

Algunos ejemplos de Volcanes y sus erupciones

Comienzo de registros históricos

Mt. Vesuvio

Ubicación: Zona de Subducción, arco continental; estratovolcán

Una erupción catastrófica en 79 AC destruyó las ciudades de Pompeya y Herculeo y mató por lo menos 2000 personas. Probablemente muchas personas piensan en el Vesuvio cuando les piden el nombre de un volcán. La erupción fue descrita en dos cartas de Plinio el Joven al historiador romano Tacito. Estas cartas son probablemente los primeros registros detallados de una erupción volcánica. Hoy en día aún continúan las excavaciones. En la ciudad de Herculeo es más difícil, ya que la ciudad moderna de Ercolano se encuentra construída sobre las ruinas de su antecesora. Hasta hace poco se pensaba que los habitantes de Herculeo pudieron escapar pero descubrimientos recientes muestran una historia diferente. La descripción de la erupción misma va más allá de nuestro interés en este curso .

Hotspots

Hawaii

Ubicación: hotspot; volcán de Escudo

La otra mayoría de personas seguramente piense en Hawaii cuando les preguntan sobre el nombre de un volcán. Hawaii es un volcán de hotspot típico, ubicado en la mitad de una placa tectónica (pacífica), muy lejos de cualquier límite entre placas. Los científicos comenzaron a observar la cadena de islas de Hawaii cuando la teoría de estas cadenas formándose en placas que se mueven sobre una pluma del manto fue desarrollada. El cambio en la dirección de las islas se había pensado que se debía a cambio de dirección del movimiento de la placa del pacífico (hoy en día dicha explicación no es tan clara).

La teoría de las plumas del manto ha sido cuestionada en años recientes debido a la dificultad de obtener imagenes sísmicas de ellas. El cambio de dirección también ha representado un dolor de cabeza para geólogos que intentan encontrar la causa para este cambio repentino en el movimiento de las placas. Adicionalmente, estos cambios son distintos en otras cadenas de islas.

Causas alternativas se han planteado, como por ejemplo la presencia de fracturas en las placas. Para el curso, por ahora, vamos a asumir que la teoría de placas es correcta.

Los volcanes de Hawaii son un lugar de turismo muy importante. El Kilauea se encuentra en erupción *pacífica* hoy en día. La actividad actual comenzó en 1983 con espectaculares cascadas de lava en Pu'u O'o, una de sus conductos. Hoy en día la lava fluye hacia el océano y es la única actividad visible. Significativa

actividad se presenta en el suelo marino hacia el Suroeste, donde Loihi esta creciendo, el volcán mas joven de los volcanes de Hawaii. Su tope se encuentra a 1 km de profundidad de la superficie marina.

Erupción por fisuras

Laki Fissure, Islandia

Ubicación: Interacción Hotspot dorsal meso-oceánica; fisura, volcán de escudo

Grimsvötn es el volcán activo más grande de Islandia. Yace debajo de la gran capa de hielo llamada Vatnajökull. Grimsvötn tiene fracturas o fisuras extensas, saliendo del centro. Una de ellas es *Laki Fissure* que produjo el flujo de lava más grande en la historia reciente. La lava puede fluir fácilmente de estas fisuras que pueden llegar a tener hasta 25 km de longitud. Cuando hay presencia significativa de agua, se puede presentar cascadas de lava de gran tamaño conocidas como "curtains of fire".

- la erupción fue precedida por actividad sísmica durante una semana
- June 8, 1783: fisura de 25km de longitud se abre, lava basáltica sale por 50 días ($5000 \text{ m}^3/\text{s}$ (como comparación, el río Mississippi solo libera 3 veces esa cantidad al Golfo de México)
- el total de volúmen de lava producido fue de 15 km^3 .
- liberación de enormes cantidades de gases ricos en SO_2 con cantidades inusuales de fluoruros que cubrieron a Islandia y el Norte Europa en una neblina azul.
- los gases desaceleran crecimiento de pastos y aumenta contenido de fluoruros que mata al 75% de lo scaballos y ovejas y el 50%de las cabezas de ganado.
- la erupción de 7 meses de duración genera perdida de la cosecha en Islandia
- hambruna mata a 10,000 personas, reduciendo la población de Islandia en un 20%

Otra amenaza es la gran capa de Hielo. Las erupciones volcánicas derriten el hielo liberando grandes cantidades de agua. En Nov 5, 1996 el llamado johulhlaup (palabras en Islandia para glaciación y magma) from Icelandic words for glacier and magma) se extendió por 2 días liberando agua a $45,000 \text{ m}^3/\text{s}$ (cerca del valor para el Amazonas). El Johulhlaup destruyó el puente más largo en Islandia, líneas telefónicas y carreteras.

Hambruna, Cambio Climático Global

Tambora, Bali/Indonesia

Ubicación: Zona de Subducción, arco de islas; estratovolcán

Tambora es conocida como la erupción mas violenta en los últimos 200 años, que en total mató a 117,000 personas. Solo el 10% de los muertos fueron por los flujos piroclásticos mientras que el 90% murieron por hechos indirectos: hambruna inducida por un cambio climático global. La erupción provoco ocasos brillantes y temperaturas bajas en el Oeste de Europa, norteamérica y Canada. 1816 es conocido como *el año sin verano*, trayendo consigo tifoidea en Europa, hambruna en Suiza y perdidas de cosechas en Nueva Inglaterra.

- erupción en Abril de 1815 precedida por actividad moderada.
- Abril 5: Columna Pliniana con 12km^3 de piedra pomez lanzada hasta 33 km de altura por 2 horas.
- Abril 10: erupción Pliniana aún mas poderosa, de hasta 44 km de altura por 3 horas; el conducto se abre por medio de una explosión.
- Abril 11: cuerpo de lava expuesto se derrama del cráter 50 km^3 en abrumador flujo piroclástico
- el flujo piroclástico llega a Sumbawa matando a 10,000 personas
- actividad por 1 semana produce cerca de 150 km^3 de material volcánico
- el volcán de 4000 m de altura es reducido a 2650 m, con una caldera de 6 km de ancho y 1 km de profundidad.
- las explosiones son escuchadas a 2600 km de distancia
- ceniza volcánica cae hasta a 1300 km de distancia
- el volúmen total de material liberado se estima en $80\text{ a }160\text{ km}^3$
- la erupción destruye los reinos feudales de Sanggar y Tambora y borra del mapa la lengua de Tambora
- última erupción conocida: 1967

Flujos de lava destructivos

Nyiragongo/Nyamuragira, Dem.Rep.Congo

Ubicación: Rift continental; volcán de escudo (Nyamuragira); estratovolcán (Nyiragongo)

Nyiragongo y Nyamuragira son unos de los pocos volcanes efusivos que usualmente no son muy asesinos pero que causan perdidas sustanciales de propiedad por medio de flujos de lava (en vez de vulcanismo explosivo).

Nyiragongo es un estratovolcán y tiene un lago de lava de larga duración que repetidamente libera flujos de lava extremadamente fluidos (p.e., 1977); la última vez destruyó partes de la ciudad de Goma.

Nyamuragira es un volcán de escudo y es el volcán más activo de África. También tiene un lago de lava que ha estado activo desde 1921. Sus flujos de lava pueden fluir por más de 30 km y llegar al lago Kivu.

- Enero 17, 2002; flujos de lava rápidos bajan la pendiente matando a 45 personas.
- flujo de lava hacia el Lago Kivu, destruyendo 25% de la ciudad de Goma
- corriente de lava prácticamente divide la ciudad en dos, y por poco afecta al aeropuerto
- posibles precauciones: desacelerar los flujos rociando agua sobre la lava (p.e., Islandia, Mt Etna) y contruir barricadas, aunque esto ha tenido éxito moderado.

Flujos piroclásticos

Mt. Mayon, E. Luzon/Philippines

Ubicación: Zona de Subducción, arco de islas; estratovolcán

Mt Mayon es uno de los volcanes más activos de las Filipinas. Tiene 40 erupciones registradas desde 1616. Por lo menos 9 de éstas han causado muertos en este área muy poblada, con la erupción más mortal en 1825 que causo la pérdida de 1500 vidas. Una erupción en 1993 mató a 75 campesinos en una zona que estaba restringida. 50,000 residentes fueron evacuados con anticipación antes de una posible erupción grande. Muchos pobladores tuvieron que ser sacados a la fuerza pero volvieron durante el día para cuidar sus cultivos (única fuente de subsistencia). Última erupción en 1995.

- 1814: un flujo piroclástico mata 1200 personas
- 1825: un lahar mata a 1500 personas
- 1968: una erupción libera una nube de ceniza de 10 km de altura
- el colapso de la nube genera flujos piroclásticos a lo largo de la pendiente de la montaña a velocidades entre of 50-100km/h.

Mt. Pelee, Martinica

Ubicación: Zona de subducción, arco de islas, estratovolcán

La erupción de 1902 fue una de las erupciones volcánicas mas mortales del siglo XX, cuando una explosión dirigida formó un flujo piroclástico masivo. Este es un caso triste ya que muchos residentes no les fue permitida la evacuación por razones políticas. Mt Pelee había tenido erupciones antes, en 1792 y 1851 y posteriormente en 1929-1932, con gases y ceniza caliente salen del cráter formando numerosos flujos pirocláticos.

- en la primavera de 1902 la actividad comienza; el cráter se llena con lava extremadamente viscosa, taponandolo, explosiones ocasionales destapan el cráter
- Fines de Abril: 700 personas al día comienzan a escapar del campo hacia la ciudad de St. Pierre, 10 km del volcán
- Mayo 5, mediodía: un gran flujo piroclástico se mueve al sur, destruyendo un ingenio azucarero y matando a 40 personas
- el gobernador para un éxodo masivo debido a las elecciones para el 10 de Mayo
- Mayo 8, mañana: una explosión dirigida de lava con gases crea un flujo piroclástico incandescente (nueve ardente) con temperaturas internas de más de 700 °C.
- los flujos piroclásticos alcanzan St Pierre en el sur con velocidades de 190km/h matando a 29,000 personas, incluyendo a marineros en botes en el mar, excepto por 2 personas incluyendo a un prisionero en su celda.
- Mayo 20: otra nueve ardente
- Agosto 30: nueve ardente fluye hacia el este matando a 2,000 personas

El Chichón, Mexico

Ubicación: Zona de Subducción, arco continental; domos de lava

La principal característica del Chichón es un domo de lava emergente. El Chichón se encontraba durmiente por 550 años hasta que en 1982 produjo el flujo piroclástico mas mortal en la historia moderna (desde 1955).

- Marzo 1982: empieza actividad con un gran número de terremotos
- Marzo 29: erupción Pliniana inesperada, con 6 horas de duración; 1.4km³ de material, campesinos se quedaron
- en los siguientes 5 días solo se presentan erupciones menores, dando falsa sensación de seguridad a los residentes
- Abril 4: un flujo piroclástico basal con forma de anillo viaja por unos 8 km hacia afuera, cubriendo 9 poblaciones y matando a 1700 personas

- seguido de una erupción Pliniana (columna eruptiva de 20 km de altura).
- la columna Pliniana inyecta suficiente SO₂ en la atmósfera que afecta temporalmente el clima global

Mt. Pinatubo, Luzon/Philippines

Ubicación: Zona de subducción, arco de islas, estratovolcán

La erupción de Mt Pinatubo en 1991 ha sido la erupción volcánica mas grande en el siglo 20. Inyectó tal cantidad de material a la atmósfera que bajó la temperatura global contrarrestando el efecto de los gases de invernadero. El monitoreo sísmico que comenzó solo unos meses antes de la erupción permitió la toma de medidas de precaución, un buena parte de la historia. Un millón de personas que vivían en la zona de peligro fueron evacuadas de tal manera que el número de fatalidades fue limitada (1000 aprox.). La mayoría de las muertes fueron por un inmenso flujo piroclástico. Se estima que aproximadamente 20,000 personas habrían muerto y \$500 millones en propiedades si no se hubiese dado la señal de desalojo. Los costos de mantener el monitoreo se estima en \$1.5 millones.

- Marzo: actividad sísmica indica que el Mt Pinatubo se despierta de un descanso de 500 años; el magma se mueve de unos 32 km de profundidad; miles de terremotos pequeños; 2 explosiones de vapor; emisión de toneladas de gases ricos en SO₂; monitoreo sísmico intensivo se inicia.
- Junio 7: el magma alcanza la superficie y sale tras haber perdido gran cantidad de sus gases disueltos.
- Junio 12: gran explosión debido a millones de metros cúbicos de magma rica en gases que llega a la superficie.
- evacuación rápida de todos los residentes
- Junio 15: erupción cataclísmica; 1km³ es empujado a 35 km de altura en la atmósfera en una nube de ceniza de 480km de ancho; los flujos piroclásticos cubren valles de 200m de profundidad, un tifón acercándose lleva la ceniza no-consolidada pendiente abajo formando lahares.

Mt. Unzen, Japón

Ubicación: Zona de subducción, arco de islas muy antiguo; volcán complejo Mt. Unzen tiene un domo de lava en crecimiento. Una fuente de magma continua causa inestabilidad del domo. lava viscosa rompe en erupciones volcánicas y crea flujos piroclásticos pendiente abajo. Ha habido más de 7000 flujos entre 1991 y 1994. Ciudades en la costa cercana y aldeas agrícolas se benefician en sus faldas, creando así un riesgo importante para el área.

- Mayo 21 1792: un terremoto provoca el colapso del domo de lava y manda una gran avalancha de escombros (0.3km^3) pendiente abajo
- la avalancha viaja 6.5 km hasta llegar al mar y genera un tsunami que mata a 15,000 personas
- Mayo 1991: aumento en el crecimiento del domo de lava sobresale de el límite del cráter.
- miles de residentes son evacuados mientras que los científicos y periodistas se quedan
- un colapso de masa de 100m altura genera un flujo piroclástico
- Junio 3, 4:09pm: un gran flujo piroclástico viaja pendiente abajo a 95km/h matando a 43 observadores incluyendo a vulcanologos Maurice and Katya Krafft.

Lahars (Mudflows)

Kelut, Java/Indonesia

Ubicación: Zona de Subducción, arco de islas; estratovolcán

Kelut es un volcán en la zona del cinturón de clima tropical de Indonesia. Después de una erupción, nuevo material piroclástico se descompone para formar muy rápidamente un suelo fértil. Esto atrae a muchas personas a vivir cerca del volcán a pesar del peligro de erupciones inminentes. Un gran lago en el cráter (agua, no lava) muchas veces es desocupado durante las erupciones (15 veces en los últimos 200 años). Un flujo de escombros se formó durante una erupción en 1586 matando a más de 10,000 personas, lo cual hace de esta erupción la séptima mas mortal de los últimos 500 ños.

- 1919: una erupción sorpresiva fuerza que 40 millones de m^3 del agua del lago baje por la pendiente llevando consigo material piroclástico suelto formando 3 lahars grandes a una velocidad de 65km/h
- más de 5000 personas mueren
- como consecuencia y para prevenir un futuro desastre, los ingenieros Dane-ses cavaron túneles para reducir el tamaño del lago en un 95%. Sin embargo, una erupción posterior en 1966 bota 20 millones de m^3 matando a 282 personas. Un nuevo tunel más profundo muestra su efectividad para la reducción de la amenaza durante una erupción similar ($\text{VEI}=4$) en 1990 durante la cual ninguna persona o solo unas pocas mueren.

Nevado del Ruiz, Colombia

Ubicación: Zona de subducción, arco continental, estratovolcán

El Nevado del Ruiz se encuentra a 5,400 msnm y tiene una capa de hielo de entre 10-30m de espesor en su copa. Durante erupciones relativamente pequeñas la capa de hielo se derrite mandando lahares corriente abajo. Algunos valles son devastados por estos lahares repetidamente. La ciudad de Armero que fue destruída en 1985 fue devastada anteriormente en 1845, cuando 1,000 personas murieron.

- Nov 1984: el volcán se despierta con actividad a pequeña escala
- Nov 10, 1985: tremores armónicos continuos predicen una gran erupción
- 9:37pm: una columna de erupción Pliniana se eleva a varios km de altura, material piroclástico causa el derretimiento de la capa de hielo, mandando un lahar pendiente abajo y matando a 1,800 personas.
- aumento en la actividad derrite más hielo
- 11:00pm: un lahar masivo viajando 45 km de distancia a 45 km/h llega a Armero sepultando a 22,000 de sus 27,000 habitantes bajo 8 m de lodo

Calderas

Santorini, Grecia

Ubicación: Zona de Subducción, arco de islas, volcán de escudo/caldera

Santorini es un grupo de islas con forma anular que alguna vez formaron un gran volcán detrás del arco de subducción del Mar Egeo. La ciudad de Akrotiri se encontraba en la isla (recientemente encontrado por el arqueologo Spyridon Marinatos que comienza su excavación en 1967). Akrotiri fue una ciudad muy importante de la cultura Minoica en la Era de Bronce hace aproximadamente 3700 años. Tenía estructuras de 3 pisos, calles pavimentadas, sistema de alcantarillado, frescos, etc. Una erupción cataclísmica alrededor de 1650 AC destruye el volcán principal, dejando una caldera. Santorini es una de las posibles lugares donde se encontraba la legendaria Atlantis descrita por el filosofo griego Platón (A.C. 427 - 347). Se cree que esta erupción con todas sus consecuencias fue una de las causas de la caída de la civilización Minoica.

- Un gran terremoto destruye parte de la ciudad de Akrotiri (excavaciones muestran escaleras rotas!).
- el terremoto pudo alertar a los pobladores para irse en botes (no se han encontrado restos humanos en la isla!)

- una secuencia de erupciones termina con la producción de grandes cantidades de piedra pomez que hoy en día cubre los bordes de las islas hasta unos 70 m de alto; el volcán produce un total de 30 km³ de material
- caída de ceniza de hasta 30 cm se ha encontrado en Turquía, cerca de 300 km de distancia
- una erupción cataclísmica lleva al colapso del volcán dejando una caldera de 10 km de diametro.
- el fondo de la caldera es hoy en día de 400m bajo el nivel del mar
- el colapso de la caldera provocó un gran tsunami que tenia unos 70 m de altura en la isla de Creta, a unos 170 km de distancia(se ha encontrado piedra pomez en las montañas,
- después del turismo, la minería de pomez es la segunda fuente de ingresos de Santorini.
- la isla solo puede tener un número limitado de habitantes ya que no tiene aguas subterrneas.

Krakatau (Krakatoa), Java-Sumatra/Indonesia

Ubicación: Zona de Subducción; arco de islas, caldera

El Cracatoa comienza su erupción después de dos siglos de quietud. La erupción de 1883 fue la segunda erupción mas mortal en tiempos históricos, después de Tambora en 1815. Solo 10% de las muertes se deben a la erupción volcánica en sí, el 90% mueren por el tsunami.

- la secuencia eruptiva comienza con una erupción pequeña en Mayo 20, 1883
- Agosto 26, 2pm: grandes explosiones disparan ceniza volcánica y pomez a alturas de 28 km (erupción Pliniana); uno de los conos volcánicos colapsa creando un tsunami en el mar
- August 27, 10am: gigantes explosiones disparan nuevamente ceniza y pomez a 80 km de altura, las explosiones pueden ser escuchadas a 5000 km de distancia.
- un flujo piroclástico con gases a altas temperaturas viaja por el agua a través del estrecho de Sunda hacia Sumatra, 40 km de distancia; flujo llega a tierra y mata a 2000 personas
- el colapso del volcán forma una caldera causando un tsunami de 35 m de altura; el tsunami viaja alrededor del mundo y es registrado en Portugal, Europa

- 295 poblaciones son destruidas; 36,000 personas mueren.
- la secuencia eruptiva produce 18 km³ de material
- la isla que antes tenía 450 m de altura es destruida y el fondo de la caldera se encuentra a 257m bajo el nivel del mar
- 1927: un nuevo volcán crea una isla en el centro de la caldera (Anak Krakatau = "hijo de Krakatau")

Crater Lake/Mt. Mazama, Oregon

Ubicación: Zona de Subducción, arco continental; caldera

Crater Lake (que de hecho es una caldera) fue formado durante una gran erupción de Mt Mazama, cerca de 5677 A. C.; la caldera tiene un diametro de 9.5 km y 589 m de profundidad. Mt Mazama alguna vez estuvo a 3660 msnm, mientras que hoy en día el punto más alto esta a 2720m.

- una gran erupción Pliniana y eyección de un inmenso volúmen de material lleva al colapso para formar la caldera.
- la caída de ceniza se extiende desde California hasta Canada
- trazas de ceniza que se han encontrado en un glaciar de Groenlandia muestra con gran precisión el momento exacto de la erupción.

Emisiones Masivas de Gas

Lago Nyos y Lago Monoun, Camerún, Africa

Ubicación: hotspot, rift abandonado; maar

Estos no son volcanes en el sentido clásico, pero si hay *actividad volcánica* en el sentido de emisiones repetidas de grandes cantidades de gases volcánicos (principalmente CO₂) que matan a muchas personas. Los lagos se encuentran a lo largo de la línea volcánica de Camerún, en un rift abandonado (fallido) en una zona de límite de placas triple que se formó durante la separación de Africa y Suramerica. Los lagos del cráter no están al tope de un edificio volcánico sino que se les conoce como *maars* que se formaron durante violentas explosiones gaseosas.

- 9:30pm, Agosto 21, 1986: fuertes ruidos retumban a lo ancho del área del Lago Nyos, grandes volúmenes de gas (1 km³) salen del lago y cubren 25 km del valle.
- la masa de gas tiene gran contenido de CO₂, el cual es más pesado que el aire; un muro de 50m de alto viaja a 72 km/h

- 1700 personas y 3000 cabezas de ganado son asfixiadas; solo unos pocos sobreviven, despertando de un coma tras varias horas; las plantas no sufren ningún daño.
- el gas probablemente proviene de un platón basáltico en el interior, el gas puede acumularse en la base del lago debajo del agua hasta que la presión alcanza la presión del agua y la estratificación se vuelve inestable
- qué provoca la expulsión? No se sabe; pudo ser una erupción volcánica, un deslizamiento de tierra, un terremoto, disturbios en los vientos, cambios de temperatura interna.
- una liberación de CO₂ similar en Lago Monoun en Agosto 15 de 1984 fue provocado por un terremoto y un deslizamiento asociado
- posible prevención: bombeo del CO₂ de tal forma que la concentración crítica no se alcance.

Nuevas Tierras

Heimaey/Surtsey, Islandia y Paricutín, Mexico

Ubicación: Surtsey- hotspot interactuando con un dorsal meso-oceánica; volcán submarino; ; Paricutín - zona de subducción, arco continental; cono de ceniza

Algunas erupciones volcánicas crean nuevas tierras y nuevos volcanes.

El sistema volcánico, principalmente submarino, de Vestmannaeyjar consiste de un grupo de islas volcánicas y conos submarinos que cubren una plataforma somera en la costa sur de Islandia. Eldfell, el volcán en la isla de Heimaey no había presentado erupción en los últimos 5000 años. En Enero 23 de 1973 una fisura se abre a solo 1 km de la población de Vestmannaeyjar en Heimaey. Flujos de lava iniciales destruyen aproximadamente 300 edificios y cubren el muelle. Los habitantes mueven material piroclástico para formar barreras y desviar el flujo de lava. Riegan agua del mar sobre los flujos para pararlos. En Julio de 1973, 230 Millones de m³ de lava y 26 Millones de m³ de material piroclástico aumentan el tamaño de la isla en un 20%.

La actividad volcánica puede crear nuevas islas. La actividad volcánica que hasta el momento había sido submarina, en Noviembre de 1963 presenta grandes explosiones de vapor que inician el nacimiento de la isla de Surtsey. La presión del vapor expulsa ceniza a 5 km de altura en la atmósfera y finalmente Surtsey emerge en Noviembre 14, 1963 en una erupción freática, generando un cono de ceniza y lapilli que se elevó a 200 msnm en tan solo 3 meses.

Erupciones similares se pueden presentar en los continentes. En Febrero 20 de 1943, un nuevo volcán se forma cuando varias erupciones ocurren en la zona rural de la población de Paricutín, México. El volcán presenta erupciones por 9 años formando un cono de ceniza y escoria. Flujos de lava eventualmente

cubren 260 km² de tierra destruyendo la ciudad de Parícutín y San Juan de Paragarcitiro.