

Las erupciones volcánicas y sus consecuencias en la Cuenca del Pacífico

Volcanic Eruptions and Their Consequences in the Pacific Basin



Mauricio Bretón González¹

Resumen

Se presenta el análisis de algunas erupciones volcánicas relevantes ocurridas en el siglo XIX, los cambios que se produjeron en el clima mundial, las afectaciones que ocasionaron en diferentes países de Europa, América y Asia, y las consecuencias económico-sociales que tuvieron en el mundo. Asimismo se evalúan las posibles afectaciones que resultarían en los países de la Cuenca del Pacífico en caso de sobrevenir uno o varios eventos con características similares a las estudiadas en época histórica, señalando las consecuencias que supondría para la región, en caso de que no se desarrollen estrategias de prevención ante este tipo de fenómenos.

Palabras clave

Erupciones volcánicas, Cuenca del Pacífico, desastres.

Abstract

The analysis of some relevant volcanic eruptions that occurred in the 19th Century, changes occurring in the global climate,

¹ Profesor investigador del Centro Universitario de Estudios e Investigaciones en Vulcanología de la Universidad de Colima. Colima, México. Email: mauri@uocol.mx.

the effects that resulted in different countries of Europe, America and Asia, and the socio-economic consequences that they were in the world. Also evaluated the possible effects that would result in the countries of the Pacific Basin in case of one or more events with characteristics similar to the studied in historical time, pointing to the consequences that would have for the region, where prevention strategies are not developed against this type of phenomena.

Keywords

Volcanic eruptions, Pacific Basin, disasters.

Introducción

Las erupciones volcánicas son el único fenómeno geológico de origen natural que tiene el potencial de afectar de manera general al planeta y, por tanto, influir decisivamente en la vida de los seres humanos. Éstas han sucedido desde hace millones de años, sin embargo, sus afectaciones se hacen cada vez más evidentes, y no porque los volcanes hayan aumentado su frecuencia eruptiva sino porque hemos aumentado la vulnerabilidad y la exposición frente a este tipo de fenómenos, y por ende hemos incrementado el riesgo.

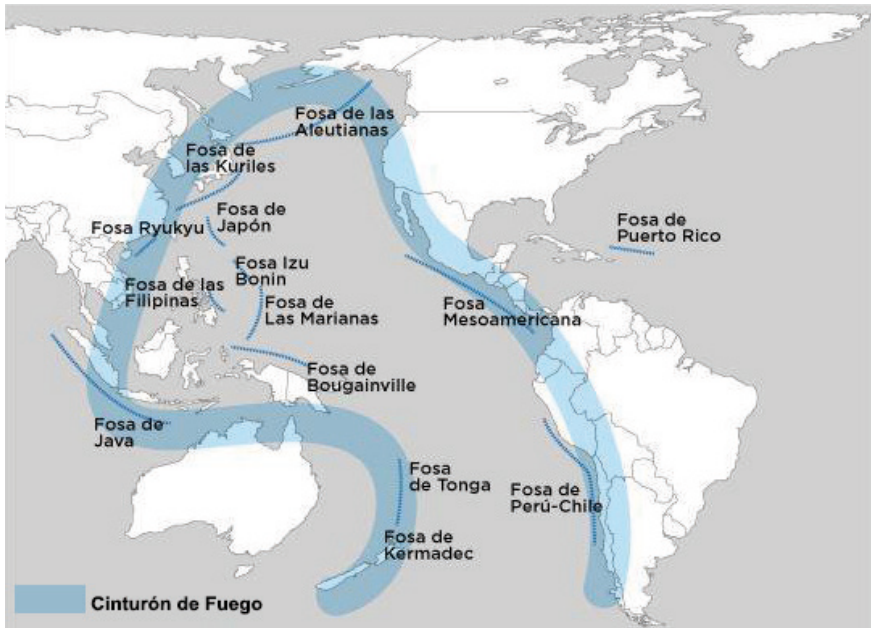
El Cinturón de Fuego del Pacífico, también conocido como Anillo de Fuego (figura 1), es un área que rodea las costas del Océano Pacífico y tiene una extensión aproximada de 40,000 kilómetros, se superpone a la llamada Cuenca del Pacífico y está caracterizado por tener algunas de las zonas de subducción más importantes en el mundo, lo cual origina por un lado una alta sismicidad y, por otro, un importante vulcanismo que concentra a más de 75% de los volcanes que existen en el planeta (Shoji, 1993), y que incluyen a la mayoría de los conocidos como *super-volcanes*, cuyas erupciones han tenido consecuencias determinantes a escala global.

Durante el siglo XIX, la actividad ocurrida en volcanes situados en diferentes islas de la actual Indonesia fueron las causantes de cambios significativos en el clima mundial que provocaron severas hambrunas, migraciones, enfermedades y la muerte de miles de personas en Europa, África, Asia y América.

Estos sucesos no son aislados en la historia de la humanidad y ejemplifican los daños que los volcanes han causado a distintas civilizaciones a lo largo del tiempo.

Figura 1

Cinturón de Fuego del Pacífico



Fuente: Imagen adaptada de *El Nuevo Diario* (2016).

Nuestro objetivo es realizar un análisis de algunas de las erupciones volcánicas más relevantes acaecidas en siglo XIX y determinar las consecuencias que podrían tener en la actualidad un evento de esta magnitud en la región de la Cuenca del Pacífico.

Sostenemos la hipótesis que los países situados en esta área son altamente susceptibles a sufrir severas consecuencias económico-sociales en caso de presentarse eventos similares a los ocurridos en época histórica.

Desarrollo

En los últimos 400 años la mayoría de las muertes por actividad volcánica fueron causadas por flujos calientes de ceniza y

rocas o por flujos de lodo o lahares (Baxter, 1990), estos daños casi siempre se concentran en áreas muy cercanas al volcán en erupción, en donde las altas temperaturas de los gases y las partículas arrastradas también causan en las personas quemaduras severas en la piel y aumentan el riesgo de mortalidad por complicaciones respiratorias o por infección de quemaduras.

Existen otros tipos de eventos de mayores dimensiones que pueden ocasionar daños a nivel global y con consecuencias devastadoras, que son derivados de una erupción volcánica explosiva, y son los millones de toneladas de gases y cenizas que se elevan hacia capas más altas de la atmósfera y en donde pueden permanecer suspendidas durante meses, obstaculizando los rayos del sol y originando variaciones climatológicas. Para Luterbacher y Pfister (2015) los efectos ocurren principalmente por la liberación de grandes cantidades de dióxido de azufre (SO_2), que es transformado en aerosoles de sulfatos. Cuando se encuentran en la atmósfera inferior, estas partículas desaparecen en pocas semanas sin dejar efectos climáticos a largo plazo; sin embargo, las partículas que se forman en la estratosfera por encima de unos 15 km de altitud, pueden permanecer suspendidas hasta un par de años. Este aumento de aerosoles en la estratosfera produce un incremento en el porcentaje de radiación solar que es reflejada al espacio y que por tal motivo no llega a la superficie del planeta, lo que provoca descensos en la temperatura global con las consecuencias que ello puede acarrear.

Durante el siglo XIX al menos dos erupciones fueron causantes de cambios drásticos en el clima, provocando un enfriamiento en el planeta que ocasionó severas hambrunas, enfermedades, migraciones masivas y la muerte de miles de personas. Éste no es un hecho aislado en la historia del planeta, pues cada cierto tiempo un gran evento volcánico ha traído consigo cambios en la temperatura global, mismos que se reflejan en transformaciones importantes en las diferentes culturas que los han padecido.

La erupción del Monte Tambora en 1815

En abril de 1815, el Monte Tambora —un volcán situado en la isla de Sumbawa, en las entonces Indias Orientales Neerlandesas, hoy Indonesia—, entró en actividad. La explosión produjo enormes nubes de ceniza y polvo que se elevaron a la estratosfera. Según Fagan (2008), se considera que durante las prime-

ras horas del evento más de 12,000 personas murieron debido a las nubes de ceniza ardiente que descendieron del volcán y a la poderosa lluvia de ceniza que literalmente los asfixió. Más de 71,000 personas murieron después de la erupción (Oppenheimer, 2003), principalmente a causa del hambre, pues quedaron devastadas todas las cosechas; otros por enfermedades respiratorias; gastrointestinales y también por sed, debido a la contaminación de los acuíferos. La actividad del Tambora de 1815 es una de las más poderosas en la historia reciente, fue seguida por un descenso en las temperaturas, lluvias atípicas, entre otros, lo que trajo consigo la pérdida de cosechas que provocó grandes hambrunas en diferentes partes del planeta.

Derivado de este evento, el año de 1816 fue conocido en el continente europeo como el “Año sin verano”. Sitios como Francia retrasaron las vendimias del sur hasta los últimos días de octubre, mientras que las de la cuenca del río Rin lo hicieron hasta principios de noviembre. En Centroeuropa, fuertes tormentas generalizadas descargaron granizo de tamaño considerable y las riadas arrastraron personas, animales y enseres (Gozalo de Andrés, 1991). Incluso hubo necesidad de sacrificar al ganado que no se podía mantener y aumentó la emigración hacia Estados Unidos.

Irlanda fue más lluvioso de lo normal en ese año, y no se logró el cultivo de la papa, que era prácticamente el único existente; seguidamente fue atacada por una epidemia de tifus entre 1816 y 1819, lo que provocó que miles de personas perecieran y que varios miles más cruzaran el Océano rumbo a América, para escapar del frío y de la hambruna.

En España las cosechas fueron también malas y los viñedos se afectaron por las bajas temperaturas, la ausencia de sol y las abundantes lluvias retrasaron las cosechas hasta noviembre de 1816 (Gozalo de Andrés, 1991).

En Reino Unido la ausencia de alimentos ocasionada por el *año sin verano* originó olas de protesta social violentas. La escasez de trigo, el centeno y otros cereales a través de las islas británicas condujeron a la falta de pan. Estallaron disturbios en los condados de Anglia, Inglaterra, en mayo de 1816; en marzo de 1817 más de 10,000 personas se manifestaron en Manchester; mientras que en junio comenzó el llamado “Levantamiento de Pentrich”, para invadir y ocupar la ciudad de Nottingham. Se dieron revueltas similares en Escocia y Gales (Oppenheimer, 2003).

En la zona actual de la República Checa (entonces perteneciente al imperio austriaco) se registró en 1815 un verano muy húmedo y para 1816 uno muy frío, que contribuyó a las malas cosechas, la falta de pan y, por ende, el hambre y el aumento generalizado de los precios (Brázdil, 2016).

El invierno de 1815-1816 fue particularmente frío en Norteamérica; sin embargo, cuando llegó el mes de mayo y aquello continuaba, la gente se empezó a preocupar. En la primavera y el verano de 1816 los observadores informaron de una persistente *niebla seca*, que ni el viento ni la lluvia lograban dispersar. Heidorn (2004) sostiene que en Nueva Inglaterra el año comenzó con un invierno moderado pero seco. La primavera tardó y continuó muy seca. No obstante, la temporada de crecimiento que va desde finales de la primavera y hasta principios del otoño fue marcada por una serie de devastadoras olas de frío que causaron grandes daños a los cultivos y redujeron considerablemente el suministro de alimentos. En las zonas del centro y norte de Nueva Inglaterra, el verano tuvo sólo dos períodos prolongados con heladas o cerca de temperaturas de congelación. Una nieve generalizada cayó en junio y, como resultado, el maíz no maduró y el heno, las frutas y las verduras se redujeron considerablemente en cantidad y calidad. Asimismo, la helada mató a la mayoría de los cultivos en las partes más altas de Nueva York, cayendo nevadas en el mes de junio, mientras que en agosto se presentaron nevadas en sitios más al sur como Virginia, lo provocó una gran escasez que trajo consigo el incremento alarmante en el precio de los cereales (Oppenheimer, 2003b).

Se considera que uno de los efectos del *año sin verano* fue la migración de miles de personas, especialmente familias afectadas que decidieron dejar Nueva Inglaterra y Nueva York, y se trasladaron al medio oeste en busca de un clima más hospitalario, suelo más rico y mejores condiciones de crecimiento. También es cierto que esta emigración se habría dado sin las anomalías de 1816, pero es altamente probable que las malas condiciones climáticas y la hambruna existentes, estimularon a las familias de los estados del este para buscar mejores escenarios de vida en el oeste, esperando que las condiciones en otros sitios fuesen más favorables.

Las consecuencias climáticas de la erupción del Tambora de 1815, muestran que en China también sucedió una reducción sustancial en la temperatura al año siguiente (1816) en el

norte y centro del país, y acumulaciones anormales de nieve y hielo en el sur. Asimismo se suscitó una sequía notable en el este. Los cultivos de arroz, trigo y cebada de la provincia de Yunan, en el sudoeste, resultaron gravemente afectados de 1815 a 1817, ocasionando severas hambrunas en la población (Chaochao *et al.*, 2017).

Además de la actividad del Tambora de 1815, sabemos que en los años precedentes hubo otros eventos volcánicos de menor magnitud, como la erupción de la que poco se sabe en el año 1808-1809 (Dai *et al.*, 1991); otra en el volcán La Soufrière, en la isla Guadalupe, en 1812; y la del volcán Mayón, en la isla Luzón en Filipinas en 1814, todo lo cual pudo haber potenciado cambios en el clima y provocar el descenso en las temperaturas.

Se considera que el estallido del Tambora en 1815 es de los sucesos más violentos en la historia, y se calcula que la explosión elevó un número superior a 150 kilómetros cúbicos de material (Heidorn, 2004), lo que equivale a más de 150,000 millones de metros cúbicos de rocas pulverizadas, cenizas y aerosoles de sulfatos eyectados a la atmósfera.

Como se puede apreciar, las zonas de afectación por cambios en el clima fueron importantes en Norteamérica, Asia y Europa; sin embargo, los registros estudiados en los hielos de la Antártida y el Polo Norte (Oppenheimer, 2003b) dan cuenta de que la afectación fue global.

La erupción del volcán Krakatoa

El 27 de agosto de 1883 cuatro enormes explosiones ocurrieron en la isla de Rakata (Krakatoa), en el estrecho de Sonda —entre Java y Sumatra—, hoy Indonesia. Una gran región del estrecho de Sonda y varios lugares en la costa de Sumatra fueron afectados por flujos calientes de rocas y cenizas, que evaporaron el agua cercana a la isla. Las explosiones fueron tan violentas que se oyeron incluso en Perth, Australia, y en la isla de Rodrigues en el Océano Índico, cerca de las Islas Mauricio, a 4,800 kilómetros de distancia (Symons, 1888). Las crónicas narran que el estruendo de la destrucción de Krakatoa fue escuchado a varios miles de kilómetros, alcanzando niveles cercanos a los 180 decibelios a una distancia de 160 km del volcán (Oliveira *et al.*, 2016) y la ceniza fue propulsada a una altura comprendida entre los 25 y 36 kilómetros y esparcida por todo el planeta. Asimismo se generó

un tsunami entre 30-40 metros de altura (Yokoyama, 1981). No hubo ningún superviviente entre los 3,000 habitantes de la Isla de Sebesi, a unos 13 kilómetros de Krakatoa (Thornton, 1997). Los flujos piroclásticos que viajaron sobre la superficie del agua —a 300 kilómetros por hora— mataron alrededor de 1,000 personas en Ketimbang, en la costa Sumatra, a unos 40 km al norte de Krakatoa (Winchester, 2003). El recuento oficial de víctimas mortales registrado por las autoridades holandesas fue de 36,417 (Symons, 1888), 90% de los cuales fue debido a los tsunamis.

Francis y Self (1983) destacan que la nube de polvo que elevó la erupción a la estratósfera contenía grandes volúmenes de dióxido de azufre. Estas moléculas de gas se combinaron rápidamente con vapor de agua generando gotas de ácido sulfúrico en la alta atmósfera. El velo resultante de aerosoles ácidos y polvo volcánico proporcionó un escudo atmosférico capaz de reflejar suficiente luz solar para hacer que las temperaturas globales bajaran varios grados. Este velo rico en aerosoles también generó espectaculares efectos ópticos sobre 70% de la superficie terrestre. Durante varios años después del evento de 1883, la Tierra experimentó colores exóticos en el cielo, halos alrededor del Sol y la Luna, y una espectacular variedad de anómalas puestas de sol y amaneceres que sirvieron de inspiración a varios pintores en distintos sitios del planeta, quienes plasmaron en sus obras los extravagantes colores que se observaban en el cielo.

Se estima que la erupción de 1883 de Krakatoa expulsó solamente 20 kilómetros cúbicos de material al aire (veinte mil millones de metros cúbicos) nada comparado a los más de 150 kilómetros cúbicos de material que arrojó a la estratósfera la del Monte Tambora de 1815 (Heidorn, 2004). Sin embargo, sus efectos no son nada despreciables si los comparamos con los incidentes eruptivos más importantes del siglo XX, en los que apenas se tuvieron emisiones cercanas al kilómetro cúbico de material.

Casos recientes

En época reciente hemos visto cómo las erupciones volcánicas, no importa el sitio del mundo en el que se encuentren, tienen el potencial de causar perturbaciones en cualquier rincón del planeta, algunas de ellas con severas afectaciones a la economía mundial.

El 15 de diciembre de 1989 a un avión Boing 747, de la compañía KLM, que realizaba la ruta Amsterdam-Tokyo, con 244 personas a bordo, se le apagaron temporalmente los motores cuando cruzó una nube de ceniza procedente del volcán Redoubt en Alaska, por lo que perdió más de 4,000 metros de altura, causando pánico entre los pasajeros. Aunque no hubo heridos, sus cuatro motores quedaron inutilizados y tuvieron que ser remplazados, así como varias piezas de la aeronave a un costo de 80 millones de dólares (Casadevall, 1994).

Otro ejemplo reciente se presentó en marzo de 2010, cuando una serie de erupciones ocurrieron sobre el glaciar Eyjafjallajökull, en Islandia. La actividad del 14 de abril arrojó ceniza a la atmósfera, llegando a alcanzar una altura inicial de 9.5 km (Petersen, 2010) extendiéndose por un área de miles de km², lo que causó la interrupción del tráfico aéreo, el cierre de aeropuertos y del espacio aéreo sobre la mayor parte del norte de Europa, ocasionando la suspensión de más de cien mil vuelos y la afectación a aproximadamente diez millones de pasajeros (Bolić y Sivčev, 2014). Todas las rutas de Asia-Pacífico, África, Norteamérica y Sudamérica se vieron severamente afectadas en sus trayectos desde y hacia Europa, con lo que las pérdidas económicas se tasaron en miles de millones de dólares. El suceso puso en evidencia la vulnerabilidad de los mecanismos de coordinación y emergencia por parte de las autoridades europeas, así como la dependencia económica mundial en la aviación comercial.

La navegación aérea es una actividad que de manera inmediata es sensible a los procesos de origen volcánico. La ceniza contenida en las columnas eruptivas es abrasiva y tiene el potencial de causar daños irreversibles en los motores de las aeronaves. Actualmente vuelan en el mundo más de 100,000 aviones por día (www.flightradar24.com) y cada año la tendencia va en aumento. Este incremento en el número de vuelos eleva la vulnerabilidad y la exposición y, por lo tanto, aumenta el riesgo.

Conclusiones

Los estudios científicos indican que las grandes erupciones pueden ocasionar que el clima del planeta se modifique varios grados durante un periodo de tiempo, entre dos y cinco años posteriores al evento. Actividades como las del Monte Tambora en 1815 o Krakatoa en 1883 son poco comunes, pero pueden repetirse en

otros volcanes de la zona y causar fenómenos como el del *año sin verano* de 1816. Sin embargo, estos sucesos son minúsculos comparados con las grandes erupciones de épocas geológicas (Toba, Taupo, Yellowstone), en donde fueron lanzados a la atmósfera billones de toneladas de material.

Tal como lo señalan Watson *et al.* (2017), las cenizas finas producidas durante un acontecimiento volcánico explosivo pueden dispersarse en una vasta área donde representan una amenaza para el clima, la salud humana y las infraestructuras.

La ocurrencia de una erupción con características similares a las de Tambora en 1815 o Krakatoa en 1883, el acelerado crecimiento poblacional y el incremento en las condiciones de exposición y vulnerabilidad existentes, traería consigo graves repercusiones económico-sociales en los países de la Cuenca del Pacífico.

Es importante señalar que la población mundial ha pasado de unos 1,000 millones de habitantes que había en 1800, a más de 7,543 millones en 2017, de la cual 40% corresponde a los países de la Cuenca del Pacífico (Populationmatters, 2017). Asimismo, han prosperado ciudades importantes en áreas en las que hace 200 años no vivía persona alguna. Por tal razón deben desarrollarse estrategias conjuntas para paliar los efectos negativos que traería consigo al menos un evento volcánico de estas características.

No se descarta que debido a esto pudiera producirse una crisis agroalimentaria en la que estuviese en juego el abasto de los cultivos básicos como el maíz, el trigo y el arroz, cuyos principales productores y consumidores son algunos países pertenecientes a la Cuenca del Pacífico (FAO, 2017).

En los últimos 40 años existen casos estudiados en los que erupciones menores han originado cambios en el medio físico y el medio ambiente, además de tener repercusiones sociales de relevancia. Los más recientes son los de Mount St. Helens en Estados Unidos (1980); el Volcán Chichón, en México (1982); El Monte Redoubt en Alaska, Estados Unidos (1989); el Monte Pinatubo, en las Filipinas (1991) y el Volcán Hudson, en Chile (1991); así como el Volcán Chaitén, también en Chile (2008). Todos ellos localizados dentro de la Cuenca del Pacífico, y cuya actividad, en conjunto, no han llegado a emitir siquiera 20% de emisiones de las que tuvo por sí solo el Monte Tambora en 1815.

Hoy día, el uso de satélites y otras herramientas geomáticas nos permiten conocer el comportamiento de las particu-

las de ceniza después de un evento volcánico y hacer un seguimiento puntual de su desplazamiento, dispersión, suspensión y afectaciones alrededor del planeta. A pesar de esto, aún no es posible paliar los efectos climáticos que pueden causar estos acontecimientos, y lo único que nos queda es generar estrategias de prevención ante su posible ocurrencia.

Consideramos que los países situados en el Cinturón de Fuego del Pacífico son altamente susceptibles a sufrir las consecuencias económico-sociales en caso de presentarse una erupción con las características del Monte Tambora. Creemos que se generaría una crisis social debido a un invierno volcánico que traería consigo escasez de alimentos, epidemias, conflictos sociales y pérdidas económicas severas.

Los antecedentes geológicos e históricos nos indican que el planeta volverá a sufrir los efectos que trae consigo una gran actividad volcánica. La pregunta es: ¿están preparados para ello los gobiernos y la sociedad civil de los países que integran la Cuenca del Pacífico?

Bibliografía

- Baxter, Peter J. (1990). *Medical Effects of Volcanic Eruptions*. *Bulletin of Volcanology*, 52 (7): 532-544, September. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F00301534.pdf>.
- Brázdil, R.; Řezníčková, L.; Valášek, H.; Dolák, L. and Kotyza, O. (2016). Climatic Effects and Impacts of the 1815 Eruption of Mount Tambora in the Czech Lands. *Climate of the Past*, 12: 1361-1374. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/cp-12-1361-2016>.
- Bolić, T. and Sivčev, Z. (2014). Eruption of Eyjafjallajökull in Iceland. Experience of European Air Traffic Management. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2214. Disponible en: <https://doi.org/10.3141/2214-17>.
- Casadevall, T.J. (1994). The 1989-1990 eruption of Redoubt Volcano, Alaska: impacts on aircraft operations. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 62 (1-4): 301-316, August. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(94\)90038-8](https://doi.org/10.1016/0377-0273(94)90038-8).
- Chaochao, G.; Yujuan, G.; Qian, Z. and Chunming, S. (2017). Climatic Aftermath of the 1815 Tambora Eruption in China. *Journal of Meteorological Research*, 31 (1): 28-38, February. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13351-017-6091-9>.

- Dai, J.; Mosley-Thompson, E. and Thompson, L.G. (1991). Ice Core Evidence for an Explosive Tropical Volcanic Eruption 6 Years Preceding Tambora. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 96 (D9): 17361-17366, September. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1029/91JD01634>.
- El Nuevo Diario (2016). *¿Qué es el Cinturón de Fuego del Pacífico?* Managua, Nicaragua, 22 de abril. Disponible en: <http://www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/390835-que-es-cinturon-fuego-pacifico/>.
- Fagan, B. (2008). *La pequeña edad de hielo. Cómo el clima afectó a la historia de Europa. 1300-1850*. Extensión Científica Ciencia para Todos. Barcelona: Gedisa. Disponible en: https://www.peque%C3%B1a-edad-hielo-1300-1850-Cient%C3%ADfica/dp/8497841344/ref=sr_1_4?s=books&ie=UTF8&qid=1505403267&sr=1-4.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2017). *Informe*. Disponible en: <http://www.fao.org/home/es/>.
- Francis, P. and Self, S. (1983). The Eruption of Krakatau. *Scientific American*, 249 (5): 172-187, November. Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/24969038>.
- Gozalo de Andrés, C. (1991). *El año sin verano. La Meteorología en el mundo iberoamericano*. N° 6. Madrid: INM. Disponible en: <http://www.tiempo.com/ram/354/volcanes-y-clima-1816-un-ano-sin-verano-en-el-hemisferio-norte/>.
- Heidorn, K.C. (2004). *Eighteen Hundred and Froze to Death, The Year There Was No Summer*. País: Weather People and History. Consultado el 8 de septiembre de 2017. Disponible en: <http://www.islandnet.com/~see/weather/history/1816.htm>.
- Live Air Traffic (2017). Disponible en: www.flightradar24.com.
- Luterbacher, J. and Pfister, C. (2015). *The Year Without a Summer*. País: Nature Geoscience. April. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/274378659_The_year_without_a_summer.
- Oliveira, J.M.; Vedo, S.; Campbell, M.D. and Atkinson, J.P. (2010). *KSC VAB Aeroacoustic Hazard Assessment*. EU: KSC Engineering, NASA. Disponible en: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20110002902>.
- Oppenheimer, C. (2003). Climatic, Environmental and Human Consequences of the Largest Known Historic Eruption: Tambora Volcano (Indonesia) 1815. *Progress in Physical Geography*, 27 (2): 230-259, June 1. Disponible en: <https://doi.org/10.1191/0309133303pp379ra>.

- Oppenheimer, C. (2003b). Ice Core and Palaeoclimatic Evidence for the Timing and Nature of the Great Mid-13th Century Volcanic Eruption. *International Journal of Climatology*, 23: 417-426. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.891>.
- Petersen, G.N. (2010). A Short Meteorological Overview of the Eyjafjallajökull Eruption 14 April–23 May 2010. *Weather*, 65 (8): 203-207, August. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/wea.634>.
- Population Matters (2017). Disponible en: www.populationmatters.org/.
- Shoji, S.; Dahlgren, R. y Nanzyo, M. (1993). Chapter 1 Terminology, Concepts and Geographic Distribution of Volcanic Ash Soils. *Developments in Soil Science*, 21: 1-5. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)70262-9](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)70262-9).
- Symons, G.J. (1888). *The Eruption of Krakatoa and Subsequent Phenomena*. London: Report of the Krakatoa Committee of the Royal Society. Disponible en: <https://archive.org/details/eruptionofkrakat00roya>.
- Thornton, I.W.B. (1997). *Krakatau: The Destruction and Reassembly of an Island Ecosystem*. EU: Harvard University Press. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books>.
- Winchester, Simon (2003). *Krakatoa: The Day the World Exploded, August 27, 1883*. País: Penguin/Viking.
- Watson, E.J.; Swindles, G.T.; Savov, I.P.; Lawson, I.T.; Connor, C.B. and Wilson, J.A. (2017). Estimating the Frequency of Volcanic Ash Clouds Over Northern Europe. *Earth and Planetary Science Letters*, 460: 41-49. Disponible en: [10.1016/j.epsl.2016.11.054](https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.11.054).
- Yokoyama, I. (1981). A Geophysical Interpretation of the 1883 Krakatau Eruption. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 9 (4): 359-378, March. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377027381900445>.

Fecha de recepción: 15 de septiembre de 2017

Fecha de aprobación: 30 de octubre de 2017