard pudo haber detonado el movimiento en masa?

---

---

---

---

10. ¿Qué sugieren las medidas de estabilización implementadas sobre la(s) causa(s) del movimiento en masa?

---

---

---

---



### 2.2.2. Movimientos en masa y sociedad. Ejemplos de Perú e Italia.

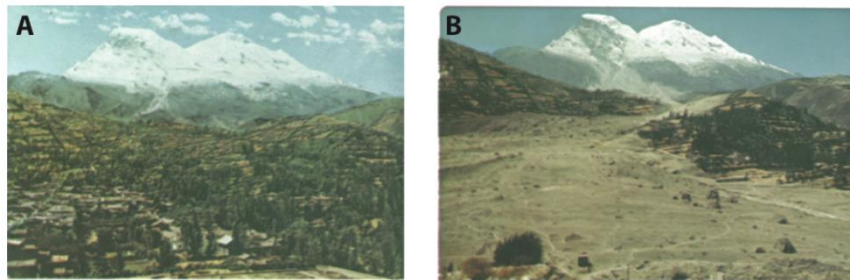


Fig. 1 Se observa la ciudad de Yungay en Perú y sus alrededores antes A) y después B) del flujo de escombros en 1970. Al fondo de ambas imágenes se aprecia el Nevado de Huascarán

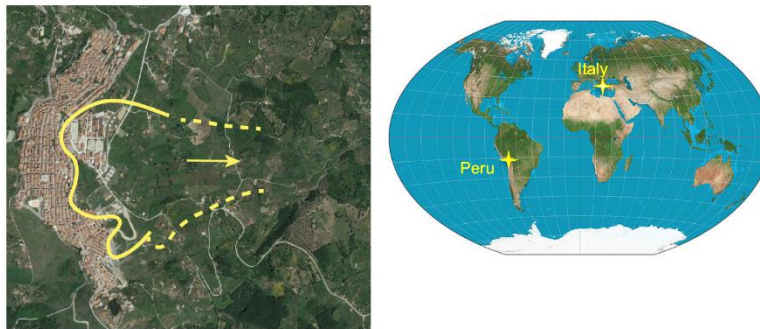


Fig. 2 Área aproximada del movimiento en masa de San Fratello, Italia, en el 2010.

#### Caso 1: Nevado Huascarán, Perú, 31 de mayo de 1970

##### Resumen y ubicación del evento

El Nevado Huascarán es el pico más alto de Perú y el segundo más alto de los Andes (Fig. 3). En dicha estructura, caídas de rocas y hielo han ocurrido a lo largo de la historia, y probablemente continuarán ocurriendo, en relación con el constante derretimiento de los glaciares y la sismicidad activa. El 31 de mayo de 1970, en coincidencia con un sismo de magnitud 7.9, una caída de rocas y hielo desde la cara oeste del pico norte (una granodiorita muy fracturada) se convirtió en un flujo de escombros de alta velocidad, que enterró las ciudades del valle del río Santa en su camino hacia el Océano Pacífico, a ~150 km de distancia. A los 3-4 minutos del inicio del evento, las ciudades de Yungay, Ranrihirca y Matacoto habían sido enterradas, y 6,000-20,000 residentes habían muerto. El evento de 1970 no fue el primero en la historia reciente: 8 años antes, un evento similar, aunque más pequeño, enterró parte de Ranrihirca. En 1970, en la tarde del domingo 31 de mayo, muchos de los residentes estaban ocupados en el mercado o viendo un partido de fútbol en la televisión. Cuando el sismo comenzó a las 15:23, los temblores dificultaron el desplazamiento de las personas al moverse el suelo, y muchas estructuras de adobe colapsaron. El temblor se detuvo después de 45 segundos, y en ese momento se escuchó un ruido aterrador, y se vio una nube de polvo que se levantaba desde la base del Huascarán. Algunos dicen que vieron el flujo de escombros que se desplazaba a gran velocidad como una ola sobre una pequeña cresta en el lado oeste de la ciudad. La gente en Yungay corrió hacia la Colina del Cementerio, un terreno elevado dominado por una gran estatua de Jesús con los brazos extendidos (Fig. 4); muchos sintieron una fuerte ráfaga de viento justo antes de la llegada del flujo de escombros; algunos cuentan que el viento era tan fuerte que despojó a los árboles de las hojas; se relata que 90 personas lograron llegar a la cima de la colina en los 3 minutos que pasaron desde que cesaron los temblores más fuertes, hasta que el flujo de escombros enterró la ciudad.





Fig. 3 Nevado de Huascarán. La flecha indica hacia la zona del desprendimiento de hielo y rocas que dieron origen al flujo de escombros.



Fig. 4 A) Colina del Cementerio; B) Restos de una vieja iglesia de Yungay.

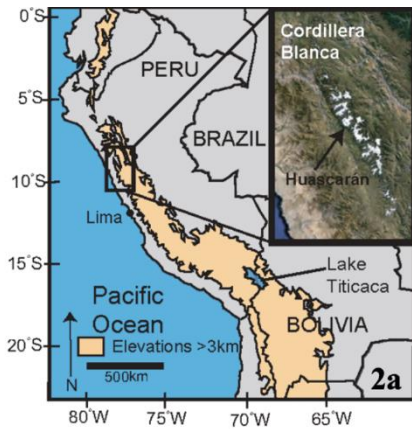


Fig. 5 Ubicación geográfica de la Cordillera Blanca

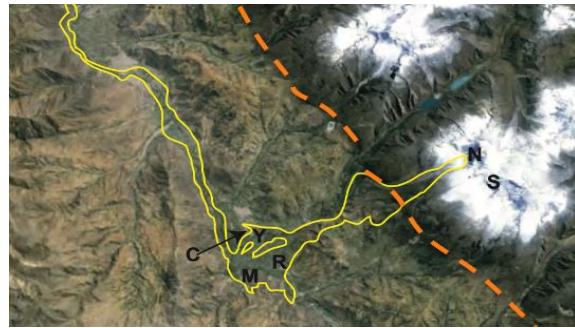


Fig. 6 El evento que dio lugar al flujo de escombros en el Nevado de Huascarán (ruta en amarillo) se relaciona más estrechamente con la sismicidad producto de la subducción a lo largo de la costa. Pocos eventos se han asociado a la Falla Cordillera Blanca (línea naranja).

**Contexto geológico, hidrológico y geomórfico**

En este paisaje glaciar, sísmicamente activo y de alto relieve, los movimientos en masa catastróficos son bastante comunes. El Valle del Callejón de Huaylas está cubierto por antiguas morrenas y depósitos de flujos de escombros, que han quedado expuestos por la acción erosiva del río Santa. El análisis de dichos depósitos, que se generaron en el área en los últimos ~2 millones de años, ha proporcionado evidencias de que en pasado ocurrieron eventos similares en estilo y escala al evento de 1970. Las precipitaciones estacionales, el rápido derretimiento de los glaciares y los eventos de precipitación intensa aumentan la amenaza de colapso de taludes. La tectónica también juega un papel importante: el detonador del evento de 1970 fue un sismo de magnitud 7.9 producido por la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. La falla de la Cordillera Blanca, ubicada a 5 km de distancia desde la cima del Nevado Huascarán, representa otra amenaza sísmica para la región; aunque a lo largo de esta estructura se ha registrado poca sismicidad histórica, se han identificado desplazamientos en morrenas de hace 16,000 años, lo que indica que la falla ha estado activa en el pasado geológico reciente.



Fig. 8 Depósito de Flujo de escombros.

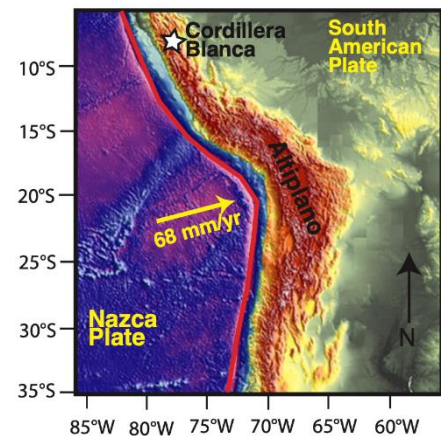


Fig. 7 Mapa fisiográfico del sur de América. La línea roja indica el límite entre las placas Nazca y Sudamericana.

La tectónica también juega un papel importante: el detonador del evento de 1970 fue un sismo de magnitud 7.9 producido por la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. La falla de la Cordillera Blanca, ubicada a 5 km de distancia desde la cima del Nevado Huascarán, representa otra amenaza sísmica para la región; aunque a lo largo de esta estructura se ha registrado poca sismicidad histórica, se han identificado desplazamientos en morrenas de hace 16,000 años, lo que indica que la falla ha estado activa en el pasado geológico reciente.

### **Consecuencias sobre el paisaje y la infraestructura**

Inmediatamente después del flujo de escombros, 4 palmeras sobresalían del depósito de lodo, junto con fragmentos de la iglesia del pueblo y un bus regional. El pueblo de Yungay es ahora un sitio conmemorativo, visitado cada año por miles de peruanos y visitantes internacionales. La ciudad de Nueva Yungay se ha reubicado cerca de la vieja, pero lejos de la trayectoria de los flujos de escombros pasados.

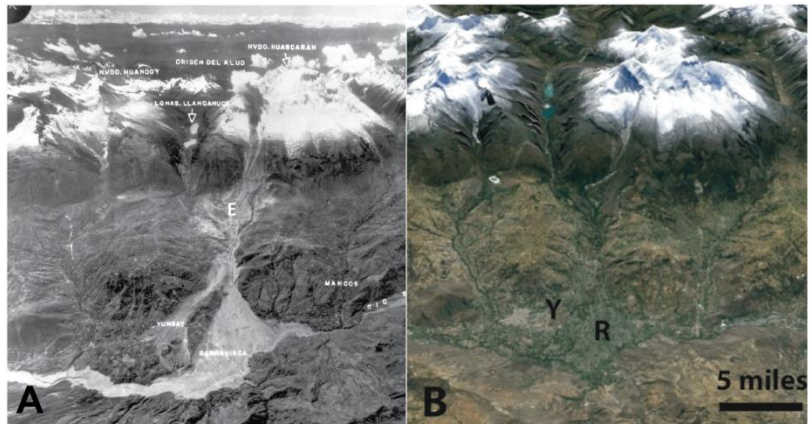


Fig. 9 A) Fotografía aérea justo después del evento; B) Imagen de Google Earth actual. Y=Yungay, R=Ranrihirca.

### **Próximos pasos: peligros y planificación futura**

Con el cambio climático que contribuye al rápido derretimiento de los glaciares y a crear patrones de precipitación más variables, en el futuro se espera un riesgo elevado de flujos de escombros para esta zona de alto relieve y sísmicamente activa. Además del riesgo de avalanchas de rocas similares a la del 1970, se han generado también flujos de escombros por el desbordamiento de lagos delimitados por morrenas. Los paisajes glaciares a menudo están llenos de sedimento suelto, y tienen lagos que se forman aguas arriba de las morrenas terminales. Si un bloque de rocas o hielo, una masa de sedimento o simplemente una gran cantidad de agua caen en uno de estos lagos, el nivel del agua sube rápidamente, y ésta puede desbordarse, creando una inundación y un posterior flujo de escombros río abajo. En la región se han documentado muchos de estos eventos. Después del evento de 1970, se han estudiado avalanchas históricas producidas en los altos picos de la Cordillera Blanca, para comprender sus causas, planear estrategias para prevenir ulteriores pérdidas de vida, y establecer planes de evacuación en caso de futuros movimientos en masa. Además, se han descrito y monitoreado los ~380 lagos de la región, dando prioridad a los que se encuentran aguas arriba respecto a zonas pobladas, cerca de glaciares en derretimiento, o en terrenos más empinados. En algunos casos, se ha bajado el nivel de agua de los lagos como medida preventiva. Uno de los lagos monitoreados, el Palcacocha, se encuentra aguas arriba respecto a la ciudad de Huaraz, la más grande de la Cordillera Blanca, con una población de ~101,000 habitantes. Esta región tiene una gran población que vive tanto en entornos urbanos como en la agricultura y la cría de ganado. Además, la industria del turismo es de gran importancia económica, ya que la zona es un destino de escalada de clase mundial, y alberga uno de los parques nacionales más visitados de Perú (Parque Nacional Huascarán).



## Caso 2: San Fratello, Italia, 13-15 de febrero de 2010

### Resumen y ubicación del evento

San Fratello es un pueblo de 4,500 habitantes que pertenece a la provincia de Messina, en Sicilia (Italia). Ubicado en la parte noroccidental de los montes Nebrodi, San Fratello se encuentra en una colina empinada, entre los valles de los ríos Furiano e Inganno. El 13 de febrero de 2010, después de un invierno particularmente lluvioso, y después de varios días de lluvia persistente, el suelo empezó a moverse en un área de 2 km de ancho al este de la ciudad, y continuó moviéndose durante 2 días. El alcalde informó que “la ciudad se estaba desapareciendo delante de sus ojos”. El deslizamiento afectó aproximadamente 250 acres. El 90% del terreno afectado estaba afuera de la ciudad de San Fratello, mientras que el 10% correspondía a un área poblada que incluía los barrios de San Benedetto, Riana, Porcaro y Stazzone. Cuando inició el movimiento en masa, se evacuaron alrededor de 2,000 personas. Aunque no hubo víctimas mortales, docenas de edificios históricos y modernos fueron destruidos, y otros 300 edificios sufrieron daños. El deslizamiento afectó también las áreas agrícolas en las afueras de la ciudad; y gran parte de los sistemas de distribución de agua, drenaje y alcantarillados fueron destruidos. A pesar de todos los daños que sufrieron las propiedades e infraestructuras, los habitantes de San Fratello no quisieron renunciar a la celebración judía que se celebra cada año en marzo, antes de la Pascua. Antes del evento de 2010, otros deslizamientos afectaron el área de San Fratello: uno ocurrió en 1754 (daños en la parte noreste de la ciudad); uno en 1922 (destrucción total de la parte occidental de la ciudad); y otro en 2000 (daños considerables a la infraestructura de la ciudad).



Fig. 10 Localización geográfica de San Fratello, Italia.

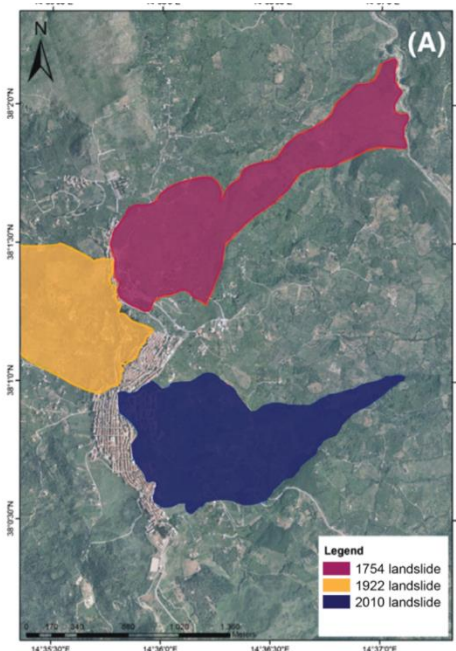


Fig. 11 Antiguos deslizamientos.



Fig. 12 Daño a la infraestructura resultado del deslizamiento en 2010.

### Contexto geológico, hidrológico y geomórfico

Las costas de Sicilia por lo general son empinadas, y diseccionadas por valles fluviales. San Fratello está ubicado en una colina cuyas laderas tienen una inclinación de 30°. El basamento de la ciudad está conformado por tres formaciones geológicas: el Complejo Monte Soro, de edad Cretácica (cuarzoarenitas y arcillas); arcillas escamosas del Cretácico (arcillas intercaladas con bandas de caliza); y complejo Frazzano del Eoceno (areniscas y arcillas con intercalaciones de conglomerados, areniscas y gneis). Estas rocas están cubiertas por depósitos delgados (menos de 10 m) de arcillas no consolidadas. El deslizamiento del 2010 afectó esta capa superficial. Los estudios indican que el evento gravitacional de 2010 involucró diferentes tipos de movimientos a diferentes profundidades. Por ejemplo, el barrio de San Benedetto fue afectado por un deslizamiento rotacional a lo largo de una superficie curva ubicada aproximadamente 11 m por debajo de la superficie. En cambio, el barrio de Stazzone fue afectado por un deslizamiento a lo largo de una superficie plana que se encontraba a una profundidad de 9 m. En la zona de Riana no se logró identificar la superficie de deslizamiento. Las aguas superficiales y subterráneas jugaron un papel importante en la generación del evento de 2010. Entre octubre 2009 y enero 2010 cayeron aproximadamente 90 cm de lluvia; y en los 8 días previos al inicio del deslizamiento, San Fratello recibió aproximadamente 10 cm de lluvia. Al medir el nivel del agua subterránea, se notó que éste se encontraba exactamente a la misma profundidad que las superficies de deslizamiento.

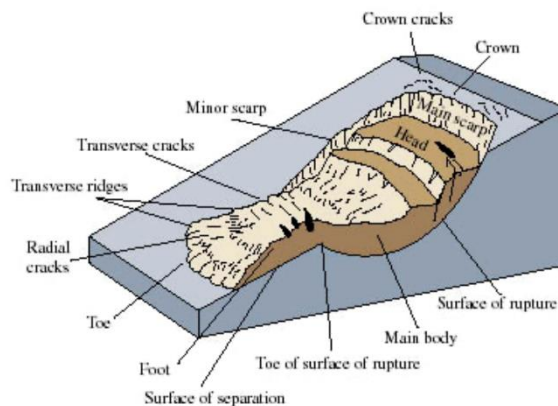


Fig. 13 Diagrama ilustrativo de las principales partes de un deslizamiento.

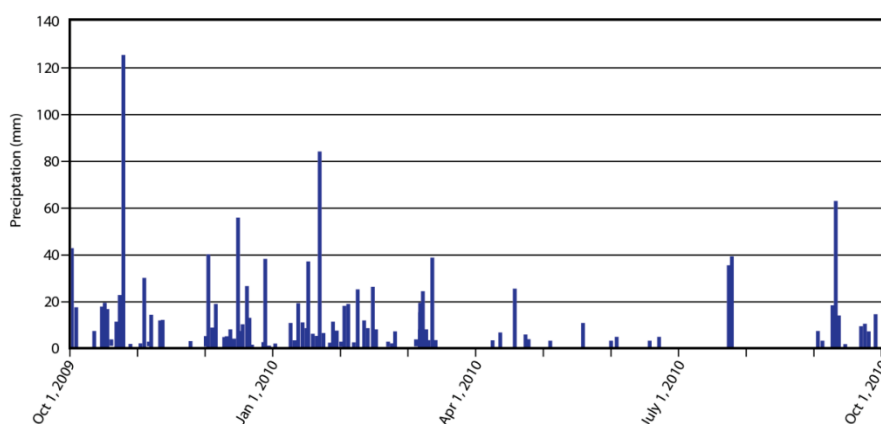


Fig. 14 En la gráfica se muestran los datos de precipitación (in mm) registrados en el área de San Fratello entre octubre del 2009 y octubre del 2010.

### Consecuencias sobre el paisaje y la infraestructura

Tras el evento del 2010, en el área de San Fratello surgieron una variedad de características superficiales, como grietas y fracturas. A 400 metros del centro de la ciudad se formaron escarpes de 5-10 m. La modificación de la superficie terrestre generó rápidos cambios en los patrones de drenaje, y llevó a la formación de pequeños lagos. En la porción inferior del deslizamiento, se generó un flujo de tierra que entró en un afluente del río Inganno. Los daños a la infraestructura fueron extensos. Se dañaron las tuberías del agua y el sistema de alcantarillado; escuelas, iglesias, y casas fueron damnificadas, y en algunos casos completamente destruidas.

**Próximos pasos: peligros y planificación futura**

Una parte importante de la planificación ante futuros deslizamientos involucra la comprensión de las causas y del alcance geográfico de los deslizamientos que han afectado la zona en el pasado. Al mapear un deslizamiento, los científicos pueden identificar las áreas de bajo, intermedio y alto riesgo, y tomar decisiones sobre el futuro uso de la tierra y las medidas a implementar para reducir las pérdidas de vidas y propiedades. El mapeo de deslizamientos en el

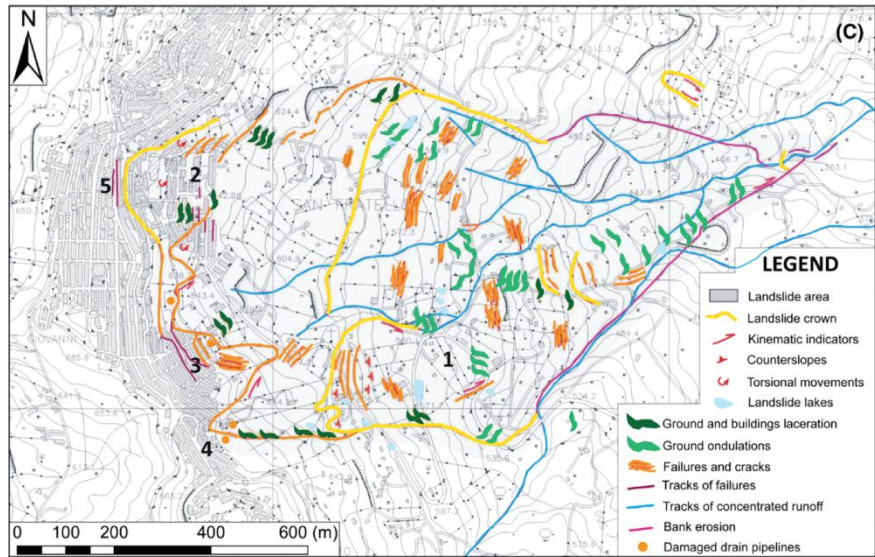


Fig. 15 Mapa del deslizamiento, 2010. Distritos: (1) Porcaro, (2) Stazzone, (3) Riana, (4) San Benedetto.

El mapeo de deslizamientos en el área de San Fratello es un gran reto, pues los eventos más antiguos han sido obliterados por los más jóvenes; además, el suelo se encuentra parcialmente cubierto por la vegetación, parcialmente erosionado, y ha sido modificado por las actividades humanas (construcción, agricultura...). Después del movimiento en masa del 2010, se han implementado medidas para la estabilización del suelo y la mitigación del peligro. En la zona del deslizamiento y en sus alrededores, se han instalado desagües de concreto para coleccionar el agua superficial, tubos de drenaje adyacentes para transportar el agua, y tubos perforados para eliminar el agua del subsuelo. En 2012, se instalaron GPS en edificios y pozos de drenaje ubicados en el área del deslizamiento, para monitorear el movimiento del terreno. Asimismo, con la técnica InSAR se midió el desplazamiento que sufrió el suelo entre 2010 y 2013, lo que dio a conocer que el mayor desplazamiento se produjo en los barrios de San Benedetto y Porcaro (2,294 mm y 2,178 mm), mientras que los barrios de Stazzone y Riana experimentaron un desplazamiento de 604 mm y 545 mm, en la Fig. 15 se puede observar la localización de cada lugar.

**Análisis de los dos casos**

1. El Nevado Huascarán tiene una composición esencialmente granodiorítica. Tomando en cuenta el contexto tectónico del área, ¿cómo crees que podría haberse formado dicha estructura?

---

---

---

---

---

---

---

2. ¿Esperarías que la sismicidad sea un factor de riesgo en la generación de movimientos en masa en el Nevado Huascarán y/o San Fratello? ¿Por qué, o por qué no? Si es así, ¿por cuál de las dos áreas estarías más preocupado por los riesgos sísmicos? ¿Por qué?

---

---

---

---

---

---

---



9. Describe brevemente las diferencias geológicas y climatológicas entre los sitios del Nevado Huascarán y San Fratello. En ambos casos, ¿cómo han contribuido la geología y el clima al desarrollo del movimiento en masa?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

10. Compara y contrasta cómo la infraestructura y la vida humana se han visto afectadas por los movimientos en masa en las dos áreas de estudio.

---

---

---

---

---

---

---

---

11. Proporciona algunas ideas sobre los efectos que el cambio climático podrá tener en la ocurrencia de movimientos en masa.

---

---

---

---

---

---

---

---

12. ¿Los eventos examinados te han enseñado algo que te haya sorprendido particularmente?

---

---

---

---

---

---

---

---

13. ¿Qué más podrías investigar sobre los sitios examinados para ayudar a la comunidad a tomar decisiones de planificación?

---

---

---

---

---

---

---

---







3. El Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los Estados Unidos ha desarrollado un método para determinar el volumen del agua de escorrentía en diferentes tipos de suelos. Usando dicho método (adjunto al final de la sección de remediación), calcula cuántos pies<sup>3</sup> de agua debería retener un estanque ubicado en la esquina noreste de la granja, para poder atrapar toda la escorrentía asociada a una tormenta de 1 pulgada. Usa 4 decimales.

---

---

---

---

---

---

***Si lo construyes, vendrán***

Jimmy heredó la vieja granja en 2006. Al igual que muchos hijos que crecieron en áreas rurales y luego se graduaron de la universidad, Jimmy consideró que tenía que vivir en un área metropolitana para poderse desarrollar en el trabajo. Jimmy y su esposa ahora vivían en Atlanta y no necesitaban su antiguo hogar. Decidieron que lo mejor para ellos era vender la propiedad. ¿Quién crees que compraría un lugar así? ¡Un desarrollador residencial! “Mamá estaría orgullosa de que la antigua granja de su padre ayudaría a pagar los estudios universitarios de nuestros hijos” dijo Jimmy a un vecino.

El desarrollador planeó la construcción de 128 viviendas unifamiliares en lotes de 1/8 acres con pequeñas áreas comunes, que conformarían un complejo residencial denominado Legacy Cove.

4. Después de completar Legacy Cove, ¿en qué diferirá el paisaje respecto al de la granja original? ¿Cómo se verá afectado el número de curva por la construcción del desarrollo residencial?

---

---

---

5. Calcula el volumen de escorrentía asociada a una tormenta de 1 pulgada, una vez que se subdivide el terreno en lotes con casas, calles y céspedes. ¿Este valor es mayor o menor respecto al volumen de escorrentía que has calculado previamente para la granja? ¿Cuáles podrían ser algunas consecuencias de este cambio?

---

---

---

---

---

---

6. ¿Cuál podría ser una forma práctica de mitigar el cambio en la escorrentía relacionado con la construcción de Legacy Cove?

---

---

---

***Legacy Cove***

El proyecto de Legacy Cove comenzó a principios de 2007. ¿Cómo se hace una subdivisión de una vieja granja de 30 acres? Se despejan por completo los 30 acres y se remueve toda la vegetación. Los árboles más grandes fueron cortados y vendidos como madera, mientras que los pinos y arbustos más pequeños fueron quemados, cambiando completamente el paisaje, tal y como se observa en la Fig. 3. “Cuando hayamos terminado, se verá bien”, dijo Alvin, el operador de la excavadora, a un vecino preocupado.

No había lugar en Legacy Cove para la casa que Jake había construido con el material de la antigua escuela. El desarrollador entregó la casa a los bomberos locales, para que la quemaran y la usaran para un entrenamiento de rescate en incendios. El lugar en donde la familia de Jimmy había pasado alegres vacaciones se vino para abajo rápidamente. Nadie de la familia estaba allí; sólo los vecinos decepcionados.



Fig. 3 Trabajos de deforestación y quema de vegetación para el Proyecto de Legacy Cove.

A finales de 2007, los 30 acres yacían completamente despejados a un costado de la cresta. La tierra roja y marrón se había hábilmente dividido en parcelas en las que se construirían las nuevas casas y caminos. Como se aprecia en la imagen de Google Earth, Fig.4, el área que una vez se veía muy verde se había vuelto totalmente árida.

Después de que el terreno fue despejado a finales de 2007, el desarrollador nunca regresó. La granja con su suelo, así como los ecosistemas de la foresta y del campo, habían sido destruidos, y luego fueron abandonados. No se construirían casas, ni caminos, ni céspedes. Cuando le quedó claro que el desarrollador no le pagaría, Alvin retiró su equipo.

Como requerimiento de las prácticas de construcción, Alvin había construido una cuenca de retención en la esquina noreste del desarrollo, para captar el agua de escorrentía de los futuros céspedes, techos y caminos pavimentados (esa era la ubicación del hipotético estanque mencionado en la pregunta 3 de la parte “La vieja granja de Leala”). En la cuenca de retención, Alvin había construido un sistema de drenaje mediante el cual el agua de tormenta podría abandonar gradualmente el estanque (era importante no sobrellenar el arroyo natural en el cual la escorrentía de la granja solía descargarse).



Fig. 4 Imágenes de Google Earth en las que se aprecian los 30 acres despejados.

7. ¿Qué crees que pasará con los 30 acres de tierra despejada y abandonada?

---



---



---



---

8. ¿Crees que el volumen de escorrentía asociada a una tormenta de 1 pulgada en la tierra despejada será mayor o menor respecto a la escorrentía prevista en el desarrollo residencial? Cálculalo y averígualo.

---



---



---



---

### **El legado de Legacy Cove**

Durante 2008 y gran parte de 2009, el terreno abandonado sufrió una severa erosión. Se perdió mucho suelo. Se desarrollaron surcos profundos en las laderas más empinadas, donde se habían planeado los caminos. La cuenca de retención de tormentas se llenó de sedimento, y el sistema de tuberías se obstruyó y dejó de funcionar. Sin ninguna posibilidad de descarga, tan sólo 1 pulgada de lluvia podría causar una escorrentía severa y llenar la cuenca de retención hasta su capacidad máxima, como se ve en la Fig 5.

Y luego llegó la noche del 20 de septiembre de 2009. Un evento extraordinario de lluvia afectó el noroeste de Georgia. Cayeron más de 9.1 pulgadas de lluvia. El Servicio Geológico de los Estados Unidos calificó el evento como una inundación de proporciones “épicas”.

Un vecino de 88 años dijo: “No sé si fue la inundación de 100 años, pero sé que al menos fue la inundación de 88 años. Nunca he visto algo así en mi vida”. Las 9.1 pulgadas de lluvia que se acumularon en la tierra desnuda de Legacy Cove arrastraron la cuenca de retención y comprometieron la vía del ferrocarril adyacente. Incluso la autopista se inundó y tuvo que permanecer cerrada durante horas. Afortunadamente, nadie salió herido.



*Fig. 5 Condiciones del sitio, consecuencia del abandono del Proyecto de Legacy Cove.*

9. Calcula el volumen de escorrentía asociada a las 9.1 pulgadas de lluvia sobre la tierra desnuda.

---

---

---

---

---

---

---

### **La estabilización**

A finales de 2010, el banco que había financiado el proyecto del desarrollador tomó posesión de la propiedad. La erosión y la sedimentación descontrolada se convirtieron en responsabilidad del banco. La División de Protección Ambiental de Georgia había emprendido acciones legales contra el desarrollador por no mantener la cuenca de retención de agua, y por no tomar medidas para el control de la erosión. En 2011, la División de Protección Ambiental de Georgia requirió que el nuevo propietario, el banco, tomara medidas inmediatas para estabilizar el sitio. El banco contrató una consultora de ingeniería ambiental para que estabilizara rápidamente el sitio, de manera que éste pudiera satisfacer los requisitos de la División de Protección Ambiental, y ser puesto nuevamente a la venta.

10. Con base en lo que has aprendido sobre la relación entre el tipo de terreno y la escorrentía, ¿qué acciones recomendarías al banco, como consultor de ingeniería ambiental, para estabilizar el sitio de la mejor manera posible?

---

---

---

---

---

---

---

**La remediación**

Se entiende como remediación a la recuperación de un área, restaurando su ecosistema y cumpliendo con las normativas ambientales. Para reducir la erosión y evitar la sedimentación aguas abajo, la División de Protección Ambiental de Georgia requirió que se volviera a construir la cuenca de retención de agua, y se reparara la tubería de drenaje. Todos los sedimentos en la cuenca tuvieron que ser removidos y las tuberías de drenaje tuvieron que ser limpiadas. La cuenca fue completamente reconstruida durante el 2011. Las laderas más empinadas del terreno fueron cubiertas con tapetes de paja trenzada para frenar la erosión, y luego se sembraron con una mezcla de pasto. Los patrones del drenaje en las pendientes más pronunciadas se cubrieron con guijarros para disminuir la velocidad de la escorrentía. Además, todo el sitio de 30 acres se sembró con la mezcla de pasto. En la primavera de 2012, la estrategia parecía estar funcionando bien. Algunas áreas del suelo estaban empezando a recuperarse de manera natural a través de la sucesión ecológica. Plantas y arbustos comenzaron a crecer junto con el pasto sembrado.

11. ¿Cómo ha cambiado el número de curva después de la remediación?

---

---

---

---

## Método para calcular la escorrentía de tormenta de una superficie

El Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los Estados Unidos ha desarrollado un método para determinar el volumen de la escorrentía de tormenta en diferentes tipos de superficies.

Se han definido números de curva (CN) para diferentes tipos de suelos:  $CN = 1000 / (S + 10)$ , donde S es el potencial de retención máxima del suelo. El CN depende de la capacidad que tiene un suelo para infiltrar y retener agua: un suelo completamente impermeable tiene un CN máximo de 100 ( $S = 0$ ), mientras que un suelo en el cual se puede infiltrar cierta cantidad de agua tiene un CN inferior a 100. **Cuanto menor sea el CN de un suelo, mayor será su capacidad de retener agua, y menor será el volumen de la escorrentía asociada a un evento de tormenta.**

### Números de curva (CN) para los diferentes grupos de suelos destinados a diferentes usos

Uso de suelo	% de superficie impermeable	Suelo del grupo A	Suelo del grupo B	Suelo del grupo C	Suelo del grupo D
Cultivado con labranza tradicional		72	81	88	91
Madera (suelo cubierto de residuos)		25	55	70	77
Pradera (pasto protegido del pastoreo)		30	58	71	78
Desarrollo residencial de 1/8 acres	65	77	85	90	92
Desarrollo residencial de 1/4 acres	38	61	75	83	87
Desarrollo residencial de 1/2 acres	25	54	70	80	85
Área recién despejada (sin vegetación)		77	86	91	94

- *Suelo del grupo A.* Suelo con altas tasas de infiltración y transmisión de agua, como arena y grava, y bajo potencial de escorrentía.
- *Suelo del grupo B.* Suelo con tasa de infiltración moderada cuando está completamente mojado. Suelo de moderadamente a bien drenado con textura fina a gruesa.
- *Suelo del grupo C.* Suelo con baja tasa de infiltración cuando está completamente mojado. Presenta una capa que impide el movimiento descendente del agua. Generalmente tiene una textura fina.
- *Suelo del grupo D.* Suelo con alto potencial de escorrentía, y tasas de infiltración muy bajas. Suelo arcilloso, o suelo poco profundo que recubre una capa impermeable.

Para determinar la escorrentía en pulgadas por acre se usa la siguiente ecuación:  $Q = (P - 0.2 \cdot S)^2 / (P + 0.8 \cdot S)$ , donde Q es la precipitación en exceso (es decir, la escorrentía); P son las pulgadas de lluvia caída; y S es el potencial de retención máxima del suelo [ $S = (1000 / CN) - 10$ ].

Para determinar la escorrentía total, se debe multiplicar el valor de Q obtenido, por el número total de acres que conforman el área de interés.

Finalmente, para conocer el volumen total de escorrentía en pies<sup>3</sup>, se deben convertir las pulgadas en pies (dado que 1 pie = 12 pulgadas, se divide por 12), y los acres en pies<sup>2</sup> (dado que 1 acre = 43,560 pies<sup>2</sup>, se multiplica por 43,560).

NOTA: 1 pie= 0.3048 m; 1 pulgada=2.54 cm; 1 acre= 4046.86 m<sup>2</sup>



## Análisis de la película

Se implementará una discusión de grupo enfocada a analizar algunos aspectos y escenas críticas de la película, con el fin de distinguir los elementos científicos realistas de los elementos de “ficción geológica”. La maestra guiará la discusión, proponiendo una serie de preguntas que orienten el análisis y estimulen el debate. Es importante que participes activamente en la discusión, expresando tus ideas con confianza, escuchando el punto de vista de los demás, y argumentando tu desacuerdo de manera respetuosa, cuando sea el caso.

1. ¿Cuáles son los fenómenos precursores que anuncian la inminencia del peligro eruptivo? ¿Dichos fenómenos son realistas?

---

---

---

2. ¿Crees que un incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub> magmático podría provocar la muerte de árboles y fauna silvestre?

---

---

---

---

---

3. ¿Crees que la temperatura de las aguas hidrotermales alimentadas por el sistema magmático podría aumentar de manera tan repentina como para quemar a los bañistas?

---

---

---

4. ¿Los lagos cercanos a los volcanes podrían volverse lo suficientemente ácidos como para representar un peligro para las personas, y disolver rápidamente barcos de aluminio?

---

---

---

---

5. ¿Crees que el suministro de agua de una ciudad podría contaminarse durante una erupción volcánica?  
*Sí, pero probablemente no tan rápido como se muestra en la película. Si el suministro de agua de una ciudad se origina directamente del sistema de agua subterránea de un volcán o de una corriente que ha sido cubierta con cenizas volcánicas, el agua podría contaminarse con gases malolientes, o con las cenizas finas. Algunos gases volcánicos como el dióxido de azufre se disuelven en el agua subterránea, acidificándola ( $SO_2 + H_2O = H_2SO_4$ ).*

6. ¿Por qué tanto el Consejo de la Ciudad como el jefe del equipo de científicos dudan en emitir una orden de evacuación justo después de detectar las primeras señales precursoras?

---

---

---

---

---

---

---

7. ¿Se usan robots para monitorear los volcanes activos del planeta?  
No. Se confía en las observaciones y mediciones realizadas por científicos expertos, y en los datos enviados por radio o retransmisión satelital desde los instrumentos de monitoreo instalados alrededor de un volcán (sismómetros, medidores de inclinación, GPS, sensores de gas y sondas de temperatura...).

8. ¿Es posible que un volcán haga erupción pocos días después de que se detecten las primeras señales de actividad?  
Sí. En 1980, una primera erupción del Monte Santa Helena (27 de marzo) fue precedida por sólo 7 días de intensa actividad sísmica; mientras que la erupción climática ocurrió siguió 7 semanas después (18 de mayo). Asimismo, la erupción del volcán Redoubt del 13 de diciembre de 1989 fue precedida por sólo 24 horas de intensa actividad sísmica.

9. ¿Cómo clasificarías el estilo eruptivo del Dante's Peak? ¿Con base en cuál información y observaciones?

---

---

---

---

---

---

---

---

10. ¿Los volcanes pueden producir grandes erupciones explosivas y flujos de lava muy fluida al mismo tiempo?

---

---

---

---

11. ¿La ceniza volcánica representa un peligro para helicópteros y aviones?

Sí. Las cenizas finas desgastan por abrasión las palas de la turbina, reduciendo gradualmente la eficiencia del motor; y dañan las ventanas y el fuselaje. La ceniza se derrite cuando se calienta dentro del motor, creando un líquido magmático que recubre las partes interiores del motor y se congela como vidrio, recubriendo los sensores de temperatura, que indican falsamente que los motores se están sobrecalentando, por lo que éstos se apagan automáticamente.

12. La camioneta del jefe del equipo de científicos es arrastrada por un río de lodo que parece generarse desde la cima del volcán. ¿Es real esta escena? ¿Qué término científico se usa para indicar este tipo de flujo?

---

---

---

---

13. En la etapa inicial de la erupción, el pueblo de Dante's Peak es sacudido por un terremoto que provoca una gran devastación. ¿Los temblores volcánicos suelen ser tan destructivos?

---

---

---

---



14. ¿Se adoptan medidas de prevención, como instalaciones de control y alerta, planes y protocolos de actuación, evacuación o emergencia, formación de los ciudadanos...?

---

---

---

---

---

---

**Reflexión final**

Considerando que el cine es una potente herramienta de comunicación y un eficaz vehículo de cultura para las masas, ¿crees que son más graves las inexactitudes conceptuales de la película, o la carencia de secuencias en las que se aborden medidas preventivas frente a la erupción? Argumenta tu respuesta.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

2.4.2. Experiencia Geológica: Vulcanología

**Un laboratorio de volcanes en Google Earth**

La forma de un volcán depende estrechamente del estilo eruptivo, el cual a su vez depende de la composición del magma y del contexto tectónico. Este laboratorio en Google Earth te dará la oportunidad de examinar varios volcanes del planeta, describir su morfología, identificar el tipo de edificio que representan; y relacionar los diferentes edificios con el contexto tectónico de formación magmática.

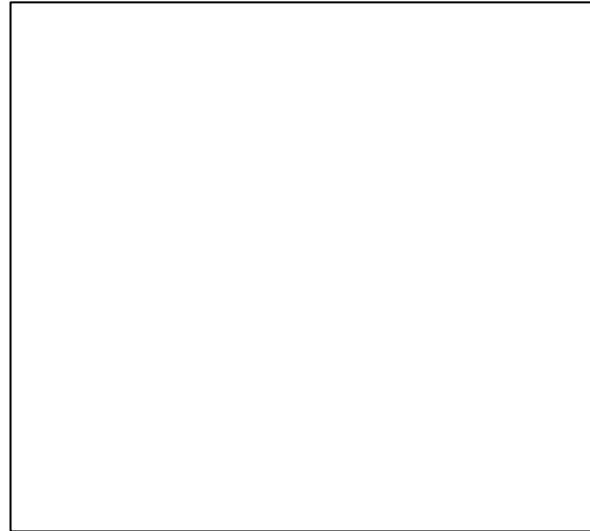
**Navega hacia el Volcán Popocatépetl, en México (coordenadas: 19.02, -98.62)**

- 1. Realiza las siguientes mediciones.  
Elevación máxima sobre el nivel del mar: \_\_\_\_\_ metros.  
Elevación basal: \_\_\_\_\_ metros.  
Relieve (elevación máxima-elevación basal): \_\_\_\_\_ metros.  
Radio de la base: \_\_\_\_\_ metros.  
Inclinación promedio  $[(\text{relieve} / \text{radio}) \cdot 100\%]$ : \_\_\_\_\_.

- 2. En el recuadro a lado, dibuja y describe la forma del Volcán Popocatépetl.
- 3. Con base en el tamaño y forma del Volcán Popocatépetl, ¿cómo clasificarías este tipo de edificio?

- 4. Basándote en tus observaciones, indica la composición del magma y el tipo de rocas o productos del volcán.

- 5. Disminuye el zoom (visión a una altura de 1,000 km) y examina la región. Describe el contexto tectónico de los volcanes del Cinturón Mexicano, soportando tu respuesta con observaciones sobre los principales rasgos tectónicos.



---

---

---

---

---

---

**Navega hacia el Monte Santa Helena, en Washington (coordenadas: 46.19, -122.18)**

1. Realiza las siguientes mediciones.  
Elevación máxima sobre el nivel del mar: \_\_\_\_\_ metros.  
Elevación basal: \_\_\_\_\_ metros.  
Relieve (elevación máxima-elevación basal): \_\_\_\_\_ metros.  
Radio de la base: \_\_\_\_\_ metros.  
Inclinación promedio  $[(\text{relieve} / \text{radio}) \cdot 100\%]$ : \_\_\_\_\_.

2. En el recuadro a lado, dibuja y describe la forma del Monte Santa Helena.
3. Con base en el tamaño y forma del Monte Santa Helena, ¿cómo clasificarías este tipo de edificio?

4. Basándote en tus observaciones, indica la composición del magma y el tipo de rocas o productos del volcán.

5. Disminuye el zoom (visión a una altura de 1,000 km) y examina la región. ¿Puedes identificar otros volcanes en las cercanías? Describe el contexto tectónico de los volcanes de las Cascadas, soportando tu respuesta con observaciones sobre los principales rasgos tectónicos.

---

---

---

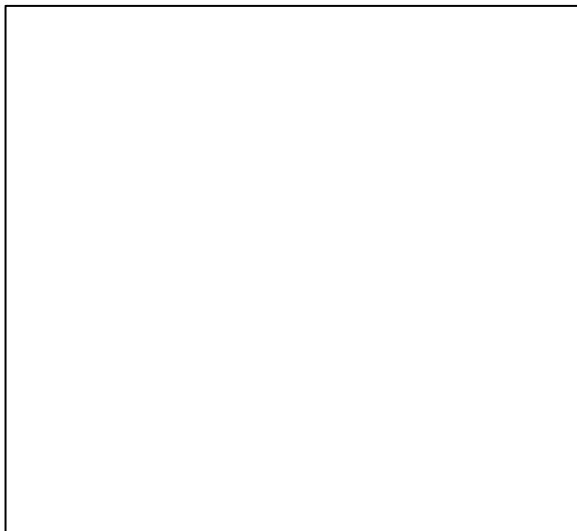
---

---

---

---

---



**Navega hacia el Mauna Loa, en Hawaii (coordenadas: 19.47, -155.59)**

1. Realiza las siguientes mediciones.  
Elevación máxima sobre el nivel del mar: \_\_\_\_\_ metros.  
Elevación basal: \_\_\_\_\_ metros.  
Relieve (elevación máxima-elevación basal): \_\_\_\_\_ metros.  
Radio de la base: \_\_\_\_\_ metros.  
Inclinación promedio  $[(\text{relieve} / \text{radio}) \cdot 100\%]$ : \_\_\_\_\_.

2. En el recuadro a lado, dibuja y describe la forma del Mauna Loa.
3. Con base en el tamaño y forma del Mauna Loa, ¿cómo clasificarías este tipo de edificio?

4. Basándote en tus observaciones, indica la composición del magma y el tipo de rocas o productos del volcán.

5. Disminuye el zoom (visión a una altura de 6,000 km) y examina la región. Describe el contexto tectónico de las islas de Hawaii, soportando tu respuesta con observaciones sobre los principales rasgos tectónicos.

---

---

---

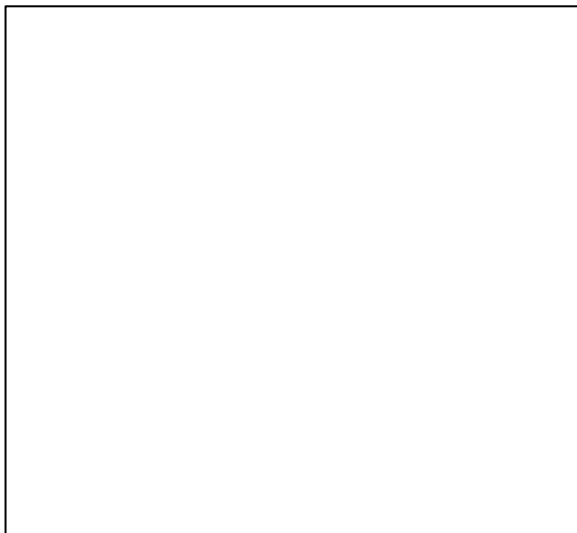
---

---

---

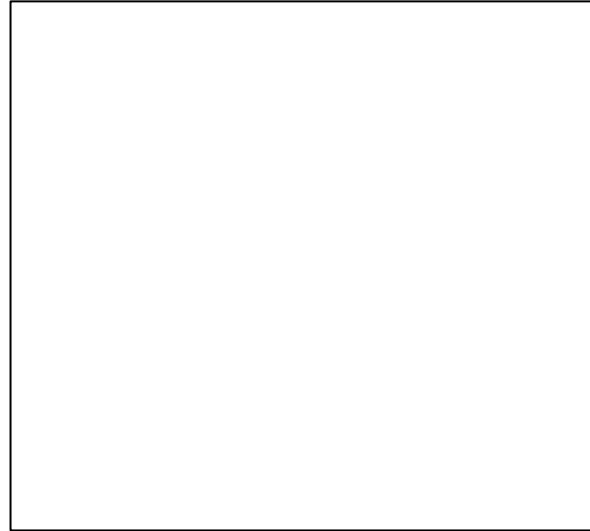
---

---



**Navega hacia el Monte Fujiyama, en Japón (coordenadas: 35.36, 138.73)**

1. Realiza las siguientes mediciones.  
Elevación máxima sobre el nivel del mar: \_\_\_\_\_ metros.  
Elevación basal: \_\_\_\_\_ metros.  
Relieve (elevación máxima-elevación basal): \_\_\_\_\_ metros.  
Radio de la base: \_\_\_\_\_ metros.  
Inclinación promedio [(relieve / radio) · 100%]: \_\_\_\_\_.
2. Dibuja y describe la forma del Monte Fujiyama.
3. Con base en el tamaño y forma del Monte Fujiyama, ¿cómo clasificarías este tipo de edificio?  
\_\_\_\_\_
4. Basándote en tus observaciones, indica la composición del magma y el tipo de rocas o productos del volcán.  
\_\_\_\_\_
5. Disminuye el zoom (visión a una altura de 4,000 km) y examina la región. Describe el contexto tectónico de los volcanes de Japón, soportando tu respuesta con observaciones sobre los principales rasgos tectónicos.



---

---

---

---

---

---

**Navega hacia el Monte Alayta, en Etiopía (coordenadas: 12.88, 40.57)**

1. Realiza las siguientes mediciones.  
Elevación máxima sobre el nivel del mar: \_\_\_\_\_ metros.  
Elevación basal: \_\_\_\_\_ metros.  
Relieve (elevación máxima-elevación basal): \_\_\_\_\_ metros.  
Radio de la base: \_\_\_\_\_ metros.  
Inclinación promedio [(relieve / radio) · 100%]: \_\_\_\_\_.
2. En el recuadro a lado, dibuja y describe la forma del Monte Alayta.
3. Con base en el tamaño y forma del Monte Alayta, ¿cómo clasificarías este tipo de edificio?  
\_\_\_\_\_
4. Basándote en tus observaciones, indica la composición del magma y el tipo de rocas o productos del volcán.  
\_\_\_\_\_
5. Disminuye el zoom (visión a una altura de 3,000 km) y examina la región. Describe el contexto tectónico de los volcanes de la zona, soportando tu respuesta con observaciones sobre los principales rasgos tectónicos.



---

---

---

---

---

---

**Navega hacia el Volcán Aniakchack, en Alaska (coordenadas: 56.90, -158.14)**

1. Realiza las siguientes mediciones.

Elevación máxima sobre el nivel del mar: \_\_\_\_\_ metros.

Elevación basal: \_\_\_\_\_ metros.

Relieve (elevación máxima-elevación basal): \_\_\_\_\_ metros.

Radio de la base: \_\_\_\_\_ metros.

Inclinación promedio [(relieve / radio) · 100%]: \_\_\_\_\_.

2. En el recuadro a lado, dibuja y describe la forma del Volcán Aniakchack.

3. Con base en el tamaño y forma del Volcán Aniakchack, ¿cómo clasificarías este tipo de edificio?

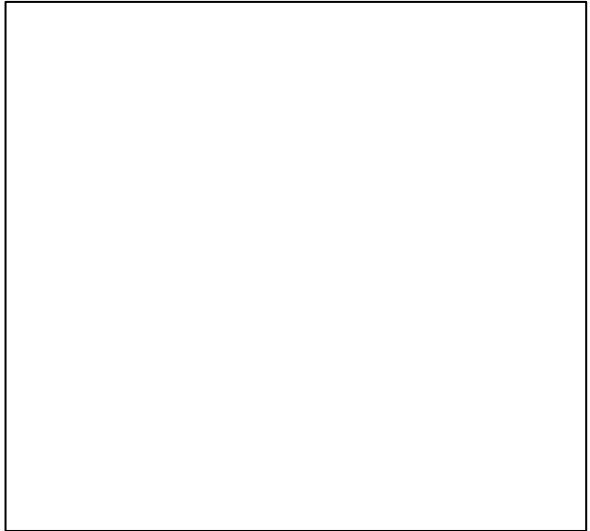
\_\_\_\_\_

4. Basándote en tus observaciones, indica la composición del magma y el tipo de rocas o productos del volcán.

\_\_\_\_\_

5. Disminuye el zoom (visión a una altura de 2,000 km) y examina la región. Describe el contexto tectónico de los volcanes de la Cordillera Aleutiana, soportando tu respuesta con observaciones sobre los principales rasgos tectónicos.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



**Usa tus observaciones e interpretaciones para completar los siguientes enunciados, y así resumir la relación que existe entre el tipo de edificio volcánico, la composición magmática y el contexto tectónico.**

1. Los volcanes escudo suelen presentar la siguiente forma, pendiente y composición:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Dichos volcanes se forman comúnmente en los siguientes contextos tectónicos:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

La forma del edificio se relaciona con la composición química y con el contexto tectónico de formación de los magmas, de esta manera:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

2. Los estratovolcanes suelen presentar la siguiente forma, pendiente y composición:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Dichos volcanes se forman comúnmente en los siguientes contextos tectónicos:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

La forma del edificio se relaciona con la composición química y con el contexto tectónico de formación de los magmas, de esta manera:

---

---

---

---

3. Las calderas suelen presentar la siguiente forma, pendiente y composición:

---

---

Dichas estructuras se forman comúnmente en los siguientes contextos tectónicos:

---

---

La forma del edificio se relaciona con la composición química y con el contexto tectónico de formación de los magmas, de esta manera:

---

---

---

---

## 2.5 Actividad Sísmica y peligros relacionados.

### 2.5.1 Experiencia Geológica: Sismología

#### Probabilidad de ocurrencia de un sismo

Usarás la historia sísmica del área de San Francisco, ubicada en California en correspondencia de la Falla de San Andrés, para determinar la probabilidad de que en dicha región ocurra un sismo de cierta magnitud, en cierto periodo.

	Área de San Francisco
Rango de latitudes	36.25-38.75 °N
Rango de longitudes	120.75-123.25 °W
Rango de fechas	01/01/1983 hasta 31/12/2012
Rangos de magnitudes	2.0-2.9, 3.0-3.9, ... hasta 9.0-9.9



En la **Columna B** de la hoja de cálculo se indica el número de sismos de cada rango de magnitud (**Columna A**) que han ocurrido en el área de estudio en el periodo considerado.

En la **Columna C**, calcula el número promedio de terremotos de cada rango de magnitud que han ocurrido en un año. Algunas celdas ya contienen la respuesta.

En la **Columna D**, calcula el **intervalo de recurrencia media (MRI)** de sismos de cada rango de magnitud. El MRI es el **tiempo promedio que pasa entre un terremoto y otro**, y corresponde al recíproco del promedio anual de sismos: **MRI = 1/número promedio de sismos**.

Dado que, en el área de San Francisco, no han ocurrido sismos de magnitud > 7 en los últimos 30 años, no se tienen datos para calcular el MRI de esos sismos. Entonces, su MRI se extrapola a partir de los datos disponibles para los terremotos de menor magnitud:

- En el diagrama, grafica el MRI de sismos de cada rango de magnitud del cual tengas datos (nota que la escala del eje y es logarítmica). Un dato ya está graficado.
- Dibuja la recta que mejor se ajuste a los datos, y extiéndela para cubrir el rango de magnitudes para las cuales no tienes datos.
- Lee los valores de MRI extrapolados para sismos con esos rangos de magnitudes, e introdúcelos en la Columna D para completarla. Uno ya se ha introducido.

En la **Columna E**, determina la **probabilidad de ocurrencia anual** de terremotos de cada rango de magnitud. La probabilidad puede expresarse como una fracción entre 0 y 1; o como porcentaje de 0 a 100%. En la hoja de trabajo registrarás ambos.

- Para sismos con **MRI ≤ 1 año**: La probabilidad de que estos terremotos ocurran en un año es de  $1/1 = 1$  o **100%**. Anota estos valores para los rangos de magnitud apropiados en la Columna E. La primera fila ya se ha recopilado.
- Para sismos con **MRI > 1 año**: La probabilidad de que estos terremotos ocurran en un año es de  $1/\text{MRI}$ ; y se multiplica por 100 para obtener el %. Completa la Columna E con este método.

Enseguida, aprenderás a calcular la **probabilidad de ocurrencia de un sismo de cierta magnitud en un tiempo más largo (por ejemplo, 30 años)**.

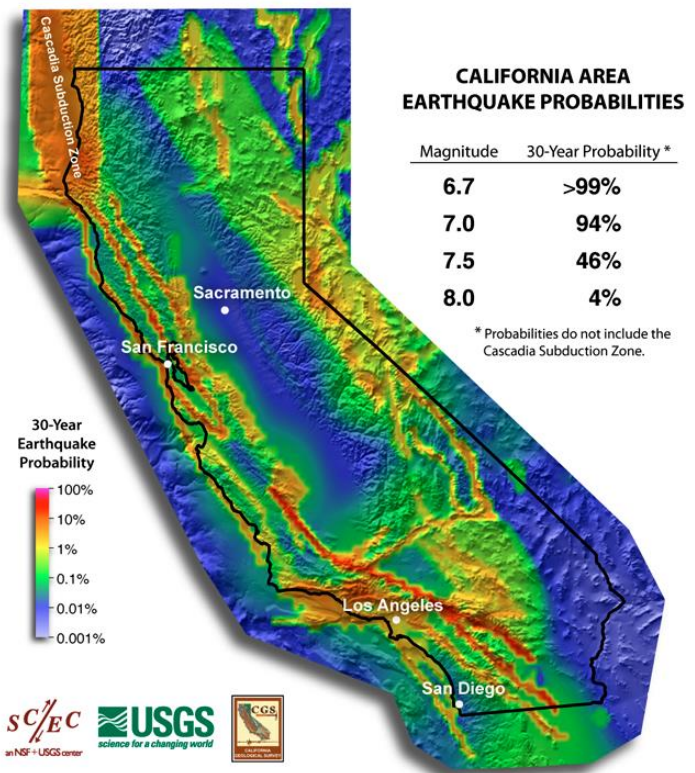
En la **Columna F**, determina la **probabilidad de que no ocurran terremotos de cada rango de magnitud en un año**. Esto es simplemente **1 menos la probabilidad de que esos eventos ocurran en un año** (Columna E). Algunos datos ya se han añadido.

Ahora, calcula la probabilidad de que un sismo de cierta magnitud (por ejemplo, 6.0-6.9) **no ocurra en 30 años**. Esto se obtiene elevando la probabilidad de no ocurrencia anual del sismo al número 30.

Probabilidad de no ocurrir en 30 años: \_\_\_\_\_

A partir de este dato, calcula la **probabilidad de ocurrencia de un sismo** de la magnitud previamente considerada (6.0-6.9) **en 30 años**. Esto es simplemente 1 menos la probabilidad de que ese evento no ocurra en 30 años.

Probabilidad de ocurrir en 30 años: \_\_\_\_\_



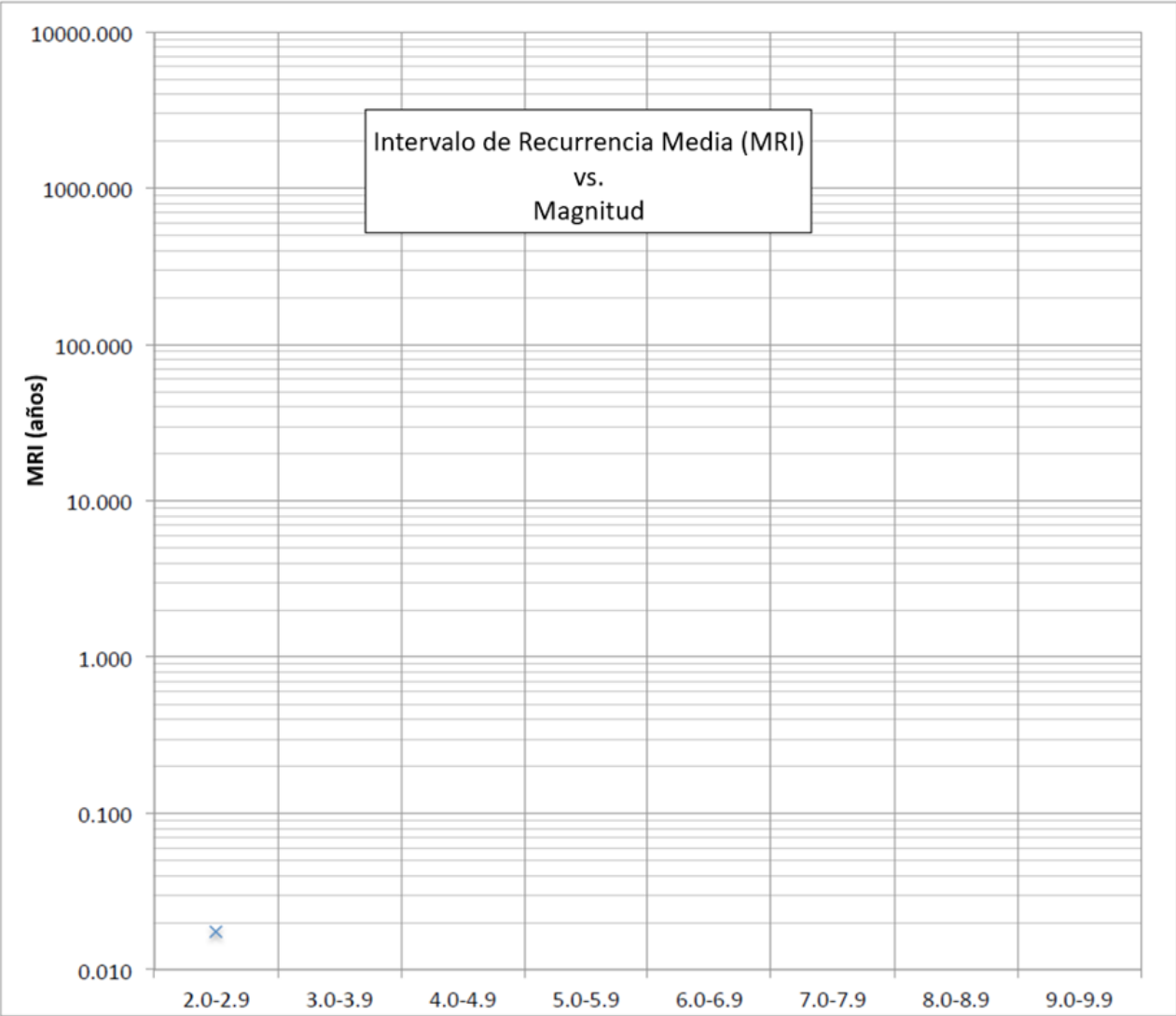
Así es como los científicos calculan las probabilidades de ocurrencia de los sismos en periodos de 2 o 3 décadas, y cuantifican el peligro.

### Probabilidades de ocurrencia sísmica en el área de San Francisco

36.25 - 38.75 N latitud /120.75 -123.25 W longitud

Rangos de magnitud	# de terremotos 1983-2012 (30 años; de la base de datos)	Promedio de terremotos por año	MRI (Intervalo de Recurrencia Media) en años	Probabilidad en un año			
				de que ocurra un terremoto		de que NO ocurra un terremoto	
				decimal	%	decimal	%
2.0-2.9	1716	57.20	0.017	1.000	100%	0	0%
3.0-3.9	1326						
4.0-4.9	161						
5.0-5.9	13						
6.0-6.9	3	0.10	10.000	0.100	10%	0.900	90%
7.0-7.9	0	0.00	50.000				
8.0-8.9	0						
9.0-9.9	0						





## Análisis y cálculo del riesgo sísmico en escuelas de San Francisco

En esta actividad se examinará la información disponible sobre siete escuelas de la ciudad de San Francisco, en California, para evaluar la probabilidad de que sufran daños relacionados con un sismo. En California, la mayoría de los edificios escolares se construyen siguiendo estándares bastante altos; sin embargo, ningún edificio es perfecto, y algunas escuelas presentan un riesgo sísmico mayor que otras.

El riesgo es la combinación de la probabilidad y las consecuencias de no controlar un peligro. Entonces, los factores que determinan el **riesgo sísmico** son:

- **Peligro:** vibraciones fuertes, licuefacción del suelo, deslizamientos.
- **Vulnerabilidad:** la probabilidad de que el edificio se derrumbe en relación con los peligros geológicos.
- **Valor:** el número de vidas potencialmente afectadas.

La ciudad de San Francisco asignará 10,000,000 US\$ para rehabilitar la escuela que presente el mayor riesgo sísmico. Su trabajo consiste en identificar dicha escuela, y posteriormente sugerir a la ciudad y al consejo escolar cómo utilizar los recursos asignados.

Se formarán 14 equipos de sismólogos, y a cada uno se asignará una escuela (una misma escuela se asignará a dos grupos, para que por cada escuela se cuente con dos distintas opiniones profesionales).

1. Examinen los mapas de las áreas escolares de San Francisco y del San Francisco Marina District, y ubiquen la escuela que se les haya asignado.
2. Determinen el **peligro sísmico** en la escuela que se les haya asignado.

- Examinen el mapa del potencial de vibraciones fuertes. El mapa muestra la aceleración máxima que el suelo experimentará con un 98% de probabilidad en un periodo de 50 años. La aceleración máxima del suelo es un indicador de la vibración más violenta que experimentará el suelo durante un sismo. Cuanto mayor es la aceleración, más fuerte será la vibración. La aceleración máxima del suelo se expresa como porcentaje de aceleración de gravedad (% g). Evalúen el peligro sísmico representado por las vibraciones fuertes. Califiquen su escuela con 1, 2 o 3, dependiendo de la aceleración que podrá sufrir el suelo sobre el cual está construida. Anoten la calificación en la **Columna A** de la hoja de cálculo del riesgo sísmico.

1. Peligro Bajo: < 30% g

2. Peligro moderado: 30-60% g

3. Peligro significativo: > 60% g

- Examinen el mapa de susceptibilidad a la licuefacción. El mapa ilustra la probabilidad de que el suelo sufra licuefacción por efecto de las vibraciones sísmicas. Los colores en el mapa corresponden a diferentes categorías de susceptibilidad a la licuefacción. Evalúen el peligro sísmico representado por la licuefacción. Califiquen su escuela con 1, 2 o 3, y anoten la calificación en la **Columna B** de la hoja de cálculo del riesgo sísmico.

1. Peligro Bajo

2. Peligro moderado

3. Peligro significativo

- Examinen las fotografías disponibles para su escuela, para estimar la pendiente del terreno sobre el cual está construida. Evalúen el peligro representado por los deslizamientos. Califiquen su escuela con 1, 2 o 3, y anoten la calificación en la **Columna C** de la hoja de cálculo.

1. Peligro bajo: edificio construido en un terreno plano

2. Peligro moderado: edificio construido en la base de una pendiente, o en una pendiente suave

3. Peligro significativo: edificio construido sobre una pendiente empinada

3. Determinen la **vulnerabilidad** de la escuela que se les haya asignado.
  - Revisen las fotos de los edificios de su escuela, para evaluar los principales problemas relacionados con el tipo de construcciones. Examinen los edificios para ver si hay pisos blandos, es decir, pisos con pocos muros de soporte como estacionamientos o grandes auditorios, que se encuentren debajo de otros pisos. Califiquen su escuela con 0 o 1, y anoten la calificación en la **Columna D** de la hoja de cálculo.
    - 0. Edificio sin pisos suaves
    - 1. Edificio con pisos suaves
  - Los edificios hechos de mampostería no reforzada (de ladrillo o concreto sin ningún refuerzo) son particularmente susceptibles a sufrir daños ante un sismo. Califiquen su escuela con 1, 1.5 o 2, y anoten la calificación en la **Columna E** de la hoja de cálculo del riesgo sísmico.
    - 1. Edificio hecho de mampostería reforzada
    - 1.5. Edificio probablemente construido con mampostería no reforzada
    - 2. Edificio hecho de mampostería no reforzada
  - Los edificios con irregularidades verticales (partes con diferentes alturas) o planares (desviaciones respecto a la clásica forma de caja) tienen un escaso rendimiento ante un sismo. Califiquen su escuela con 0 o 0.5, y anoten la calificación en la **Columna F** de la hoja de cálculo.
    - 0. Edificio sin irregularidades
    - 0.5. Edificio con irregularidades
4. Determinen el **valor** de la escuela. El valor que tomarán en cuenta para el cálculo del riesgo sísmico es el número de vidas en riesgo. Revisen la información sobre el número de estudiantes, profesores y personal en la escuela que se les haya asignado, y anótenla en la Columna G de la hoja de cálculo.
5. Calculen el **riesgo sísmico** al cual está expuesta la escuela, usando la fórmula:  $\text{Riesgo} = [(A + B + C) / 9] \cdot [(D + E + F) / 3.5] \cdot G$ .
6. Una vez determinado el riesgo sísmico para su escuela, compartan la información con la clase en una sesión de informe final. Prepárense para discutir cuáles factores, además de la población, jugaron un papel importante en definir el riesgo que calcularon.
7. Para la escuela que presente el mayor riesgo sísmico, propongan algunas ideas sobre cómo podrían mejorarse los edificios escolares y/o cómo podría estabilizarse el suelo, para mitigar los peligros relacionados con vibraciones y/o licuefacción. Si es el caso, expliquen por qué consideran más oportuno recomendar el abandono de la escuela, en vez que su adaptación antisísmica.

### Análisis y cálculo del riesgo sísmico en escuelas de San Francisco

ESCUELA	PELIGRO			VULNERABILIDAD			VALOR	ANÁLISIS
	A: Aceleración del suelo (< 30% g = 1; 30-60% g = 2; > 60% g = 3)	B: Potencial de licuefacción (bajo = 1; medio = 2; alto = 3)	C: Potencial de deslizamientos (bajo = 1; medio = 2; alto = 3)	D: ¿Pisos suaves? (no = 0; sí = 1)	E: Mampostería no reforzada (no = 1; tal vez = 1.5; sí = 2)	F: Irregularidades basales o verticales (no = 0; sí = 0.5)	G: Número de vidas	Factor de riesgo: $\frac{[(A + B + C) / 9] \cdot [(D + E + F) / 3.5]}{G}$
Marina MS								
Garfield ES								
Francisco MS								
Herbert Hoover MS								
Guadalupe ES								
El Camino								
Sunset Ridge ES								

Número de vidas en riesgo

Escuela	Grado	Matrícula	Personal	% Asistencia
Francisco Middle School	6-8	699	39	95.90%
Garfield Elementary School	K-5	224	15	97.10%
Guadalupe Elementary School	K-5	434	24	94.40%
Herbert Hoover Middle School	6-8	1206	65	97.50%
Marina Middle School	6-8	942	54	96.90%
El Camino High School	9-12	1486	91	
Sunset Ridge Elementary	K-5	588	45	

# **San Francisco**

## ***Riesgo sísmico en edificaciones escolares***

San Francisco:

Marina Middle School



Garfield Elementary School

Francisco Middle School



Herbert Hoover Middle School



Guadalupe Elementary School



El Camino High School (South San Francisco)



Sunset Ridge Elementary (Pacifica)

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

Data CSUMB SFML, CA OPC

6.52 km

Google earth



San Francisco, Distrito Marina:



Marina Middle School

Francisco Middle School

Garfield Elementary Sch

Image © 2013 TerraMetrics

Google earth

2084 m

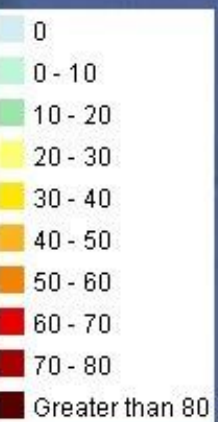
1987

Imagery Date: 4/16/2013 lat 37.798750° lon -122.438736° elev 19 m eye alt 8.96 km



# San Francisco: Alto Potencial de Agitación

Peak Ground Acceleration  
(98% likelihood in 50 yr), %g



Marina Middle School **A** Garfield Elementary School **C**

Francisco Middle School

Herbert Hoover Middle School

Guadalupe Elementary School **D**

El Camino High School (South San Francisco) **F**

Sunset Ridge Elementary (Pacifica)

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

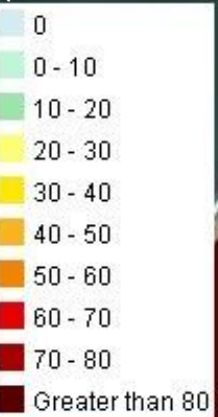
Data CSUMB SFML, CA OPC

6.52 km

Google earth

# San Francisco, Distrito Marina: Alto Potencial de Agitación

Peak Ground Acceleration  
(98% likelihood in 50 yr), %g



Marina Middle School

Francisco Middle School

Garfield Elementary Sch

Image © 2013 TerraMetrics

Google earth

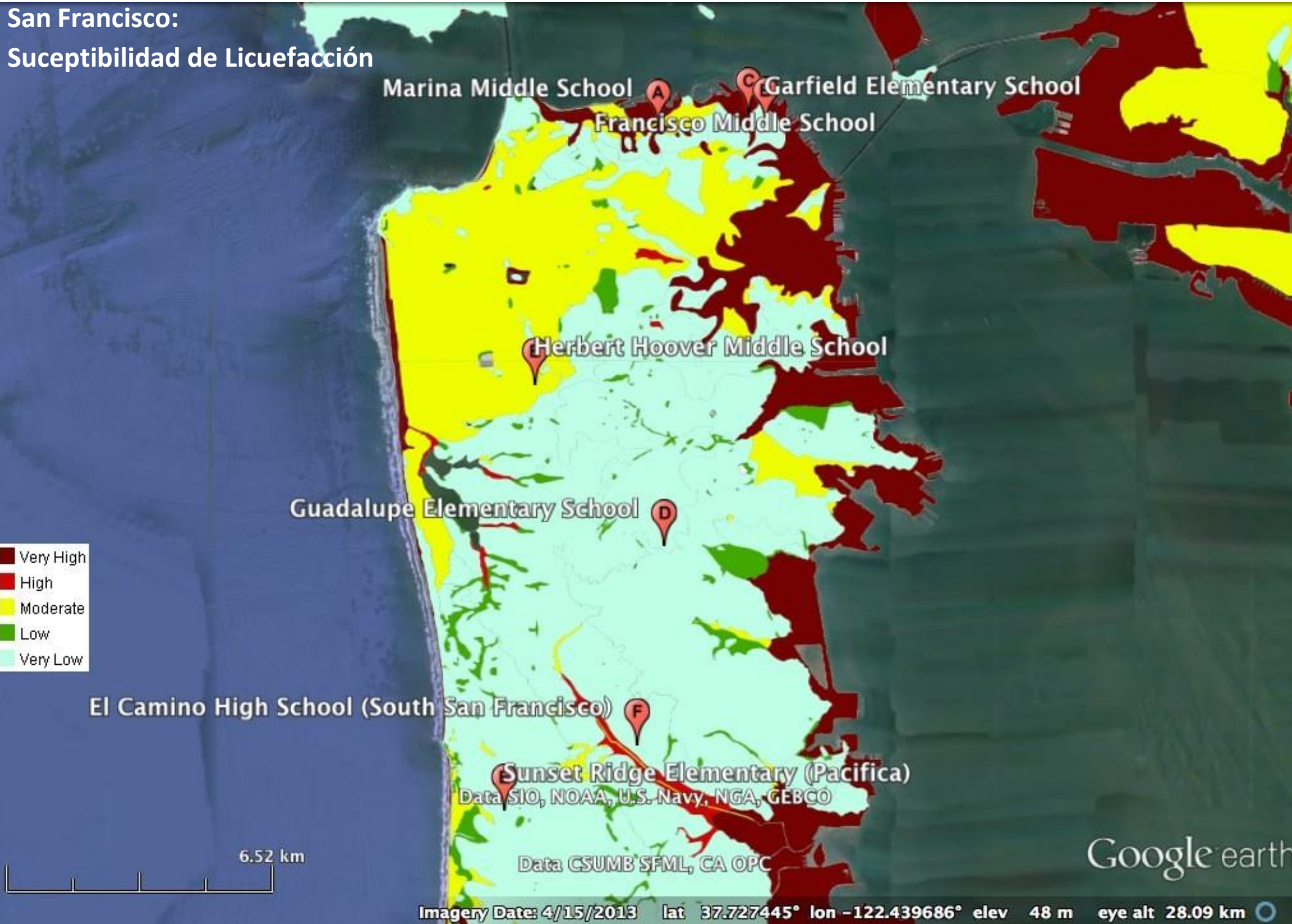
2084 m

1987

Imagery Date: 4/16/2013 lat 37.798750° lon -122.438736° elev 19 m eye alt 8.96 km



# San Francisco: Suceptibilidad de Licuefacción



Marina Middle School A  
Francisco Middle School B  
Garfield Elementary School C

Herbert Hoover Middle School

Guadalupe Elementary School D

El Camino High School (South San Francisco) F

Sunset Ridge Elementary (Pacifica)  
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

Data CSUMB SFML, CA OPC

Google earth

# San Francisco, Distrito Marina: Suceptibilidad de Licuefacción

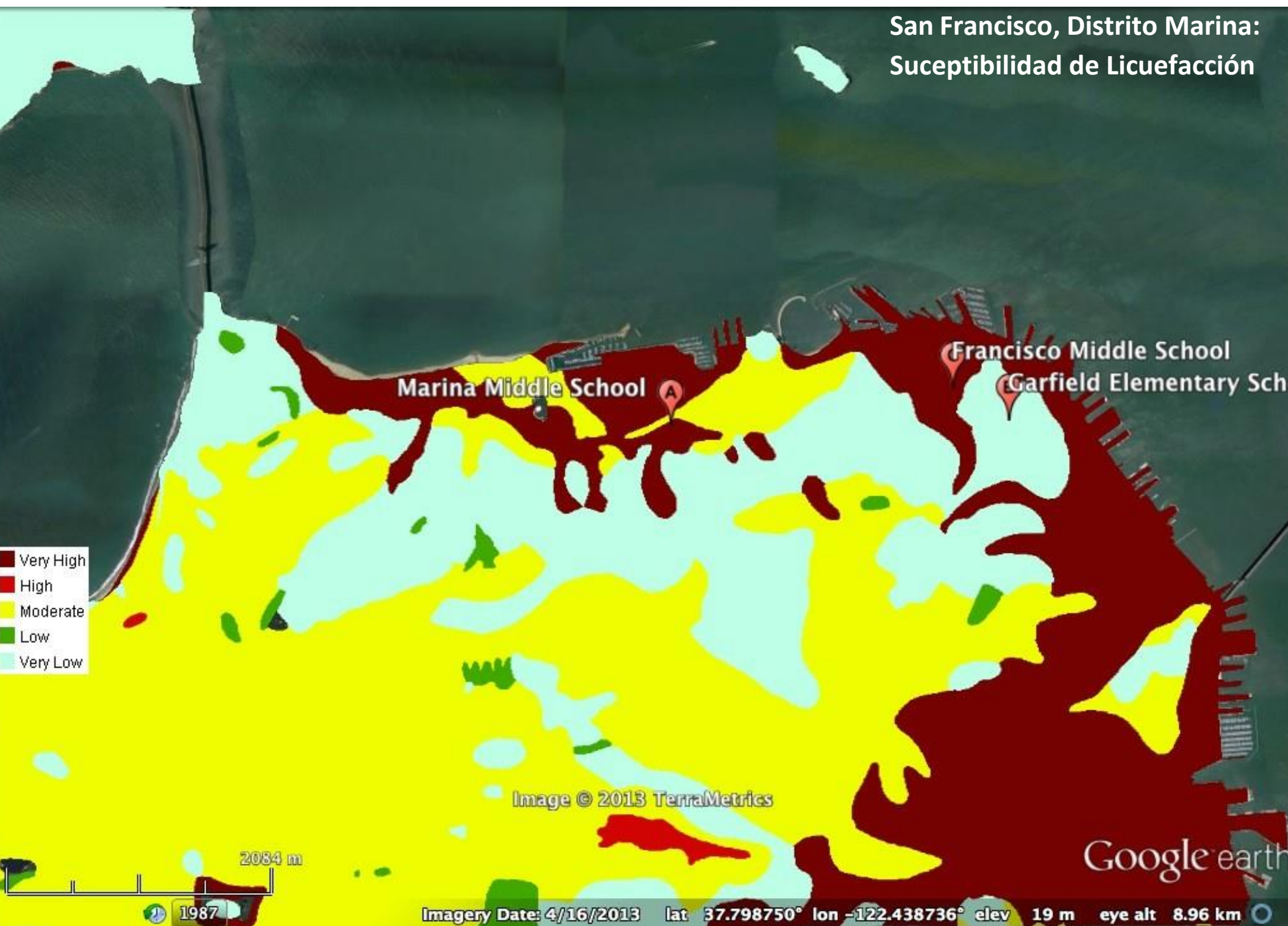


Image © 2013 TerraMetrics

Google earth

1987

Imagery Date: 4/16/2013 lat 37.798750° lon -122.438736° elev 19 m eye alt 8.96 km

# **MARINA MIDDLE SCHOOL**





Marina Middle School

250 m

1938

Imagery Date: 4/15/2013

lat 37.801858° lon -122.435935° elev 17 m

Google earth

eye alt 1.11 km





Marina Middle School

24 m

1938

Gray Buildings © 2011 CyberCity

Google earth

Imagery Date: 4/15/2013 lat 37.802365° lon -122.436301° elev 13 m eye alt 138 m



3492 Fillmore Street



Exit Street View

MARINA MIDDLE SCHOOL



© 2013 Google

Google earth

lat 37.801810° lon -122.436223° elev 24 m eye alt 20 m

Report a problem 3 m



MARINA  
MIDDLE SCHOOL

3492 Fillmore Street

Exit Street View

WATT

EMERSON

MOSEL

MILTON



4 m

Report a problem

© 2013 Google

Google earth

lat 37.801609° lon -122.436179° elev 26 m eye alt 20 m



1749 San Francisco Bicycle Route 4



Exit Street View



© 2013 Google

Google earth



lat 37.802542° lon -122.435509° elev 13 m eye alt 17 m



1997 Chestnut Street



Exit Street View



© 2013 Google

Google earth

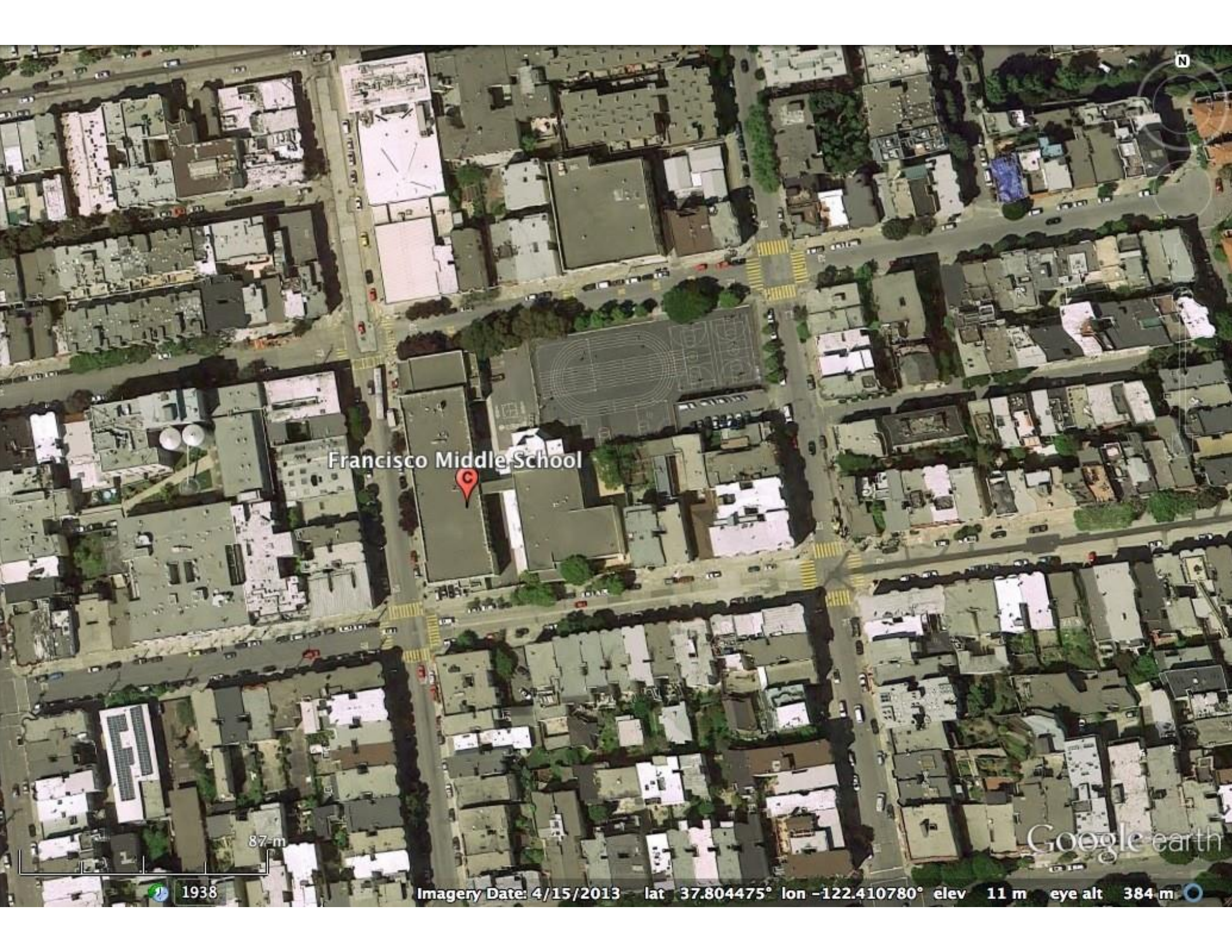
[Report a problem](#)



lat 37.801046° lon -122.435941° elev 25 m eye alt 23 m

# **FRANCISCO MIDDLE SCHOOL**





Francisco Middle School



87-m



1938

Imagery Date: 4/15/2013 lat 37.804475° lon -122.410780° elev 11 m eye alt 384 m

Google earth



Francisco Middle School

Gray Buildings © 2008 Sanborn



Google earth

1938

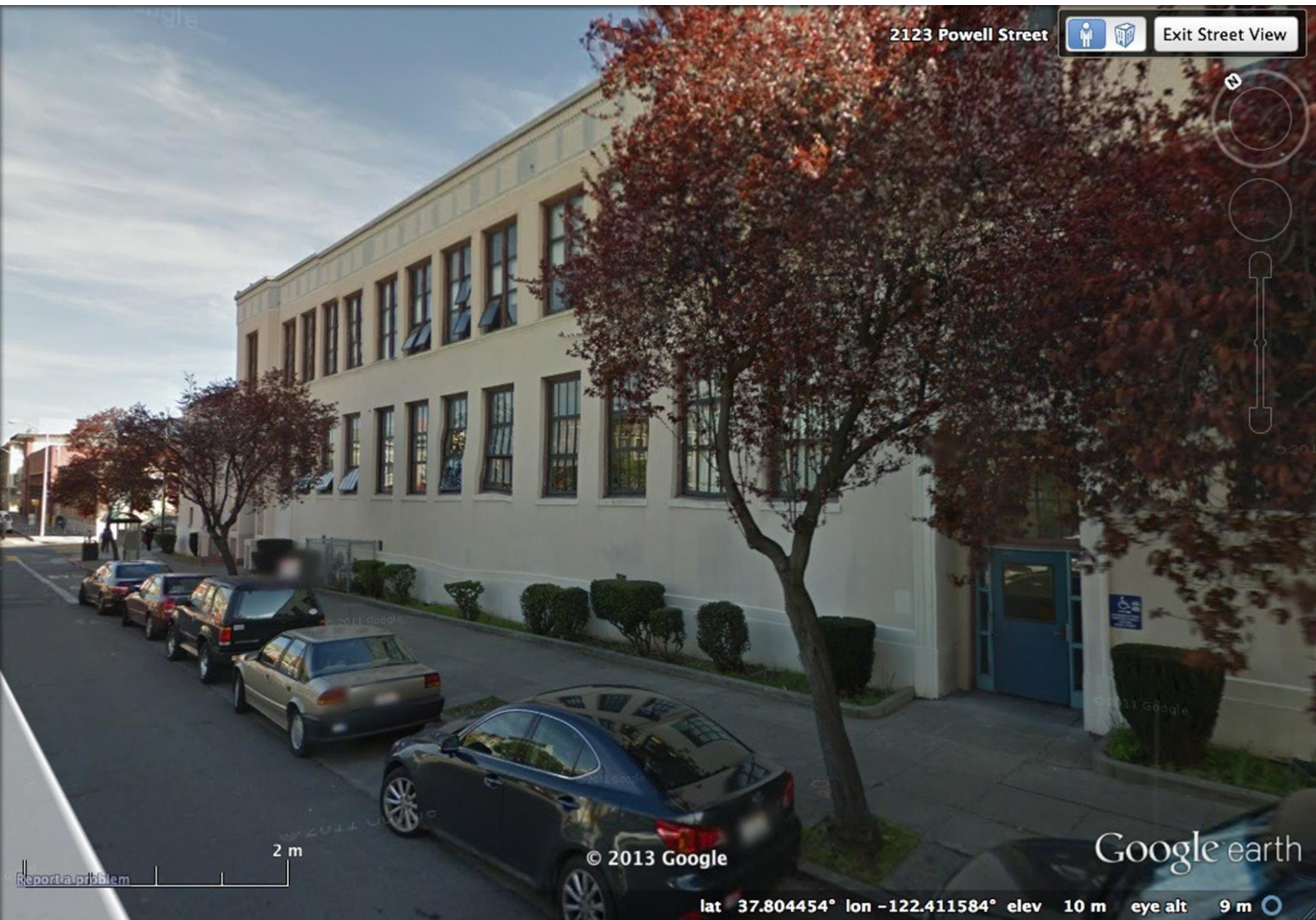
Imagery Date: 4/15/2013 lat 37.804204° lon -122.411462° elev 14 m eye alt 110 m



2123 Powell Street

  Exit Street View





2 m

[Report a problem](#)

© 2013 Google

Google earth

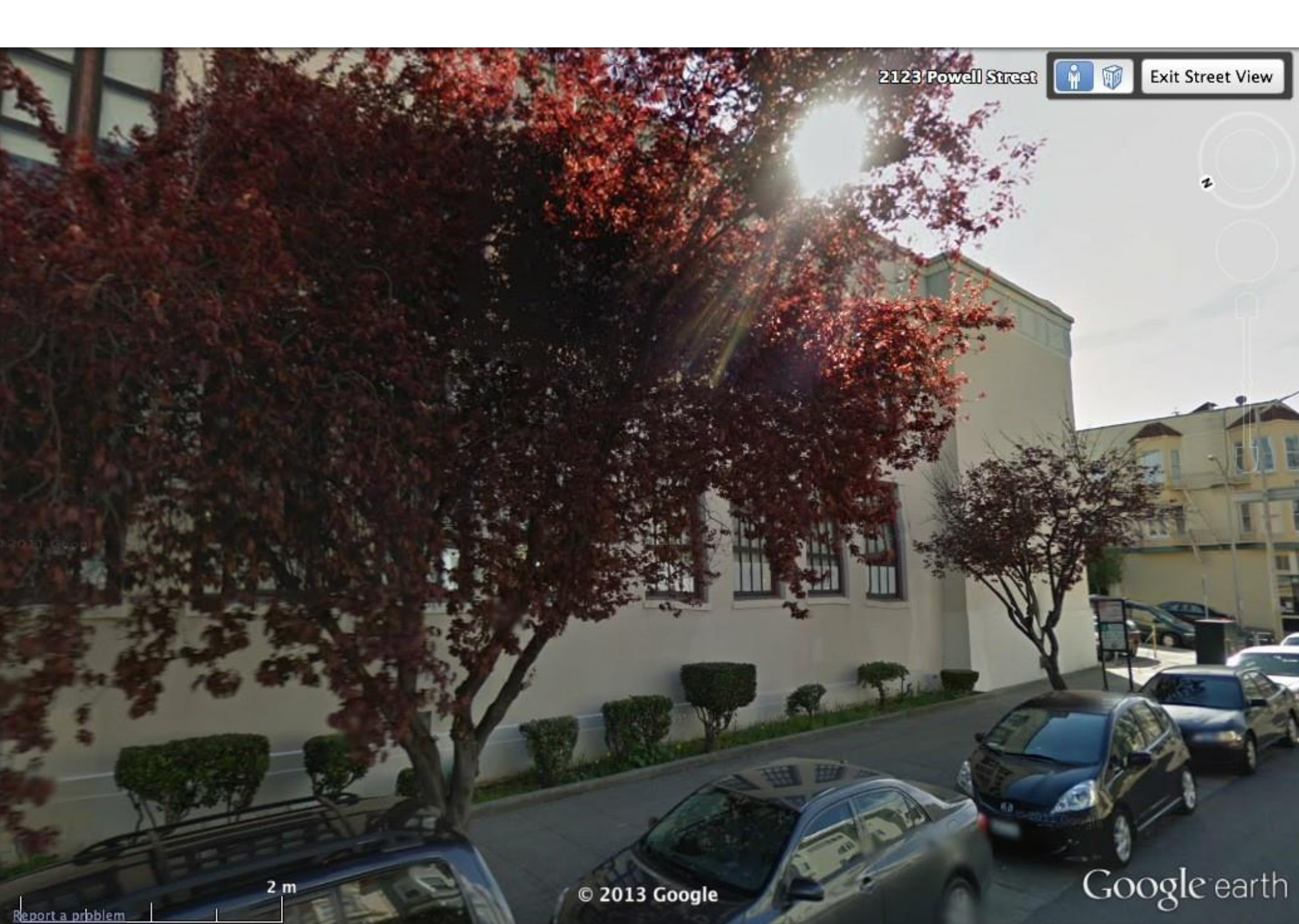
lat 37.804454° lon -122.411584° elev 10 m eye alt 9 m 



2123 Powell Street



[Exit Street View](#)



[Report a problem](#)


© 2013 Google

Google earth

Imagery Date: 3/2011    lat 37.804387°    lon -122.411565°    elev 12 m    eye alt 9 m



374 Francisco Street



Exit Street View



1 m

© 2013 Google

Google earth

lat 37.804889° lon -122.411393° elev 9 m eye alt 10 m

Report a problem



454 Chestnut Street



Exit Street View



FRANCISCO MIDDLE SCHOOL

© 2013 Google

Google earth

2 m

[Report a problem](#)

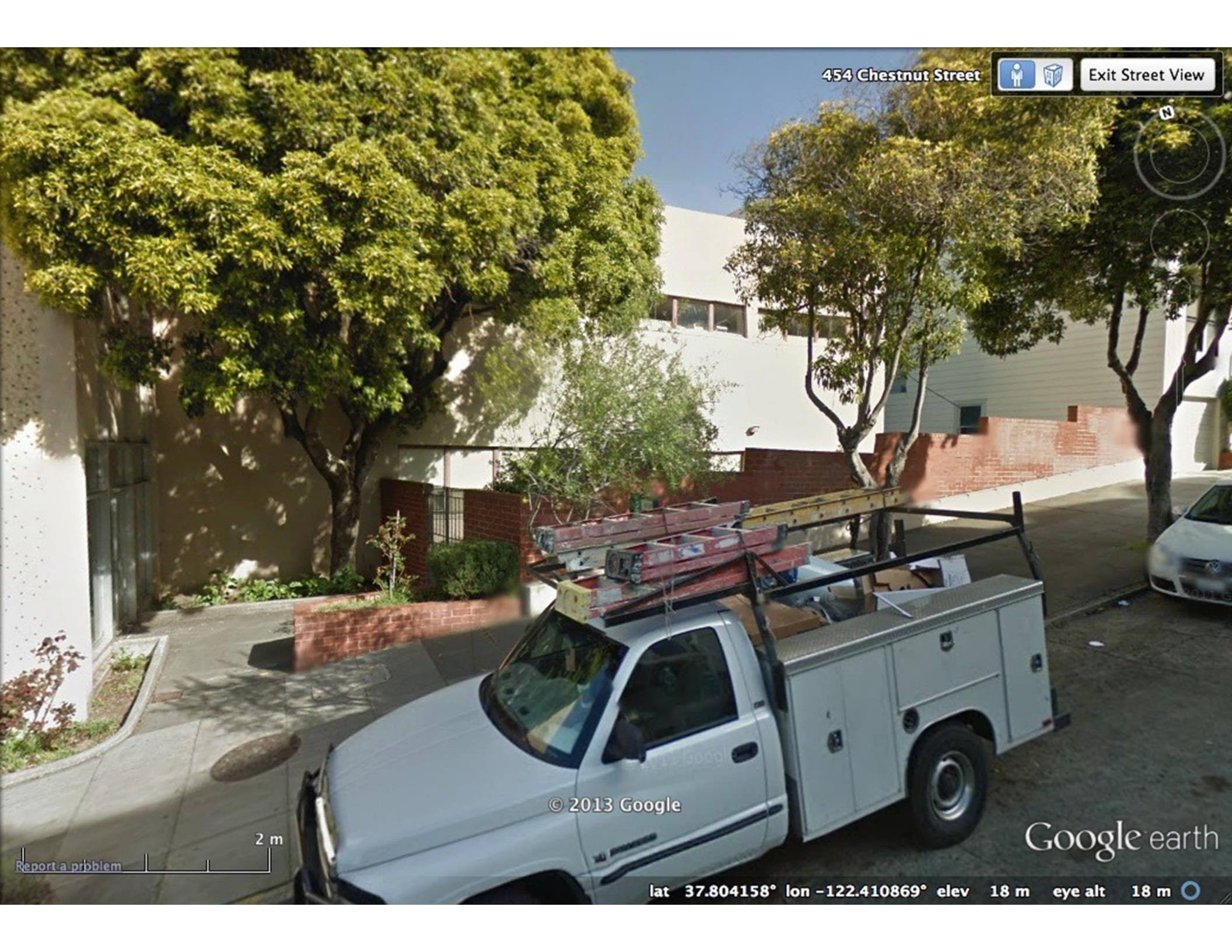
lat 37.804152° lon -122.410947° elev 18 m eye alt 18 m



454 Chestnut Street



Exit Street View



© 2013 Google

Google earth

2 m

[Report a problem](#)

lat 37.804158° lon -122.410869° elev 18 m eye alt 18 m



476 Chestnut Street



Exit Street View



© 2013 Google

Google earth

2 m

[Report a problem](#)

lat 37.804119° lon -122.411207° elev 14 m eye alt 13 m

# **GARFIELD ELEMENTARY SCHOOL**





Garfield Elementary School

61 m

1938

Imagery Date: 4/15/2013 lat 37.801841° lon -122.406994° elev 54 m eye alt 294 m

Google earth





Garfield Elementary School

Gray Buildings © 2008 Sanborn

Google earth



1938

Imagery Date: 4/15/2013 lat 37.801892° lon -122.407209° elev 62 m eye alt 152 m



428 Filbert Street



Exit Street View

N

GARFIELD ELEMENTARY SCHOOL

嘉菲  
公立小學  
ESCUOLA ELEMENTARIA GARFIELD



S.F.E.D.

2 m

© 2013 Google

Google earth

lat 37.801830° lon -122.406650° elev 82 m eye alt 79 m

Report a problem



428 Filbert Street



Exit Street View



S.F.D.

4 m



© 2013 Google

Google earth

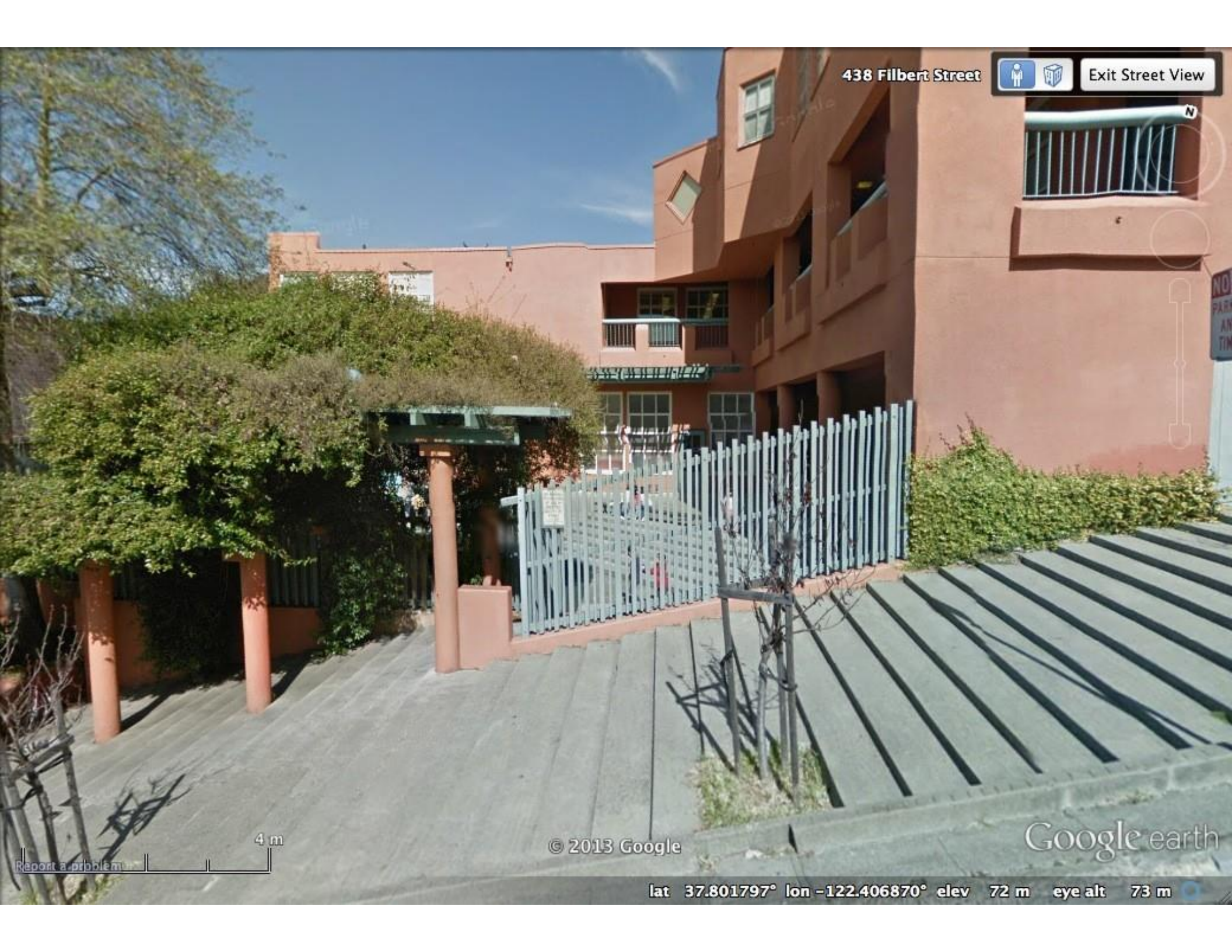
lat 37.801819° lon -122.406724° elev 78 m eye alt 79 m



438 Filbert Street



Exit Street View



4 m

© 2013 Google

Google earth

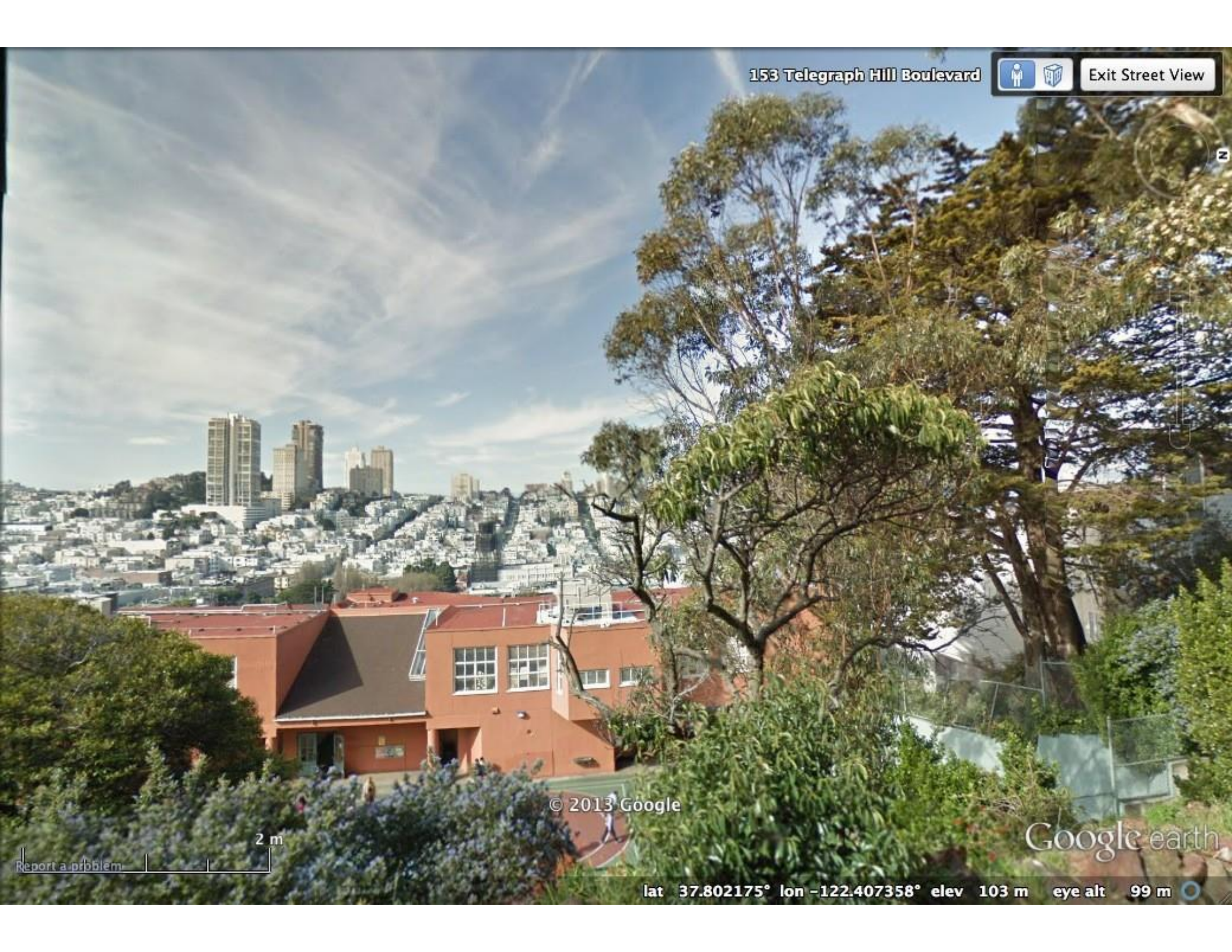
lat 37.801797° lon -122.406870° elev 72 m eye alt 73 m

Report a problem



153 Telegraph Hill Boulevard

  Exit Street View



© 2013 Google

Google earth

Report a problem 2 m

lat 37.802175° lon -122.407358° elev 103 m eye alt 99 m



145 Telegraph Hill Boulevard



Exit Street View



© 2013 Google

2 m

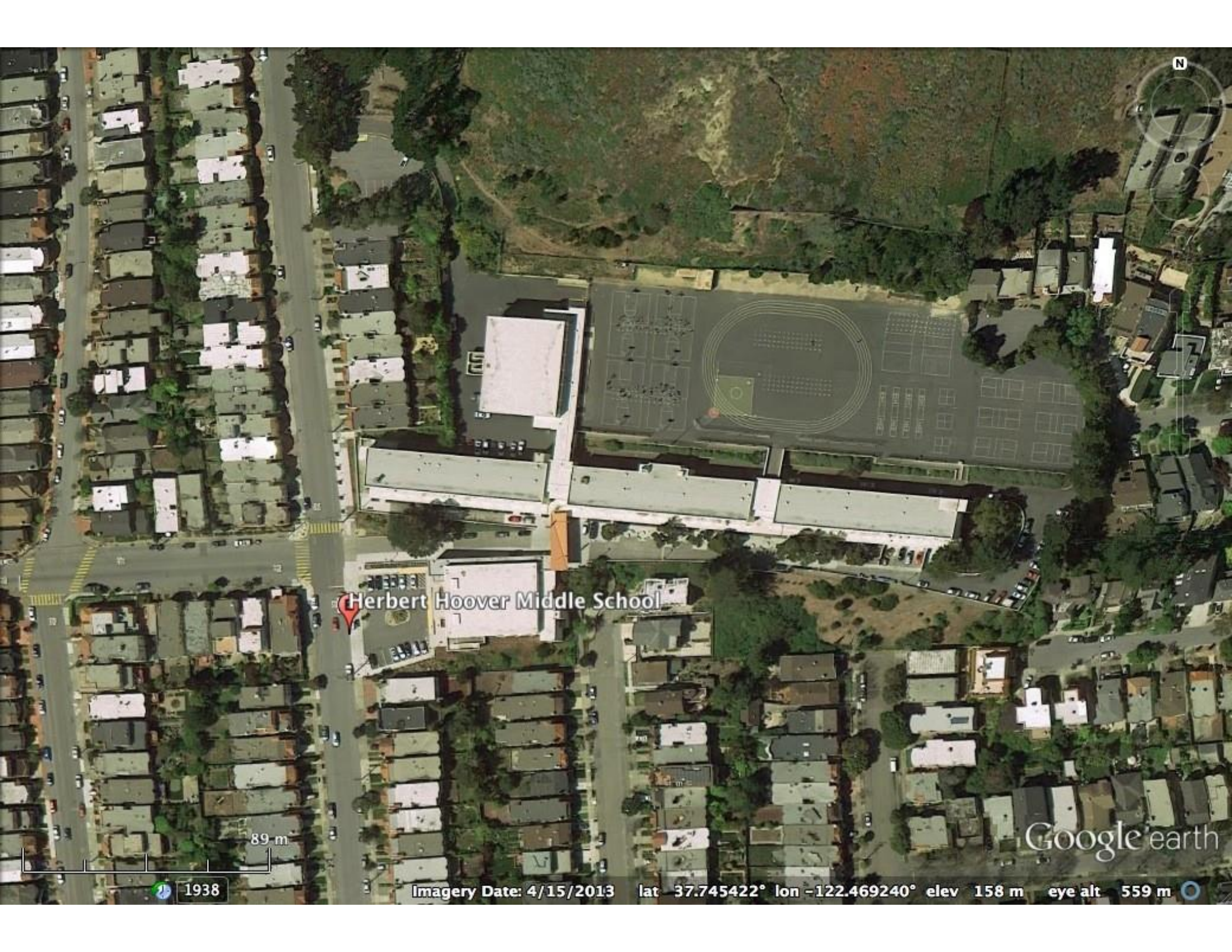
Google earth

[Report a problem](#)

lat 37.802061° lon -122.407318° elev 104 m eye alt 100 m



# **HERBERT HOOVER MIDDLE SCHOOL**



Herbert Hoover Middle School

1938

Imagery Date: 4/15/2013 lat 37.745422° lon -122.469240° elev 158 m eye alt 559 m

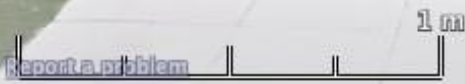
Google earth



2285 14th Avenue



Exit Street View



© 2013 Google

Google earth

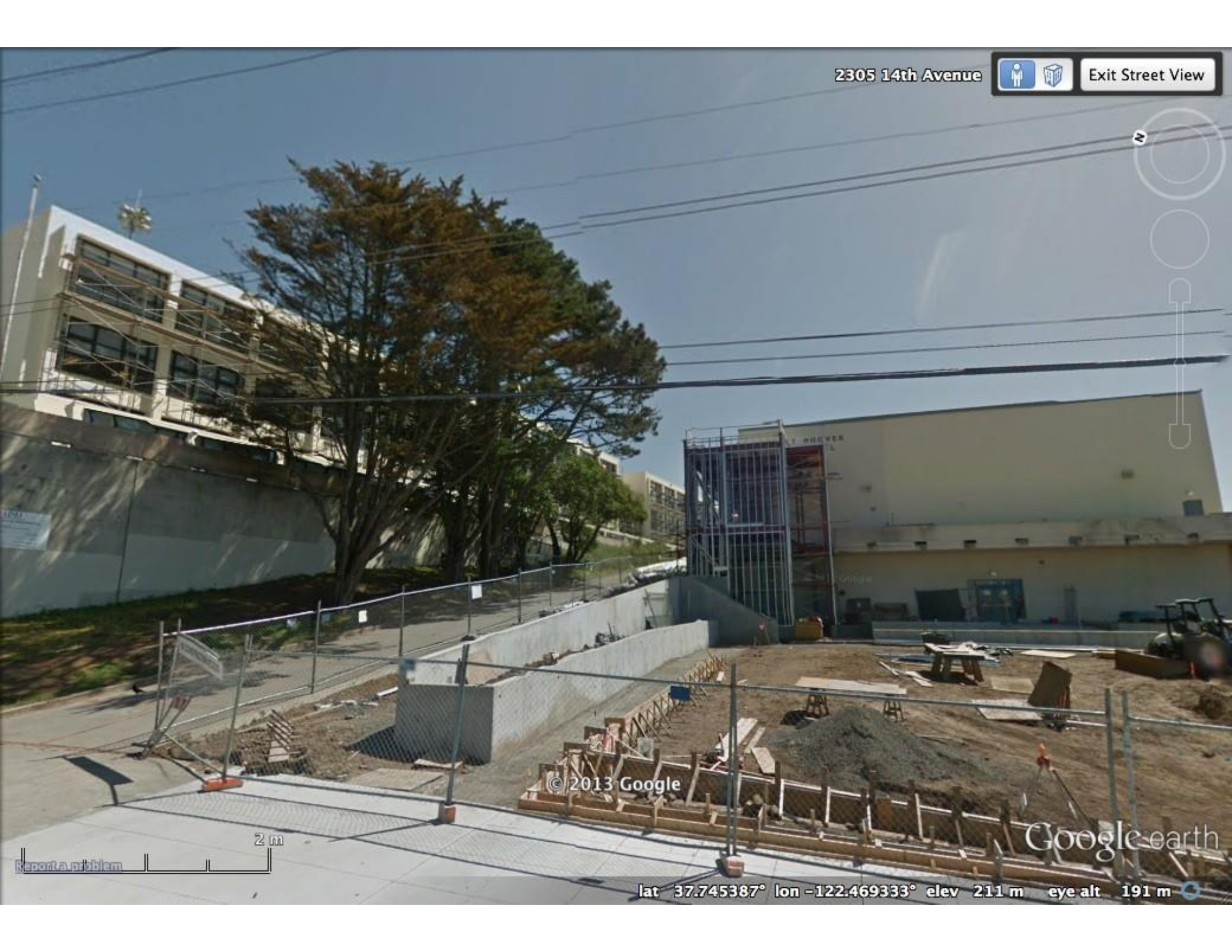
lat 37.745434° lon -122.470247° elev 199 m eye alt 197 m



2305 14th Avenue



Exit Street View



© 2013 Google

Google earth

2 m

[Report a problem](#)

lat 37.745387° lon -122.469333° elev 211 m eye alt 191 m



Castenada Avenue



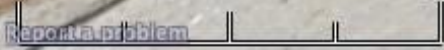
Exit Street View



© 2013 Google

Google earth

1 m



lat 37.745768° lon -122.467843° elev 213 m eye alt 214 m



Funston Avenue

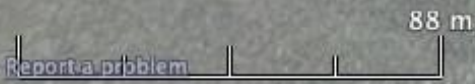


Exit Street View



© 2013 Google

Google earth



lat 37.745049° lon -122.469342° elev 189 m eye alt 188 m



Funston Avenue



Exit Street View



© 2013 Google

Google earth

2 m

[Report a problem](#)

lat 37.745420° lon -122.470191° elev 192 m eye alt 188 m



# **GUADALUPE ELEMENTARY SCHOOL**





N

Guadalupe Elementary School



72 m

Google Earth

1938

Imagery Date: 4/15/2013 lat 37.709892° lon -122.434160° elev 99 m eye alt 488 m



416 Cordova Street

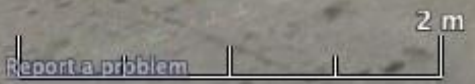


Exit Street View



© 2013 Google

Google earth



Report a problem

lat 37.710055° lon -122.434766° elev 100 m eye alt 131 m



430 Cordova Street



Exit Street View

z



© 2013 Google

Google earth

2 m

[Report a problem](#)

lat 37.709779° lon -122.434634° elev 132 m eye alt 133 m



851 Prague Street



Exit Street View



[Report a problem](#)

2 m

© 2013 Google

Google earth

lat 37.710358° lon -122.434202° elev 129 m eye alt 127 m

851 Prague Street



Exit Street View



© 2013 Google

© 2013 Google

Google earth



lat 37.710242° lon -122.434519° elev 129 m eye alt 127 m



139 Winding Way



Exit Street View



© 2011 Google

© 2011 Google

BUS STOP

© 2013 Google

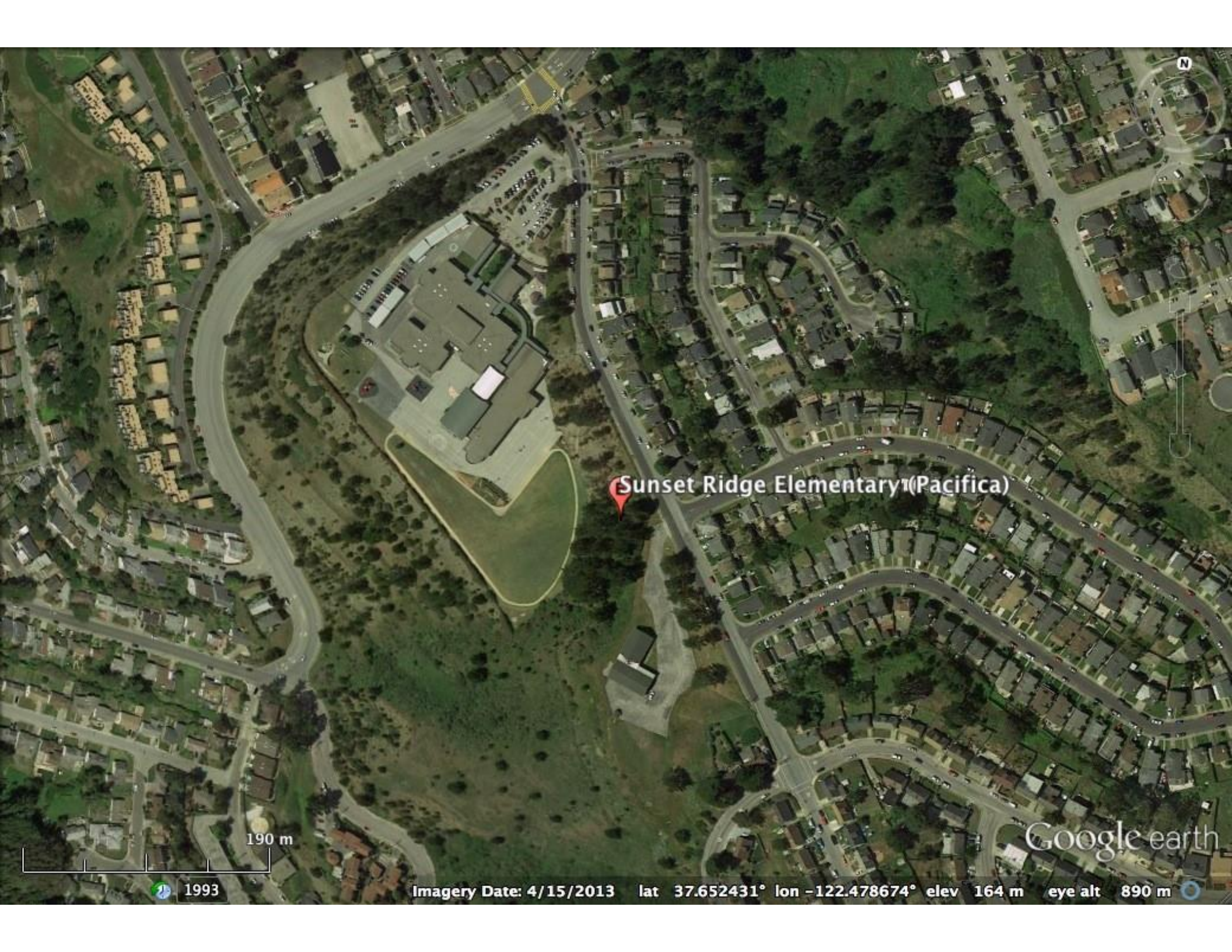
Google earth



lat 37.710533° lon -122.434533° elev 127 m eye alt 129 m

# **SUNSET RIDGE ELEMENTARY SCHOOL**





Sunset Ridge Elementary (Pacifica)

190 m

1993

Imagery Date: 4/15/2013 lat 37.652431° lon -122.478674° elev 164 m eye alt 890 m

Google earth





© 2013 Google

Google earth



Report a problem





© 2013 Google

Google earth

[Report a problem](#) | 1 m



605 Hickey Boulevard



Exit Street View



© 2013 Google

Google earth



lat 37.654365° lon -122.479796° elev 145 m eye alt 191 m





© 2013 Google

Google earth

1 m

[Report a problem](#)

346 Inverness Drive



Exit Street View



© 2013 Google

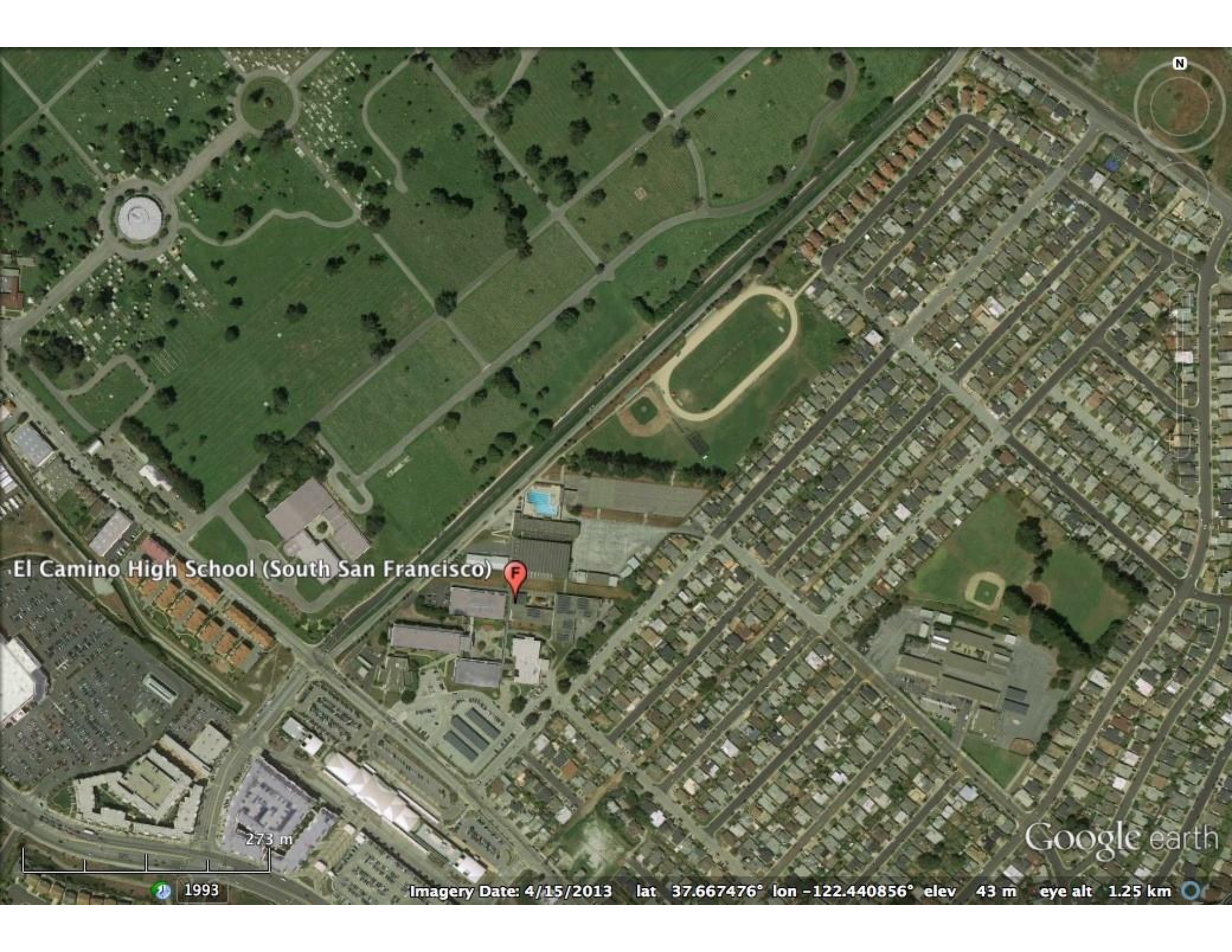
Google earth



lat 37.652335° lon -122.478495° elev 223 m eye alt 227 m



# **EL CAMINO HIGH SCHOOL**



N

El Camino High School (South San Francisco)

F

273 m

1993

Imagery Date: 4/15/2013 lat 37.667476° lon -122.440856° elev 43 m eye alt 1.25 km

Google earth



El Camino High School (South San Francisco)

Image Landsat  
Data CSUMB, SFML, CA OPC  
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

Google earth

2004

Imagery Date: 4/15/2013 lat 37.666816° lon -122.442571° elev 39 m eye alt 198 m



Lawndale Boulevard



Exit Street View



© 2013 Google

Google earth

lat 37.665968° lon -122.443732° elev 27 m eye alt 39 m



Mission Road



Exit Street View



© 2013 Google

Google earth



lat 37.665413° lon -122.443945° elev 31 m eye alt 32 m



Mission Road



Exit Street View

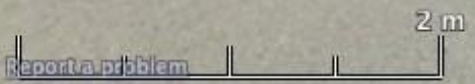


© 2011 Google

© 2011 Google

© 2013 Google

Google earth



lat 37.665997° lon -122.443224° elev 37 m eye alt 31 m



Baywood Avenue / Evergreen Drive

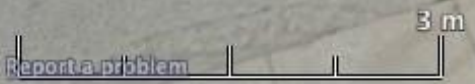


Exit Street View



© 2013 Google

Google earth



lat 37.666074° lon -122.441715° elev 42 m eye alt 38 m



258 Evergreen Drive

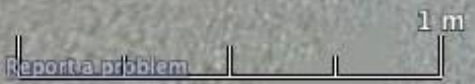


Exit Street View



© 2013 Google

Google earth



lat 37.665804° lon -122.440928° elev 42 m eye alt 45 m



Lawndale Boulevard

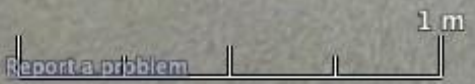


Exit Street View



© 2013 Google

Google earth



Imagery Date: 3/2011 lat 37.666823° lon -122.442710° elev 53 m eye alt 52 m

## 2.6 Geología Económica

### 2.6.1 Experiencia Geológica: Geología Económica

#### ¿Cómo se usan los minerales en la sociedad?

Los minerales son esenciales para nuestra sociedad: los necesitamos para construir casas, automóviles, carreteras y edificios. A veces los usamos en su forma natural; otras veces, extraemos elementos clave de ellos, y los usamos para fabricar otros productos.

#### Uso de los minerales por sus propiedades químicas

Uno de los principales usos de los minerales es como fuente de elementos y compuestos que luego usamos para fabricar otros productos. Extraemos los minerales, y posteriormente los procesamos para obtener los elementos o compuestos requeridos. Los químicos resultantes se usan para la fabricación de materiales como vidrio, metales y computadoras; o pueden ser combinados con otros elementos para crear nuevos compuestos o aleaciones.

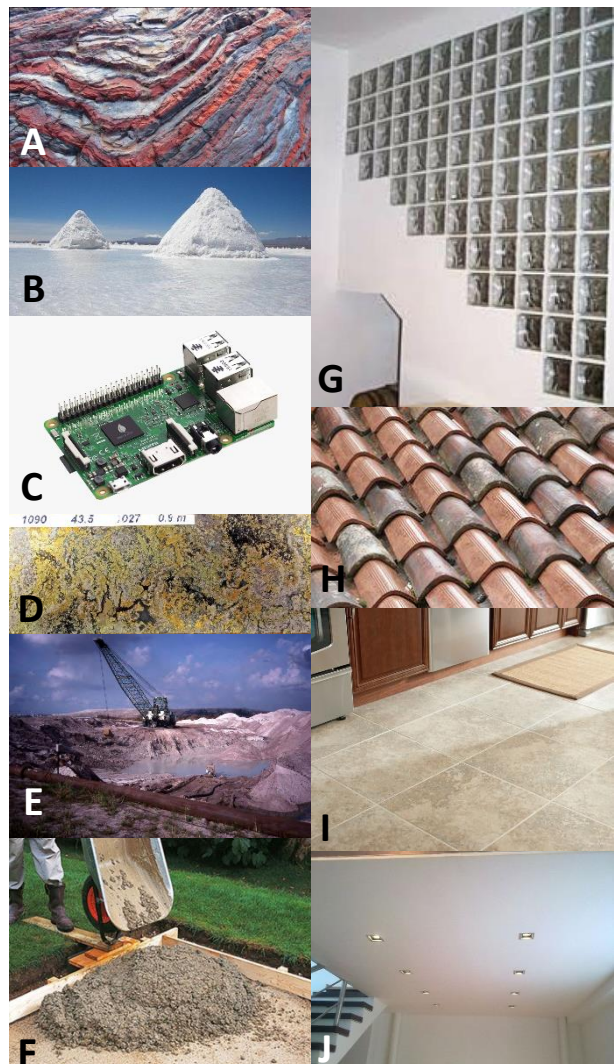
**Hierro.** Este elemento se extrae principalmente de formaciones rocosas ricas en óxidos de hierro (hematita y magnetita), como la de la Fig. A; el hierro es el ingrediente principal del acero, que se utiliza en muchos productos, desde utensilios y electrodomésticos para la cocina, hasta automóviles, maquinarias para la construcción (Fig. E), rascacielos, ferrocarriles y barcos.

**Sodio y halita.** El sodio, que tiene algunos usos como elemento puro, se extrae de la halita ( $\text{NaCl}$ ) y de la trona ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). La halita se usa comúnmente en nuestra cocina, pero también es usada como agente de deshielo en las carreteras, y para ablandar aguas particularmente duras (Fig. B). Al igual que la trona, se usa para fabricar jabones, metales y muchos artículos para el hogar. La trona es importante para la fabricación del vidrio (Fig. G).

**Silicio.** El silicio, utilizado para construir chips de computadoras (Fig. C) y paneles solares, deriva principalmente del cuarzo, un dióxido de silicio muy común.

**Cobre.** El cobre es un conductor de electricidad, y por lo tanto se usa para fabricar cables eléctricos de teléfonos, computadoras, automóviles y otros aparatos (Fig. J). También se usa para fabricar latón y bronce. La mayoría del cobre se obtiene a partir de los sulfuros de cobre (Fig. D), y de otros minerales de cobre de color verde azulado.

**Fósforo.** Utilizamos el fósforo en fertilizantes (Fig. F), refrescos y dispositivos electrónicos como los televisores. El principal mineral de fósforo es el apatito, un fosfato de calcio de composición similar a la de los dientes humanos.





**Calcio.** La calcita, el carbonato más común, es la principal fuente de calcio. La calcita procesada es el ingrediente principal del concreto, el cual se emplea para la construcción de carreteras, aceras, puentes, aeropuertos, grandes edificios, cimientos de casas y patios traseros.

#### **Uso de los minerales por sus propiedades físicas**

Además de ser usados como fuentes de elementos químicos, los minerales son utilizados también por alguna propiedad especial que poseen: su color, densidad, resistencia al calor o a la abrasión, su brillo, la facilidad con la cual se pueden moldear, entre otros.

**Cuarzo.** Grandes cantidades de cuarzo se funden y se mezclan con otros materiales para hacer los vidrios de las ventanas y los bloques de vidrio que se usan para construir paredes. El cuarzo se usa como material de relleno en las pinturas, en el papel, y en algunos productos alimenticios y vitamínicos. Cristales de cuarzo producidos sintéticamente se usan comúnmente para fabricar lámparas halógenas y dispositivos de tiempo.

**Feldespatos.** Estos silicatos muy comunes se usan para la fabricación de cerámica (azulejos y porcelana, Fig. I) y de aislantes de fibra de vidrio; también se utilizan en la producción del vidrio para mejorar su dureza y durabilidad.

**Minerales del grupo de las arcillas.** La arcilla se usa para producir ladrillos, concreto, cerámica (como la de las bañeras), tejas para los techos (Fig. H), pisos y aceras. También se usa en grandes cantidades para la fabricación de arena para gatos, y como material de relleno en papel, pinturas y productos alimenticios.

**Yeso.** El yeso es un sulfato que se forma principalmente por la evaporación del agua en lagos salados. Se usa para la fabricación de tableros y otros productos de yeso; además, se usa para hacer concreto, en aplicaciones agrícolas, en la fabricación del vidrio y en otros procesos industriales.

#### **Los minerales de tu botiquín**

*Los minerales se usan para hacer varios artículos que se encuentran comúnmente en las casas; podrías sorprenderte de algunos de los lugares inesperados en donde aparecen más minerales, como por ejemplo el botiquín de tu baño. La mayoría de las pastas dentales contienen calcita como agente limpiador, y también contienen flúor (derivado de la fluorita) y otros compuestos de sodio derivados de la trona. El ingrediente principal de muchos antiácidos es el carbonato de calcio, el cual a menudo deriva de la calcita molida. El material abrasivo presente en las limas de uñas es un polvo de minerales muy duros como el granate o el corindón. Casi todo el maquillaje está compuesto de minerales del grupo de las arcillas, y también puede contener pequeñas láminas de mica que proporcionan un brillo intenso. Los polvos perfumados para los pies y para el cuerpo pueden contener caolinita (mineral del grupo de las arcillas) y talco (el mineral más blando en la escala de dureza de Mohs). Finalmente, el mismo botiquín puede estar hecho de acero, derivado de la hematita y magnetita, o de aluminio, obtenido de hidróxidos de grano muy fino. El espejo en la puerta del botiquín deriva esencialmente del cuarzo, y presenta un recubrimiento de compuestos de plata u otras sustancias reflejantes.*

## ¿Qué minerales usarías para construir una casa?

Los minerales, y los productos que de ellos derivan, componen nuestros hogares, automóviles, calles, edificios, redes eléctricas y sistemas de suministro de agua. Se suele decir que, si algo no se cultiva, entonces proviene de las rocas, los minerales o el petróleo. En este ejercicio, identificarás los minerales que conviene utilizar para construir algunas partes importantes de una casa.

### Describe e identifica estos minerales

Examina cada mineral en las fotografías abajo, enfocándote en su hábito, brillo, color y clivaje. Lee la información que acompaña cada una de las imágenes; y procura identificar los diferentes minerales.



Los cristales a la izquierda tienen dureza 7 y exhiben fractura concoide. El mineral no reacciona con el ácido.

---



El mineral a la derecha es traslúcido, tiene dureza 3, presenta clivaje romboédrico, y reacciona con el ácido.

---



El mineral a la izquierda es muy suave, se siente pegajoso cuando está mojado, y no reacciona con el ácido. Contiene cristales muy finos. No es talco, ni grafito.

---



Las masas esféricas a la derecha consisten en numerosos cristales intercrecidos de un mineral de color crema, parcialmente transparente. El mineral se puede rayar con una uña, y no reacciona con el ácido.

---



El mineral a la izquierda tiene un clivaje bien definido en una dirección, y se exfolia en láminas delgadas parcialmente transparentes, de color gris plateado.

---

El mineral a la derecha tiene un brillo metálico y una raya roja característica. En algunas muestras presenta un color rojo.

---

Los minerales de la foto con brillo no metálico son carbonatos de cobre, representados por malaquita (verde) y azurita (azul). En cambio, el mineral con brillo metálico es cobre nativo.



### Construye una casa usando minerales y productos minerales

La figura muestra las partes de una casa para las cuales se necesitan ciertos minerales específicos, o un producto derivado de ellos. Usando los minerales que has identificado anteriormente, y apoyándote con la información que puedes consultar en el “Database de los minerales” sobre sus diferentes usos, valora cuáles de ellos necesitarías para construir las diferentes partes de la casa. Anota el nombre de cada mineral o producto mineral en los espacios disponibles, y enlista las propiedades por las cuales se vuelve útil.

*El techo es una barrera para la lluvia. Se usa algún tipo de producto mineral para cubrir las hojas de madera contrachapada.*  
**Nombre del mineral y propiedades útiles:**  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

*Para mantener la casa a una temperatura confortable, se coloca un material que conduce lentamente el calor en la parte externa, interna o adentro de las paredes exteriores. Por lo general, este material es fibra de vidrio, que se produce a partir del material fundido derivado de la fusión de una roca silicatada muy común.*  
**Nombre del mineral y propiedades útiles:**  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

*Los muros exteriores actúan como una barrera contra la lluvia, y sostienen el techo y el resto de la estructura.*  
**Nombre del mineral y propiedades útiles:**  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

*Las ventanas dejan entrar la luz solar, y ofrecen una vista al exterior.*  
**Nombre del mineral y propiedades útiles:**  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

*Para el cableado eléctrico se usa un metal porque los metales son conductores y dúctiles.*  
**Nombre del mineral y propiedades útiles:**  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

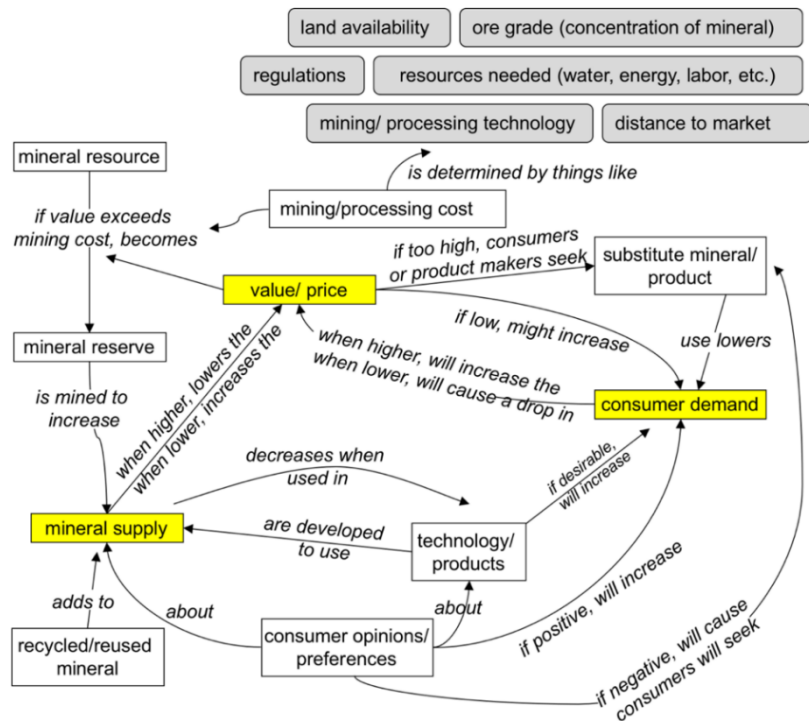
*El cemento se usa para hacer una base lisa y estable para el piso, la madera o la alfombra. También se utiliza como cimiento para soportar las paredes.*  
**Nombre del mineral y propiedades útiles:**  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

*Las paredes interiores separan la casa en habitaciones, pero por lo general no soportan la estructura: más bien, suelen consistir en unas vigas verticales hechas de un material fuerte, que soportan unas láminas de tablaroca. Las láminas deben ser lo suficientemente suaves como para permitir la realización de cortes para enchufes y conexiones eléctricas.*  
**Nombre del mineral y propiedades útiles:**  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

*Se usan tuberías de metal para transportar agua dulce a la casa, y de una parte a otra de la casa.*  
**Nombre del mineral y propiedades útiles:**  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## La economía de los minerales: baterías recargables y uso de recursos minerales

Los minerales son importantes porque se utilizan para hacer productos. Por ende, los consumidores impulsan la búsqueda de recursos minerales, y la economía juega un papel importante en definir cuáles y cuántos minerales se extraen. El mapa conceptual a lado describe en qué manera los factores económicos y sociales afectan el flujo de minerales.



En esta actividad considerarás los recursos minerales que se usan para fabricar baterías recargables, y los parámetros socioeconómicos que influyen en el costo, demanda y oferta de dichos recursos.

### Cambios de tecnología: las baterías de los carros

Una característica importante de las baterías es su densidad de energía. Este dato indica cuánta energía (en Watt/hora) está almacenada en 1 kg. Las mejores baterías son las que contienen una gran cantidad de energía en el menor espacio. El costo es otra consideración; y la seguridad es también un factor. La tabla abajo muestra las densidades de energía y los costos aproximados de diferentes tipos de baterías recargables. Los carros tradicionales usan baterías de ácido-plomo. Los carros híbridos-eléctricos y eléctricos usan baterías NiMH (por ejemplo, el Toyota Prius) o Li-ion (por ejemplo, el Chevy Volt).

Tipo de batería recargable	Densidad de energía (Wh/kg)	Costo aproximado
ácido-plomo	30-50	25 US\$ (6 V)
NiCd	45-80	50 US\$ (7.2 V)
NiMH	60-120	60 US\$ (7.2 V)
Li-ion	110-160	100 US\$ (7.2 V)
Li-polímero	100-130	100 US\$ (7.2 V)

1. ¿Por qué los coches eléctricos más recientes usan baterías de iones de litio?

---



---

2. ¿Por qué se siguen usando baterías de ácido-plomo en los coches con motor de gasolina?

---



---



3. ¿Cómo crees que cambiará la demanda de plomo, litio y níquel en el futuro? Justifica tu respuesta.

---



---



---



---

4. Enlista algunos de los posibles efectos que la creciente demanda de litio tendrá en el futuro.

---



---



---

**Predicciones basadas en el mapa conceptual**

Níquel y litio son dos elementos que se usan en las baterías recargables. Basándote en el mapa conceptual, infiere cómo podría haber afectado cada uno de los siguientes eventos la oferta, la demanda y el costo de dichos elementos. Usa el ejemplo del ejercicio 1 como base.

1. 1986 y 1998: Cierran las dos únicas minas de litio en Carolina del Norte.  
*Litio: Esto debería reducir la producción de Li, lo que reduciría la oferta, y por lo tanto aumentaría el precio de Li.*
2. 1991: Se transmite el primer comercial de las baterías Li-ion.
3. 1992: El cadmio es clasificado como un elemento carcinógeno para los humanos (Cd se usa con Ni en las baterías de NiCd).
4. 1998-2004: En Australia se abren tres nuevas minas de níquel.
5. 1999: En el mercado estadounidense se introduce el primer coche híbrido eléctrico (hasta el 2008, todos estos carros usaban baterías de NiMH; en 2009 se incorporan las de Litio).
6. 2007-2009: Recesión global.

---



---



---



---



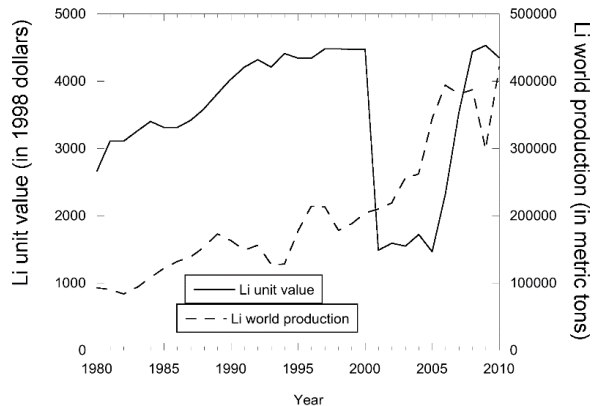
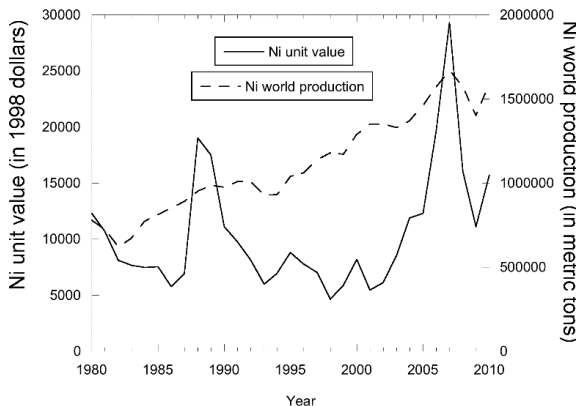
---



---

**Comprobación de las predicciones mediante el análisis de datos**

Las gráficas describen cómo han variado la producción y el costo del níquel y del litio en las últimas décadas.



Elige dos de las inferencias que has hecho en la parte previa de la actividad; y explica en qué manera los datos en las gráficas las apoyan o las refutan.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### 3. SOLUCIONARIO

#### 3.1. El Agua Subterránea.

##### 3.1.1. En el abismo: El caso del agujero colapsado.

#### Agujeros cerca de Orlando, Florida

El área metropolitana de Orlando se encuentra en una región en la cual se pueden formar depresiones (*sinkhole*) de manera repentina, y a medida en que estos se profundizan en la superficie terrestre pueden colapsar al coincidir con alguna cavidad subterránea, formando grandes agujeros. Estas cavidades se forman en el basamento de roca caliza, la cual está cubierta por depósitos de arcilla y arena. La caliza funciona también como acuífero (Acuífero de Florida) para los residentes del área.

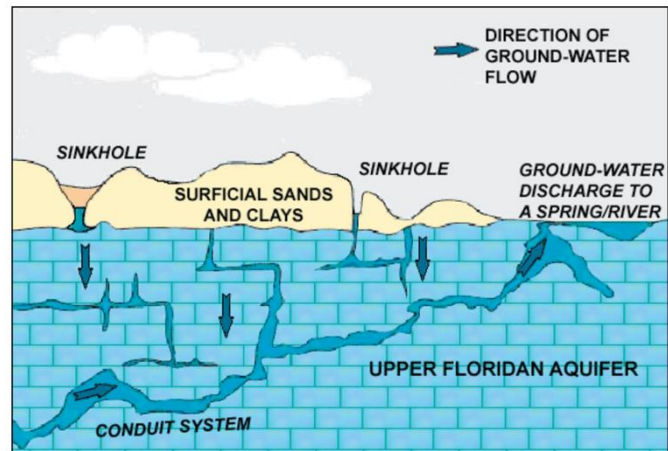


Fig. 4 Sistema de formación de agujeros.

Entre 1961 y 1986, en el área de Orlando (condados de Orange y Seminole) se formaron al menos 140 nuevos agujeros (promedio de 11 por año). Los datos disponibles indican que la aparición de nuevos agujeros no ocurrió de manera uniforme durante los años.

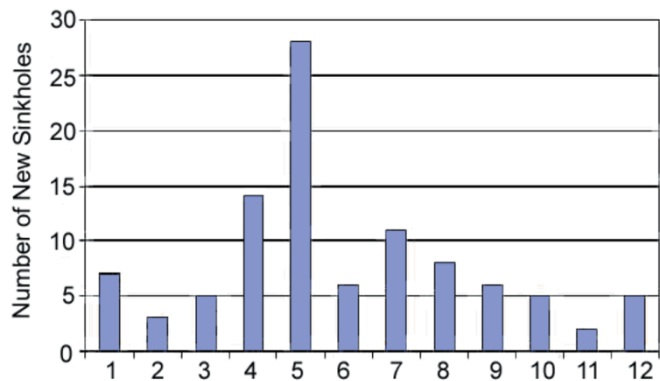


Fig. 5 Aparición promedio de nuevos agujeros en el área de Orlando.

1. ¿Durante cuáles meses del año es más probable que se formen agujeros en el área de Orlando?  
En abril, especialmente en el mes de mayo, y con menor intensidad en julio.
2. ¿Qué hipótesis podrías sugerir para explicar este patrón de desarrollo de agujeros?  
Los meses de abril y mayo se podrían asociar con la temporada de lluvias; por lo tanto, se plantea la hipótesis de que cuando las precipitaciones son superiores al promedio el desarrollo de las depresiones se incrementa por una mayor disolución. Lo que ocasiona que las depresiones se agranden y, que, al coincidir con cavidades localizadas por debajo de ellas en el subsuelo, estas colapsen y se formen agujeros.

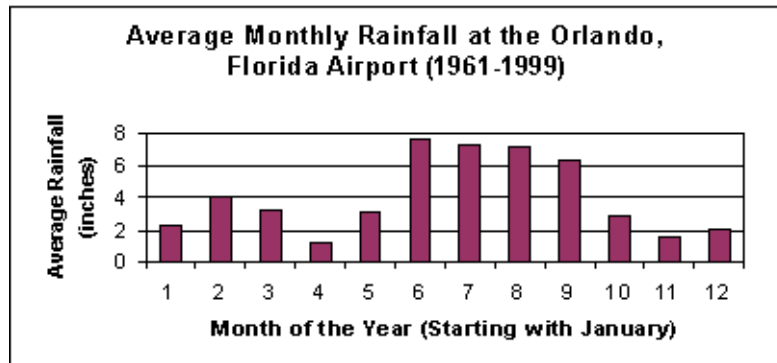
Otra hipótesis podría ser que, en el área de Orlando, la primavera y el verano sean los meses más secos. Entonces, el nivel de las aguas subterráneas suele bajar durante la primavera por lo que las cavidades suelen encontrarse secas y sin soporte, de tal forma que pueden colapsar y agrandarse.

3. ¿Qué datos necesitarías para probar tus hipótesis?

*\*Este inciso debe analizarse independientemente de si realmente se pueden obtener los datos que requieren (por ejemplo, la precipitación mensual promedio de Orlando). El objetivo de esta pregunta es comprender qué información se necesita, y que el alumno comprenda las dificultades que se pueden atravesar para elaborar una buena hipótesis y para comprobarla, así como la cantidad de información a considerar y factores que pueden intervenir en el evento en estudio.*

*Algunos datos que pueden resultar relevantes son: precipitación mensual, litología del basamento, estratigrafía, clima, morfología, cuerpos de agua y escorrentías, cobertura vegetal, etc.\**

Al consultar la gráfica sobre la precipitación anual en Orlando, la segunda hipótesis propuesta parece la más probable.



### Empresa minera demandada por haber provocado el desarrollo de un agujero

En la primavera de 1994, un hombre que conducía su miniván cerca de Westminster, Maryland, se accidentó y falleció en un agujero que se abrió repentinamente en la carretera. Su viuda demandó a una compañía minera local por 13.5 millones de dólares, alegando que era responsable del desarrollo del agujero.

Lee el siguiente artículo y contesta las preguntas a continuación. El artículo del periódico no proporciona toda la información que se necesitaría para evaluar la validez del reclamo de la viuda. Sin embargo, usando la información geológica disponible para la región, y con base en tu conocimiento de los procesos de formación de los agujeros, puedes tener al menos una opinión informada sobre lo que sucedió, y sobre qué información adicional se necesitaría para evaluar el caso de manera más profunda.

### Demanda por agujero busca millones

El estado de Maryland y la Redland Genstar Inc. están siendo demandados por 13.5 millones de dólares por la viuda de un hombre se accidentó y murió cuando su miniván cayó en un agujero en la Ruta 31 de Maryland.

Una madrugada de marzo de 1994, Robert Knight, de 24 años, conducía por la carretera entre Westminster y New Windsor, cuando el camino se acabó. En algún momento de la noche se había desarrollado un agujero de 13.7 metros (45 pies) de ancho, y el conductor no lo vio. El nativo de Taneytown murió en un hospital ese mismo día.

Los agujeros se desarrollan por la lenta disolución del basamento de caliza, generando cuevas que se vuelven tan grandes que colapsan.

En su demanda contra el Estado y la compañía Genstar, la viuda reclama dolor emocional, sufrimiento, pérdida de compañía y de apoyo financiero para ella y sus dos hijos. En su demanda, la viuda hace referencia a una cantera de Medford situada cerca del sitio del agujero, y que pertenece a Genstar.

Según lo indicado en la demanda, Genstar no proporcionó al estado ningún reporte sobre el impacto ambiental que podría tener la actividad minera, ni sobre los peligros que podría provocar; no fue capaz de prevenir la formación de agujeros en la Ruta 31; ni avisó a la población del posible peligro. Además, la demanda alega que “la compañía Genstar extrajo mil millones de galones de agua subterránea y bajó severamente el nivel freático, llevando al desarrollo de agujeros en el área que rodea la cantera, y del agujero en la Ruta 31 en el cual Robert Knight perdió la vida”.

Un portavoz de Genstar negó la responsabilidad de la compañía por el accidente. De acuerdo con una reciente ley del estado, alrededor de las canteras se trazan unas “esferas de influencia” que señalan las áreas en las cuales la formación de agujeros y otros tipos de actividad geológica podrían atribuirse a la actividad minera. Una compañía es responsable de los daños a las propiedades que se encuentren dentro de dichas esferas, si éstos son causados por la actividad minera. Sin embargo, Genstar afirma que el área en donde se formó el agujero en la Ruta 31 se encuentra fuera de la jurisdicción de la compañía.



4. Westminster se encuentra cerca del centro del Condado de Carroll, en la porción centro-oriental de Maryland. El mapa geológico de Maryland muestra que la mayor parte del condado de Carroll está formado por rocas sedimentarias. También, el mapa de las cuevas de Estados Unidos que se encuentra más abajo señala que el oeste y el centro de Maryland se conforma por piedra caliza, por lo que la formación de agujeros es muy probable. ¿Las condiciones geológicas en esta parte del estado son apropiadas para el desarrollo de agujeros? ¿Qué otra información necesitarías para poder contestar la pregunta de manera más completa?

Esta información ciertamente sugiere que las condiciones geológicas aquí son apropiadas para el colapso del basamento y el desarrollo una depresión. Sin embargo, también sería útil conocer la profundidad a la que se encuentra la piedra caliza y si es que algún otro tipo de roca la sobreyace. Por ejemplo, es poco probable que se formen agujeros si las cuevas se encuentran en piedra caliza cubierta por una unidad de roca gruesa y competente (por ejemplo, una arenisca cementada con cuarzo), por lo que, aunque se formen depresiones en superficie o la precipitación fuera muy intensa no habría forma de que estas profundizaran más allá de la unidad superior.

5. ¿En qué se basa la demanda de la viuda de Robert Knight? ¿Qué evidencia necesitaría la señora para probar que tiene razón?

La demanda afirma que el agujero en cuestión se formó debido a que el nivel freático disminuyó como consecuencia de la extracción excesiva de agua por parte de la empresa minera, Genstar. Por otro lado, un periódico atribuyó el desarrollo de los agujeros a la expansión de las cuevas subterráneas a través de la disolución de la piedra caliza; entonces, los demandantes tendrían que argumentar que el sumidero en cuestión se formó cuando se drenó una cueva existente, permitiendo que los sedimentos suprayacentes colapsaran en la cavidad vacía. Para probar esta suposición sería útil tener evidencia de la elevación del nivel del agua subterránea en las proximidades del agujero antes de su colapso y de la llegada de la minera. Por su parte, la empresa minera podría argumentar que la caída del nivel freático (suponiendo que esto ocurriera) fue causada por variaciones naturales en la recarga de agua subterránea, y para justificarlo requerirían como mínimo los datos de precipitación local que podrían obtener de una estación de medición cercana al sitio.

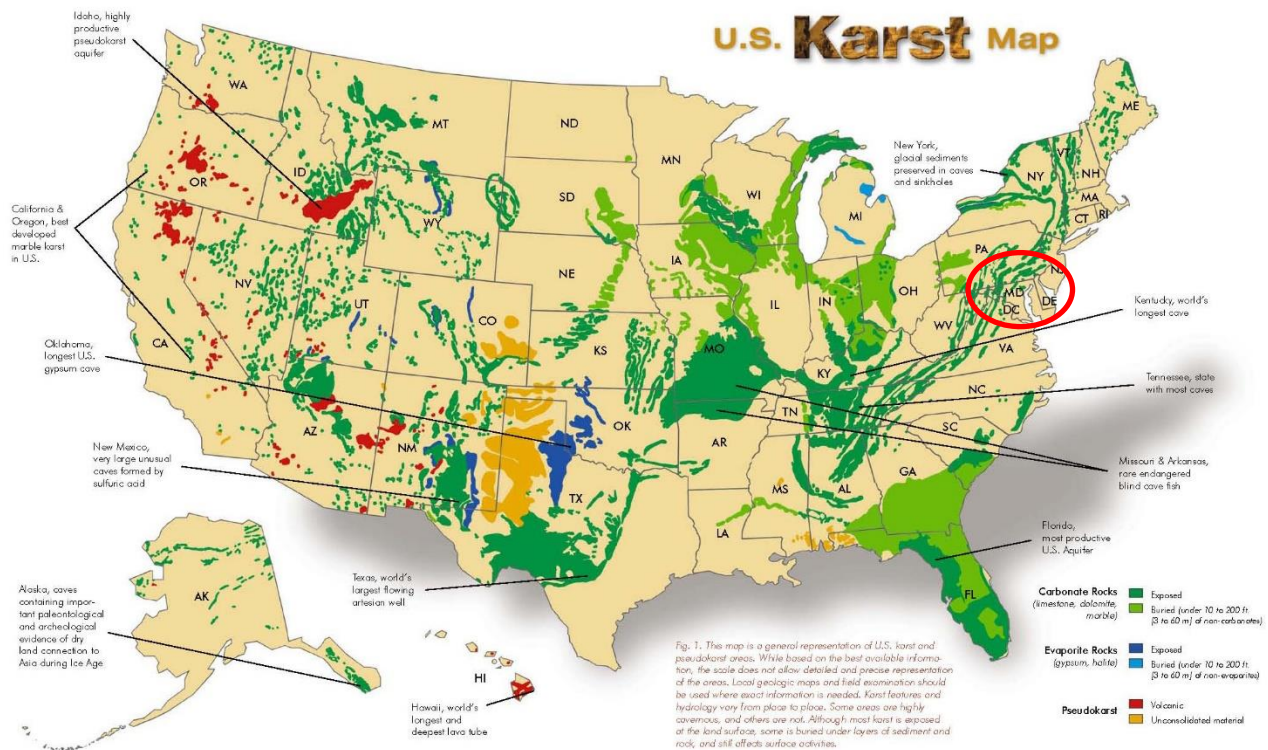


Fig. 6 Mapa de distribución de zonas kársticas en Estados Unidos. MD: Maryland.

## 3.2. Inestabilidad de Pendientes y Movimientos en masa.

### 3.2.1. Llevando a juicio los peligros geológicos: La Curva Portuguesa, California

#### Un artículo en el periódico

##### **Los propietarios de viviendas presentan una demanda por negligencia**

Los propietarios de viviendas del exclusivo distrito de la Curva Portuguesa, ubicado cerca de Long Beach, en California, han presentado una demanda colectiva contra el Condado de Los Ángeles, por medio de la cual esperan obtener una remuneración por los daños que un enorme movimiento en masa ha provocado a 160 viviendas. Los propietarios sostienen que el movimiento en masa fue detonado por la construcción del Crenshaw Boulevard, la autopista del Condado que atraviesa la parte septentrional del área afectada por el movimiento en masa. Los propietarios piden también que se reconozca la negligencia de los desarrolladores que, con el apoyo del Condado, han construido la carretera en un área geológicamente inestable.



Fig. 1 Curva Portuguesa, California.

1. ¿Cuál es la esencia del artículo?

*\*El objetivo de esta pregunta es generar interés en los alumnos a cerca de los sucesos y de cómo consideran que el Condado debería de tomar acción\*.*

2. ¿Cuál es la base científica de la demanda de los propietarios de viviendas?

*Desde un punto de vista científico no es posible evaluar la situación tan solo con los datos proporcionados en el artículo ya que su objetivo es informar brevemente lo ocurrido y exponer las denuncias de los propietarios, sin necesariamente proveer evidencias de lo ocurrido.*

3. ¿Qué información se requiere para evaluar la base científica de la demanda?

*\* Se invitará a los alumnos a reflexionar sobre la información que consideran necesaria para evaluar y determinar los elementos desencadenantes del movimiento en masa.*

*Algunos factores para considerar en la discusión podrían ser: condiciones geológicas, ubicación de Crenshaw Boulevard con respecto al deslizamiento, factores meteorológicos, porqué el área de Curva Portuguesa se considera inestable, entre otros\*.*



## El movimiento en masa

### Uso del suelo

El uso del suelo en la península de Palos Verdes consiste principalmente en casas unifamiliares construidas en grandes lotes, muchos de los cuales tienen vistas panorámicas del océano. Los residentes tienen un estilo de vida rural; numerosas áreas en la península están dedicadas a establos y rutas de equitación. Para 1956, año del movimiento en masa de la Curva Portuguesa, se habían construido más de 100 casas en la zona afectada, la mayoría de las cuales se ubican al sur de la carretera Palos Verdes Drive. Todas las casas tenían sistemas sépticos individuales, con un tanque séptico y un área de filtración.

### Contexto geológico

La topografía de la península es sinuosa, con pendientes tanto suaves como empinadas. A lo largo de la costa hay un acantilado rocoso cuya altura varía de 30 a 60 metros sobre el nivel del mar. Antes del movimiento en masa, la topografía se caracterizaba por una serie de terrazas que se elevaban desde el mar como gigantescos escalones. En las áreas afectadas por el movimiento en masa, las terrazas han sido destruidas y el terreno aparece muy irregular y accidentado. Grandes escarpes arqueados se observan en la cabecera de las masas colapsadas. En la costa, el subsuelo está conformado por rocas volcánicas y sedimentarias, inclinadas hacia el mar con un ángulo análogo a la inclinación de la superficie. El movimiento en masa ocurrió a lo largo de la superficie basal de una unidad volcánica denominada Toba Portuguesa. Esta unidad incluye una capa de bentonitas, arcillas derivadas de la meteorización de la ceniza volcánica, que son capaces de absorber grandes cantidades de agua.

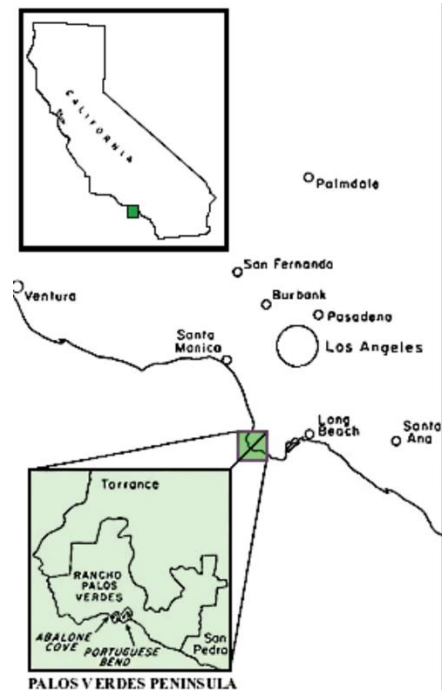


Fig. 2 Localización geográfica de La Curva Portuguesa.

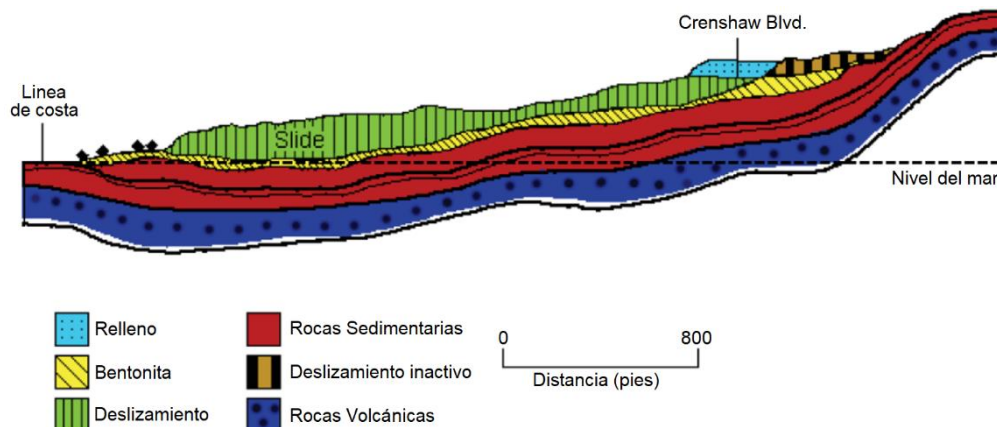


Fig. 3 Perfil geológico transversal de la península.

### El movimiento en masa

Los movimientos en masa han estado activos en la zona por miles de años, aunque los más recientes se han atribuido en parte a las acciones humanas. El movimiento en masa de la Curva Portuguesa empezó su movimiento moderno en agosto del 1956, cuando se observó un desplazamiento en su parte nororiental. El movimiento se extendió gradualmente pendiente abajo, de tal manera que a las seis semanas todo el borde oriental de la masa se estaba deslizando. En el verano de 1957, toda el área se estaba deslizando hacia el mar.

Las tasas del deslizamiento han variado en el tiempo, desde 2-12 cm/día en los primeros dos años, a menos de 1 cm/día en los cuatro años sucesivos. La masa ha continuado su movimiento por al menos cuarenta años, tanto que el desplazamiento acumulativo en algunas áreas excede los 30 metros.

4. ¿Por cuáles características naturales la zona está propensa a sufrir movimientos en masa?

*\*Es recomendable que los alumnos analicen la sección dada con el fin de extraer de ella toda la información posible, y así comprender la configuración de los elementos involucrados en el movimiento, tales como: la ubicación de las viviendas y la carretera, estratigrafía, dimensiones y forma del deslizamiento, contactos entre unidades, superficie de deslizamiento, entre otros.\**

La superficie en general es sinuosa y el subsuelo está conformado por una secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias que se inclinan desfavorablemente en la misma dirección que la superficie, hacia la costa, y que además se encuentran expuestas a una erosión constante por acción del mar. Por otro lado, como se observa en la sección, debajo de la masa que se encuentra deslizándose se encuentra una capa de bentonitas que, como se menciona en el texto, son capaces de absorber grandes cantidades de agua hasta saturarse y perder parte de su cohesión, agregando además peso a la masa.

Por su lado, los terremotos podrían considerarse inmediatamente como un factor importante debido a la proximidad del deslizamiento a la zona de falla de San Andrés. A pesar de que, sin duda, han contribuido al debilitamiento de los contactos geológicos, no se consideran una causa principal desencadenante del deslizamiento en la Curva Portuguesa.

5. ¿Qué tipo de movimiento en masa específico es probable que ocurra en este contexto geológico?

La configuración de los contactos geológicos del subsuelo (cóncavos hacia arriba) favorece el deslizamiento rotacional a través de las tobas volcánicas y de la capa de bentonita resultado de su erosión, más que uno en bloque a lo largo de una superficie plana que bien podría formarse por la estratificación, aunque no es el caso. Esta distinción es importante porque los deslizamientos rotacionales, a diferencia de los deslizamientos de bloques, pueden desencadenarse por la adición de peso a la cabeza de la masa deslizante. Por otro lado, es importante mencionar que los grandes escarpes arqueados que se observan en la cabecera de las masas colapsadas son característicos de los deslizamientos de tipo rotacional.

6. ¿Es posible que el movimiento en masa de la Curva Portuguesa de 1956 haya sido detonado únicamente por causas naturales?

Sí, el área tenía un historial de deslizamientos antes de que fuera habitada por humanos, y los factores mencionados en la respuesta a la pregunta 4 representan las causas subyacentes o reales. En realidad, el movimiento que comenzó en 1956 fue simplemente una reactivación de un antiguo deslizamiento.

7. ¿Cuáles acciones humanas podrían haber contribuido o disparado dicho movimiento en masa?

Como se menciona en la respuesta a la pregunta 5, un movimiento en masa de tipo rotacional se puede desencadenar por la adición de peso a la cabeza del deslizamiento, que en este caso fue añadido por la construcción de la carretera; habría que investigar si el volumen de relleno artificial fue lo suficientemente grande como para reactivar el deslizamiento. Por otro lado, la adición de agua en el subsuelo por medio de los sistemas sépticos y / o el riego de céspedes también pudo desencadenar el movimiento en virtud del efecto que el agua tiene sobre la arcilla bentonita (provocando que se hinche y pierda algo de su cohesión).

Se puede llegar a considerar la construcción de viviendas y las vibraciones resultantes del tráfico en las carreteras como posibles mecanismos de activación; sin embargo, el efecto de las vibraciones del tráfico podría tener un impacto tan pequeño que se puede despreciar como detonante.



## **Daños, demanda y mitigación**

### ***Efectos del movimiento en masa en las estructuras***

Los efectos del deslizamiento han sido progresivos, pues primero causaron daños, y luego la destrucción de viviendas y otras estructuras. Muchas carreteras en el área sufrieron flexiones y fracturaron, lo que ha requerido múltiples reparaciones. Desde 1961, más de 150 casas han sido destruidas o seriamente damnificadas por el movimiento en masa. Desde entonces, muchas otras casas se han visto variablemente afectadas, y la carretera Palos Verdes Drive ha estado en constante reparación. Todas las tuberías públicas subterráneas se han recolocado arriba de la superficie, como tuberías de acero con conexiones flexibles.

### ***Albers contra el Condado de Los Ángeles***

En 1961, los propietarios de las viviendas demandaron el Condado de Los Ángeles con el fin de obtener una remuneración por sus pérdidas (~10 millones de dólares de ese tiempo). La corte resolvió el caso en favor de los propietarios, declarando el Condado responsable de haber construido el Crenshaw Boulevard, y por ende de haber agregado peso, en forma de relleno artificial, a la parte superior de la masa afectada. Aunque no se pudo establecer propiamente la negligencia, el Condado fue declarado responsable de los daños a propiedades.

Los argumentos que los expertos expusieron a favor del Condado fueron ignorados en la sentencia. Éstos incluían: 1) la cantidad de relleno artificial usado para construir el Crenshaw Boulevard sólo representaba el 0.5% en peso de toda la masa involucrada en el movimiento; 2) el agua descargada por los sistemas sépticos y los sistemas de irrigación de céspedes pudieron haber provocado un aumento del nivel del agua subterránea bajo el área afectada por el movimiento en masa; 3) las sustancias químicas presentes en el agua descargada por los sistemas sépticos podrían haber disminuido la resistencia de las bentonitas saturadas.

### ***Acciones correctivas***

Un primer intento de obstaculizar el movimiento en masa se realizó en 1957, con la instalación de tubos verticales de concreto de 1.2 metros de diámetro y 6 metros de largo colocados en la roca subyacente (incrustados a 3 metros de profundidad). Inicialmente los tubos redujeron el movimiento del 50%; sin embargo, después de cinco meses, éstos colapsaron y el movimiento se aceleró. Posteriormente, se implementó un proyecto de estabilización en tres etapas: la primera etapa (mitad de los años '80) involucró la instalación de ocho pozos de drenaje en la masa afectada por el movimiento; la segunda etapa, terminada al final de los años '80, incluyó la reubicación de carreteras, mejoras en el sistema de drenaje superficial, la reducción de la pendiente de la masa afectada por el movimiento, y la adición de otros cinco pozos de drenaje; en la tercera etapa (inicio de los años '90), se colocaron revestimientos en la base del acantilado rocoso para protegerlo de la acción erosiva de las olas. Tras la finalización de la tercera etapa, gran parte del área logró estabilizarse.

8. ¿Qué información se necesitaría para evaluar el efecto de la descarga de los sistemas sépticos y de irrigación en el nivel del agua subterránea?

Resultaría conveniente contar con los datos de algunos pozos cercanos y mantenerlos monitoreados. También sería útil tener información sobre el volumen estimado de agua natural y la cantidad de agua añadida por los sistemas sépticos y el riego del césped.

9. ¿Qué aspecto de la construcción del Crenshaw Boulevard pudo haber detonado el movimiento en masa?

Se encuentra cerca de la cabeza de una depresión, lo que suma su peso a las fuerzas actuantes en el mecanismo de activación.

10. ¿Qué sugieren las medidas de estabilización implementadas sobre la(s) causa(s) del movimiento en masa?

Posterior al primer intento de estabilización, se determina que el verdadero factor detonante fue el agua, no el peso añadido por los rellenos. Esto sugiere que los propietarios eran al menos tan culpables como la carretera. Por su parte, el entorno geológico es en última instancia el responsable de este deslizamiento.

### 3.2.2. Movimientos en masa y sociedad. Ejemplos de Perú e Italia.

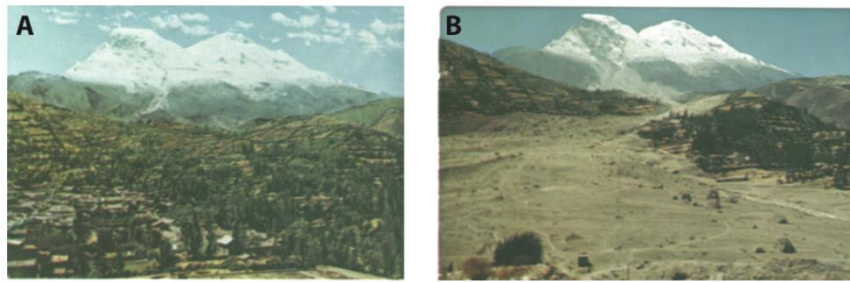


Fig. 1 Se observa la ciudad de Yungay en Perú y sus alrededores antes A) y después B) del flujo de escombros en 1970. Al fondo de ambas imágenes se aprecia el Nevado de Huascarán

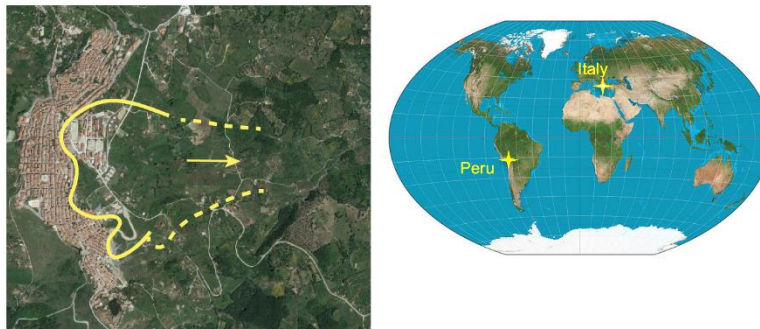


Fig. 2 Área aproximada del movimiento en masa de San Fratello, Italia, en el 2010.

#### Caso 1: Nevado Huascarán, Perú, 31 de mayo de 1970

##### Resumen y ubicación del evento

El Nevado Huascarán es el pico más alto de Perú y el segundo más alto de los Andes (Fig. 3). En dicha estructura, caídas de rocas y hielo han ocurrido a lo largo de la historia, y probablemente continuarán ocurriendo, en relación con el constante derretimiento de los glaciares y la sismicidad activa. El 31 de mayo de 1970, en coincidencia con un sismo de magnitud 7.9, una caída de rocas y hielo desde la cara oeste del pico norte (una granodiorita muy fracturada) se convirtió en un flujo de escombros de alta velocidad, que enterró las ciudades del valle del río Santa en su camino hacia el Océano Pacífico, a ~150 km de distancia. A los 3-4 minutos del inicio del evento, las ciudades de Yungay, Ranrihirca y Matacoto habían sido enterradas, y 6,000-20,000 residentes habían muerto. El evento de 1970 no fue el primero en la historia reciente: 8 años antes, un evento similar, aunque más pequeño, enterró parte de Ranrihirca. En 1970, en la tarde del domingo 31 de mayo, muchos de los residentes estaban ocupados en el mercado o viendo un partido de fútbol en la televisión. Cuando el sismo comenzó a las 15:23, los temblores dificultaron el desplazamiento de las personas al moverse el suelo, y muchas estructuras de adobe colapsaron. El temblor se detuvo después de 45 segundos, y en ese momento se escuchó un ruido aterrador, y se vio una nube de polvo que se levantaba desde la base del Huascarán. Algunos dicen que vieron el flujo de escombros que se desplazaba a gran velocidad como una ola sobre una pequeña cresta en el lado oeste de la ciudad. La gente en Yungay corrió hacia la Colina del Cementerio, un terreno elevado dominado por una gran estatua de Jesús con los brazos extendidos (Fig. 4); muchos sintieron una fuerte ráfaga de viento justo antes de la llegada del flujo de escombros; algunos cuentan que el viento era tan fuerte que despojó a los árboles de las hojas; se relata que 90 personas lograron llegar a la cima de la colina en los 3 minutos que pasaron desde que cesaron los temblores más fuertes, hasta que el flujo de escombros enterró la ciudad.





Fig. 3 Nevado de Huascarán. La flecha indica hacia la zona del desprendimiento de hielo y rocas que dieron origen al flujo de escombros.



Fig. 4 A) Colina del Cementerio; B) Restos de una vieja iglesia de Yungay.

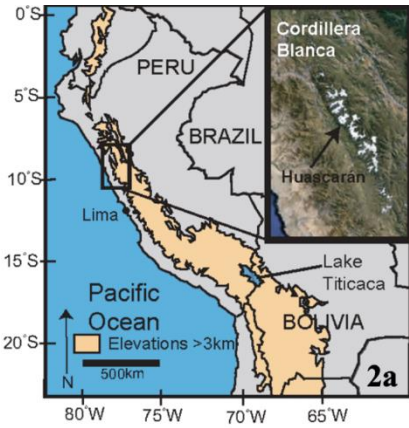


Fig. 5 Ubicación geográfica de la Cordillera Blanca

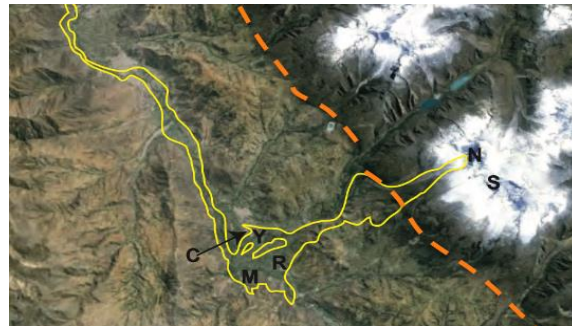


Fig. 6 El evento que dio lugar al flujo de escombros en el Nevado de Huascarán (ruta en amarillo) se relaciona más estrechamente con la sismicidad producto de la subducción a lo largo de la costa. Pocos eventos se han asociado a la Falla Cordillera Blanca (línea naranja).

**Contexto geológico, hidrológico y geomórfico**

En este paisaje glaciar, sísmicamente activo y de alto relieve, los movimientos en masa catastróficos son bastante comunes. El Valle del Callejón de Huaylas está cubierto por antiguas morrenas y depósitos de flujos de escombros, que han quedado expuestos por la acción erosiva del río Santa. El análisis de dichos depósitos, que se generaron en el área en los últimos ~2 millones de años, ha proporcionado evidencias de que en pasado ocurrieron eventos similares en estilo y escala al evento de 1970. Las precipitaciones estacionales, el rápido derretimiento de los glaciares y los eventos de precipitación intensa aumentan la amenaza de colapso de taludes. La tectónica también juega un papel importante: el detonador del evento de 1970 fue un sismo de magnitud 7.9 producido por la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. La falla de la Cordillera Blanca, ubicada a 5 km de distancia desde la cima del Nevado Huascarán, representa otra amenaza sísmica para la región; aunque a lo largo de esta estructura se ha registrado poca



Fig. 8 Depósito de Flujo de escombros.

sismicidad histórica, se han identificado desplazamientos en morrenas de hace 16,000 años, lo que indica que la falla ha estado activa en el pasado geológico reciente.

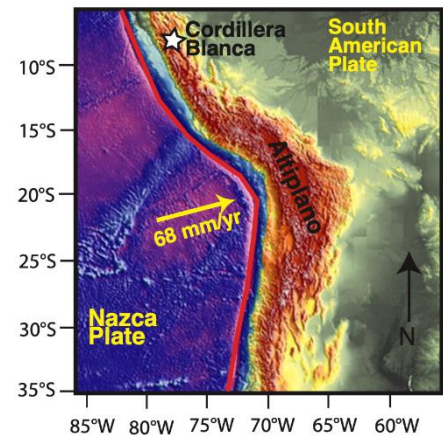


Fig. 7 Mapa fisiográfico del sur de América. La línea roja indica el límite entre las placas Nazca y Sudamericana.

### **Consecuencias sobre el paisaje y la infraestructura**

Inmediatamente después del flujo de escombros, 4 palmeras sobresalían del depósito de lodo, junto con fragmentos de la iglesia del pueblo y un bus regional. El pueblo de Yungay es ahora un sitio conmemorativo, visitado cada año por miles de peruanos y visitantes internacionales. La ciudad de Nueva Yungay se ha reubicado cerca de la vieja, pero lejos de la trayectoria de los flujos de escombros pasados.

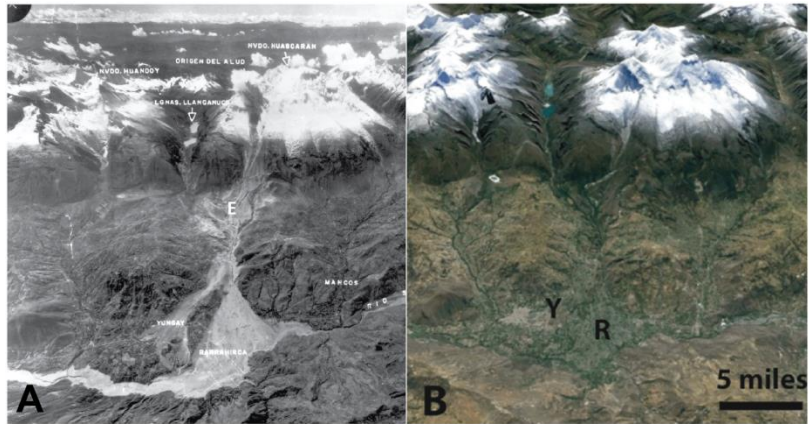


Fig. 9 A) Fotografía aérea justo después del evento; B) Imagen de Google Earth actual. Y=Yungay, R=Ranrihirca.

### **Próximos pasos: peligros y planificación futura**

Con el cambio climático que contribuye al rápido derretimiento de los glaciares y a crear patrones de precipitación más variables, en el futuro se espera un riesgo elevado de flujos de escombros para esta zona de alto relieve y sísmicamente activa. Además del riesgo de avalanchas de rocas similares a la del 1970, se han generado también flujos de escombros por el desbordamiento de lagos delimitados por morrenas. Los paisajes glaciares a menudo están llenos de sedimento suelto, y tienen lagos que se forman aguas arriba de las morrenas terminales. Si un bloque de rocas o hielo, una masa de sedimento o simplemente una gran cantidad de agua caen en uno de estos lagos, el nivel del agua sube rápidamente, y ésta puede desbordarse, creando una inundación y un posterior flujo de escombros río abajo. En la región se han documentado muchos de estos eventos. Después del evento de 1970, se han estudiado avalanchas históricas producidas en los altos picos de la Cordillera Blanca, para comprender sus causas, planear estrategias para prevenir ulteriores pérdidas de vida, y establecer planes de evacuación en caso de futuros movimientos en masa. Además, se han descrito y monitoreado los ~380 lagos de la región, dando prioridad a los que se encuentran aguas arriba respecto a zonas pobladas, cerca de glaciares en derretimiento, o en terrenos más empinados. En algunos casos, se ha bajado el nivel de agua de los lagos como medida preventiva. Uno de los lagos monitoreados, el Palcacocha, se encuentra aguas arriba respecto a la ciudad de Huaraz, la más grande de la Cordillera Blanca, con una población de ~101,000 habitantes. Esta región tiene una gran población que vive tanto en entornos urbanos como en la agricultura y la cría de ganado. Además, la industria del turismo es de gran importancia económica, ya que la zona es un destino de escalada de clase mundial, y alberga uno de los parques nacionales más visitados de Perú (Parque Nacional Huascarán).



## Caso 2: San Fratello, Italia, 13-15 de febrero de 2010

### Resumen y ubicación del evento

San Fratello es un pueblo de 4,500 habitantes que pertenece a la provincia de Messina, en Sicilia (Italia). Ubicado en la parte noroccidental de los montes Nebrodi, San Fratello se encuentra en una colina empinada, entre los valles de los ríos Furiano e Inganno. El 13 de febrero de 2010, después de un invierno particularmente lluvioso, y después de varios días de lluvia persistente, el suelo empezó a moverse en un área de 2 km de ancho al este de la ciudad, y continuó moviéndose durante 2 días. El alcalde informó que “la ciudad se estaba desapareciendo delante de sus ojos”. El deslizamiento afectó aproximadamente 250 acres. El 90% del terreno afectado estaba afuera de la ciudad de San Fratello, mientras que el 10% correspondía a un área poblada que incluía los barrios de San Benedetto, Riana, Porcaro y Stazzone. Cuando inició el movimiento en masa, se evacuaron alrededor de 2,000 personas. Aunque no hubo víctimas mortales, docenas de edificios históricos y modernos fueron destruidos, y otros 300 edificios sufrieron daños. El deslizamiento afectó también las áreas agrícolas en las afueras de la ciudad; y gran parte de los sistemas de distribución de agua, drenaje y alcantarillados fueron destruidos. A pesar de todos los daños que sufrieron las propiedades e infraestructuras, los habitantes de San Fratello no quisieron renunciar a la celebración judía que se celebra cada año en marzo, antes de la Pascua. Antes del evento de 2010, otros deslizamientos afectaron el área de San Fratello: uno ocurrió en 1754 (daños en la parte noreste de la ciudad); uno en 1922 (destrucción total de la parte occidental de la ciudad); y otro en 2000 (daños considerables a la infraestructura de la ciudad).



Fig. 10 Localización geográfica de San Fratello, Italia.

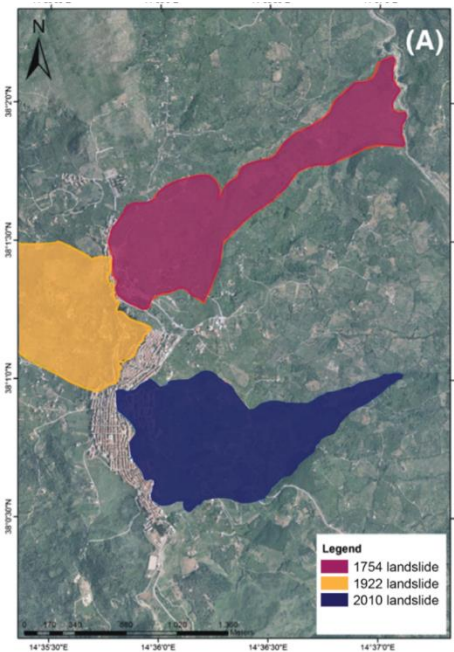


Fig. 11 Antiguos deslizamientos.



Fig. 12 Daño a la infraestructura resultado del deslizamiento en 2010.



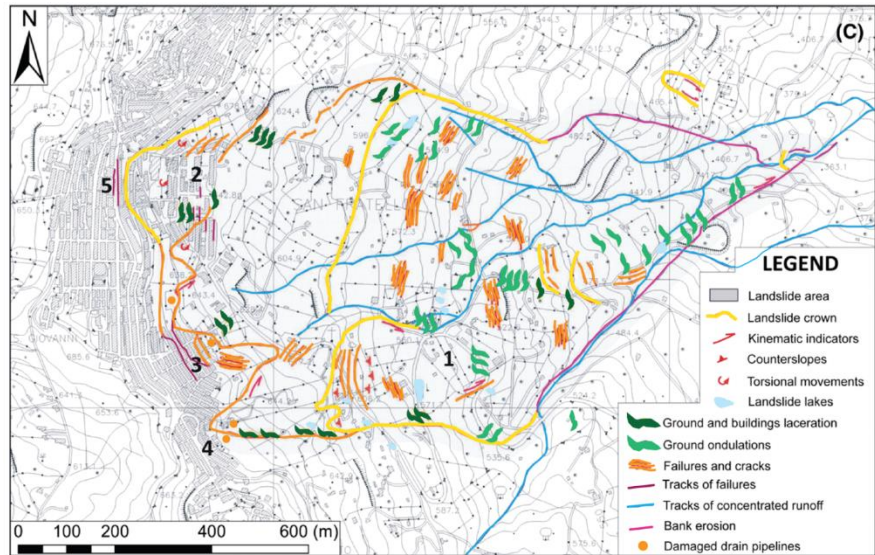


### Próximos pasos: peligros y planificación futura

Una parte importante de la planificación ante futuros deslizamientos involucra la comprensión de las causas y del alcance geográfico de los deslizamientos que han afectado la zona en el pasado. Al mapear un deslizamiento, los científicos pueden identificar las áreas de bajo, intermedio y alto riesgo, y tomar decisiones sobre el futuro uso de la tierra y las medidas a implementar para reducir las pérdidas de vidas y propiedades. El mapeo de deslizamientos en el

área de San Fratello es un gran reto, pues los eventos más antiguos han sido obliterados por los más jóvenes; además,

el suelo se encuentra parcialmente cubierto por la vegetación, parcialmente erosionado, y ha sido modificado por las actividades humanas (construcción, agricultura...). Después del movimiento en masa del 2010, se han implementado medidas para la estabilización del suelo y la mitigación del peligro. En la zona del deslizamiento y en sus alrededores, se han instalado desagües de concreto para coleccionar el agua superficial, tubos de drenaje adyacentes para transportar el agua, y tubos perforados para eliminar el agua del subsuelo. En 2012, se instalaron GPS en edificios y pozos de drenaje ubicados en el área del deslizamiento, para monitorear el movimiento del terreno. Asimismo, con la técnica InSAR se midió el desplazamiento que sufrió el suelo entre 2010 y 2013, lo que dio a conocer que el mayor desplazamiento se produjo en los barrios de San Benedetto y Porcaro (2,294 mm y 2,178 mm), mientras que los barrios de Stazzone y Riana experimentaron un desplazamiento de 604 mm y 545 mm, en la Fig. 15 se puede observar la localización de cada lugar.



### Análisis de los dos casos

1. El Nevado Huascarán tiene una composición esencialmente granodiorítica. Tomando en cuenta el contexto tectónico del área, ¿cómo crees que podría haberse formado dicha estructura?

El Nevado Huascarán forma parte de la provincia magmática de los Andes, cuyo origen se relaciona con la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. La composición félsica y el carácter intrusivo del Nevado Huascarán indican que dicho cuerpo ígneo tuvo que haberse formado por un proceso de cristalización fraccionada de magmas máficos estacionados en la corteza continental, para ser exhumado posteriormente por acción de la erosión.

2. ¿Esperarías que la sismicidad sea un factor de riesgo en la generación de movimientos en masa en el Nevado Huascarán y/o San Fratello? ¿Por qué, o por qué no? Si es así, ¿por cuál de las dos áreas estarías más preocupado por los riesgos sísmicos? ¿Por qué?

Sí, la sismicidad representa un peligro inminente en la generación de un movimiento en masa debido a la inestabilidad que las vibraciones provocan. El Nevado Huascarán es más susceptible a presentar otros eventos de movimientos en masa desencadenados por sismos de gran magnitud, esto debido a que se encuentra en una zona sísmicamente activa resultado de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, además

de que la región se encuentra muy próxima a La falla de la Cordillera Blanca. Mientras que en San Fratello el riesgo sísmico es muy reducido debido a que no nos encontramos en una zona de subducción.

3. Sugiere algunos factores que podrían haber contribuido a convertir la caída de rocas y hielo en el Nevado Huascarán en un flujo de escombros.

Los flujos de escombros son deslizamientos que contienen una variedad de partículas finas, grandes bloques y ramas de árboles que, aunado a la disminución de la cohesión de sus partículas por la presencia de agua, es capaz de moverse fácilmente. Entonces, uno de los factores determinantes en la generación del flujo de escombros en el Nevado Huascarán fue el exceso de agua dentro y encima de sus laderas, provocado por el derretimiento y desmoronamiento de los bloques de hielo involucrados en el flujo, fluidificando el material. Además, la caída de grandes y abundantes bloques fue desencadenada por los sismos de gran magnitud que se presentan en la zona al ser sísmicamente activa.

Por otro lado, el paisaje glaciar acarrea consigo otros factores determinantes como el alto relieve, la presencia de grandes cantidades de sedimento suelto y de lagos formados aguas arriba de las morrenas terminales que tienden a desbordarse debido a la caída de rocas y hielo o de una gran cantidad de agua.

4. En ambas áreas de estudio, existe evidencia científica e histórica que sugiere que en el pasado han ocurrido movimientos en masa. Si éste es el caso, ¿por qué las personas continúan habitando estas zonas?

En el caso del Nevado de Huascarán una de las causas de la permanencia de los habitantes se debe a la industria del turismo, que resulta de gran importancia económica, ya que la zona es un destino de escalada de clase mundial, y alberga uno de los parques nacionales más visitados de Perú (Parque Nacional Huascarán). Además de que el pueblo de Yungay, afectado por el flujo, ha sido reubicado lejos de la trayectoria de los deslizamientos. Otra razón para mantenerse en la zona podría ser la dificultad del desplazamiento y reubicación de cientos de miles de habitantes a un lugar más lejano, además de que una gran parte de la población se sustenta de actividades como la agricultura y la cría de ganado que se ve beneficiada por la fertilidad de los suelos de este lugar.

En San Fratello, inclusive después del catastrófico evento, los habitantes decidieron continuar con las festividades por lo que el abandono de la zona no fue una opción desde el principio, además de que al tratarse de un movimiento en masa relativamente lento y no fatal la población no se vio forzada a abandonar la ciudad.

En ambos casos se han implementado alternativas de prevención de riesgos, monitoreo, mapeo, análisis de flujos pasados, planes de evacuación, medidas de estabilidad de los suelos, drenajes, entre otras, por lo que es posible que esto genere en los habitantes la confianza de permanecer en estos sitios.

5. ¿Qué papel jugó el agua en los eventos del Nevado Huascarán y San Fratello?

En San Fratello, las lluvias durante los días precedentes al evento resultaron en un aumento del nivel del agua subterránea y en la saturación de las arcillas sobre las que se encuentra construido, desencadenando dos tipos de movimientos en masa; el primero a lo largo de una superficie curva generada por la sobresaturación y aumento de peso del sedimento, y el segundo sobre una superficie plana que podemos relacionar con una superficie de estratificación desfavorable a la pendiente de la colina que se ha saturado, fluidificado y deslizado a lo largo del contacto con los 10 metros de arcillas suprayacentes.

En el Nevado Huascarán la fluidificación de los materiales se debe al gran volumen de agua proveniente del derretimiento y desmoronamiento de los bloques de hielo involucrados en el flujo, además del desborde de los lagos delimitados por morrenas característicos de este paisaje glaciar. Estas particularidades, junto con las pendientes inclinadas y la gran cantidad de sedimentos sueltos y ahora saturados fungieron como factores determinantes para que el material fluyera.



6. Los movimientos en masa también ocurren en áreas que reciben muy poca precipitación. Menciona algunas ideas sobre lo que podría impulsar movimientos de ladera en regiones áridas.

En las regiones áridas, un cambio en la inclinación de las pendientes puede desencadenar un movimiento en masa. Este cambio puede darse naturalmente por acción de la erosión a la que estas regiones son más susceptibles debido a su escasa vegetación o por la actividad antropogénica en la cual se generan pendientes muy inclinadas, casi verticales como es el caso de los Taludes en un corte carretero, aumentando la probabilidad de ocurrencia de un movimiento en masa al aumentar la componente de la gravedad paralela a la superficie; además de que existe la posibilidad de que la geología no sea favorable a la pendiente y que el ángulo de reposo de los materiales sea menor a la pendiente.

Otro factor condicionante en la inestabilidad del terreno es la actividad sísmica cuyas vibraciones pueden facilitar la movilización del material suelto e inestable de las pendientes sin modificar necesariamente su inclinación.

7. ¿Cuáles podrían ser algunos de los desafíos en el estudio de movimientos en masa pasados y en la predicción de eventos futuros?

Algunos movimientos en masa antiguos han sido borrados por la actividad humana, por eventos más jóvenes que los han cubierto o no pueden ser fácilmente identificados por la presencia de vegetación o debido a la avanzada erosión, dificultando en algunos casos el estudio y predicción de un futuro evento al no contar con datos suficientes. Por su lado, el monitoreo del movimiento del terreno requiere de cierto tiempo para la colección de datos y análisis, por lo que no es una alternativa inmediata y requiere de un estudio previo de la zona.

Dependiendo de las características del lugar y la velocidad del movimiento, es posible elaborar planes de reducción y mitigación del riesgo; sin embargo, algunos movimientos en masa son desencadenados por factores cuya predicción no es posible, como un sismo.

8. ¿En qué han sido diferentes las respuestas de la comunidad y del gobierno a los eventos del Nevado Huascarán y San Fratello? ¿Cómo crees que responderían la comunidad y el gobierno de México a eventos similares?

El Gobierno del Nevado de Huascarán optó por aprovechar el evento como un atractivo turístico y reubicar la ciudad cerca pero lejos de la trayectoria de flujos pasados; sin embargo, esto no significa que se encuentre fuera de riesgo por lo que se mantienen monitoreando los lagos de la región y como medida preventiva en algunos se baja el nivel de sus aguas. Mientras que en San Fratello se optó por no abandonar el sitio y tomar medidas de estabilización del suelo y mitigación del peligro como desagües de concreto y tubos para transportar y eliminar el agua del subsuelo, además de monitorear el movimiento del terreno y mapear la zona para determinar su grado de riesgo y entonces tomar una decisión con respecto al futuro uso de la tierra y las medidas que se implementaran para reducir las pérdidas.

*\* Se invitará a los alumnos a reflexionar sobre la respuesta de la comunidad y el gobierno de México sobre eventos similares a los tratados en la actividad. Algunos factores para considerar en la discusión podrían ser: difusión de la información; los recursos económicos del estado, municipio o alcaldía; la existencia de instituciones responsables del monitoreo de riesgos y elaboración de planes de acción como es el caso del CENAPRED y el Servicio Geológico Mexicano; entre otros\*.*

9. Describe brevemente las diferencias geológicas y climatológicas entre los sitios del Nevado Huascarán y San Fratello. En ambos casos, ¿cómo han contribuido la geología y el clima al desarrollo del movimiento en masa?

El Nevado de Huascarán es un cuerpo intrusivo exhumado perteneciente a los Andes; se caracteriza por su paisaje glaciar, sus laderas empinadas y por la presencia de antiguas morrenas y depósitos de antiguos flujos de escombros. Como resultado de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana esta zona se considera sísmicamente activa. Además, al ser una región cercana a La Falla de la Cordillera Blanca, el riesgo sísmico es aún mayor, siendo este el principal factor desencadenante de los movimientos en masa al movilizar y

desprender fragmentos de hielo, rocas y material que de otra forma se encontraría en reposo. Aunado a esto, el exceso de agua producto del derretimiento glaciar y el desborde de los lagos favorecen el movimiento.

En San Fratello las condiciones geológicas y tectónicas son muy distintas. Este sitio se localiza en una colina empinada de aproximadamente 30° de inclinación; su basamento está conformado por cuarzo arenitas, arcillas con intercalaciones de caliza, areniscas y arcillas con intercalaciones de conglomerados, areniscas y gneis. Estas rocas se encuentran cubiertas por aproximadamente 10 m de arcillas no consolidadas que han provocado deslizamientos previamente al sobresaturarse a consecuencia de las lluvias torrenciales y fluidificarse, como vimos en la respuesta de la pregunta 5.

10. Compara y contrasta cómo la infraestructura y la vida humana se han visto afectadas por los movimientos en masa en las dos áreas de estudio.

En el Nevado Huascarán la población se vio obligada a abandonar la zona ya que el flujo de escombros terminó por sepultar la ciudad por completo en cuestión de minutos; al ser un movimiento tan veloz y desastroso se perdieron miles de vidas. Al contrario de San Fratello en donde el movimiento duró al menos 2 días y solo afectó al 10% de la infraestructura, desde la destrucción de los sistemas de agua, drenaje y alcantarillados, hasta la pérdida total de edificios históricos y modernos. A pesar de esto solo una pequeña parte de la población fue desalojada, para regresar unos días después.

11. Proporciona algunas ideas sobre los efectos que el cambio climático podrá tener en la ocurrencia de movimientos en masa.

Debido al cambio climático los fenómenos meteorológicos serán más extremos, frecuentes e intensos; el derretimiento de los glaciales aumentará, los patrones de precipitación serán más variables y de más intensidad propiciando la saturación de los materiales, por lo que en el futuro se espera un riesgo elevado de flujos de escombros para las zonas con sedimento suelto, pendientes pronunciadas y estratificación desfavorable. Por otro lado, la ausencia de vegetación también representa un factor condicionante en la ocurrencia de movimientos en masa; con el aumento de la temperatura, las olas de calor, las sequías y los incendios, la vegetación se verá escasa y las superficies serán más susceptibles a la erosión. El aumento del nivel del mar también puede ocasionar desprendimientos de roca al meteorizar con más fuerza y frecuencia las paredes de los acantilados.

12. ¿Los eventos examinados te han enseñado algo que te haya sorprendido particularmente?

*\* Se inducirá a los alumnos a reflexionar sobre las diferencias de los movimientos en masa, su velocidad, distintos factores desencadenantes, velocidades de ocurrencia, grados de riesgo, acciones de prevención y mitigación de riesgos, respuesta de la comunidad, etc. \**

13. ¿Qué más podrías investigar sobre los sitios examinados para ayudar la comunidad a tomar decisiones de planificación?

*\* Para guiar la discusión se sugieren las siguientes ideas: búsqueda de información geológica del lugar, artículos y proyectos realizados en la zona, estudios geológicos de eventos previos, casos de estudio de eventos similares, alternativas de planes de prevención y estabilización, información demográfica de la zona, etc. \**



### 3.3. Corrientes de agua superficiales e inundaciones

#### 3.3.1. Perder la granja: cómo los cambios en la superficie terrestre afectan la escorrentía.

##### **La vieja granja de Leala**

Leala y Jake criaron a su hijo Jimmy en la granja familiar de Leala, en el norte de Georgia. Jake construyó la casa en los años Cuarenta, a partir de piezas recicladas de una antigua escuela de la zona.

El verano en el norte de Georgia suele ser “verde”, debido a las altas precipitaciones anuales (~53 pulgadas). Nadie aró los campos durante varios años, por lo que éstos se convirtieron en bosques de pinos por efecto de la sucesión ecológica natural, como se ve en la Fig. 1. La propiedad de 30 acres de Leala estaba llena de árboles de madera dura y jóvenes pinos. El suelo estaba cubierto de vegetación y residuos arbóreos. El camino de la entrada estaba rodeado de pinos nativos y grandes robles.

El suelo de la vieja granja es típico de esta área y se llama localmente “arcilla roja de Georgia”, una arcilla limosa de baja calidad. Después de un evento de lluvia, este suelo se vuelve pegajoso y las depresiones albergan charcos durante días.

La vieja granja es una pequeña cuenca hidrográfica. El lado oeste (lado izquierdo de la foto aérea) es una cresta, y la tierra se inclina hacia el noreste (parte derecha de la foto), por lo que el punto más bajo de la propiedad se encuentra en correspondencia de la casa. En la esquina noreste, todo el drenaje superficial sale de la propiedad a través de una sola tubería, que pasa por debajo del ferrocarril y la autopista, y descarga en un arroyo natural que fluye al este de la carretera.



Fig. 1 Bosque de pinos resultado de la falta de arado en la granja de Leala.

1. ¿Qué características de la granja podrían determinar qué tanta agua será retenida o escurrirá durante un evento de lluvia o tormenta?

Las principales características que resultarán determinantes son:

- (1) Las características del suelo: se describe el suelo de la propiedad como una arcilla limosa; esta clase de material presenta una baja permeabilidad, sin embargo, en época de lluvias se vuelve pegajoso y fangoso favoreciendo al estancamiento del agua en charcos y depresiones por días permitiendo que se infiltre lentamente a las capas subyacentes.
- (2) La presencia de cubierta vegetal: (bosques y residuos arbóreos) la amplia vegetación contribuye a la interceptación del agua de lluvia, es decir, a la retención del agua debido a las plantas.
- (3) Las depresiones de la superficie funcionan como depósitos que almacenan al agua en forma de charcos, para posteriormente se infiltrarse lentamente.



Fig. 2 Foto aérea de la granja de Leala.

2. La escorrentía es agua que no penetra en el suelo, no es retenida por las plantas, y tampoco queda atrapada en charcos superficiales, sino que escurre pendiente abajo hacia un arroyo. En el Sureste de los Estados Unidos, es común que en un día llueva 1 pulgada de lluvia. ¿Qué diferencias esperarías entre la escorrentía producida por 1 pulgada de agua que cae en la granja como lluvia ligera en 24 horas, y la escorrentía asociada a 1 pulgada de lluvia que cae en 1 hora en forma de tormenta?

Una pulgada de lluvia ligera durante un largo periodo tiene mucho más tiempo para infiltrarse en el suelo y ser absorbida completamente, respecto a la caída de la misma cantidad de lluvia pero en forma de tormenta.

3. El Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los Estados Unidos ha desarrollado un método para determinar el volumen del agua de escorrentía en diferentes tipos de suelos. Usando dicho método (página 5), calcula cuántos pies<sup>3</sup> de agua debería retener un estanque ubicado en la esquina noreste de la granja, para poder atrapar toda la escorrentía asociada a una tormenta de 1 pulgada. Usa 4 decimales.

$$S = \left( \frac{1000}{CN} \right) - 10$$

$$Q = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{P + (0.8 * S)}$$

Donde;

S=potencial de retención máxima del suelo

CN= número de curva

Q= escorrentía en pulgadas x acre

P= pulgadas de lluvia caída

El número de curva (CN=77) se determinó a partir de que el suelo presenta características del Grupo D, es decir, es un suelo con presencia de arcillas, y que se encuentra cubierto por residuos arbóreos provenientes del bosque.

$$S = \left( \frac{1000}{77} \right) - 10 = 2.9870$$

$$Q = \frac{(1 \text{ pulgada} - 0.2 * 2.9870)^2}{1 \text{ pulgada} + (0.8 * 2.9870)}$$

$$Q = \frac{(1 \text{ pulgada} - 0.5974)^2}{1 \text{ pulgada} + 2.3896} = 0.0478 \text{ pulgada/acre}$$

Ahora, para conocer el volumen total de escorrentía en  $ft^3$ ;

$$1 \text{ acre} = 43,560 \text{ ft}^2$$

$$1 \text{ ft} = 12 \text{ pulgadas}$$

$$Q = 0.0478 \frac{\text{pulgada}}{\text{acre}} \left( \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pulgadas}} \right) = 0.0039 \frac{\text{ft}}{\text{acre}}$$

$$Q = 0.0039 \frac{\text{ft}}{\text{acre}} (30 \text{ acres})(43,560 \text{ ft}^2)$$

$$Q = 5,096.52 \text{ ft}^3$$



### **Si lo construyes, vendrán**

Jimmy heredó la vieja granja en 2006. Al igual que muchos hijos que crecieron en áreas rurales y luego se graduaron de la universidad, Jimmy consideró que tenía que vivir en un área metropolitana para poderse desarrollar en el trabajo. Jimmy y su esposa ahora vivían en Atlanta y no necesitaban su antiguo hogar. Decidieron que lo mejor para ellos era vender la propiedad. ¿Quién crees que compraría un lugar así? ¡Un desarrollador residencial! “Mamá estaría orgullosa de que la antigua granja de su padre ayudaría a pagar los estudios universitarios de nuestros hijos” dijo Jimmy a un vecino.

El desarrollador planeó la construcción de 128 viviendas unifamiliares en lotes de 1/8 acres con pequeñas áreas comunes, que conformarían un complejo residencial denominado Legacy Cove.

4. Después de completar Legacy Cove, ¿en qué diferirá el paisaje respecto al de la granja original? ¿Cómo se verá afectado el número de curva por la construcción del desarrollo residencial?

Al tratarse de un complejo residencial gran parte del terreno quedará cubierto por el pavimento y las viviendas, reemplazando al bosque, disminuyendo la infiltración y aumentando la escorrentía producto de la precipitación.

El número de curva (CN) para el complejo residencial será más alto que el de la granja debido a que la superficie será ahora en su mayoría impermeable, evitando la infiltración del agua en el suelo, ahora cubierto por pavimento y casas.

5. Calcula el volumen de escorrentía asociada a una tormenta de 1 pulgada, una vez que se subdivida el terreno en lotes con casas, calles y céspedes. ¿Este valor es mayor o menor respecto al volumen de escorrentía que has calculado previamente para la granja? ¿Cuáles podrían ser algunas consecuencias de este cambio?

El número de curva (CN=92) se determinó a partir de que el suelo presenta características del Grupo D, es decir, es un suelo con presencia de arcillas, y que en él se construirán viviendas de 1/8 acres.

$$S = \left( \frac{1000}{92} \right) - 10 = 0.8695$$

$$Q = \frac{(1 \text{ pulgada} - 0.1739)^2}{1 \text{ pulgada} + 0.6956} = 0.4024 \text{ pulgada/acre}$$

Ahora, para conocer el volumen total de escorrentía en  $ft^3$ ;

$$Q = 0.4024 \frac{\text{pulgada}}{\text{acre}} \left( \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pulgadas}} \right) = 0.0335 \frac{\text{ft}}{\text{acre}}$$

$$Q = 0.0335 \frac{\text{ft}}{\text{acre}} (30 \text{ acres})(43,560 \text{ ft}^2)$$

$$\mathbf{Q = 43,777.8 \text{ ft}^3}$$

De acuerdo con el valor de escorrentía obtenido previamente para la granja y el del desarrollo residencial, obtenemos que esta ha aumentado 8.5 veces, lo que puede provocar erosión, sedimentación y posibles inundaciones río abajo.

6. ¿Cuál podría ser una forma práctica de mitigar el cambio en la escorrentía relacionado con la construcción de Legacy Cove?

Debido a que el volumen de escorrentía es significativamente mayor, se debe considerar la construcción de cuencas de captación capaces de capturar, almacenar temporalmente y liberar lentamente la escorrentía proveniente de la tormenta en el drenaje natural; para lograr esto es necesario colocarlas en lugares estratégicos del área y diseñarlas a partir del volumen máximo de agua proveniente de una tormenta o de lluvia ligera que se puede esperar ocurra durante un periodo particular.

## Legacy Cove

El proyecto de Legacy Cove comenzó a principios de 2007. ¿Cómo se hace una subdivisión de una vieja granja de 30 acres? Se despejan por completo los 30 acres y se remueve toda la vegetación. Los árboles más grandes fueron cortados y vendidos como madera, mientras que los pinos y arbustos más pequeños fueron quemados, cambiando completamente el paisaje, tal y como se observa en la Fig. 3. “Cuando hayamos terminado, se verá bien”, dijo Alvin, el operador de la excavadora, a un vecino preocupado.

No había lugar en Legacy Cove para la casa que Jake había construido con el material de la antigua escuela. El desarrollador entregó la casa a los bomberos locales, para que la quemaran y la usaran para un entrenamiento de rescate en incendios. El lugar en donde la familia de Jimmy había pasado alegres vacaciones se vino para abajo rápidamente. Nadie de la familia estaba allí; sólo los vecinos decepcionados.



Fig. 3 Trabajos de deforestación y quema de vegetación para el Proyecto de Legacy Cove.

A finales de 2007, los 30 acres yacían completamente despejados a un costado de la cresta. La tierra roja y marrón se había hábilmente dividido en parcelas en las que se construirían las nuevas casas y caminos. Como se aprecia en la imagen de Google Earth, Fig.4, el área que una vez se veía muy verde se había vuelto totalmente árida.

Después de que el terreno fue despejado a finales de 2007, el desarrollador nunca regresó. La granja con su suelo, así como los ecosistemas de la foresta y del campo, habían sido destruidos, y luego fueron abandonados. No se construirían casas, ni caminos, ni céspedes. Cuando le quedó claro que el desarrollador no le pagaría, Alvin retiró su equipo.

Como requerimiento de las prácticas de construcción, Alvin había construido una cuenca de retención en la esquina noreste del desarrollo, para captar el agua de escorrentía de los futuros céspedes, techos y caminos pavimentados (esa era la ubicación del hipotético estanque mencionado en la pregunta 3 de la parte “La vieja granja de Leala”). En la cuenca de retención, Alvin había construido un sistema de drenaje mediante el cual el agua de tormenta podría abandonar gradualmente el estanque (era importante no sobrellenar el arroyo natural en el cual la escorrentía de la granja solía descargarse).



Fig. 4 Imágenes de Google Earth en las que se aprecian los 30 acres despejados.



7. ¿Qué crees que pasará con los 30 acres de tierra despejada y abandonada?

El suelo despejado se encuentra ahora expuesto a las altas precipitaciones anuales y las tormentas, tenderá a erosionarse y a lavarse cuesta abajo.

El sedimento se acumulará en el recipiente de acogida al Noreste del terreno y eventualmente lo llenará por completo hasta que este se derrame. En las zonas con menor pendiente y con mejor calidad de suelo, comenzará a crecer vegetación, lo que ralentizará la erosión.

8. ¿Crees que el volumen de escorrentía asociada a una tormenta de 1 pulgada en la tierra despejada será mayor o menor respecto a la escorrentía prevista en el desarrollo residencial? Calcúlalo y averígualo.

Ambas situaciones tendrán un alto nivel de escorrentía. El desarrollo tendría una alta escorrentía debido a la impermeabilidad del pavimento y las viviendas, mientras que la tierra despejada tendrá una gran escorrentía debido a la ausencia de vegetación que la retenga y logre su lenta infiltración.

*\*Se recomienda generar una discusión entre los alumnos a cerca de en dónde consideran que la escorrentía será mayor. Se espera que algunos consideren que el segundo caso (tierra despejada) resulte ser menos desfavorable ya que grado de infiltración podría ser mayor, dado que en los 30 acres completos se encuentran expuesto el suelo\**

El cálculo de la escorrentía para la tierra despejada se muestra a continuación:

El número de curva (CN=94) se determinó a partir de que el suelo presenta características del Grupo D, es decir, es un suelo con presencia de arcillas, y que el área se encuentra recién despejada (sin vegetación).

$$S = \left( \frac{1000}{94} \right) - 10 = 0.6382$$

$$Q = \frac{(1 \text{ pulgada} - 0.1276)^2}{1 \text{ pulgada} + 0.5105} = 0.5058 \text{ pulgada/acre}$$

Ahora, para conocer el volumen total de escorrentía en  $ft^3$ ;

$$Q = 0.5058 \frac{\text{pulgada}}{\text{acre}} \left( \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pulgadas}} \right) = 0.0421 \frac{\text{ft}}{\text{acre}}$$

$$Q = 0.0421 \frac{\text{ft}}{\text{acre}} (30 \text{ acres})(43,560 \text{ ft}^2)$$

$$Q = 55,016 \text{ ft}^3$$

Entonces:

$$Q=55,016 \text{ ft}^3 \text{ para tierra despejada} > Q=43,777.8 \text{ ft}^3 \text{ para desarrollo residencial}$$

Esta variación, aunque no es muy grande, se debe a que los desarrollos residenciales no se encuentran cubiertos por completo por pavimento o viviendas. Se considera que algunos lotes serán áreas comunes con árboles y vegetación, además de que en las residencias los jardines con césped ayudan a contrarrestar la escorrentía del pavimento y los techos. Sin embargo, aunque esto pueda ser cierto, puede que no haya suficiente césped para aumentar la infiltración del volumen de la escorrentía, por lo que el valor de ésta sigue siendo alto.

## El legado de Legacy Cove

Durante 2008 y gran parte de 2009, el terreno abandonado sufrió una severa erosión. Se perdió mucho suelo. Se desarrollaron surcos profundos en las laderas más empinadas, donde se habían planeado los caminos. La cuenca de retención de tormentas se llenó de sedimento, y el sistema de tuberías se obstruyó y dejó de funcionar. Sin ninguna posibilidad de descarga, tan sólo 1 pulgada de lluvia podría causar una escorrentía severa y llenar la cuenca de retención hasta su capacidad máxima, como se ve en la Fig 5.

Y luego llegó la noche del 20 de septiembre de 2009. Un evento extraordinario de lluvia afectó el noroeste de Georgia. Cayeron más de 9.1 pulgadas de lluvia. El Servicio Geológico de los Estados Unidos calificó el evento como una inundación de proporciones “épicas”.

Un vecino de 88 años dijo: “No sé si fue la inundación de 100 años, pero sé que al menos fue la inundación de 88 años. Nunca he visto algo así en mi vida”. Las 9.1 pulgadas de lluvia que se acumularon en la tierra desnuda de Legacy Cove arrastraron la cuenca de retención y comprometieron la vía del ferrocarril adyacente. Incluso la autopista se inundó y tuvo que permanecer cerrada durante horas. Afortunadamente, nadie salió herido.



Fig. 5 Condiciones del sitio, consecuencia del abandono del Proyecto de Legacy Cove.

9. Calcula el volumen de escorrentía asociada a las 9.1 pulgadas de lluvia sobre la tierra desnuda.

$$S = \left( \frac{1000}{94} \right) - 10 = 0.6382$$

$$Q = \frac{(9.1 \text{ pulgadas} - 0.1276)^2}{9.1 \text{ pulgadas} + 0.5105} = 8.3766 \text{ pulgada/acre}$$

Ahora, para conocer el volumen total de escorrentía en  $ft^3$ ;

$$Q = 8.3766 \frac{\text{pulgada}}{\text{acre}} \left( \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pulgadas}} \right) = 0.6980 \frac{\text{ft}}{\text{acre}}$$

$$Q = 0.6980 \frac{\text{ft}}{\text{acre}} (30 \text{ acres})(43,560 \text{ ft}^2)$$

$$Q = 912,246.4 \text{ ft}^3$$



## La estabilización

A finales de 2010, el banco que había financiado el proyecto del desarrollador tomó posesión de la propiedad. La erosión y la sedimentación descontrolada se convirtieron en responsabilidad del banco. La División de Protección Ambiental de Georgia había emprendido acciones legales contra el desarrollador por no mantener la cuenca de retención de agua, y por no tomar medidas para el control de la erosión. En 2011, la División de Protección Ambiental de Georgia requirió que el nuevo propietario, el banco, tomara medidas inmediatas para estabilizar el sitio. El banco contrató una consultora de ingeniería ambiental para que estabilizara rápidamente el sitio, de manera que éste pudiera satisfacer los requisitos de la División de Protección Ambiental, y ser puesto nuevamente a la venta.

10. Con base en lo que has aprendido sobre la relación entre el tipo de terreno y la escorrentía, ¿qué acciones recomendarías al banco, como consultor de ingeniería ambiental, para estabilizar el sitio de la mejor manera posible?

(1) Limpiar la cuenca de captación y su sistema de drenaje para que vuelva a funcionar.

(2) Colocar vegetación de crecimiento rápido para aumentar la retención e infiltración del agua y prevenir la erosión del suelo y con esto la sedimentación de la cuenca de captación. Se podría recomendar restablecer un bosque debido a que esta condición presenta el valor del número de curva más bajo; sin embargo, los bosques tardan mucho en crecer. La hierba es la vegetación de crecimiento más rápido que se puede recomendar ya que brinda una buena cobertura del suelo en poco tiempo, en grandes áreas.

## La remediación

Se entiende como remediación a la recuperación de un área, restaurando su ecosistema y cumpliendo con las normativas ambientales. Para reducir la erosión y evitar la sedimentación aguas abajo, la División de Protección Ambiental de Georgia requirió que se volviera a construir la cuenca de retención de agua, y se reparara la tubería de drenaje. Todos los sedimentos en la cuenca tuvieron que ser removidos y las tuberías de drenaje tuvieron que ser limpiadas. La cuenca fue completamente reconstruida durante el 2011. Las laderas más empinadas del terreno fueron cubiertas con tapetes de paja trenzada para frenar la erosión, y luego se sembraron con una mezcla de pasto. Los patrones del drenaje en las pendientes más pronunciadas se cubrieron con guijarros para disminuir la velocidad de la escorrentía. Además, todo el sitio de 30 acres se sembró con la mezcla de pasto. En la primavera de 2012, la estrategia parecía estar funcionando bien. Algunas áreas del suelo estaban empezando a recuperarse de manera natural a través de la sucesión ecológica. Plantas y arbustos comenzaron a crecer junto con el pasto sembrado.

11. ¿Cómo ha cambiado el número de curva después de la remediación?

El tipo de suelo no ha cambiado, pero su cubierta sí. El número de la curva ha disminuido del de tierra despejada (CN = 94) a lo que podríamos llamar pasto protegido del pastoreo (CN = 78). Como se ha observado a lo largo de la actividad, el valor del número de curva (CN) afecta la escorrentía de manera proporcional, es decir, mientras más bajo sea su valor menor será la escorrentía.

## Método para calcular la escorrentía de tormenta de una superficie

El Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los Estados Unidos ha desarrollado un método para determinar el volumen de la escorrentía de tormenta en diferentes tipos de superficies.

Se han definido números de curva (CN) para diferentes tipos de suelos:  $CN = 1000 / (S + 10)$ , donde S es el potencial de retención máxima del suelo. El CN depende de la capacidad que tiene un suelo para infiltrar y retener agua: un suelo completamente impermeable tiene un CN máximo de 100 ( $S = 0$ ), mientras que un suelo en el cual se puede infiltrar cierta cantidad de agua tiene un CN inferior a 100. **Cuanto menor sea el CN de un suelo, mayor será su capacidad de retener agua, y menor será el volumen de la escorrentía asociada a un evento de tormenta.**

**Números de curva (CN) para los diferentes grupos de suelos destinados a diferentes usos**

Uso de suelo	% de superficie impermeable	Suelo del grupo A	Suelo del grupo B	Suelo del grupo C	Suelo del grupo D
Cultivado con labranza tradicional		72	81	88	91
Madera (suelo cubierto de residuos)		25	55	70	77
Pradera (pasto protegido del pastoreo)		30	58	71	78
Desarrollo residencial de 1/8 acres	65	77	85	90	92
Desarrollo residencial de 1/4 acres	38	61	75	83	87
Desarrollo residencial de 1/2 acres	25	54	70	80	85
Área recién despejada (sin vegetación)		77	86	91	94

- *Suelo del grupo A.* Suelo con altas tasas de infiltración y transmisión de agua, como arena y grava, y bajo potencial de escorrentía.
- *Suelo del grupo B.* Suelo con tasa de infiltración moderada cuando está completamente mojado. Suelo de moderadamente a bien drenado con textura fina a gruesa.
- *Suelo del grupo C.* Suelo con baja tasa de infiltración cuando está completamente mojado. Presenta una capa que impide el movimiento descendente del agua. Generalmente tiene una textura fina.
- *Suelo del grupo D.* Suelo con alto potencial de escorrentía, y tasas de infiltración muy bajas. Suelo arcilloso, o suelo poco profundo que recubre una capa impermeable.

Para determinar la escorrentía en pulgadas por acre se usa la siguiente ecuación:  $Q = (P - 0.2 \cdot S)^2 / (P + 0.8 \cdot S)$ , donde Q es la precipitación en exceso (es decir, la escorrentía); P son las pulgadas de lluvia caída; y S es el potencial de retención máxima del suelo [ $S = (1000 / CN) - 10$ ].

Para determinar la escorrentía total, se debe multiplicar el valor de Q obtenido, por el número total de acres que conforman el área de interés.

Finalmente, para conocer el volumen total de escorrentía en pies<sup>3</sup>, se deben convertir las pulgadas en pies (dado que 1 pie = 12 pulgares, se divide por 12), y los acres en pies<sup>2</sup> (dado que 1 acre = 43,560 pies<sup>2</sup>, se multiplica por 43,560).

NOTA: 1 pie= 0.3048 m; 1 pulgada=2.54 cm; 1 acre= 4046.86 m<sup>2</sup>



### 3.4. Volcanes y Peligros volcánicos

#### 3.4.1. *Dante's Peak*

Esta actividad está enfocada a la película *Dante's Peak* (1997), una película de aventura/catástrofes naturales en la que coexisten entretenimiento y rigor científico. Además de disfrutar de la función, llevarás a cabo un análisis crítico de la película, con el objetivo de distinguir los elementos científicos realistas de aquellos que han sido dramatizados, distorsionados o exagerados para obtener un efecto más impresionante en el público.

#### **Proyección de la película**

Durante la proyección de la película, anota en el espacio disponible toda la información que pueda ser relevante para el posterior análisis crítico (información sobre el contexto geológico-tectónico, características del edificio volcánico, ubicación del pueblo respecto al volcán, fenómenos naturales relacionados con el volcanismo activo en la región, señales precursoras de la erupción, técnicas de monitoreo empleadas, estilo de la erupción volcánica, etapas de la erupción y procesos desastados, productos emitidos...).

**4:15-4:51** Se observa que en Colombia hubo una erupción bastante catastrófica en la cual se vio envuelto nuestro protagonista, Harry Dalton (vulcanólogo). Se caracteriza por la caída de ceniza y lo que parece ser lodo, así como de fragmentos tamaño bomba que se puede observar llegan a superar los 2 metros de diámetro.

**6:06** Cuatro años más tarde (1997). La película toma lugar en La Cordillera de las Cascadas, sitio que en la vida real se caracteriza por ser una gran cadena montañosa en la cual se hacen presentes varios volcanes importantes como el monte Santa Helena y el monte Rainer.

**6:34** Harry sostiene un sismograma realizado en el Pico de Dante, y tras analizarlo concluye que las probabilidades de que haya una erupción son de 10,000:1, debido a que la profundidad a la que se presentaron estos sismos osciló entre los 10-20 km que usualmente no representa una amenaza. Sin embargo, podemos asumir que no cuentan con mucha información previa de la actividad del volcán y sus alrededores, por lo que se nota cierta intranquilidad en los personajes.

**10:37** Al costado del volcán dos bañistas se sumergen en las Aguas Termales Twonset. Tan sólo unos segundos después la temperatura aumenta drásticamente como resultado de una emisión temprana de magma en las aguas, que a su vez las acidifica; estas condiciones resultaron mortales para los bañistas.

**16:04** Harry toma una muestra de las aguas de un lago y mide su acidez (pH=3.48) para compararla con las lecturas del lago hace 15 años y con la del monte Santa Helena. Analiza los alrededores para notar que los árboles circundantes estaban muertos.

**17:20** Harry observa los alrededores y toma fotografías de los flancos del volcán en busca de alguna evidencia de la última actividad de la zona, que estima fue hace 7,000 años.

**18:15** Son encontradas un par de ardillas muertas cerca del manantial, aunado a los árboles secos. Se puede concluir que posiblemente murieron debido a los altos niveles de CO<sub>2</sub> liberados por el volcán.

**20:30** Dalton intenta convencer al consejo de la ciudad de evacuar y prevenir a la población de una posible erupción; fue inmediatamente cuestionado debido a que esto traería consigo consecuencias de índole político y económico.

*NOTA:* El jefe de Harry, Paul, preocupado por alertar a la gente en vano indica que lo sucedido en el manantial no es exactamente una prueba fehaciente de que una erupción esté próxima, pues pudo ser provocado por otras razones como un temblor leve.

**24:19** Para determinar si el riesgo de erupción es tan alto como para evacuar la ciudad se mencionan las actividades que se realizarán y el equipo que se utilizará para contar con la información necesaria: sismógrafos, medidores de inclinación, rayos láser, análisis de emisiones de gas, robots, etc.

**25:42** En el cambio de escenas se observa que, al pie del volcán, en el lago, hay un burbujeo intenso. Esto puede hacer referencia a que, al ascender el magma, el gas se libera a través de grietas que lo conducen hacia la superficie.

**29:13** Para medir las emisiones de gas sobrevuelan el volcán con un helicóptero. Las emisiones de SO<sub>2</sub> fueron mínimas, lo que indica que no hay evidencia de ascenso de magma.

**34:58** Los sismógrafos son utilizados para medir la “intensidad” y profundidad de un sismo. Fueron colocados muy cerca del volcán, por lo que las lecturas serán más precisas.

**37:17** Fueron registrados entre 25 y 75 microsismos diarios, como se esperaría con normalidad; es decir, no representa ningún peligro. Otra herramienta que emplearán será un robot al que llaman “piernas de araña” que entra a lugares en lo que el acceso es muy riesgoso, cuya finalidad es transmitir imágenes y lecturas de gases al centro de operaciones.

**39:12** Con actividad geométrica se refiere a que hay evidencia de un abultamiento o hinchazón en el volcán, en este caso, en el cráter.

**45:00** Tras no encontrar evidencias contundentes, el equipo decide retirarse y continuar el monitoreo desde la Central.

**51:00** Presencia de agua contaminada con Sulfuro saliendo de los grifos de la cocina. Para posteriormente encontrarse con que el agua de la represa estaba contaminada con SO<sub>2</sub>; Harry afirma que ésta es una evidencia clara y que lo ha visto antes en el Monte Pinatubo en las Filipinas. Esto aunado a un incremento en la magnitud y frecuencia de los sismos, y de las lecturas de los gases.

**53:00** A pesar de no poder predecir el evento con precisión, se pueden tomar medidas de prevención.

**56:05** Comienza la erupción, el evento comienza con sismos de gran magnitud y replicas.

**57:19** Ascenso vertical de la columna eruptiva, se puede apreciar material cayendo en sus cercanías. Unos segundos después se observa el colapso masivo de edificios debido al terremoto.

**1:01:02** Formación y expansión de la nube de cenizas sobre la ciudad. Esta nube se observa poco densa en el pueblo y se va haciendo cada vez más espesa conforme se acercan a la cima del volcán. Rápidamente la ciudad se comienza a cubrir de ceniza.

**1:05:40** El helicóptero colapsa debido a la presencia de la ceniza.

**1:09:16** Se observa el flujo de lava muy fluida.

**1:11:04** Los personajes se encuentran en el lago espejo, muy cerca del volcán. La lava es tan fluida que los alcanza rápidamente consumiendo todo a su alrededor.

**1:11:35** Derivado de las altas emisiones de CO<sub>2</sub> y de la contaminación del agua con SO<sub>2</sub>, los peces del lago han muerto y yacen flotando. El agua se ha acidificado tanto que comienza a corroer el bote de metal y causa graves quemaduras a las piernas de la suegra de Rachel.

**1:18:47** Se observan enormes grietas por las que se liberan gases. Además, se comienza a formar un lahar como resultado de la mezcla del agua proveniente del derretimiento de la nieve, la ceniza y otros materiales que pudieran



ser arrastrados por su desplazamiento ladera abajo. A pesar de ser el segundo día de la erupción, no se ha terminado de derretir todo el hielo y se observa que el flujo fue casi nulo en la cima del volcán y que posiblemente aumentó su velocidad al encontrarse con algún lago en la parte baja. Por otro lado, la caída de ceniza ha cesado casi por completo.

**1:27:33** Finalmente se presenta la última y más desastrosa etapa de la erupción. La columna colapsa y se produce un flujo piroclástico que fluye a una velocidad muy alta, hasta alcanzarlos. Fueron capaces de huir y llegar hasta la mina debido a que las llantas del vehículo seguían intactas a pesar de pasar por encima de la lava.

### **Análisis de la película**

Se implementará una discusión de grupo enfocada a analizar algunos aspectos y escenas críticas de la película, con el fin de distinguir los elementos científicos realistas de los elementos de “ficción geológica”. La maestra guiará la discusión, proponiendo una serie de preguntas que orienten el análisis y estimulen el debate. Es importante que participes activamente en la discusión, expresando tus ideas con confianza, escuchando el punto de vista de los demás, y argumentando tu desacuerdo de manera respetuosa, cuando sea el caso.

1. ¿Cuáles son los fenómenos precursores que anuncian la inminencia del peligro eruptivo? ¿Dichos fenómenos son realistas?

Varios fenómenos fueron identificados previamente a la erupción. Sin embargo, en la película solo un par de ellos se consideraron lo suficientemente importantes como para evacuar a la población por representar un peligro inminente y no alertarla prematuramente, interviniendo con los intereses políticos.

Los fenómenos precursores, considerados importantes o no en la película, van desde un cambio abrupto en la temperatura y acidez del manantial, sismos de distintas magnitudes y profundidades, liberación de gases a través de grietas, abultamiento o hinchazón del volcán, hasta el aumento en los niveles de CO<sub>2</sub>, lo que provocó la muerte de animales y plantas, y la contaminación del agua con SO<sub>2</sub>. Si bien, algunos de estos fenómenos pueden ser considerados reales, los tiempos de ocurrencia y la intensidad de la mayoría no lo son. Por otro lado, el uso de sismógrafos es real, caso contrario para el robot que en la película fue empleado para medir las emisiones de gases y las variaciones en la inclinación de las laderas del volcán.

2. ¿Crees que un incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub> magmático podría provocar la muerte de árboles y fauna silvestre?

Sí. El CO<sub>2</sub> liberado por el magma puede acumularse en el suelo en concentraciones suficientes para matar las raíces de los árboles y dejarlos sin ninguna forma de alimentarse, o acumularse en los valles y asfixiar a los animales como sucedió con el par de ardillas.

Un ejemplo real es el volcán Mammoth Mountain en California, donde el CO<sub>2</sub> volcánico ha matado alrededor de 100 acres de árboles desde 1989, y en ocasiones los visitantes de esta área han sufrido síntomas de asfixia al ingresar a cabañas o excavaciones subterráneas. Los científicos del USGS han concluido que el gas proviene de un cuerpo de magma estacionado por debajo de la Mammoth Mountain. Actualmente el magma no está ascendiendo, pero se está monitoreando atentamente la situación.

3. ¿Crees que la temperatura de las aguas hidrotermales alimentadas por el sistema magmático podría aumentar de manera tan repentina como para quemar a los bañistas?

Los cambios de temperatura pueden ocurrir y ocurren, pero generalmente no son tan abruptos como se observa en la película, sino que tienden a desarrollarse por días o semanas y no en segundos como se muestra. Además de que pueden disminuir o aumentar de acuerdo con los disturbios volcánicos. Por ejemplo, los sismos que pueden interrumpir repentinamente el sistema de agua subterránea, cambiando su temperatura y también pueden aumentar el flujo de agua e las fuentes termales, provocando una actividad similar a un géiser. Dicho lo anterior, en la película no se observa ningún pulso que pudiera desencadenar el ascenso del magma.

Por otra parte, la rapidez con la que el magma se desplaza por el agua sin solidificarse al entrar en contacto con la misma requeriría que éste se liberara con gran presión y volumen. De ser así, este fenómeno sería sumamente explosivo y causaría la evaporación instantánea del cuerpo de agua y no un calentamiento inmediato.

4. ¿Los lagos cercanos a los volcanes podrían volverse lo suficientemente ácidos como para representar un peligro para las personas, y disolver rápidamente barcos de aluminio?

Sí. Un lago normal tiene valores de pH de entre 6.35-7, mientras que uno cercano al cráter de un volcán puede presentar un valor de hasta 0.1. El pH anterior corresponde a un ácido muy fuerte que representa un peligro para las personas al causar quemaduras en la piel, pero es poco probable que pueda disolver el metal tan rápido como se muestra.

Los lagos volcánicos se ven afectados por los productos químicos y gases que se liberan del magma como dióxido de carbono, dióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno, cloruro de hidrógeno y fluoruro de hidrógeno. El ácido sulfúrico y el clorhídrico son usados comúnmente para limpiar el óxido del hierro y el acero sin lograr disolverlos, por lo que podemos asumir que el bote no fue fabricado con estos materiales. Es posible que se empleara aluminio que es más susceptible a disolverse con estos ácidos, pero no lograrán hacerlo con la rapidez con la que lo hace en la película. No obstante, los peces del lago se mantuvieron intactos a pesar de encontrarse expuestos durante más tiempo.

5. ¿Crees que el suministro de agua de una ciudad podría contaminarse durante una erupción volcánica?

Sí, pero probablemente no tan rápido como se muestra en la película. Si el suministro de agua de una ciudad se origina directamente del sistema de agua subterránea de un volcán o de una corriente que ha sido cubierta con cenizas volcánicas, el agua podría contaminarse con gases malolientes, o con las cenizas finas. Algunos gases volcánicos como el dióxido de azufre se disuelven en el agua subterránea, acidificándola ( $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$ ).

6. ¿Por qué tanto el Consejo de la Ciudad como el jefe del equipo de científicos dudan en emitir una orden de evacuación justo después de detectar las primeras señales precursoras?

Esto se debe a que consideraron que alertar prematuramente a la población podría resultar extremadamente perjudicial económicamente pues los inversores se retirarían al momento, frenando el progreso de la ciudad. Esto aunado a la falta de información y precaución por parte del Consejo al vivir al pie de un volcán.

Por su parte, el jefe del equipo indica que las evidencias que tenían en aquel momento no eran suficientes para determinar con seguridad que habría una erupción pues podrían tener varias explicaciones y que habría que ser muy cuidadosos con las decisiones que se tomarán al respecto. Esto debido a que en 1980 la Montaña Mammoth, a pesar de presentar varias evidencias contundentes, no hizo erupción, pero el turismo y los bienes raíces se vieron afectadas dejando a la ciudad en quiebra.

7. ¿Se usan robots para monitorear los volcanes activos del planeta?

No. Se confía en las observaciones y mediciones realizadas por científicos expertos, y en los datos enviados por radio o retransmisión satelital desde los instrumentos de monitoreo (sismómetros, medidores de inclinación, GPS, sensores de gas y sondas de temperatura) instalados alrededor de un volcán.

8. ¿Es posible que un volcán haga erupción pocos días después de que se detecten las primeras señales de actividad? En 1980 el monte Santa Helena presentó una serie de explosiones y flujos piroclásticos que fue precedida por

Sí. En 1980, el Monte Santa Helena presentó una serie de explosiones el 27 de marzo, que fueron precedidas por sólo 7 días de intensa actividad sísmica; la erupción ocurrió el 18 de mayo, 7 semanas después. Por otro lado, la



erupción del volcán Redoubt del 13 de diciembre de 1989 fue precedida por sólo 24 horas de intensa actividad sísmica.

9. ¿Cómo clasificarías el estilo eruptivo del Dante's Peak? ¿Con base en cuál información y observaciones?

Se puede clasificar como una erupción pliniana. Un rasgo relevante de la película es que el Pico de Dante se localiza ficticiamente en la Cordillera de las Cascadas que alberga varios estratovolcanes reales como el Santa Helena y el Monte Rainer. Estos se distinguen porque el tamaño del edificio volcánico es muy alto y su pendiente es pronunciada. Las erupciones de tipo pliniana están relacionadas con esta clase de edificios y se caracterizan, como se observa en la película, por ser muy violentas e involucrar la expulsión de material piroclástico a gran velocidad. Además expulsan un gran volumen de gases que forman una enorme columna eruptiva que puede ascender hasta 50 km de altura, que posteriormente con el flujo del aire se expandirá en la parte más alta y formará un "paraguas" del que caerá material (ceniza), cubriendo todo el área por debajo. Cuando la columna se enfría ésta colapsa y genera un flujo piroclástico muy devastador que se desplazará por las laderas del volcán a altísima velocidad y que al perder energía se acumulará en las zonas más bajas y en depresiones topográficas. Además, los lahares también se asocian a este estilo eruptivo y suceden de forma muy similar a como se muestra en el filme al derretirse la nieve de la cima del volcán, desbordarse los lagos y fluidificarse el material inestable.

10. ¿Los volcanes pueden producir grandes erupciones explosivas y flujos de lava muy fluida al mismo tiempo?

No. Los flujos piroclásticos, las grandes columnas eruptivas y las caídas de ceniza son características de un magma viscoso de composición félsica, es decir, presentan un alto contenido de sílice, contrario a las lavas extremadamente fluidas de composición máfica. No es común que un volcán haga erupción de dos magmas de distinta composición al mismo tiempo.

11. ¿La ceniza volcánica representa un peligro para helicópteros y aviones?

Sí. Las cenizas finas desgastan por abrasión las palas de la turbina, reduciendo gradualmente la eficiencia del motor; y dañan las ventanas y el fuselaje. La ceniza se derrite cuando se calienta dentro del motor, creando un líquido magmático que recubre las partes interiores del motor y se congela como vidrio, recubriendo los sensores de temperatura, que indican falsamente que los motores se están sobrecalentando, por lo que éstos se apagan automáticamente.

12. La camioneta del jefe del equipo de científicos es arrastrada por un río de lodo que parece generarse desde la cima del volcán. ¿Es real esta escena? ¿Qué término científico se usa para indicar este tipo de flujo?

Es propio de las erupciones plinianas que posterior al evento explosivo se presente un Lahar. Al derretirse la nieve y fluir por las laderas del volcán, el agua se mezcla con la ceniza y lo que se cruce en su camino hasta formar un flujo muy denso y destructivo que tiene la fuerza para arrastrar consigo desde árboles hasta vehículos y edificios. Se puede considerar que los Lahares representan uno de los peligros más importantes derivados de una erupción volcánica.

13. En la etapa inicial de la erupción, el pueblo de Dante's Peak es sacudido por un terremoto que provoca una gran devastación. ¿Los temblores volcánicos suelen ser tan destructivos?

Los terremotos asociados con una erupción volcánica raramente superan una magnitud de 5, por lo que no son lo suficientemente devastadores como para destruir por completo la infraestructura de la ciudad como se muestra en la película. En todo caso dañarían las construcciones y las calles, tal y como sucedió en el Monte Santa Helena. Durante la erupción del Monte Pinatubo en 1991, se registraron una serie de terremotos de magnitudes de entre 3 a 5; sin embargo, el colapso de las casas se asoció más bien a la caída de ceniza que al acumularse en los techos provocó su colapso.

14. ¿Se adoptan medidas de prevención, como instalaciones de control y alerta, planes y protocolos de actuación, evacuación o emergencia, formación de los ciudadanos...?

Para ser una ciudad localizada al pie de un volcán, no se tomaron las precauciones adecuadas o fueron olvidadas con el paso del tiempo al no observar actividad volcánica de ningún tipo. Cuando Harry, el vulcanólogo, alerta inicialmente al consejo se menciona que buscarán los planes de evacuación, pero dan a entender que no era de su conocimiento donde se encontraban. Es cuando el peligro se vuelve evidente que se decide actuar y alertar a la población por medio de un comunicado televisivo y se les convoca a una reunión en un gimnasio donde se les entregaría el plan de evacuación de emergencia. Podemos asumir que, de haber actuado con antelación, la evacuación hubiera sido relativamente sencilla al tratarse de una ciudad pequeña.

### **Reflexión final**

Considerando que el cine es una potente herramienta de comunicación y un eficaz vehículo de cultura para las masas, ¿crees que son más graves las inexactitudes conceptuales de la película, o la carencia de secuencias en las que se aborden medidas preventivas frente a la erupción? Argumenta tu respuesta.

La película "El Pico de Dante" es considerada una de las mejores representaciones del cine de una erupción volcánica, a pesar de sus inexactitudes, carencias y exageraciones. Aunque el Pico de Dante es un volcán ficticio, acertaron en su localización, el tipo de erupción y las características del edificio volcánico propias de un estratovolcán, esto al inspirarse en hechos reales como el Monte Santa Helena. Sin embargo, no se apegaron rigurosamente a la realidad, lo que puede poner en riesgo la vida de las personas al transmitir mensajes equivocados sobre fenómenos naturales potencialmente peligrosos. Al ser el cine una potente herramienta de comunicación y un eficaz vehículo de cultura para las masas, puede transmitir ideas equivocadas de la realidad a una audiencia que desconoce de cierta temática y que puede interpretar como verídicos los hechos y explicaciones que aparecen en la pantalla.

Algunos eventos son irreales como el calentamiento apresurado de las aguas del manantial, el uso de robots, la lava fluida desbordándose del volcán, los terremotos devastadores, la acidificación extrema y rápida de los lagos que puede disolver un bote, pero no a los peces, el derretimiento tardío de la nieve, etc. Aun así, tal vez las inexactitudes conceptuales de las películas de catástrofes son menos importantes que sus carencias. Es decir, la inexistencia de secuencias en las que se aborden las medidas preventivas frente a los riesgos naturales es perder la oportunidad de educar al espectador y de transmitirle una idea de cómo enfrentar estos fenómenos. Como fue el caso del Pico de Dante, en la cual la ausencia de planes de prevención por parte de la ciudad es un hecho muy grave que se esperaría quedara en lo ficticio. Sin renunciar a los tópicos del género, el cine de catástrofes podría significar una magnífica labor en la divulgación de las normas básicas de autoprotección.



### 3.4.2. Experiencia Geológica: Vulcanología

#### Un laboratorio de volcanes en Google Earth

La forma de un volcán depende estrechamente del estilo eruptivo, el cual a su vez depende de la composición del magma y del contexto tectónico. Este laboratorio en Google Earth te dará la oportunidad de examinar varios volcanes del planeta, describir su morfología, identificar el tipo de edificio que representan; y relacionar los diferentes edificios con el contexto tectónico de formación magmática.

*NOTA: el objetivo de la actividad es que el alumno se familiarice con el uso de nuevas herramientas que le permitan llevar sus conocimientos teóricos a un contexto real. Se recomienda que el docente de una introducción sobre el uso de Google Earth. Los resultados pueden variar de 500 a 1,500 m dependiendo de los criterios considerados por cada alumno.*

#### Navega hacia el Volcán Popocatepetl, en México (coordenadas: 19.02, -98.62)

1. Realiza las siguientes mediciones.

Elevación máxima sobre el nivel del mar: 5,377 metros.

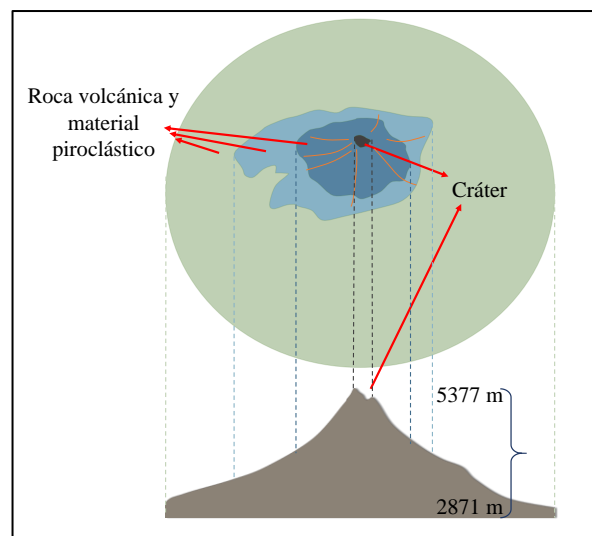
Elevación basal: 2,871 metros.

Relieve (elevación máxima-elevación basal): 2,506 metros.

Radio de la base: 9,498.7 metros.

Inclinación promedio  $[(\text{relieve} / \text{radio}) \cdot 100\%]$ : 26.38%

2. En el recuadro a lado, dibuja y describe la forma del Volcán Popocatepetl.
3. Con base en el tamaño y forma del Volcán Popocatepetl, ¿cómo clasificarías este tipo de edificio?



#### Estratovolcán

4. Basándote en tus observaciones, indica la composición del magma y el tipo de rocas o productos del volcán.

#### Flujos de lava viscosa (félsica), productos piroclásticos

5. Disminuye el zoom (visión a una altura de 1,000 km) y examina la región. Describe el contexto tectónico de los volcanes del Cinturón Mexicano, soportando tu respuesta con observaciones sobre los principales rasgos tectónicos.

Se observan dentro de la Faja Volcánica Transmexicana distintos edificios volcánicos que cruzan la República Mexicana de W a E o de forma transversal. Así mismo se logran distinguir varios sistemas de fallas a lo largo de la FVTM que presentan en su mayoría orientaciones de W-E o NW-SE. La presencia de los volcanes en esta zona y de la trinchera son evidencias de una alta actividad volcánica y testifican la subducción de la placa de Cocos y Rivera, que se ubican en la zona del Pacífico por debajo del continente.

**Navega hacia el Monte Santa Helena, en Washington (coordenadas: 46.19, -122.18)**

1. Realiza las siguientes mediciones.

Elevación máxima sobre el nivel del mar: 2,491 metros.

Elevación basal: 736 metros.

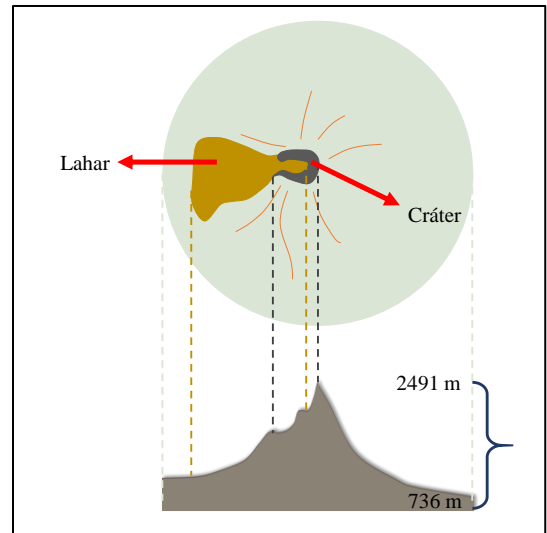
Relieve (elevación máxima - elevación basal): 1755 metros.

Radio de la base: 9,812.70 metros.

Inclinación promedio  $[(\text{relieve} / \text{radio}) \cdot 100\%]$ : 17.88%

2. En el recuadro a lado, dibuja y describe la forma del Monte Santa Helena.

3. Con base en el tamaño y forma del Monte Santa Helena, ¿cómo clasificarías este tipo de edificio?



Estratovolcán con cráter en forma de herradura (caldera).

4. Basándote en tus observaciones, indica la composición del magma y el tipo de rocas o productos del volcán.

Flujos de lava viscosa de composición félsica. Presencia de Ignimbritas, pómez, ceniza y lahares.

5. Disminuye el zoom (visión a una altura de 1,000 km) y examina la región. ¿Puedes identificar otros volcanes en las cercanías? Describe el contexto tectónico de los volcanes de las Cascadas, soportando tu respuesta con observaciones sobre los principales rasgos tectónicos.

Se observa al oeste de Norteamérica un alineamiento de volcanes del que forman parte el Monte Rainier, Monte Hood y el Monte Adams, además del Monte Santa Helena. Este arco volcánico es resultado de la subducción de la placa de Juan de Fuca por debajo de la placa Norteamericana. La placa de Juan de Fuca está definida y delimitada por un segmento de la dorsal del Pacífico Oriental y un segmento de falla transformante. Aquí también es posible observar la trinchera, como un rasgo tectónico típico de una zona de subducción.



**Navega hacia el Mauna Loa, en Hawaii (coordenadas: 19.47, -155.59)**

1. Realiza las siguientes mediciones.

Elevación máxima sobre el nivel del mar: 4,161 metros.

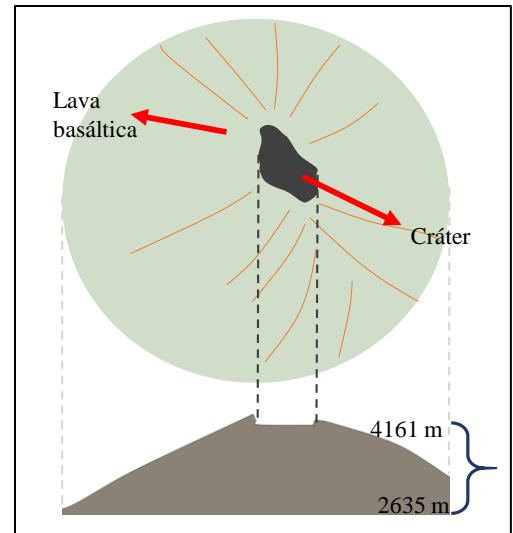
Elevación basal: 2,635 metros.

Relieve (elevación máxima - elevación basal): 1,526 metros.

Radio de la base: 9,695.8 metros.

Inclinación promedio  $[(\text{relieve} / \text{radio}) \cdot 100\%]$ : 15.73%

2. En el recuadro a lado, dibuja y describe la forma del Mauna Loa.  
3. Con base en el tamaño y forma del Mauna Loa, ¿cómo clasificarías este tipo de edificio?



**Volcán escudo.**

4. Basándote en tus observaciones, indica la composición del magma y el tipo de rocas o productos del volcán.

**Lava basáltica muy fluida. Presencia de basaltos.**

5. Disminuye el zoom (visión a una altura de 6,000 km) y examina la región. Describe el contexto tectónico de las islas de Hawaii, soportando tu respuesta con observaciones sobre los principales rasgos tectónicos.

Se observa que existe una cadena de islas y volcanes que se ubican dentro de la placa tectónica del Pacífico. Estas estructuras geológicas están relacionadas con un punto caliente el cual se manifiesta en estas estructuras volcánicas en Hawaii y cuya cadena es ocasionada por el desplazamiento de la placa Pacífica. La ausencia de trincheras oceánicas confirma que la cadena de islas volcánicas de Hawaii no es producida en un contexto tectónico de margen de placas convergentes.

**Navega hacia el Monte Fujiyama, en Japón (coordenadas: 35.36, 138.73)**

1. Realiza las siguientes mediciones.

Elevación máxima sobre el nivel del mar: 3,707 metros.

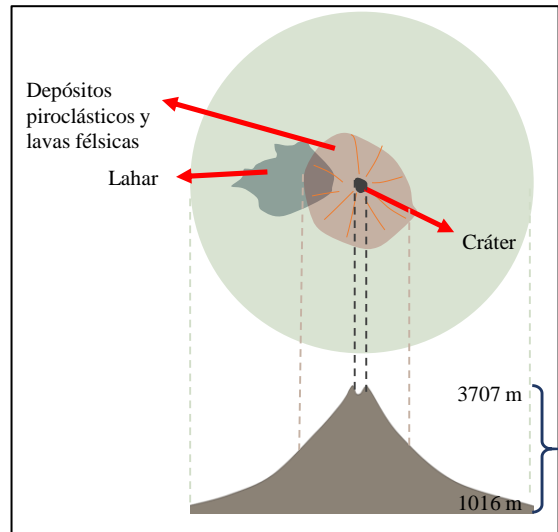
Elevación basal: 1,016 metros.

Relieve (elevación máxima - elevación basal): 2,691 metros.

Radio de la base: 9,149 metros.

Inclinación promedio  $[(\text{relieve} / \text{radio}) \cdot 100\%]$ : 29.41%

2. Dibuja y describe la forma del Monte Fujiyama.  
3. Con base en el tamaño y forma del Monte Fujiyama, ¿cómo clasificarías este tipo de edificio?



**Estratovolcán**

4. Basándote en tus observaciones, indica la composición del magma y el tipo de rocas o productos del volcán.

**Apilamiento de lavas félsicas. Presencia de lahares y material piroclástico.**

5. Disminuye el zoom (visión a una altura de 4,000 km) y examina la región. Describe el contexto tectónico de los volcanes de Japón, soportando tu respuesta con observaciones sobre los principales rasgos tectónicos.

El Monte Fujiyama, al igual que otros edificios volcánicos de Japón, se encuentran ubicados dentro del Cinturón de Fuego el cual es una región en donde existe una alta actividad volcánica y sísmica. En Google Earth se aprecia muy bien una trinchera oceánica, que es un rasgo tectónico típico de una zona de subducción. En esta zona, la subducción de la Placa Pacífica produce una cadena de islas volcánicas (Japón) sobre una corteza oceánica que pertenece a la placa litosférica Eurasiática.



**Navega hacia el Monte Alayta, en Etiopía (coordenadas: 12.88, 40.57)**

1. Realiza las siguientes mediciones.

Elevación máxima sobre el nivel del mar: 1,496 metros.

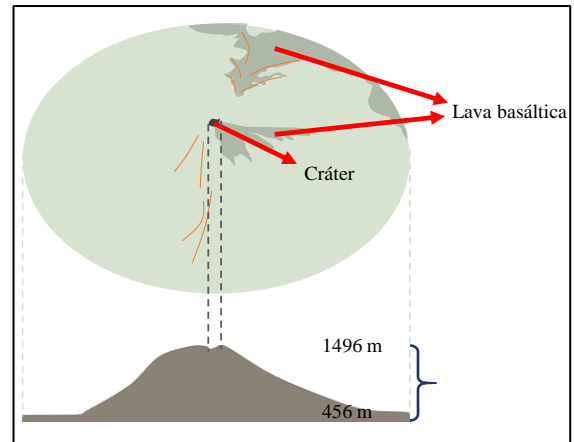
Elevación basal: 456 metros.

Relieve (elevación máxima - elevación basal): 1,040 metros.

Radio de la base: 9,549 metros.

Inclinación promedio  $[(\text{relieve} / \text{radio}) \cdot 100\%]$ : 10.89%

2. En el recuadro a lado, dibuja y describe la forma del Monte Alayta.



3. Con base en el tamaño y forma del Monte Alayta, ¿cómo clasificarías este tipo de edificio?

Volcán escudo.

4. Basándote en tus observaciones, indica la composición del magma y el tipo de rocas o productos del volcán.

Lava basáltica muy fluida (pahoehoe) apilada.

5. Disminuye el zoom (visión a una altura de 3,000 km) y examina la región. Describe el contexto tectónico de los volcanes de la zona, soportando tu respuesta con observaciones sobre los principales rasgos tectónicos.

Se observa que los volcanes situados en esta zona se encuentran cercanos a lo que se conoce como “un punto triple” que une tres zonas sujetas a extensión: el Mar Rojo, el Golfo de Adén y el Rift de África Oriental. La extensión tectónica que ha generado estas estructuras ha producido un alejamiento entre la Microplaca Árabe y la Africana. En un contexto de rift continental, el adelgazamiento de la corteza continental relacionado con la extensión produce el ascenso y la fusión por descompresión del manto, con producción de volcanes de composición principalmente máfica a lo largo del rift.

**Navega hacia el Volcán Aniakchack, en Alaska (coordenadas: 56.90, -158.14)**

1. Realiza las siguientes mediciones.

Elevación máxima sobre el nivel del mar: 1348 metros.

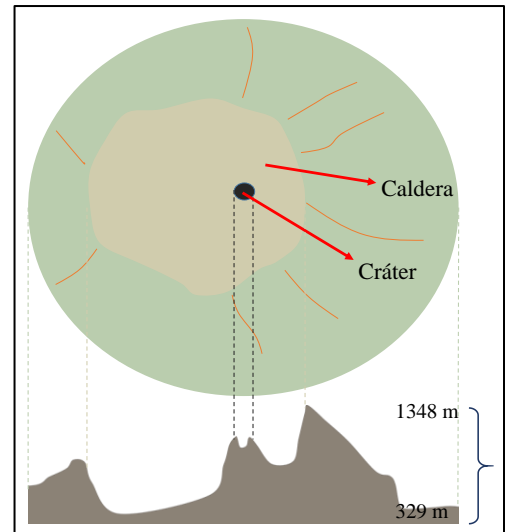
Elevación basal: 329 metros.

Relieve (elevación máxima - elevación basal): 1019 metros.

Radio de la base: 5.21 metros.

Inclinación promedio  $[(\text{relieve} / \text{radio}) \cdot 100\%]$ : 19.55%

2. En el recuadro a lado, dibuja y describe la forma del Volcán Aniakchack.
3. Con base en el tamaño y forma del Volcán Aniakchack, ¿cómo clasificarías este tipo de edificio?



Caldera.

4. Basándote en tus observaciones, indica la composición del magma y el tipo de rocas o productos del volcán.

Al ser una caldera, indica que hubo una explosión muy fuerte de un edificio volcánico, probablemente un estratovolcán. Por lo tanto, la composición podría ser: lava de composición intermedia-félsica.

5. Disminuye el zoom (visión a una altura de 2,000 km) y examina la región. Describe el contexto tectónico de los volcanes de la Cordillera Aleutiana, soportando tu respuesta con observaciones sobre los principales rasgos tectónicos.

Los volcanes de la Cordillera Aleutiana se ubican en la parte norte del Cinturón de Fuego, en donde la placa del Pacífico se está subduciendo bajo una corteza oceánica perteneciente a la placa Norteamericana. Aquí también se puede reconocer muy claramente una trinchera oceánica, que confirma que la Cordillera Aleutiana es un arco volcánico (arco de islas).



**Usa tus observaciones e interpretaciones para completar los siguientes enunciados, y así resumir la relación que existe entre el tipo de edificio volcánico, la composición magmática y el contexto tectónico.**

1. Los volcanes escudo suelen presentar la siguiente forma, pendiente y composición:

Volcán con una pendiente muy ligera, poca altura y con una amplia área basal, de composición fundamentalmente máfica (lavas basálticas muy pobres en volátiles).

Dichos volcanes se forman comúnmente en los siguientes contextos tectónicos:

Regiones intraplaca (fusión por descompresión de una pluma del manto) o regiones continentales sujetas a un régimen extensional (rift continentales).

La forma del edificio se relaciona con la composición química y con el contexto tectónico de formación de los magmas, de esta manera:

Debido a la fusión por descompresión del manto que asciende a través de una pluma del manto o en regiones continentales sujetas a adelgazamiento por extensión tectónica, la cantidad de volátiles presentes en el magma es muy pobre. Por lo tanto, estas lavas son de baja viscosidad y son capaces de fluir y extenderse por grandes distancias, favoreciendo a la formación de un edificio volcánico de pendiente suave a partir del apilamiento de lavas delgadas.

2. Los estratovolcanes suelen presentar la siguiente forma, pendiente y composición:

Son edificios en forma de cono, de gran altura y con una pendiente pronunciada relacionada con su composición intermedia a félsica derivada de su alto contenido de sílice. Este magma rico en volátiles es más viscoso con respecto a uno máfico por lo que le es muy difícil fluir y al ascender tiende a acumularse alternadamente con depósitos piroclásticos construyendo el edificio volcánico con laderas empinadas.

Dichos volcanes se forman comúnmente en los siguientes contextos tectónicos:

Se forman en zonas de subducción, donde los magmas son muy ricos en volátiles, y tienen la posibilidad de diferenciarse y adquirir composiciones intermedias a félsicas durante su estacionamiento en el basamento continental.

La forma del edificio se relaciona con la composición química y con el contexto tectónico de formación de los magmas, de esta manera:

En las zonas de subducción el manto se funde debido a la adición de volátiles y los magmas tienden a estar más diferenciados. Estos últimos son más ricos en sílice, por lo que tienen menor capacidad de fluir y se apilan alternadamente con estratos de depósitos piroclásticos construyendo un edificio muy alto con laderas empinadas.

3. Las calderas suelen presentar la siguiente forma, pendiente y composición:

Depresión circular o en forma de herradura, de pendiente fuerte, cuya composición puede ser: ceniza, material piroclástico o magma muy viscoso creando un domo en el centro.

Dichas estructuras se forman comúnmente en los siguientes contextos tectónicos:

Relacionado con la violenta explosión de un estratovolcán cuyo edificio colapsó; esta erupción previa se relaciona con un contexto de zona de Arco.

La forma del edificio se relaciona con la composición química y con el contexto tectónico de formación de los magmas, de esta manera:

Posterior a una erupción pliniana muy violenta, relacionada con una zona de subducción; la liberación de los enormes volúmenes de gas, pómez y ceniza provoca que la cámara magmática se vacíe lo que conlleva al colapso del edificio y se genera la denominada caldera. Después de la enorme erupción explosiva, un remanente de magma ahora pobre en volátiles da lugar a una erupción efusiva y a la formación de un domo.



### 3.5 Actividad Sísmica y peligros relacionados.

#### 3.5.1 Experiencia Geológica: Sismología

##### Probabilidad de ocurrencia de un sismo

Usarás la historia sísmica del área de San Francisco, ubicada en California en correspondencia de la Falla de San Andrés, para determinar la probabilidad de que en dicha región ocurra un sismo de cierta magnitud, en cierto periodo.

	Área de San Francisco
Rango de latitudes	36.25-38.75 °N
Rango de longitudes	120.75-123.25 °W
Rango de fechas	01/01/1983 hasta 31/12/2012
Rangos de magnitudes	2.0-2.9, 3.0-3.9, ... hasta 9.0-9.9



En la **Columna B** de la hoja de cálculo se indica el número de sismos de cada rango de magnitud (**Columna A**) que han ocurrido en el área de estudio en el periodo considerado.

En la **Columna C**, calcula el número promedio de terremotos de cada rango de magnitud que han ocurrido en un año. Algunas celdas ya contienen la respuesta.

En la **Columna D**, calcula el **intervalo de recurrencia media (MRI)** de sismos de cada rango de magnitud. El MRI es el **tiempo promedio que pasa entre un terremoto y otro**, y corresponde al recíproco del promedio anual de sismos: **MRI = 1/número promedio de sismos**.

Dado que, en el área de San Francisco, no han ocurrido sismos de magnitud > 7 en los últimos 30 años, no se tienen datos para calcular el MRI de esos sismos. Entonces, su MRI se extrapola a partir de los datos disponibles para los terremotos de menor magnitud:

- En el diagrama, grafica el MRI de sismos de cada rango de magnitud del cual tengas datos (nota que la escala del eje y es logarítmica). Un dato ya está graficado.
- Dibuja la recta que mejor se ajuste a los datos, y extiéndela para cubrir el rango de magnitudes para las cuales no tienes datos.
- Lee los valores de MRI extrapolados para sismos con esos rangos de magnitudes, e introdúcelos en la Columna D para completarla. Uno ya se ha introducido.

En la **Columna E**, determina la **probabilidad de ocurrencia anual** de terremotos de cada rango de magnitud. La probabilidad puede expresarse como una fracción entre 0 y 1; o como porcentaje de 0 a 100%. En la hoja de trabajo registrarás ambos.

- Para sismos con **MRI ≤ 1 año**: La probabilidad de que estos terremotos ocurran en un año es de  $1/1 = 1$  o **100%**. Anota estos valores para los rangos de magnitud apropiados en la Columna E. La primera fila ya se ha recopilado.
- Para sismos con **MRI > 1 año**: La probabilidad de que estos terremotos ocurran en un año es de  $1/\text{MRI}$ ; y se multiplica por 100 para obtener el %. Completa la Columna E con este método.

Enseguida, aprenderás a calcular la **probabilidad de ocurrencia de un sismo de cierta magnitud en un tiempo más largo (por ejemplo, 30 años)**.

En la **Columna F**, determina la **probabilidad de que no ocurran terremotos de cada rango de magnitud en un año**. Esto es simplemente **1 menos la probabilidad de que esos eventos ocurran en un año** (Columna E). Algunos datos ya se han añadido.

Ahora, calcula la probabilidad de que un sismo de cierta magnitud (por ejemplo, 6.0-6.9) no ocurra en 30 años. Esto se obtiene elevando la probabilidad de no ocurrencia anual del sismo al número 30.

Probabilidad de no ocurrir en 30 años:

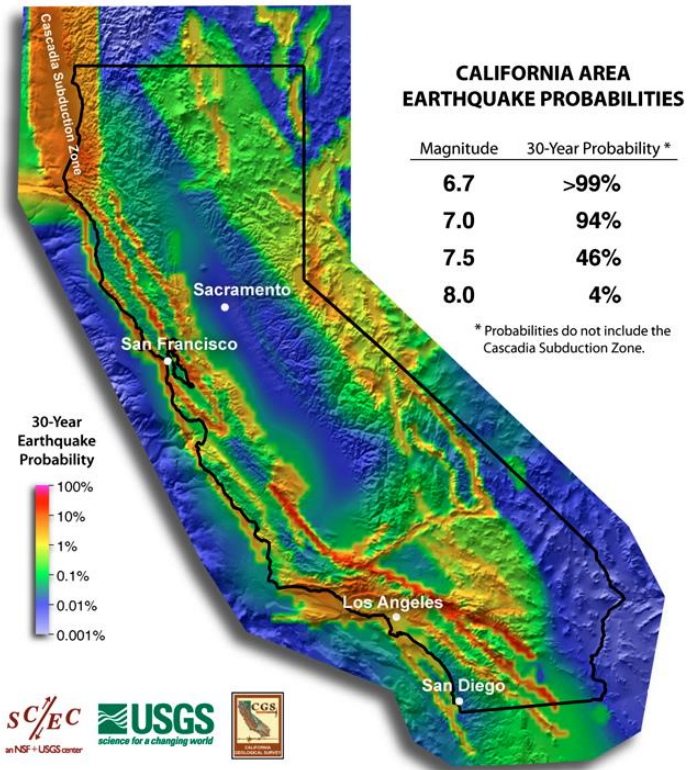
$0.90^{30}=0.042$  o **4.2%**

A partir de este dato, calcula la probabilidad de ocurrencia de un sismo de la magnitud previamente considerada (6.0-6.9) en 30 años. Esto es simplemente 1 menos la probabilidad de que ese evento no ocurra en 30 años.

Probabilidad de ocurrir en 30 años:

**0.958** o **95.8%**

Así es como los científicos calculan las probabilidades de ocurrencia de los sismos en periodos de 2 o 3 décadas, y cuantifican el peligro.

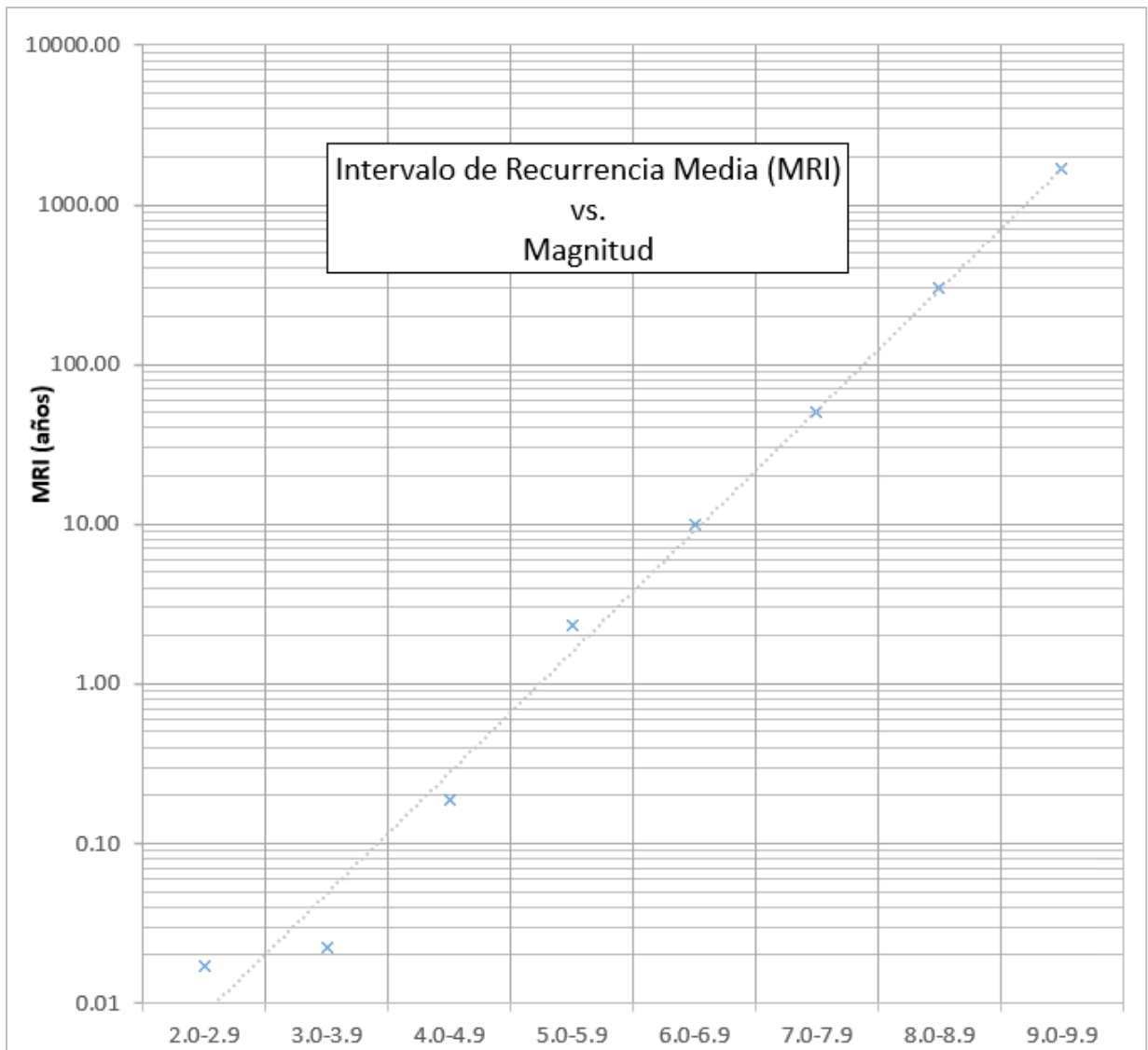


**Probabilidades de ocurrencia sísmica en el área de San Francisco**

36.25 - 38.75 N latitud /120.75 -123.25 W longitud

Rangos de magnitud	# de terremotos 1983-2012 (30 años; de la base de datos)	Promedio de terremotos por año	MRI (Intervalo de Recurrencia Media) en años	Probabilidad en un año			
				de que ocurra un terremoto		de que NO ocurra un terremoto	
				decimal	%	decimal	%
2.0-2.9	1716	57.20	0.017	1.000	100%	0	0%
3.0-3.9	1326	44.2	0.022	1.000	100%	0	0%
4.0-4.9	161	5.37	0.186	1.000	100%	0	0%
5.0-5.9	13	0.43	2.325	0.43	43%	0.57	57%
6.0-6.9	3	0.10	10	0.10	10%	0.90	90%
7.0-7.9	0	0.00	50	0.020	2%	0.98	98%
8.0-8.9	0	0.00	320	0.003	0.3%	0.997	99.7%
9.0-9.9	0	0.00	1814	0.0005	0.05%	0.9994	99.94%





*NOTA: Los valores de las columnas D, E y F para las magnitudes de 7.0-7.9, 8.0-8.9 y 9.0-9.9, pueden variar ligeramente dependiendo de la pendiente de la recta que se dibuje.*

Análisis y cálculo del riesgo sísmico en escuelas de San Francisco

ESCUELA	PELIGRO			VULNERABILIDAD			VALOR	ANÁLISIS
	A: Aceleración del suelo (< 30% g = 1; 30-60% g = 2; > 60% g = 3)	B: Potencial de licuefacción (bajo = 1; medio = 2; alto = 3)	C: Potencial de deslizamientos (bajo = 1; medio = 2; alto = 3)	D: ¿Pisos suaves? (no = 0; sí = 1)	E: Mampostería no reforzada (no = 1; tal vez = 1.5; sí = 2)	F: Irregularidades basales o verticales (no = 0; sí = 0.5)	G: Número de vidas	Factor de riesgo: $\frac{[(A + B + C) / 9] \cdot [(D + E + F) / 3.5] \cdot G}{G}$
Marina MS	3	3	1	0	1.5	0.5	996	<b>443</b>
Garfield ES	2	1	3	0	1.0	0.5	239	<b>68</b>
Francisco MS	3	3	1	0	1.5	0.0	738	<b>246</b>
Herbert Hoover MS	3	2	1	0	1.0	0.0	1271	<b>242</b>
Guadalupe ES	3	1	1	0	1.5	0.5	458	<b>145</b>
El Camino	3	1	1	0	1.5	0.5	1577	<b>501</b>
Sunset Ridge ES	3	1	1	0	1.0	0.0	633	<b>100</b>

### 3.6 Geología Económica

#### 3.6.1 Experiencia Geológica: Geología Económica

### ¿Cómo se usan los minerales en la sociedad?

Los minerales son esenciales para nuestra sociedad: los necesitamos para construir casas, automóviles, carreteras y edificios. A veces los usamos en su forma natural; otras veces, extraemos elementos clave de ellos, y los usamos para fabricar otros productos.

#### *Uso de los minerales por sus propiedades químicas*

Uno de los principales usos de los minerales es como fuente de elementos y compuestos que luego usamos para fabricar otros productos. Extraemos los minerales, y posteriormente los procesamos para obtener los elementos o compuestos requeridos. Los químicos resultantes se usan para la fabricación de materiales como vidrio, metales y computadoras; o pueden ser combinados con otros elementos para crear nuevos compuestos o aleaciones.

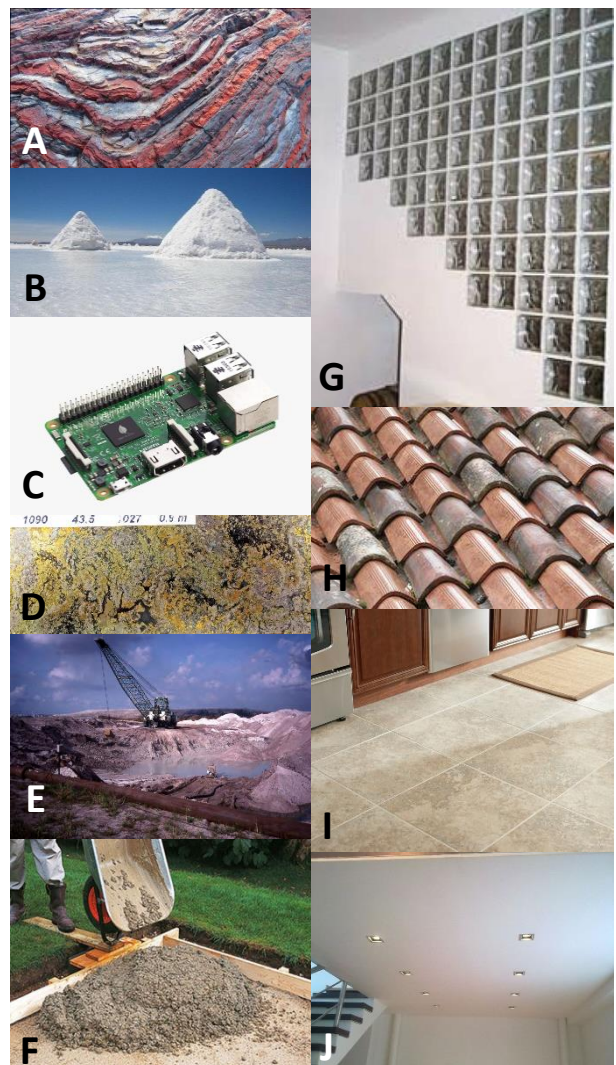
**Hierro.** Este elemento se extrae principalmente de formaciones rocosas ricas en óxidos de hierro (hematita y magnetita), como la de la Fig. A; el hierro es el ingrediente principal del acero, que se utiliza en muchos productos, desde utensilios y electrodomésticos para la cocina, hasta automóviles, maquinarias para la construcción (Fig. E), rascacielos, ferrocarriles y barcos.

**Sodio y halita.** El sodio, que tiene algunos usos como elemento puro, se extrae de la halita (NaCl) y de la trona (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). La halita se usa comúnmente en nuestra cocina, pero también es usada como agente de deshielo en las carreteras, y para ablandar aguas particularmente duras (Fig. B). Al igual que la trona, se usa para fabricar jabones, metales y muchos artículos para el hogar. La trona es importante para la fabricación del vidrio (Fig. G).

**Silicio.** El silicio, utilizado para construir chips de computadoras (Fig. C) y paneles solares, deriva principalmente del cuarzo, un dióxido de silicio muy común.

**Cobre.** El cobre es un conductor de electricidad, y por lo tanto se usa para fabricar cables eléctricos de teléfonos, computadoras, automóviles y otros aparatos (Fig. J). También se usa para fabricar latón y bronce. La mayoría del cobre se obtiene a partir de los sulfuros de cobre (Fig. D), y de otros minerales de cobre de color verde azulado.

**Fósforo.** Utilizamos el fósforo en fertilizantes (Fig. F), refrescos y dispositivos electrónicos como los televisores. El principal mineral de fósforo es el apatito, un fosfato de calcio de composición similar a la de los dientes humanos.





**Calcio.** La calcita, el carbonato más común, es la principal fuente de calcio. La calcita procesada es el ingrediente principal del concreto, el cual se emplea para la construcción de carreteras, aceras, puentes, aeropuertos, grandes edificios, cimientos de casas y patios traseros.

### ***Uso de los minerales por sus propiedades físicas***

Además de ser usados como fuentes de elementos químicos, los minerales son utilizados también por alguna propiedad especial que poseen: su color, densidad, resistencia al calor o a la abrasión, su brillo, la facilidad con la cual se pueden moldear, entre otros.

**Cuarzo.** Grandes cantidades de cuarzo se funden y se mezclan con otros materiales para hacer los vidrios de las ventanas y los bloques de vidrio que se usan para construir paredes. El cuarzo se usa como material de relleno en las pinturas, en el papel, y en algunos productos alimenticios y vitamínicos. Cristales de cuarzo producidos sintéticamente se usan comúnmente para fabricar lámparas halógenas y dispositivos de tiempo.

**Feldespatos.** Estos silicatos muy comunes se usan para la fabricación de cerámica (azulejos y porcelana, Fig. I) y de aislantes de fibra de vidrio; también se utilizan en la producción del vidrio para mejorar su dureza y durabilidad.

**Minerales del grupo de las arcillas.** La arcilla se usa para producir ladrillos, concreto, cerámica (como la de las bañeras), tejas para los techos (Fig. H), pisos y aceras. También se usa en grandes cantidades para la fabricación de arena para gatos, y como material de relleno en papel, pinturas y productos alimenticios.

**Yeso.** El yeso es un sulfato que se forma principalmente por la evaporación del agua en lagos salados. Se usa para la fabricación de tableros y otros productos de yeso; además, se usa para hacer concreto, en aplicaciones agrícolas, en la fabricación del vidrio y en otros procesos industriales.

### ***Los minerales de tu botiquín***

*Los minerales se usan para hacer varios artículos que se encuentran comúnmente en las casas; podrías sorprenderte de algunos de los lugares inesperados en donde aparecen más minerales, como por ejemplo el botiquín de tu baño. La mayoría de las pastas dentales contienen calcita como agente limpiador, y también contienen flúor (derivado de la fluorita) y otros compuestos de sodio derivados de la trona. El ingrediente principal de muchos antiácidos es el carbonato de calcio, el cual a menudo deriva de la calcita molida. El material abrasivo presente en las limas de uñas es un polvo de minerales muy duros como el granate o el corindón. Casi todo el maquillaje está compuesto de minerales del grupo de las arcillas, y también puede contener pequeñas láminas de mica que proporcionan un brillo intenso. Los polvos perfumados para los pies y para el cuerpo pueden contener caolinita (mineral del grupo de las arcillas) y talco (el mineral más blando en la escala de dureza de Mohs). Finalmente, el mismo botiquín puede estar hecho de acero, derivado de la hematita y magnetita, o de aluminio, obtenido de hidróxidos de grano muy fino. El espejo en la puerta del botiquín deriva esencialmente del cuarzo, y presenta un recubrimiento de compuestos de plata u otras sustancias reflejantes.*

## ¿Qué minerales usarías para construir una casa?

Los minerales, y los productos que de ellos derivan, componen nuestros hogares, automóviles, calles, edificios, redes eléctricas y sistemas de suministro de agua. Se suele decir que, si algo no se cultiva, entonces proviene de las rocas, los minerales o el petróleo. En este ejercicio, identificarás los minerales que conviene utilizar para construir algunas partes importantes de una casa.

### Describe e identifica estos minerales

Examina cada mineral en las fotografías abajo, enfocándote en su hábito, brillo, color y clivaje. Lee la información que acompaña cada una de las imágenes; y procura identificar los diferentes minerales.



Los cristales a la izquierda tienen dureza 7 y exhiben fractura concoide. El mineral no reacciona con el ácido.

Cuarzo ( $\text{SiO}_2$ )



El mineral a la derecha es traslúcido, tiene dureza 3, presenta clivaje romboédrico, y reacciona con el ácido.

Calcita ( $\text{CaCO}_3$ )



El mineral a la izquierda es muy suave, se siente pegajoso cuando está mojado, y no reacciona con el ácido. Contiene cristales muy finos. No es talco, ni grafito.

Caolinita ( $\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$ )



Las masas esféricas a la derecha consisten en numerosos cristales intercrecidos de un mineral de color crema, parcialmente transparente. El mineral se puede rayar con una uña, y no reacciona con el ácido.

Yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )



El mineral a la izquierda tiene un clivaje bien definido en una dirección, y se exfolia en láminas delgadas parcialmente transparentes, de color gris plateado.

Muscovita ( $\text{KAl}_2(\text{Al}, \text{Si}_3\text{O}_{10})(\text{OH}, \text{F})_2$ )



El mineral a la derecha tiene un brillo metálico y una raya roja característica. En algunas muestras presenta un color rojo.

Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )



Los minerales de la foto con brillo no metálico son carbonatos de cobre, representados por malaquita (verde) y azurita (azul). En cambio, el mineral con brillo metálico es cobre nativo.

## Construye una casa usando minerales y productos minerales

La figura muestra las partes de una casa para las cuales se necesitan ciertos minerales específicos, o un producto derivado de ellos. Usando los minerales que has identificado anteriormente, y apoyándote con la información que puedes consultar en el “Database de los minerales” sobre sus diferentes usos, valora cuáles de ellos necesitarías para construir las diferentes partes de la casa. Anota el nombre de cada mineral o producto mineral en los espacios disponibles, y enlista las propiedades por las cuales se vuelve útil.

**El techo es una barrera para la lluvia. Se usa algún tipo de producto mineral para cubrir las hojas de madera contrachapada.**  
**Nombre del mineral y propiedades útiles:**  
 Arcillas  
 -Fáciles de moldear cuando están mojadas.  
 -Impermeables.  
 -Funcionan como aislante térmico.  
 -Adquiere dureza y rigidez cuando se asienta.

**Para mantener la casa a una temperatura confortable, se coloca un material que conduce lentamente el calor en la parte externa, interna o adentro de las paredes exteriores. Por lo general, este material es fibra de vidrio, que se produce a partir del material fundido derivado de la fusión de una roca silicatada muy común.**  
**Nombre del mineral y propiedades útiles:**  
 Feldespatos  
 -Baja la temperatura de fundición.  
 -Fuente de alúmina, lo que favorece el proceso de fusión.  
 -Mejora la dureza y durabilidad.  
 -Cuando se emplea en la fabricación de fibras funciona como aislante térmico y acústico.

**Los muros exteriores actúan como una barrera contra la lluvia, y sostienen el techo y el resto de la estructura.**  
**Nombre del mineral y propiedades útiles:**  
 Hierro (Acero)  
 -Maleable  
 -Alta dureza y resistencia.  
 -Inoxidable cuando se añade al menos 12% de cromo.  
 -Alta densidad, brindando fortaleza a la estructura.

**Las ventanas dejan entrar la luz solar, y ofrecen una vista al exterior.**  
**Nombre del mineral y propiedades útiles:**  
 Cuarzo  
 -Duro y rígido  
 -Transparente  
 -Impermeable  
 Feldespatos  
 -Mejora la dureza y durabilidad

**Para el cableado eléctrico se usa un metal porque los metales son conductores y dúctiles.**  
**Nombre del mineral y propiedades útiles:**  
 Cobre  
 -Buen conductor electricidad  
 -Impermeable  
 -Altamente maleable  
 -Dúctil

**El cemento se usa para hacer una base lisa y estable para el piso, la madera o la alfombra. También se utiliza como cimiento para soportar las paredes.**  
**Nombre del mineral y propiedades útiles:**  
 Calcita  
 -Se vuelve adherente y es fácil de moldear cuando se mezcla con agua.  
 -Se asienta y se endurece rápido.  
 -Impermeable cuando se ha asentado y secado.  
 Yeso  
 -Como aditivo, brinda dureza y secado rápido.  
 -Baja la transferencia de calor.  
 -Excelente adherencia.  
 -Baja solubilidad en agua.

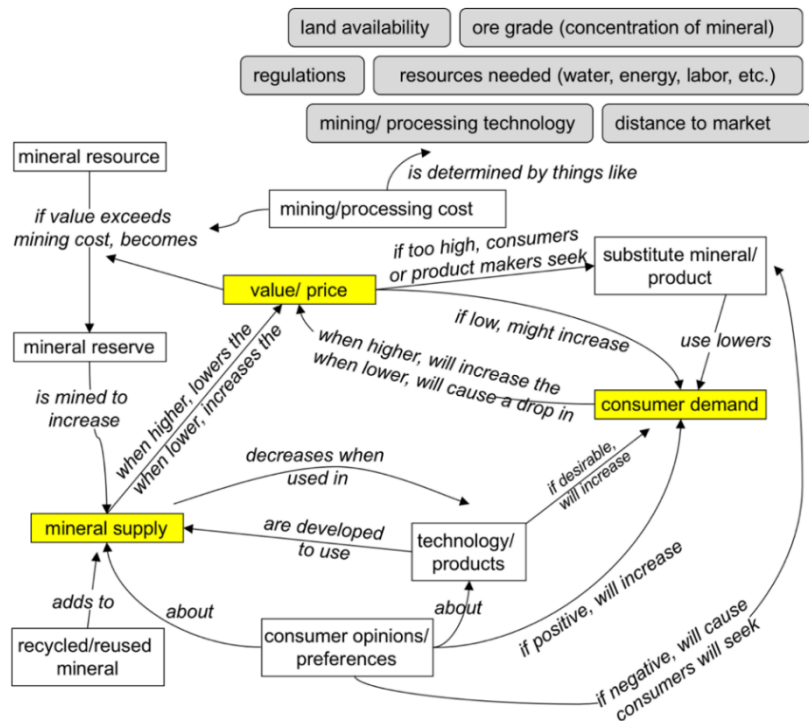
**Las paredes interiores separan la casa en habitaciones, pero por lo general no soportan la estructura: más bien, suelen consistir en unas vigas verticales hechas de un material fuerte, que soportan unas láminas de tablaroca. Las láminas deben ser lo suficientemente suaves como para permitir la realización de cortes para enchufes y conexiones eléctricas.**  
**Nombre del mineral y propiedades útiles:**  
 Yeso  
 -Fácil de moldear cuando está mojado.  
 -Secado rápido.  
 -Resistente y rígido cuando se asienta.  
 -Baja la transferencia de calor.  
 -Baja dureza: 2 en la escala de Mohs.  
 -Bajo costo de producción.

**Se usan tuberías de metal para transportar agua dulce a la casa, y de una parte a otra de la casa.**  
**Nombre del mineral y propiedades útiles:**  
 Cobre  
 -Impermeable.  
 -Altamente maleable.  
 -Dúctil.  
 -Resistencia a la corrosión.



## La economía de los minerales: baterías recargables y uso de recursos minerales

Los minerales son importantes porque se utilizan para hacer productos. Por ende, los consumidores impulsan la búsqueda de recursos minerales, y la economía juega un papel importante en definir cuáles y cuántos minerales se extraen. El mapa conceptual a lado describe en qué manera los factores económicos y sociales afectan el flujo de minerales.



En esta actividad considerarás los recursos minerales que se usan para fabricar baterías recargables, y los parámetros socioeconómicos que influyen en el costo, demanda y oferta de dichos recursos.

### Cambios de tecnología: las baterías de los carros

Una característica importante de las baterías es su densidad de energía. Este dato indica cuánta energía (en Watt/hora) está almacenada en 1 kg. Las mejores baterías son las que contienen una gran cantidad de energía en el menor espacio. El costo es otra consideración; y la seguridad es también un factor. La tabla abajo muestra las densidades de energía y los costos aproximados de diferentes tipos de baterías recargables. Los carros tradicionales usan baterías de ácido-plomo. Los carros híbridos-eléctricos y eléctricos usan baterías NiMH (por ejemplo, el Toyota Prius) o Li-ion (por ejemplo, el Chevy Volt).

Tipo de batería recargable	Densidad de energía (Wh/kg)	Costo aproximado
ácido-plomo	30-50	25 US\$ (6 V)
NiCd	45-80	50 US\$ (7.2 V)
NiMH	60-120	60 US\$ (7.2 V)
Li-ion	110-160	100 US\$ (7.2 V)
Li-polímero	100-130	100 US\$ (7.2 V)

- ¿Por qué los coches eléctricos más recientes usan baterías de iones de litio?  
Debido a que tienen la densidad de energía más alta (más energía en un espacio más pequeño); sin embargo, son las más costosas.
- ¿Por qué se siguen usando baterías de ácido-plomo en los coches con motor de gasolina?  
Esto se debe a que, de todas las opciones, son las más económicas; además, se cuenta con un conocimiento más amplio y completo acerca de su funcionamiento y se encuentran del todo probadas.

3. ¿Cómo crees que cambiará la demanda de plomo, litio y níquel en el futuro? Justifica tu respuesta.
  - Litio: su demanda aumentará debido a su incorporación en las baterías de las nuevas tecnologías, especialmente en vehículos híbridos y eléctricos.
  - Níquel: su demanda se mantendrá debido a que las baterías proporcionan una densidad de energía satisfactoria y permanecen un poco más baratas que la tecnología de iones de litio. Por otro lado, la demanda de níquel se mantendrá alta ya que es requerido en muchos otros productos.
  - Plomo: su demanda podría disminuir cada vez más a medida que más personas discontinúen el uso de los automóviles tradicionales, cuya fuente de energía es la gasolina, y también como consecuencia del descenso del precio de las baterías de Litio lo que las convertiría en la opción ideal, desplazando a las de plomo.
4. Enlista algunos de los posibles efectos que la creciente demanda de litio tendrá en el futuro.
  - El precio aumentará.
  - Será necesario aumentar la extracción del litio mediante la apertura de nuevas minas para satisfacer la demanda y regular los precios.
  - Al aumentar la demanda y el precio, se comenzará la búsqueda de algún sustituto del litio.

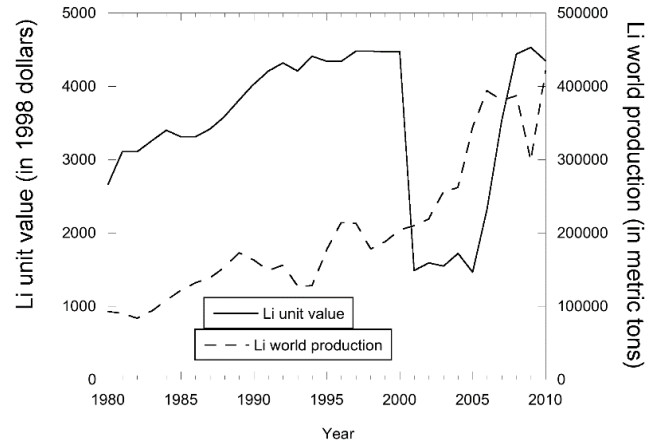
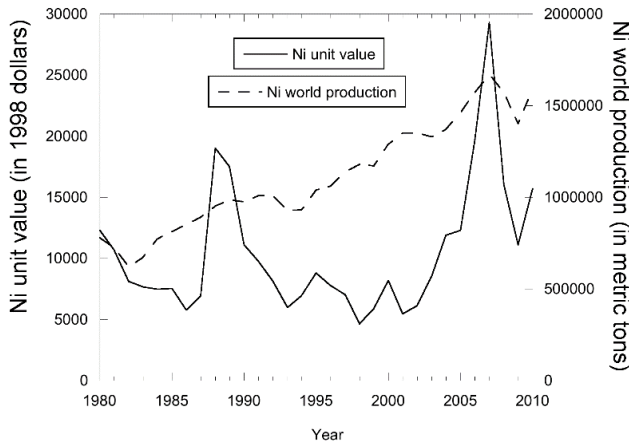
### **Predicciones basadas en el mapa conceptual**

Níquel y litio son dos elementos que se usan en las baterías recargables. Basándote en el mapa conceptual, infiere cómo podría haber afectado cada uno de los siguientes eventos la oferta, la demanda y el costo de dichos elementos.

1. 1986 y 1998: Cierran las dos únicas minas de litio en Carolina del Norte.  
*Litio: Esto debería reducir la producción de Li, lo que reduciría la oferta, y por lo tanto aumentaría el precio de Li.*
2. 1991: Se transmite el primer comercial de las baterías Li-ion.  
*Litio: la demanda aumentará, lo que aumentará el precio y la producción para lograr satisfacer a la primera.*
3. 1992: El cadmio es clasificado como un elemento carcinógeno para los humanos (Cd se usa con Ni en las baterías de NiCd).  
*Níquel: la demanda caerá debido a los cambios en la opinión de los consumidores, lo que provocará que el precio disminuya. Entonces, para reestablecer los precios, la oferta debe reducirse.*
4. 1998-2004: En Australia se abren tres nuevas minas de níquel.  
*Níquel: aumenta la oferta, lo que provocaría una caída de los precios.*
5. 1999: En el mercado estadounidense se introduce el primer coche híbrido eléctrico (hasta el 2008, todos estos carros usaban baterías de NiMH; en 2009 se incorporan las de Litio).  
*Níquel: la demanda aumentará debido a su implementación en las nuevas tecnologías. Esto resultará en un aumento de los precios y la producción. Para estabilizar y bajar los precios será necesario el aumento de la oferta.*
6. 2007-2009: Recesión global.  
*Níquel y litio: la demanda caerá porque las posibilidades de los consumidores de comprar serán menores. Esto traerá como consecuencia que los precios bajen al aumentar la oferta debido a que no hay compra. Al poco tiempo la oferta disminuirá, es decir, las minas se cerrarán y se restablecerán los precios.*

## Comprobación de las predicciones mediante el análisis de datos

Las gráficas describen cómo han variado la producción y el costo del níquel y del litio en las últimas décadas.



Elige dos de las inferencias que has hecho en la parte previa de la actividad; y explica en qué manera los datos en las gráficas las apoyan o las refutan.

-1991, Litio: como se esperaba, tanto la producción como el precio aumentan y se observa que al haber “baja” oferta en general el costo es alto.

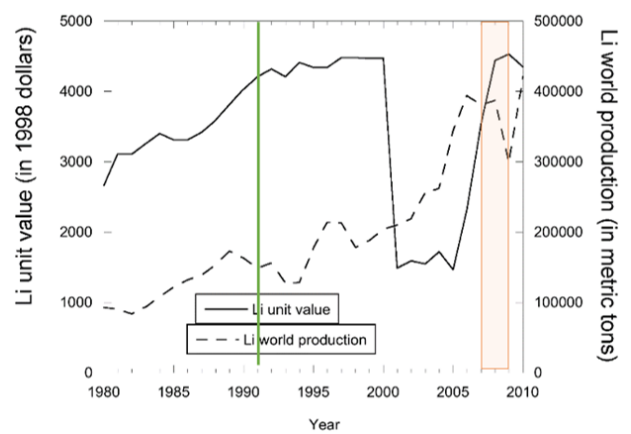
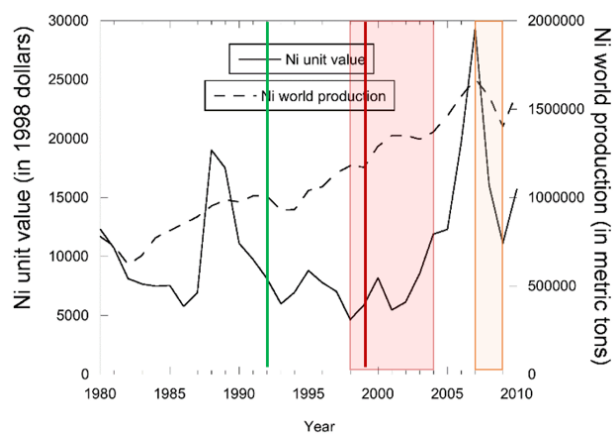
-1992, Níquel: como se esperaba, tanto el precio como la producción caen y se observa que al haber “alta” oferta en general el costo es relativamente bajo.

-1998-2004, Níquel: aunque no se mantiene constante, la producción aumenta según lo previsto. El precio aumenta hasta 2000, baja en 2001 y luego aumenta de nuevo a partir del 2002. Solo esperábamos una caída en el precio resultado de un excedente en la producción.

-1999, Níquel: la producción y el precio aumentaron, como se previó.

-2007-2009, Níquel: el precio y la producción del níquel cayeron, como se esperaba.

-2007-2009, Litio: la producción aumentó ligeramente el primer año y luego cayó como se esperaba, pero el precio en realidad aumentó entre 2007 y 2009.





#### 4. MATERIAL DE REFERENCIA PARA LA ELABORACIÓN DE LAS ACTIVIDADES

- Branlund, J. (2014). *Humans' Dependence on Earth's Mineral Resources: Activity Option 2.1: Batteries as an Example of Consumer Demand and Mineral Supply*. InTeGrate. Recuperado de [https://serc.carleton.edu/integrate/teaching\\_materials/mineral\\_resources/unit2.html#unit2concept](https://serc.carleton.edu/integrate/teaching_materials/mineral_resources/unit2.html#unit2concept)
- Edinboro, T.M. (2017). *Volcano Lab - Google Earth*. InTeGrate. Recuperado de [https://serc.carleton.edu/integrate/workshops/online\\_learning/activities/178769.html](https://serc.carleton.edu/integrate/workshops/online_learning/activities/178769.html)
- Goodell, L., Selkin, P. y Teasdale, R. (2014). *Living on the Edge: Unit 2: Risk at Transform Plate Boundaries*. InTeGrate. Recuperado de [https://serc.carleton.edu/integrate/teaching\\_materials/living\\_edge/activity2.html](https://serc.carleton.edu/integrate/teaching_materials/living_edge/activity2.html)
- Goodell, L., Selkin, P. y Teasdale, R. (2015). *Living on the Edge: Unit 1: Hazards at Transform Plate Boundaries*. InTeGrate. Recuperado de [https://serc.carleton.edu/integrate/teaching\\_materials/living\\_edge/activity1.html](https://serc.carleton.edu/integrate/teaching_materials/living_edge/activity1.html)
- Hall, S. y Walker, B. (2017). *Surface Process Hazards: Living with Landslides: Unit 1 Slip-sliding away: case study landslides in Italy and Peru*. InTeGrate. Recuperado de [https://serc.carleton.edu/gets/teaching\\_materials/surface\\_processes/unit1.html](https://serc.carleton.edu/gets/teaching_materials/surface_processes/unit1.html)
- Ozsvath, D.L. (1999). *The slippery slope of litigating geologic hazards: California's portuguese bend landslide*. National Center for Case Study Teaching In Science. Recuperado de [https://sciencecases.lib.buffalo.edu/collection/detail.html?case\\_id=385&id=385](https://sciencecases.lib.buffalo.edu/collection/detail.html?case_id=385&id=385)
- Ozsvath, D.L. (2000). *Into the Abyss: The Case of the Collapsing Sinkhole*. National Center for Case Study Teaching In Science. Recuperado de [https://sciencecases.lib.buffalo.edu/collection/detail.html/?case\\_id=195&id=195](https://sciencecases.lib.buffalo.edu/collection/detail.html/?case_id=195&id=195)
- Price, E.H. (2012). *Losing the Farm: How Changes in Land Surface Afect Storm Runoff*. National Center for Case Study Teaching In Science. Recuperado de [https://sciencecases.lib.buffalo.edu/collection/detail.html?case\\_id=653&id=653](https://sciencecases.lib.buffalo.edu/collection/detail.html?case_id=653&id=653)
- Reynolds, S.J., Johnson, J.K. y Morin, P.J. (2019). *Exploring geology* (5ª edición). McGraw-Hill Education (pp. 102-105).
- USGS-United States Geological Survey. (2011). *Volcano Hazards Program FAQs: Frequently Asked Questions About Volcanoes in Movies*. Recuperado de [https://volcanoes.usgs.gov/vsc/file\\_mgr/file-153/FAQs.pdf](https://volcanoes.usgs.gov/vsc/file_mgr/file-153/FAQs.pdf)