



UNIVERSIDAD DE JAÉN

*Facultad de Ciencias Experimentales*

Trabajo Fin de Grado

# **Grandes catástrofes en la historia de la Tierra: vulcanismo e impacto de bólidos extraterrestres.**

**Alumno: Salvador de Castro Merino**

## ÍNDICE

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMEN.....</b>                                            | <b>4</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                          | <b>4</b>  |
| <b>1. INTRODUCCION .....</b>                                   | <b>6</b>  |
| <b>1.1 Concepto de catástrofe natural.....</b>                 | <b>6</b>  |
| <b>1.2 Historia .....</b>                                      | <b>7</b>  |
| <b>1.3 El nuevo paradigma .....</b>                            | <b>9</b>  |
| <b>2 GRANDES CATÁSTROFES EN LA HISTORIA DE LA TIERRA .....</b> | <b>10</b> |
| <b>2.1 Vulcanismo .....</b>                                    | <b>10</b> |
| 2.1.1 <i>Vulcanismo fisural.....</i>                           | <i>12</i> |
| 2.1.1.1 <i>Traps de Siberia .....</i>                          | <i>13</i> |
| 2.1.1.2 <i>Traps del Deccan.....</i>                           | <i>15</i> |
| 2.1.1.3 <i>Volcán de Yellowston .....</i>                      | <i>17</i> |
| 2.1.2 <i>Vulcanismo explosivo .....</i>                        | <i>20</i> |
| 2.1.2.1 <i>Tipos de vulcanismo explosivo .....</i>             | <i>20</i> |
| 2.1.2.2 <i>Monte Vesubio.....</i>                              | <i>21</i> |
| 2.1.2.3 <i>Tambora .....</i>                                   | <i>24</i> |
| 2.1.2.4 <i>Laki .....</i>                                      | <i>27</i> |
| 2.1.2.5 <i>Krakatoa .....</i>                                  | <i>29</i> |
| 2.1.2.6 <i>Monte Santa Helena.....</i>                         | <i>31</i> |
| 2.1.2.7 <i>Pinatubo.....</i>                                   | <i>34</i> |
| <b>2.2 Impacto de bólidos extraterrestres.....</b>             | <b>35</b> |
| 2.2.1 <i>Chicxulub.....</i>                                    | <i>36</i> |

|          |                                                  |           |
|----------|--------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.2    | <i>Cráter de la Tierra de Wilkes</i> .....       | 38        |
| <b>3</b> | <b>CONSECUENCIAS: EXTINCCIONES EN MASA</b> ..... | <b>40</b> |
| 3.1      | Ordovícico - superior .....                      | 41        |
| 3.2      | Devónico - superior .....                        | 42        |
| 3.3      | Pérmico - Triásico.....                          | 43        |
| 3.4      | Triásico - superior .....                        | 43        |
| 3.5      | Cretácico - Paleógeno .....                      | 44        |
| <b>4</b> | <b>REFLEXIÓN FINAL</b> .....                     | <b>45</b> |
| <b>5</b> | <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....                        | <b>46</b> |

## RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Grado se centra en algunas de las grandes catástrofes ocurridas en la Historia de la Tierra y en sus consecuencias, entre las que se incluyen grandes extinciones en masa de organismos. En concreto, nos centraremos en dos procesos que han provocado gran parte de las mayores catástrofes de la Historia de la Tierra, el vulcanismo, con especial énfasis en el vulcanismo fisural, y el impacto de bólidos extraterrestres. El vulcanismo fisural de Siberia y del Deccan (India) se relaciona con las dos mayores extinciones en masa de la Historia de la Tierra, las que se dieron en el límite Pérmico- Triásico y el Cretácico- Paleógeno, respectivamente. Se hace también referencia a las otras tres extinciones en masa que, junto a las anteriores, constituyen las 5 más importantes según consideran la mayoría de los autores. Asimismo hablaremos del impacto de bólidos extraterrestres que han sido considerados también causa principal de algunas de estas extinciones en masa.

Palabras clave: *Catástrofes en la historia de la Tierra, extinción masiva, vulcanismo fisural y explosivo e impactos de bólidos extraterrestres.*

## ABSTRACT

The present TFG focuses on some of the great catastrophes that have occurred in the history of the Earth and its consequences, among which mass extinctions of organisms are included. Specifically, we focus on two processes that have caused much of the greatest catastrophes in the history of the Earth, volcanism, with particular emphasis on fissural volcanism, and the impact of extraterrestrial fireballs. The fissural volcanism of Siberia and Deccan (India) are related to the two most massive mass extinctions in the history of the Earth, which occurred in the Permian-Triassic and the Cretaceous- Paleogene, respectively. Reference is also made to the other three mass extinctions that, together with the previous ones, constitute the five most valuable, as most authors consider. We will also talk about the impact of

extraterrestrial fireballs that have also been considered the leading cause of some of these extinctions.

Key words: the great catastrophes in the history of Earth, extinctions mass, fissure volcanism, explosive volcanism, impact of extraterrestrial bolides.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo hablaremos de algunas de las grandes catástrofes acontecidas en la historia de la Tierra, catástrofes que son muy numerosas, de diferentes tipologías y que ocurrieron en distintas edades. Entre las grandes catástrofes en la historia de la Tierra destacaremos los distintos tipos de vulcanismo y el impacto de cuerpos extraterrestres. En relación con éstos últimos, haremos una descripción de los principales impactos y de las consecuencias derivadas de estas catástrofes, que además se encuentran ligadas en muchos casos a las grandes extinciones en masa de organismos. Por último, haremos una reflexión final sobre la importancia que estos eventos han tenido para la composición y estructura de nuestro planeta a lo largo de su historia y de posibles eventos futuros y medidas a adoptar para minimizar los efectos catastróficos.

### 1.1. Concepto de catástrofe natural

Hasta que el matemático René Thom (1950), desarrolló *“la teoría de las catástrofes”*, era posible realizar una primera y fundamental distinción entre dos términos: *“desastre”* que originariamente significa “mala estrella” e indica un evento perjudicial, cuyas consecuencias pueden ser absorbidas por un sistema, en tiempos relativamente breves y por otra parte, *“catástrofe”* que identifica un proceso con efectos de alteración de materiales, organizativos, sociales, irreversibles para todo el sistema. Las catástrofes se definen como un proceso infausto, extraordinario e inesperado que aparece rápidamente produciendo una gran cantidad de destrozos, pudiendo provocar un gran exterminio de especies. Dentro del término catástrofe y en un ámbito del tiempo actual, podemos distinguir también catástrofes naturales de catástrofes seminaturales, que son provocados parcialmente por el hombre y catástrofes antrópicas que son aquellas que han sido provocadas en su totalidad por el hombre.

| Tipologías     | Subtipologías de fenómenos |                       | Fenómenos                                             | Nivel de responsabilidad del hombre  |
|----------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Naturales.     | Geofísicos.                | Subsuelo.             | Vulcanismo fisural, vulcanismo explosivo, terremotos. | Ninguna o responsabilidad indirecta. |
|                |                            | Superficie terrestre. | Movimientos en masa, inundaciones.                    |                                      |
|                |                            | Atmósfera.            | Huracanes, tormentas eléctricas.                      |                                      |
|                | Biológicos.                | Macro fauna.          | Plagas de langosta, termitas.                         |                                      |
|                |                            | Micro fauna.          | Infecciones por bacterias, virus.                     |                                      |
|                |                            | Flora.                | Plantas venenosas.                                    |                                      |
| Seminaturales. |                            |                       | Smog, desertificación.                                | Acentuadas por el hombre.            |
| Antrópicos.    |                            |                       | Guerras, contaminación.                               | Provocadas por el hombre.            |

**Tabla 1:** Fenómenos calamitosos. Elaboración propia.

## 1.2. Historia

A lo largo de la historia de la Tierra, se han producido numerosos eventos catastróficos, los cuales procederemos a analizar en profundidad a continuación, pero antes haremos un repaso de la evolución de las dos grandes vertientes que explican o intentan explicar el porqué de éstos eventos y sus consecuencias. Por un lado se encuentra el catastrofismo y por otro el uniformitarismo o procesos graduales, aunque también existen pequeñas variantes de ambas como veremos seguidamente.

En la antigüedad al no existir datos científicos no había un excesivo interés sobre la materia de grandes catástrofes y sus consecuencias, únicamente se recurría a la traducción literal de narraciones bíblicas y según Molina (1996), ni

quiera en textos que describían el Diluvio Universal se hablaba de extinciones en masa, sino que enmarcaba a Noé como salvador de una pareja por cada especie.

Hubo que esperar hasta finales del siglo XVIII para que el fundador de la Paleontología, Georges Cuvier, y otros naturalistas como Georges Luis Leclerc pusieran de manifiesto una serie de cuestiones que explicaban que el registro fósil de varias especies desaparecía de la historia geológica con lo que se creaba el paradigma catastrofista según Rudwick(2008). Las ideas uniformitaristas que siguieron chocaron frontalmente con la visión catastrofista defendida por los naturalistas anteriormente comentados. La guerra entre ambos bandos fue corta, aunque no incruenta, y ha sido descrita magistralmente por Rudwick (1987) en su libro *“El significado de los fósiles”*. El paradigma catastrofista fue lentamente reemplazado por el paradigma uniformitarista, que también, en algunas de sus versiones, aceptaba el concepto de extinción de las especies animales y vegetales. Así, Darwin (1859) en *“El Origen de las Especies”*, sugería que las especies se extinguían de forma natural en un proceso sucesivo de extinción gradual, que la selección natural explicaría adecuadamente, por lo que Darwin era contrario a las grandes extinciones masivas debido a grandes catástrofes. No todos defendían el uniformitarismo, sino que también había naturalistas como De Laubenfels (1956) y Schindewolf (1963), que argumentaban un larvado neocatastrofismo, que proponía la idea de que la Tierra había sido afectada repetidamente por convulsiones medioambientales.

Los estudios modernos sobre dicha cuestión comenzaron en los años 50, con una serie de trabajos centrados en el límite Pérmico/Triásico que culminaron con un artículo de Newell (1967) en cuyo título, *“Revolutions in the history of life”*, aparece la palabra utilizada por los catastrofistas para hablar de las extinciones en masa: revoluciones. En 1980, un grupo de trabajo de Berkeley, encabezado por Louis Álvarez, premio nobel de física, publicó un artículo en Science (Alvarez W., Alvarez, Asaro y Michel, 1980) en el que dan a conocer el descubrimiento de un enriquecimiento en Ir (y otros elementos del grupo del platino) en el nivel de arcilla existente en la sección de Gubbio (Italia) justo en el tránsito Cretácico-Paleógeno, lo que posteriormente y desde entonces se conoce como “anomalía de iridio”. A partir de este y otros datos procedentes de los análisis geoquímicos de la arcilla citada,

proponen como posible hipótesis que la conocida extinción de finales del Cretácico podría haber sido provocada por un acontecimiento extraterrestre, posiblemente el impacto de un bólido extraterrestre, llegaron a calcular el tamaño del asteroide que tendría un diámetro de 10 km. Aunque ya se había mencionado la posibilidad de grandes catástrofes por impactos de meteoritos, este trabajo aportaba la novedad de proporcionar un elemento tangible y medible relacionado con el elemento extraterrestre: una anomalía geoquímica de iridio y otros elementos presentes en el tránsito Cretácico- Paleógeno.

Las extinciones en masa más conocidas se sitúan en el límite de dos unidades temporales de alto rango: la extinción del Pérmico/Triásico y la del Cretácico/Paleógeno que son los ejemplos más representativos. Otros autores como Prothero (1998), reconoce cinco periodos de tiempo en los que se extinguieron más del 75% de las especies entre las que se incluyen las dos citadas. Son las cinco mayores extinciones que la mayoría de autores suelen diferenciar y que sucedieron a finales del Ordovícico, del Frasnense (Devónico Superior), del Pérmico, del Triásico y del Cretácico.

### **1.3 El nuevo paradigma**

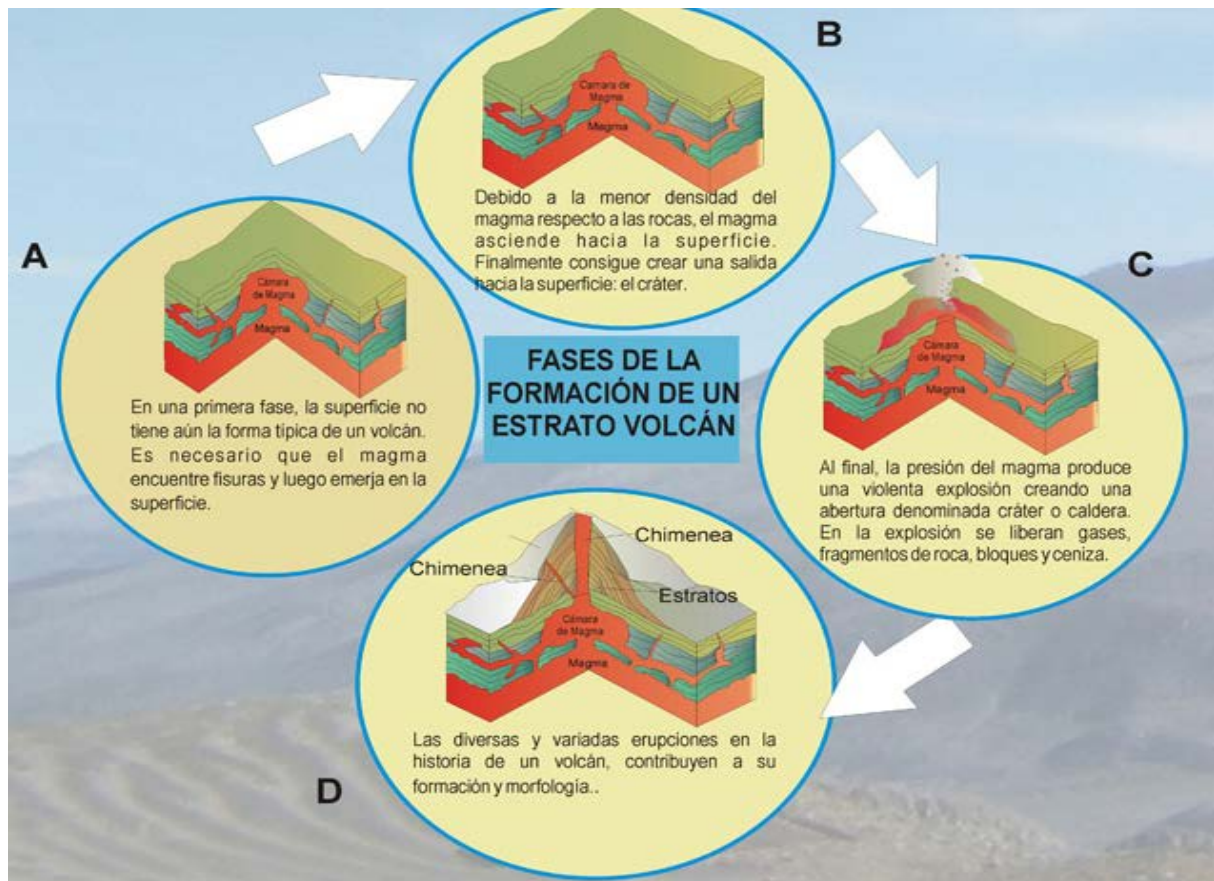
El nuevo catastrofismo se corresponde a la idea de que la Tierra está creada de manera que los procesos graduales y catastrofistas han modelado y modelan el Sistema Tierra y el de los seres que habitan en ella desde su creación, si bien estos procesos graduales se ven alterados puntualmente por procesos catastróficos, más o menos violentos, que producen cambios drásticos a escala local y, puntualmente, también a escala global. Por otro lado, también se sabe en la actualidad que todos los procesos graduales del pasado no están ocurriendo en la actualidad. Por ejemplo, en otras épocas como en el Carbonífero hubo más oxígeno en la atmósfera lo que facilitó que los seres vivos pudieran tener mayor tamaño que los actuales. Así fue una época en la que proliferaron grandes bosques de coníferas y de medios pantanosos, donde se formaron numerosos yacimientos de carbón que se vienen explotando desde hace ya unos 150 años.

## **2. GRANDES CATÁSTROFES EN LA HISTORIA DE LA TIERRA**

### **2.1 Vulcanismo**

El vulcanismo es uno de los acontecimientos más asombrosos y espectaculares del planeta, que no solo ocurre en la superficie terrestre o en el fondo marino, sino que también ha ocurrido y ocurre en otros cuerpos del sistema solar. Corresponde a todos los procesos que tienen relación con la ascensión del magma que se encuentra en el interior de la Tierra hacia la superficie. La palabra volcán o cono volcánico se aplica a la estructura en forma de loma o montaña que se forma alrededor de la abertura por la que sale el magma y que se origina por la acumulación de parte de los materiales emitidos.

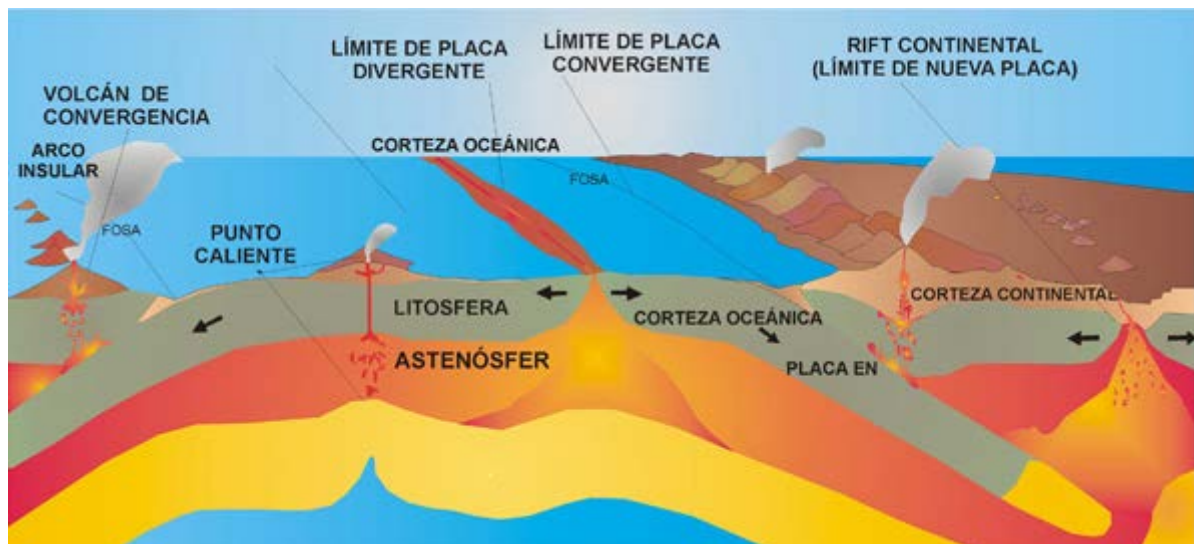
Generalmente los volcanes tienen en su cumbre, o en sus costados, grandes cavidades de forma aproximadamente circular denominadas cráteres, generadas por erupciones anteriores, en cuyas bases puede, en ocasiones, apreciarse la abertura de la chimenea volcánica.



**Imagen 1:** Fases de la formación de un estrato volcán. Fuente: Instituto geológico, minero y metalúrgico (INGEMET)

Normalmente los volcanes se forman en los límites de las placas tectónicas, donde las placas oceánicas son subducidas por las placas continentales, provocando en la plataforma continental el ascenso del magma que se produce desde el interior de la zona de subducción, y puede salir al exterior aún en zona marina originando un arco de islas como es el caso de Japón y tantos arcos de islas del Pacífico occidental que, por otro lado, deja un mar interior, también llamado cuenca tras-arco, o bien salir ya en una cadena de montañas, un orógeno de borde o marginal, caso de los Andes. Por ello se considera que los orógenos marginales son, de algún modo, una evolución en el tiempo y espacio de los arcos de islas. Es decir, los arcos de islas jóvenes, como los del Pacífico occidental, con una cuenca tras-arco o mar interior, son arcos de islas jóvenes, mientras que cordilleras como la de los Andes corresponderían a arcos de islas maduros que ya se han unido al continente.

También existen volcanes submarinos, los cuales si expulsan suficiente material pueden llegar a formar islas volcánicas, de igual forma también pueden formarse volcanes en los denominados “*hot spots*” que son “*puntos calientes*” ubicados en el interior de las placas tectónicas de modo que al moverse ésta placa sobre el punto caliente puede crear una cadena de volcanes como es el caso del archipiélago de las islas Hawái.



**Imagen 2:** Movimiento de las placas tectónicas y creación de volcanes. Fuente: Instituto geológico, minero y metalúrgico (INGEMET).

Podemos diferenciar varios tipos de vulcanismo, en concreto nos centraremos en el vulcanismo fisural (masivo) y el vulcanismo explosivo.

### 2.1.1 Vulcanismo fisural

Un volcán fisural se puede considerar como una apertura más o menos lineal de la superficie terrestre a través de la cual sale al exterior el magma o rocas fundidas procedentes del interior de la Tierra, generalmente no es expulsada de forma explosiva y aunque estas fisuras solo tienen unos cuantos metros de ancho, pueden llegar a tener una longitud de varios kilómetros. Se localizan en zonas de grietas o fisuras y en su mayoría no generan deformación de la superficie aunque puede haber zonas con una mayor actividad volcánica y la consiguiente creación de cráteres.

El vulcanismo fisural puede llegar a ser extremadamente grave y provocar grandes catástrofes debido a que el gran tamaño de la fisura crea campos de lava de gran tamaño que llegan a ocupar miles de kilómetros cuadrados en todo el mundo y sobre todo es nocivo por la gran cantidad de gases emitidos. Entre estos gases algunos de los más perjudiciales para el medio ambiente y en consecuencia para los organismos son el  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SH}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{ClH}$ . Éste tipo de vulcanismo fue, posiblemente, el responsable de la mayor extinción masiva ocurrida durante el Fanerozoico, a finales del Pérmico hace unos 250 millones de años aproximadamente. Se trata de las erupciones masivas de Siberia, aunque también existen otros fenómenos de carácter catastrófico como veremos a continuación.

#### **2.1.1.1 Traps de Siberia**

Los traps o trampas siberianos se encuentran en la zona rusa de Siberia y forman una región muy extensa de rocas volcánicas, constituyendo una de las más enormes y misteriosas emisiones de basalto en la Tierra. El suceso que provocó la creación de estas trampas ocurrió hace aproximadamente unos 250 millones de años y es uno de los mayores eventos eruptivos que ha sufrido el planeta a lo largo de su historia geológica. Esta gran erupción volcánica, se produjo entre los períodos Pérmico y Triásico, la llave entre el fin de el Paleozoico y el comienzo del Mesozoico.

En tiempos anteriores a ella, hace 300 millones de años la distribución de las masas continentales no correspondía a la que hoy conocemos, sino que la Tierra formaba un megacontinente, la vida vegetal era exuberante y la vida animal se disponía a comenzar una etapa evolutiva muy importante. Por otro lado, la zona donde se produjo tan desastroso evento conformaba una región pantanosa, cálida y húmeda.

El suceso pudo ser la consecuencia de una “pluma de manto” que ascendió hasta la superficie terrestre y el suelo de toda la región se agrietó dando lugar a enormes fuentes de lava, no era un volcán ni una serie de volcanes sino que la lava emanaba por las grietas del suelo formando auténticos mares ardientes que pudieron tener una extensión en su origen de hasta 7 millones de  $\text{km}^2$ , y que en la

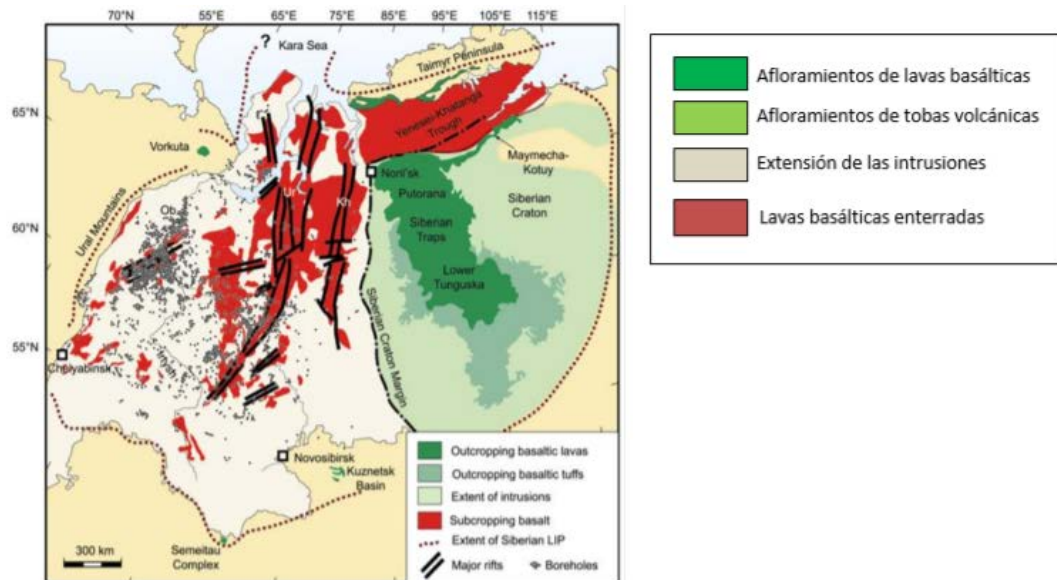
actualidad la cantidad de material proveniente de este suceso ocupa más de 3 millones de km<sup>2</sup>. Se estima que éste evento permaneció activo, emitiendo material magmático, durante más de un millón de años y que supuso el principio del fin de un 95 % de las especies del planeta.



**Imagen 3:** "Traps de Siberia en la actualidad. Fuente: <http://www.volcaneshistoricos.com/traps-siberianos/>"

Otra consecuencia directa del suceso se observa en los poros de las rocas de la región que indica que la lava según se iba enfriando iba expulsando el gas que contenía, generalmente CO<sub>2</sub>. Los geólogos estimaron que se produjo una inyección de altas cantidades de dióxido de azufre a la atmósfera debida a la actividad volcánica, provocando una bajada en la temperatura global y un aumento del tamaño de los casquetes polares, teniendo como consecuencia un descenso del nivel del mar (Campbell 1992). Este episodio de enfriamiento rápido y catastrófico fue seguido por un posterior calentamiento global resultado de la liberación del CO<sub>2</sub> volcánico en el que la temperatura del planeta aumentó 12°C respecto a la existente antes de la erupción volcánica.

Hay varias teorías sobre las causas que dieron lugar a este evento catastrófico, como veremos posteriormente se dice que pudo deberse al impacto de un bólido extraterrestre gigantesco que provocó la apertura de dichas grietas y la emisión de inmediato del magma.



**Imagen 4:** Mapa del oeste de Siberia que muestra la distribución de las rocas ígneas en el Pérmico-Triásico (Saunders, 2009).

### 2.1.1.2 Traps del Decan

Los traps del Decan fueron la consecuencia de un acontecimiento que se dio en la región de la península del Indostán (India) hace unos 65-68 millones de años, al final del periodo Cretácico. Se estima que originalmente llegaron a ocupar una región con una extensión de unos 1,3 millones de km<sup>2</sup>.

Se consideran una de las mayores emisiones volcánicas de la historia de la Tierra y se componen de varias capas de inundaciones basálticas solidificadas que abarcan, actualmente, una zona de 500.000 km<sup>2</sup> y 2.000 m de espesor, con un volumen de 512.000 km<sup>3</sup> formadas por la erupción en simultáneo de múltiples volcanes que se prolongaron en el tiempo durante 750.000 años. Según la teoría del autor Mclean (1981) el vulcanismo de los traps del Decan fue un evento decisivo en la extinción en masa del Cretácico – Paleógeno y que pudo acabar con los dinosaurios de ésta época.



**Imagen 5:** “Localización traps del Decan. Fuente: <https://www.qore.com/noticias/41576/Que-provoco-la-extincion-de-los-dinosaurios>”

Actualmente sigue el debate sobre qué proceso originó la masiva extinción, muchos autores, como Álvarez et al. (1980) interpretan que tal desastre es debido al impacto de un bólido extraterrestre conocido como el impacto de Chicxulub, en México, del que trataremos en el siguiente apartado. Sin embargo otros autores como Mclean y sobre todo de manera muy significativa Keller (2009), siguen defendiendo la teoría de que tal evento fue producido por el vulcanismo fisural acontecido en aquella época, que provocó en un principio una disminución de la temperaturas globales y acidificación de los océanos debido a la liberación de altas cantidades de dióxido de azufre a la atmósfera seguido de un aumento de las temperaturas, provocando un calentamiento global, por el enorme incremento de CO<sub>2</sub> liberado a la atmósfera, (Mclean, 1981).

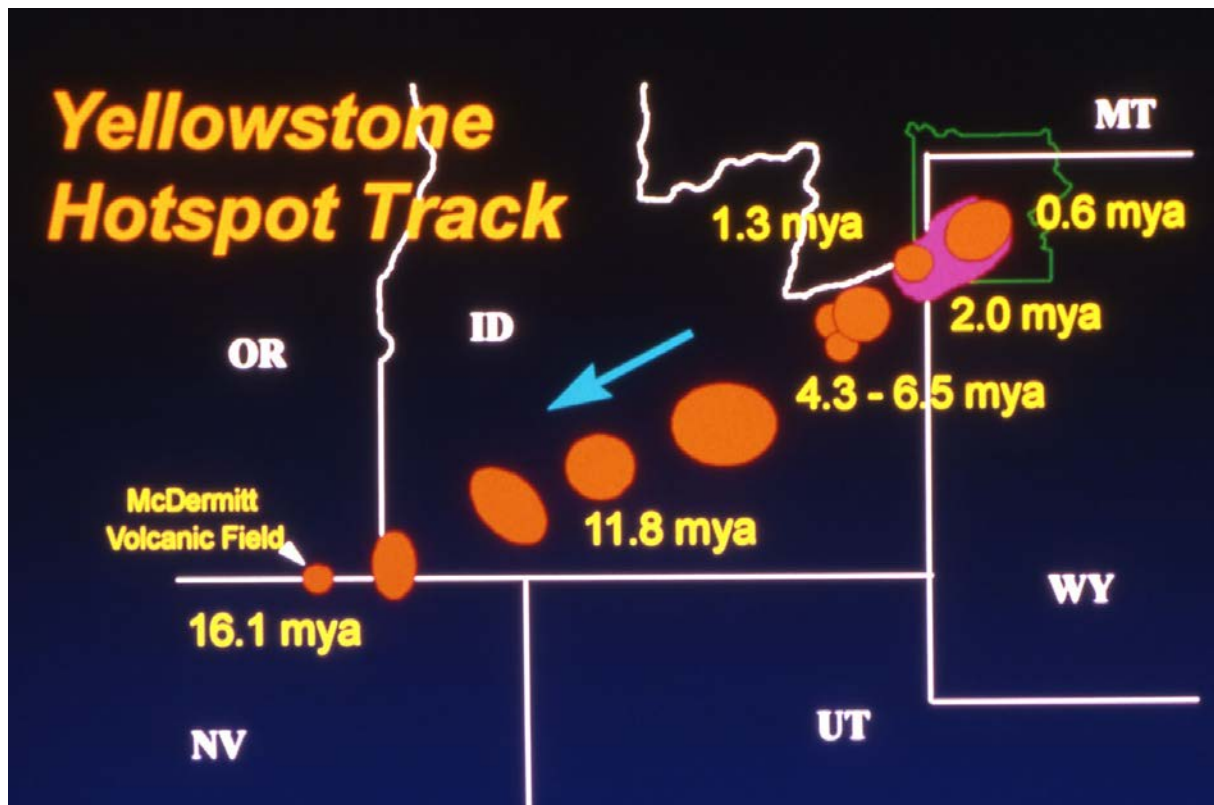
En la actualidad no hay una hipótesis cierta en la que todos los científicos se encuentren de acuerdo aunque también existe la idea de que la extinción masiva se produjo por una combinación de ambas teorías, y que el momento de mayor emisión de magma se produjo justo después del impacto extraterrestre que agrietó aún más la superficie terrestre.



**Imagen 6:** “Estado actual de los traps del Decán. Fuente: <https://www.qore.com/noticias/41576/Que-provoco-la-extincion-de-los-dinosaurios>”

#### **2.1.1.3 Volcán de Yellowstone**

Este volcán se encuentra en el Parque Nacional de Yellowstone, situado al noroeste del estado de Wyoming de Estados Unidos y contiene la concentración más grande de géiseres del mundo, más de la mitad de todos los géiseres del planeta, con una importante y característica actividad geotérmica. Corresponde a un punto caliente, que como se explicó anteriormente son puntos que se localizan en el manto, de modo que el movimiento de las placas litosféricas sobre el punto caliente, genera un rosario de volcanes cada vez más antiguos conforme nos movemos en la dirección de movimiento de la placa, en este caso, la placa norteamericana.



**Imagen 7:** Movimiento en espacio y tiempo de la placa norteamericana sobre el punto caliente.

Fuente: " [www.elkodaily.com](http://www.elkodaily.com) "

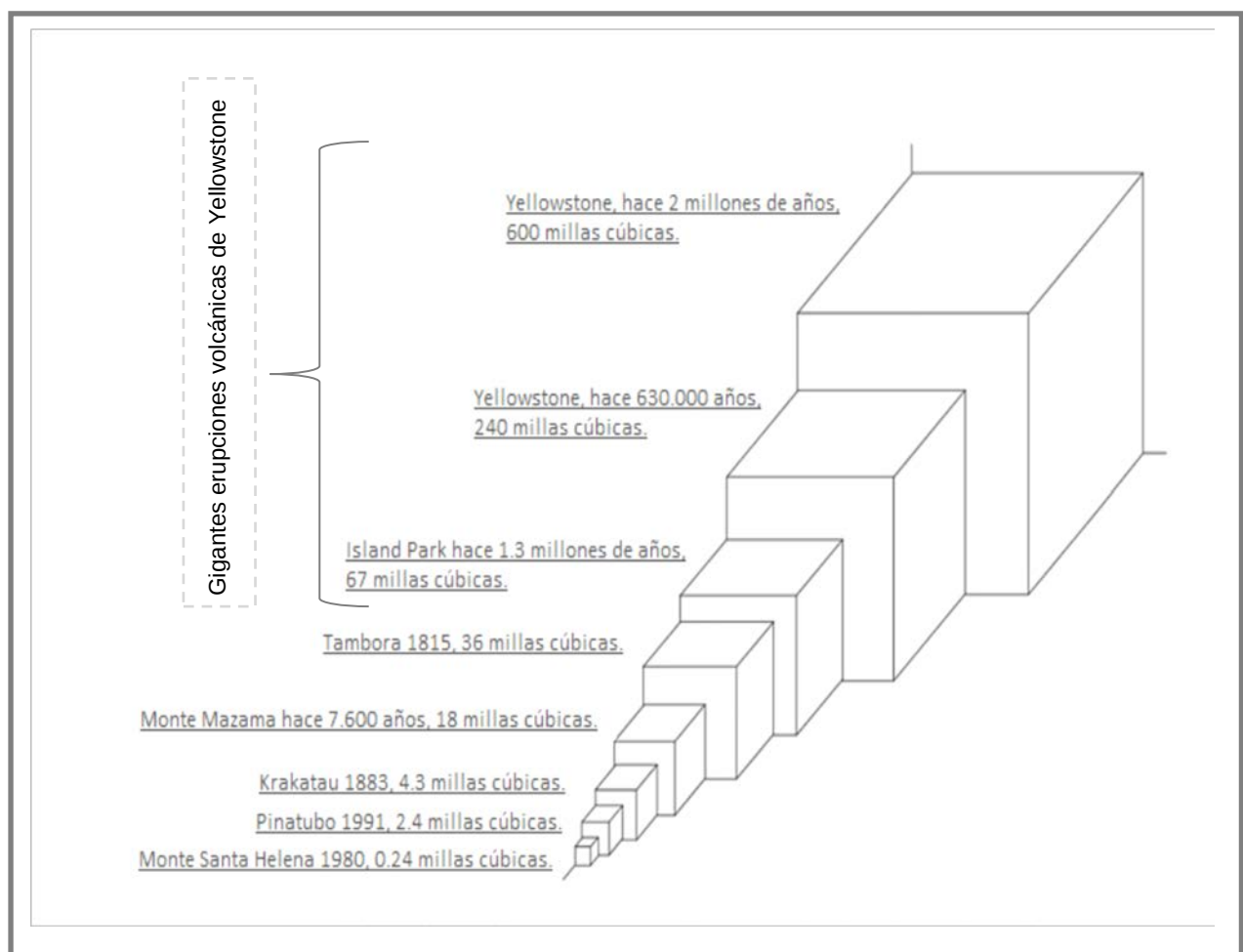
En la meseta de Yellowstone podemos encontrar tres grandes supervolcanes ocasionados en tres épocas distintas. La primera gran erupción sucedió hace 2,1 millones de años en la caldera de Island Park, creando así la toba de Huckleberry Ridge que llegó a emitir 2.500 km<sup>3</sup> de material volcánico provocando una catástrofe a nivel mundial.

Posteriormente hubo una segunda gran erupción acontecida hace 1,3 millones de años en la caldera de Henry's Fork que formó la toba de Mesa Falls, dicha erupción fue la menor de las tres grandes erupciones en la meseta de Yellowstone, emitió la cantidad de 280 km<sup>3</sup> de material volcánico.

La última gran erupción ocurrió en la caldera de Yellowstone, produciendo la toba de Lava Creek hace 640.000 años. La gran cantidad de cenizas, que llegaron a alcanzar los 30 kilómetros de altura, emitidas a la atmósfera retenía la cantidad de calor procedente del sol hacia el planeta, lo que provocó un calentamiento global.

Durante estas tres grandes erupciones las cenizas volcánicas cubrieron la mayor parte de la mitad occidental de América del Norte, el viento llegó a transportar aerosol de azufre y las partículas más ligeras de ceniza por todo el planeta.

Desde la última gran erupción con la formación de una caldera, han ocurrido unas 80 erupciones no explosivas hasta la actualidad, aunque algunas fueron tanto o más devastadoras que otras grandes erupciones acontecidas recientemente, como es el caso del Pinatubo, la más reciente fue hace 70.000 años en la meseta de Pichstone, emitiendo flujos de lava riolítica. Actualmente hay un riesgo volcánico evidente y una actividad magmática (geysers) y tectónica (terremotos) que define un área con un nivel de riesgos geológicos ligados a la geodinámica interna del Planeta, muy elevada.



**Imagen 8:** Comparación del volumen eruptivo de Yellowstone con otras grande erupciones.

Elaboración propia.

### **2.1.2 Vulcanismo explosivo**

El vulcanismo explosivo se relaciona con los magmas ácidos, que presentan una gran cantidad de silicio, lo que supone un notable incremento de su viscosidad. Este magma en su ascenso por la chimenea y llegada al cráter del volcán con una gran cantidad de gases provocan grandes explosiones de lava, una gran cantidad de piroclastos y una nube volcánica de gran tamaño, a diferencia del vulcanismo fisural anteriormente expuesto.

Existen varios grados de vulcanismo explosivo que se encuentran diferenciados según el Índice de Explosividad Volcánica (IEV), el cual mide datos como la intensidad del volcán, el potencial destructivo, el poder dispersivo o la intensidad entre otros. A continuación de los tipos de vulcanismo explosivo, haremos cronológicamente una referencia a los episodios de vulcanismo explosivo más importantes y destacados a lo largo de la historia de la Tierra.

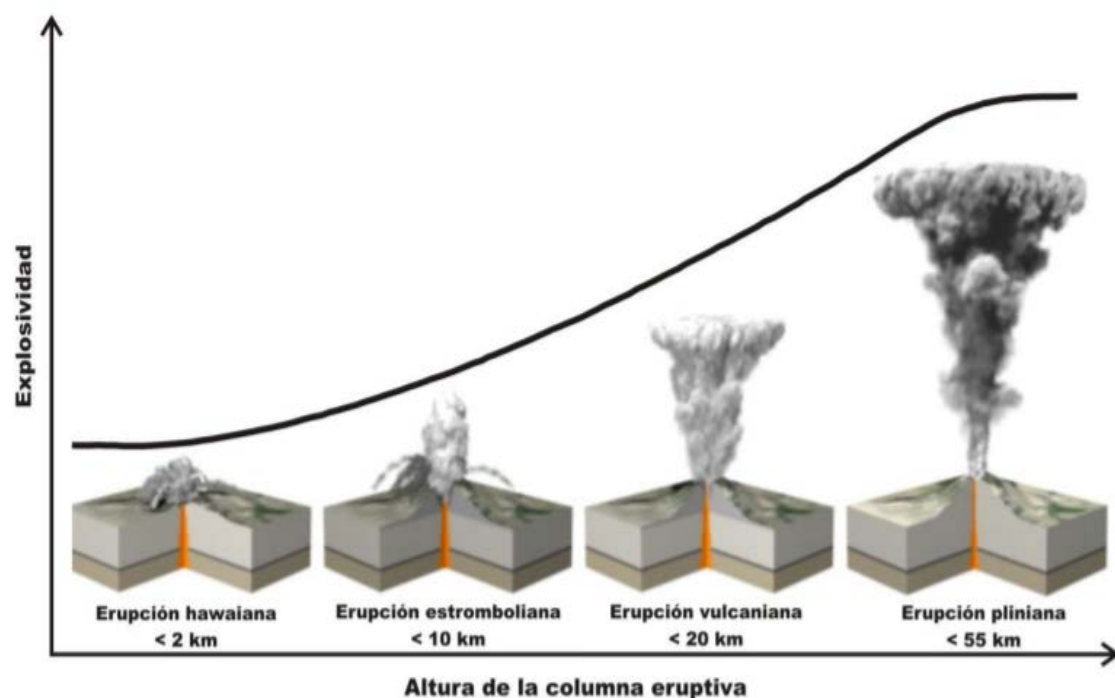
#### **2.1.2.1 Tipos de vulcanismo explosivo**

Como hemos comentado anteriormente los distintos tipos de vulcanismo se clasifican según su índice de explosividad volcánica y pueden distinguirse entre volcanes con erupciones de tipo: plinianas, subplinianas, vulcanianas y estrombolianas, que serán detallados a continuación. Cuando se produce una interacción de agua ajena al sistema volcánico con el magma ascendente, se originan eventos explosivos especialmente violentos, se trataría entonces de típicas erupciones hidrovolcánicas.

- Erupciones estrombolianas: se caracterizan por tener un índice de explosividad relativamente bajo, se producen pequeñas erupciones intermitentes que dan origen a depósitos de caída de escasa dispersión.
- Erupciones vulcanianas: son explosiones más violentas ya que al ser la lava más viscosa taponan el cráter al solidificarse creando grandes explosiones aunque también con menos frecuencia.
- Erupciones subplinianas: son similares a las plinianas, pero tienen una menor intensidad eruptiva. La columna eruptiva puede llegar a alcanzar unos 20 km

y se asocia a oleadas piroclásticas. Se encuentra en un nivel intermedio entre las erupciones vulcanianas y plinianas.

- Erupciones plinianas: se caracteriza por tener magmas muy ácidos y viscosos, con un alto grado de explosividad durante la cual se expulsa a enorme velocidad una gran cantidad de fragmentos, gas volcánico y cenizas. La columna eruptiva puede superar los 30 kilómetros de altura provocando que los gases entren en la estratosfera y dispersándose alrededor de cientos de kilómetros.



**Imagen 9:** Distintos tipos de erupciones. Fuente:” <http://www.volcanpedia.com/tipos-de-erupciones-volcanicas/>.”

#### 2.1.2.2 Monte Vesubio

El monte del Vesubio es un volcán que actualmente se encuentra en activo. Es uno de los más peligrosos del mundo debido a que en sus alrededores viven cerca de 3 millones de personas lo que convierte a esta zona volcánica en la de mayor densidad de población del mundo. Está ubicado en la bahía de Nápoles a

unos 9 kilómetros de la ciudad de Nápoles. Es el único volcán que ha entrado en erupción en Europa en suelo continental en los últimos 100 años, concretamente el último episodio se registró el 18 de marzo de 1944 destruyendo buena parte de la ciudad de San Sebastiano y matando varias decenas de personas. Posee una altura de 1.281 metros sobre el nivel del mar y se alza al sur de la cadena montañosa de los Apeninos.

Se conoce como “*Gran cono*”, rodeado en gran parte por el borde de la cumbre de la caldera que pertenece al Monte Somma, el cual mide unos 1.132 metros de altura y ambos separados por el valle Atrio di Cavallo, como podemos observar en las siguientes imágenes. La altura del cono ha variado a lo largo del tiempo como consecuencia de las erupciones continuas y en su cumbre se halla un cráter de más de 300 metros de profundidad.



**Imágenes 10 y 11:** Monte Somma-Vesubio y caldera del Vesubio respectivamente. Fuente: [“http://www.volcaneshistoricos.com/vesubio/”](http://www.volcaneshistoricos.com/vesubio/)

La formación de dicho volcán se debe a que se localiza en una zona de subducción, donde la placa Africana está siendo subducida por la placa Euroasiática lo que dio lugar en primer lugar al monte Somma, siendo éste más antiguo que el monte Vesubio. Hace 25.000 años la parte superior del monte Somma se vio colapsada a causa de una erupción pero no fue hasta 8.000 años después cuando empezó a crearse la caldera que fue viéndose incrementada por sucesivas y continuas erupciones que concluyeron con la gran erupción del año 79 d.C.

La erupción del Vesubio tiene su origen 17 años antes, cuando el 5 de febrero del año 62 d.C. un gran terremoto sacudió la bahía de Nápoles y en concreto la ciudad de Pompeya aunque, De Natale y Giuseppe (2004), sugerían que podían ser únicamente movimientos tectónicos y que no tuvieran nada que ver con un nuevo despertar del volcán. Posteriormente ocurrieron varios terremotos y también los días anteriores a la erupción a los cuales no se les dio demasiada importancia hasta que el 24 de agosto del año 79 d.C. entró en erupción el volcán Vesubio, dicha erupción duró dos días, con un IEV fue de 6, la columna eruptiva llegó a sobrepasar los 30 km de altura y se desarrolló en dos fases, una primera fase Pliniana que duró alrededor de 20 horas y una segunda fase Peleana.

Durante la fase Pliniana el viento dispersó las cenizas y los gases tóxicos hacia la ciudad de Pompeya provocando muertes por asfixia y grandes trozos de rocas de piedra Pómez eran lanzadas desde el volcán hasta la ciudad, sin embargo la ciudad de Herculano fue arrasada por avalanchas de lodo ardiente procedentes del volcán y flujos piroclásticos, en tan solo 19 horas Herculano quedó sepultada bajo 20 metros de polvo y rocas.

La fase Peleana se concentró en el Oeste y Noroeste donde uno de los primeros sucesos que ocurrieron fue una enorme nube piroclástica que después de bajar por las laderas del volcán y llegar al mar atravesó sobre el agua toda la bahía de Nápoles llegando hasta Miseno, dejando las ciudades de Pompeya y Herculano entre otras sepultadas por una espesa capa de ceniza. Los terremotos se sucedían hasta el punto de formarse un gran tsunami en la costa del golfo de Nápoles.

Se calcula que unas 1.500 personas aproximadamente perdieron la vida en la ciudad de Pompeya, principalmente por oleadas de flujo piroclástico, asfixia debido a la gran cantidad de cenizas o debido a la onda expansiva. También se encontraron casi a la mitad del total de víctimas en los depósitos de ceniza, que principalmente se encontraban en el interior de edificaciones por lo que pudieron morir a causa de derrumbes de tejados.

En la ciudad de Herculano, mucho más cerca del cráter del volcán se salvó de los flujos piroclásticos gracias a la dirección del viento y la mayoría de las muertes, aproximadamente 400, fueron producidas por las oleadas de lava. Otro evento fueron las denominadas “nubes ardientes” que se trata de nubes de gases que

circulan cerca del suelo, con gases a alta temperatura, proceso que causó muchas muertes y que explica la muerte instantánea de ciudadanos que se encontraron entre las cenizas, en estado fetal porque estaban durmiendo, o intentando incorporarse, reflejo de la rapidez con la que fueron aniquilados.



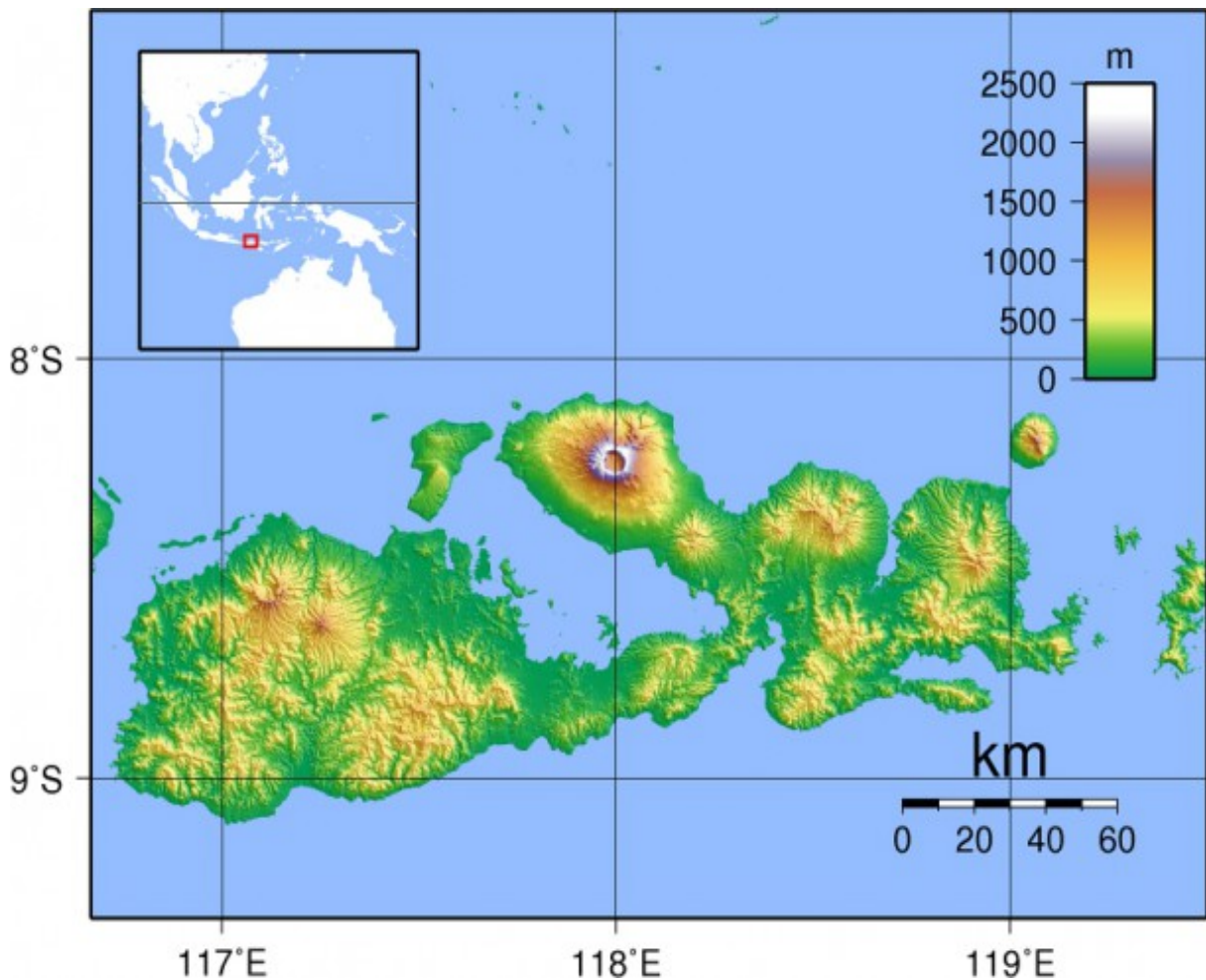
**Imagen 12:** Cuerpos congelados en ceniza en la ciudad de Pompeya. Fuente: [“https://alquimistaingeniero.wordpress.com/2014/05/21/pompeya-y-los-cuerpos-congelados-en-ceniza/”](https://alquimistaingeniero.wordpress.com/2014/05/21/pompeya-y-los-cuerpos-congelados-en-ceniza/)

### **2.1.2.3 Tambora**

Se encuentra en Indonesia, concretamente en la isla de Sumbawa que forma parte de las islas menores de la Sonda y a su vez del arco de la Sonda, que son una serie de islas volcánicas que forman la cadena meridional del archipiélago de Indonesia, éste arco insular se formó por la subducción de dos placas tectónicas, la placa Australiana es subducida por la placa Euroasiática, que queda por encima.

Éste proceso dio lugar al monte Tambora hace unos 57.000 años aproximadamente y a la acumulación del magma en la cámara magmática y

posterior erupción. En la actualidad éste proceso de subducción se encuentra en activo.



**Imagen 13:** Mapa topográfico de la isla de Sumbawa en la actualidad. El anillo blanco corresponde a la caldera formada tras la erupción de 1815. Fuente: “<https://es.wikipedia.org/wiki/Tambora>”

En el año 1812, tras permanecer inactivo durante más de 5.000 años y debido al enfriamiento gradual del magma hidratado en la cámara magmática cerrada, el Tambora dio sus primeros síntomas de su reactivación ya que durante el enfriamiento y cristalización del magma se generó un magma muy fluido a muy alta presión dentro de la cámara, con una profundidad de hasta 4,5 kilómetros. Estas condiciones crearon una sobrepresión en el interior de la cámara magmática y aumentó la temperatura del magma hasta 850°C lo que dio lugar a exhalaciones de vapor de agua y de ceniza a la vez que sucedían numerosos sismos y temblores de tierra. A partir del 5 de abril de 1815 se sucedieron varias erupciones y ruidos

atronadores en el interior del volcán hasta que el 10 de abril de 1815 tuvo lugar la erupción más grande y potente que se ha registrado en la Tierra con un IEV de 7. La cantidad de magma en el interior de la cámara magmática era superior a la capacidad de ésta por lo que provocó la rotura y apertura de la chimenea central en una tremenda explosión que fue escuchada a más de 2.600 kilómetros de distancia, se formó una caldera con un diámetro de unos 7 kilómetros y 700 metros de profundidad. La altura del monte Tambora era de aproximadamente 4.250 metros sobre el nivel del mar y tras la erupción su altura es de 2.850 metros sobre el nivel del mar. Tras la primera hora ya se habían eyectado a la atmósfera 160 km<sup>3</sup> de material volcánico, traquiandesita piroclástica, que no tardó en llegar al mar lo que llegó a crear tsunamis con olas de hasta 5 metros de altura afectando a las costas de las islas del archipiélago, mientras el volcán seguía emitiendo material hacia la atmósfera, las cenizas llegaron a una distancia de 1.300 kilómetros. Las explosiones cesaron el 15 de julio, aunque las emisiones de humo todavía se observaron hasta el 23 de agosto de 1815. En agosto de 1819, cuatro años después del episodio de 1815, se registraron llamas y réplicas retumbantes.

De manera directa, el volcán Tambora causó aproximadamente, según Zollinger (1855), 10.000 muertes, además de la destrucción de toda la flora y fauna presente en las zonas de alrededores, entre el flujo piroclástico, la caída de ceniza y los tsunamis. Sin embargo, debido a los días de oscuridad que sucedieron al desastre y debido a los gases y cenizas presentes en la atmósfera causó la destrucción de los cultivos de la región, el colapso de la economía local y alrededor de 80.000 víctimas por la hambruna y las enfermedades consecuentes. Los gases emitidos en la erupción del monte Tambora recorrieron todo el planeta transportados por el viento lo que provocó un cambio del clima global hasta el hecho de que el año 1816 es conocido como *“el año sin verano”* produciendo una importante crisis en todo el mundo por hambrunas y epidemias. A 2000 km al norte, en el mar de la China, el cielo oscureció con las cenizas y desapareció el Sol, sufriendo un tiempo excepcionalmente frío y tormentoso con muy pobres cosechas en 1816 y 1817. En Nueva Inglaterra, 1816, fue el año más frío en 200 años. Nevó todos los meses del año. Las heladas destruyeron una y otra vez la cosecha de maíz y los granjeros emigraron hacia el Medio Oeste porque no podían sobrevivir en el este.



**Imagen 14:** Estado actual del cráter del monte del Tambora. Fuente:  
“<https://www.pinterest.de/pin/110690103323474091/>”.

#### **2.1.2.4 Laki**

La erupción de Laki se produjo a favor de una gran fisura volcánica de 25 kilómetros de largo, su nombre correcto es Lakagíggar y es parte de un sistema volcánico que se centra en el volcán Grímsvötn y el volcán Thordarhyrna. Ocurrió en el año 1783 al sur de Islandia, localizado entre los glaciares de Mýrdalsjökull y Vatnajökull, en un área de fisuras que corre en dirección suroeste a noreste.

El sistema volcánico entró en erupción debido a la fisura de 25 km con 130 cráteres que provocaron explosiones freatomagmáticas debido a la interacción de las aguas subterráneas con el magma basáltico ascendente. El proceso duró 8 meses, del 8 junio de 1783 al 7 febrero 1784, expulsando una cantidad de aproximadamente 14 km<sup>3</sup> de lava basáltica, unos 8 millones de toneladas de fluoruro de hidrógeno y unas 120 millones de toneladas de dióxido de azufre. Este

evento está considerado con un IEV de 6 y la gran mayoría de las emisiones de lava fueron emitidas en los primeros 5 meses. Las columnas de lava se elevaron hasta los 800 y 1.400 metros de altura y los gases fueron transportados por la columna convectiva hasta una altura de 15 kilómetros.



**Imagen 15:** Fisura y cráteres pertenecientes a Laki. Fuente: "<http://www.volcaneshistoricos.com/la-catastrofe-del-laki/>".

Los compuestos de dióxido de azufre mezclados con la humedad se transforman en ácido sulfúrico y al caer al suelo provocaron una contaminación que dio lugar a la muerte de más del 50% de la población ganadera de Islandia y la destrucción de la gran mayoría de los cultivos, se calcula que unas 9.000 personas perdieron la vida, entre el 20-25% del total de la isla, debido al envenenamiento de fluoruro y también debido a la hambruna que azotó la región posteriormente a la erupción. El flujo de gases dio lugar a lo que se ha conocido desde entonces como la "*neblina de Laki*" a través de Europa provocando auténticos desastres naturales y la muerte de miles de personas, también se vieron afectadas las circulaciones monzónicas que vieron reducido su nivel de precipitación medio provocando un flujo bajo del río Nilo y una gran hambruna que se cobró la vida de una sexta parte de la población de Egipto. Las consecuencias llegaron a notarse hasta en América del

Norte donde se dio lugar en 1784 a uno de los inviernos más largos y fríos de la historia.

#### **2.1.2.5 Krakatoa**

El volcán Krakatoa originó una erupción muy violenta y desastrosa en el año 1883, debido a la entrada en la cámara magmática de nuevos materiales a una temperatura muy superior a la entonces existente y provocó un aumento de la presión en el interior del volcán, lo que sumado a la mezcla del magma reciente y el magma ascendente dio lugar a una de las mayores explosiones registradas en la historia de la humanidad, llegando a alcanzar en la mayor de sus explosiones los 350 megatones.

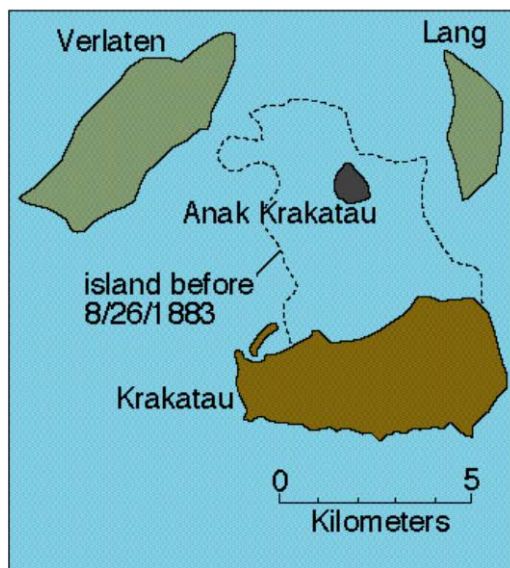
El Krakatoa se ubica al suroeste Indonesia y consiste en un archipiélago de islas volcánicas, en la actualidad la mayoría desaparecidas, en el estrecho de Sonda entre Java y Sumatra. Al igual que el volcán del Tambora se encuentra en la zona de convergencia entre dos placas tectónicas, en la que la placa Australiana es subducida bajo la placa Euroasiática. El nombre de Krakatoa se debe sobre todo a la principal isla del archipiélago llamado "*Rakata*", y al volcán denominado "*Anak Krakatoa*" ("hijo del Krakatoa"), el cual ha entrado en erupción numerosas veces a lo largo de su historia y que aún sigue en activo.

El gran cataclismo tuvo su inicio el 20 de mayo de 1883 cuando tres meses antes de la gran erupción, comenzaron a registrarse escapes de gases en "*Perboewatan*", al norte de la isla, provocando una columna eruptiva en donde las cenizas alcanzaron la altura de 6.000 metros y los estruendos eran escuchados a más de 150 kilómetros de distancia. Seguidamente, el 19 de junio de 1883 empezaron las primeras erupciones las cuales trajeron consigo mareas de una importante altura. El 24 de agosto empezaron a intensificarse las erupciones y el día 26 de agosto de 1883 el volcán entró en su fase de mayor actividad, con erupciones continuas y se pudieron observar columnas de ceniza de hasta 27 kilómetros de altura. El día 27 de agosto tuvo lugar la etapa final de la gran catástrofe donde se dieron lugar cuatro enormes explosiones, todas ellas seguidas de enormes tsunamis. La peor y más ruidosa de estas fue la última, una gran región del estrecho

de la Sonda y varios lugares en la costa de Sumatra fueron afectados por flujos piroclásticos del volcán, que evaporaron el agua cercana a la isla. Las explosiones fueron tan violentas que se escucharon incluso a 5.000 kilómetros de distancia, la columna de ceniza alcanzó una altura de 80 kilómetros y dos terceras partes de la isla de Rakata fueron destruidas.

### ***Vulcanismo explosivo: algunas catástrofes históricas***

#### ***Krakatoa, 1883***



From Simkin and Fiske, 1983



**Antes de la explosión de 1883**

**Después de la explosión de 1883**



**Anak Krakatoa, 1960**

**Imagen 16:** Volcán del Krakatoa en diferentes épocas, (From Simkin and Fiske ,1983).

Los efectos fueron devastadores y la cifra de muertes oscila sobre las 36.000 personas. Las principales causas fueron los flujos piroclásticos que arrasaron la isla por completo, la combinación de ceniza y gases volcánicos emitidos a la atmósfera que originaron un cambio en el clima y la gran magnitud de los tsunamis que alcanzaron olas de hasta 30 metros de altura e incluso una ola de 2 metros alcanzó la costa de Auckland a 7.800 kilómetros de distancia.

En la actualidad el volcán del Anak Krakatoa sigue en activo entrando en erupción el 22 de diciembre de 2018 provocando un gran tsunami que inundó la

costa occidental de la provincia de Bantén provocando la muerte a más de 400 personas y 7.200 heridos.

#### **2.1.2.6 Monte Santa Helena**

El monte Santa Helena es considerado como un estratovolcán actualmente activo y se ubica en el estado de Washington, concretamente en el condado de Skamania, en la parte este de la "*Cascade Range*," que es una gran cadena montañosa situada al oeste del Pacífico en América del Norte. El volcán Santa Helena es geológicamente muy joven comparado con otros grandes volcanes de los Cascades, se formó hace 40.000 años y el cono de la cumbre empezó a crecer hace solo 2.000 años aproximadamente. Mide actualmente 2.550 metros sobre el nivel del mar aunque antes de la gran erupción de 1980 llegó a tener una altura de 2.950 metros sobre el nivel del mar, lo que quiere decir que se destruyeron 400 metros en la erupción. La erupción del 18 de mayo de 1980 del volcán Santa Helena es considerada como la erupción explosiva más catastrófica y mortífera en la historia de los EEUU.

Como la mayoría de otros volcanes de la "*Cascade Range*", el monte Santa Helena es un gran cono de escombros formado por piedras de lava intercaladas con ceniza, piedra pómez y otros depósitos. La montaña incluye capas de basalto y andesita, la mayor de las cúpulas de dacita formó la anterior cumbre que fue destruida en la erupción de 1980.

Todo comenzó cuando el día 16 de marzo de 1980 se registraron una serie de pequeños terremotos que procedían de movimientos del magma en el interior de la cámara magmática y los días sucesivos se intensificaron e incrementaron en número éstos terremotos, hasta que el día 25 de marzo alcanzaron su valor máximo en los sismógrafos. El 27 de marzo, se produjo una explosión freática que expulsó pedazos de roca del interior del cráter, generando así un nuevo cráter de 76 m de ancho y una columna de gases volcánicos y cenizas de unos 1.800 metros de altura. A su vez también se produjo una gran fractura de 4.900 metros de largo que recorría toda la cumbre de la montaña de este a oeste. Posteriormente el 29 de marzo se formó otro cráter y pudo observarse como una llamarada azul salía de entre los dos

cráteres debido a la liberación de gases desde el interior del volcán, ambos cráteres llegaron a unirse y formaron una grieta de dimensiones muy superiores que a medida que pasaban los días iba creciendo y a su vez la cima de la montaña se iba hundiendo. Se registraron hasta el 18 de mayo de 1980 un total de 10.000 terremotos antes de la gran erupción.



**Imagen 17:** El volcán Santa Helena entra en erupción. Fuente: "<http://blog.nuestroclima.com/se-alimenta-volcan-mas-mortifero-estados-unidos>".

El 18 de mayo de 1980 a primera hora de la mañana un terremoto de magnitud 5,1 en la escala de Richter, con epicentro en la ladera norte del volcán provocó el derrumbamiento de esta parte de la montaña. La gran presión debido a la enorme avalancha ocasionada provocó una tremenda explosión lateral de 300-500 km/h de gases volcánicos y rocas fracturadas que cubrieron una extensión de 600 kilómetros cuadrados en minutos. Todo el material proveniente del derrumbe del lado norte de la montaña se deslizó ladera abajo hasta llegar al lago Spirit, el cual provocó olas de hasta 180 metros debido a la cantidad de escombros que llegó a su

cuenca. Esto, a su vez, originó otra avalancha de materiales en la cordillera al norte del y una nueva acumulación de material en la cuenca del lago y un aumento de 60 metros del nivel del agua en el lago Spirit. Varios segundos después le sucedió una erupción de carácter pliniano en el que la ceniza alcanzó una altura de 25 kilómetros en tan solo 15 minutos y durante las 9 horas que duró la actividad volcánica se emitieron 540 millones de toneladas de ceniza que cubrió un área de 60.000 km<sup>2</sup>. Además se emitieron a la atmósfera más de 1,5 millones de toneladas de dióxido de azufre.

Debido al calor generado durante la erupción se crearon numerosos lahares y riadas de lodo provocados por el derretimiento de la nieve y de los glaciares que afectaron a tres de los cuatro sistemas de drenaje que había bajo la montaña, se pudieron observar lahares a más de 140 km/h arrasando todo tipo de vegetación y de puentes a su paso. Las consecuencias fueron desastrosas tanto ambiental como económicamente, se contabilizaron 57 muertes humanas, decenas de miles de animales mamíferos perdieron la vida y se estima en más de 12 millones los salmones muertos al ser aniquilados sus criaderos, además se destruyeron numerosos puentes y cientos de kilómetros de autovías y ferrocarriles.



**Imagen 18:** Monte Santa Helena en la actualidad. Fuente: “[https://www.prensa.com/mundo/Serie-sacuden-Monte-Santa-Helena\\_0\\_4932256807.html](https://www.prensa.com/mundo/Serie-sacuden-Monte-Santa-Helena_0_4932256807.html)”.

### **2.1.2.7 Pinatubo**

El volcán del Pinatubo se encuentra activo actualmente y ubicado en la isla de Luzón, Filipinas. Son volcanes de subducción, formados por el deslizamiento de la placa Euroasiática bajo la placa Filipina a lo largo de la falla de Manila, hacia el oeste.

Hasta el año 1991, el Pinatubo era un volcán desconocido para la inmensa mayoría de los habitantes de la región, fue en esta fecha, en concreto el 15 de junio de 1991 cuando empezó la erupción principal con grandes flujos de lodo, columnas de ceniza, gas y vapor que se levantaron hasta 34 km de altura y viajaron hasta 400 km. Anteriormente se observaron síntomas de una pre-erupción debido a hechos como grandes terremotos, deslizamientos de tierra seguido de un incremento de las emisiones de dióxido de azufre y un hinchamiento del volcán debido a la acumulación de magma en superficie. Gracias a esto pudieron ser evacuadas miles de personas de las regiones cercanas y evitar un desastre aún mayor del ocurrido.

A las pocas horas de entrar en erupción el volcán se hundió provocando una enorme caldera de 2,5 kilómetros de diámetro provocando una pérdida de la cima del volcán de 260 metros. La nube volcánica ocasionada entró en la atmósfera y provocó una bajada de temperatura media global de 0,5 °C. Un hecho crucial para la distribución de las cenizas alrededor de todo el globo terráqueo, es que la principal erupción coincidió con la presencia de un typhón en la zona, justo encima del volcán, lo que contribuyó a distribuir las cenizas por todo el globo terráqueo, disminuyendo la temperatura 0,8 °C globalmente.

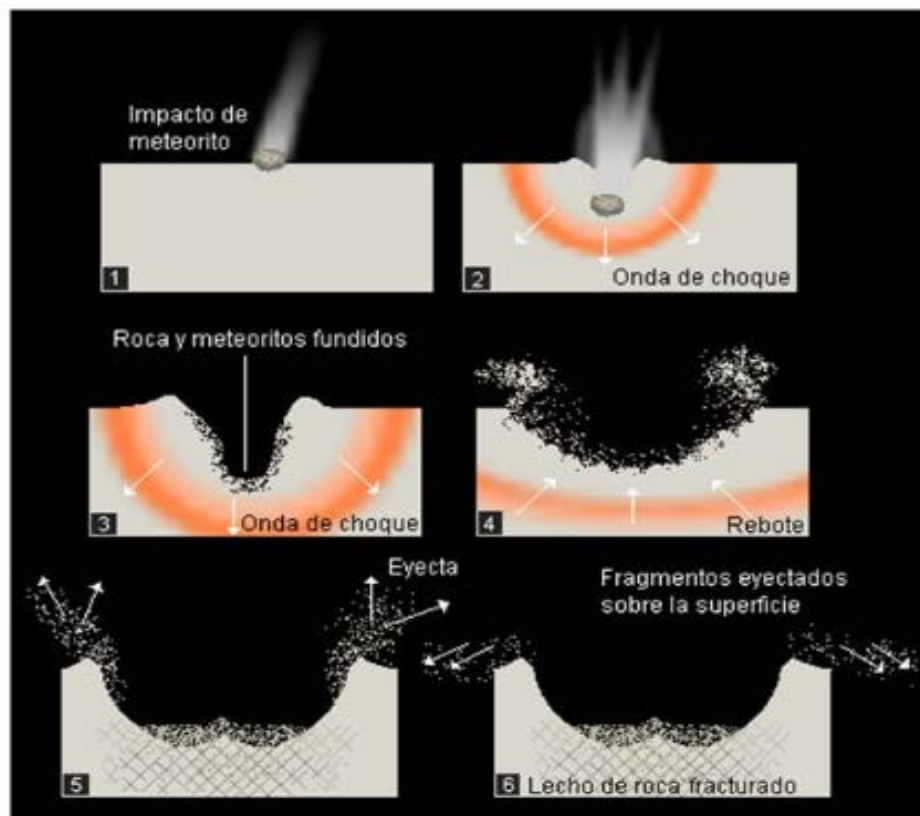
Las consecuencias fueron catastróficas, hubo cientos de muertes, miles de hectáreas de bosque sepultadas por lodo, casas destruidas y unos 2 millones de personas se vieron afectadas en total por este gran volcán. Aun así, gracias a los sistemas de monitorización, planeamiento y seguimientos se evitó una de las mayores catástrofes naturales de los últimos siglos.



**Imágenes 19 y 20:** “Erupción y estado actual del Pinatubo. Fuente:  
<http://volcanian.blogspot.com/2016/06/monte-pinatubo.html>.”

## **2.2 Impactos de bólidos extraterrestres**

Cuando hablamos de impactos de bólidos extraterrestres en primer lugar hay que explicar que la formación de un meteorito se da cuando un meteoride, que son partículas de hielo y polvo de decenas o cientos de metros de diámetro presentes en espacio, no es desintegrado en su totalidad a su paso por la atmósfera terrestre, este meteorito al no haber nada que lo frene impacta brutalmente contra la superficie de la tierra. El proceso de impacto de un determinado meteorito tiene innato una serie de etapas que dan como resultado la formación de cráteres de impacto en la que grandes cantidades de material son removidos de manera similar a lo que produciría una explosión nuclear subterránea. La formación de un cráter depende en gran medida del tamaño y la composición del bólido. En definitiva, un asteroide se acerca a la Tierra a velocidades supersónicas y atraviesa la atmósfera arrastrando una onda de choque y cuando el bólido entra en contacto con el terreno produce una compresión muy intensa (Carrasco-Núñez, 1997).



**Imagen 21:** Formación de un cráter de impacto. Fuente: Suppe, J. 1985.

En los últimos tiempos se ha hablado mucho de las grandes catástrofes naturales y de que muchas de ellas han sido provocadas por el impacto de grande bólidos extraterrestres, hay constancia que el impacto de un gran bólido extraterrestre provocó o ayudó a la extinción de los dinosaurios y la gran extinción en masa del Cretácico – Paleógeno, aunque se ha de tener en cuenta que todos los impactos de bólidos han tenido su mayor o menor repercusión sobre el sistema Tierra y sus ecosistemas dependiendo de su tamaño y poder destructivo.

### 2.2.1 Chicxulub

El impacto del Chicxulub ocurrió al noroeste de la península del Yucatán (México), concretamente en la localidad Chicxulub que se encuentra en el centro del cráter, de ahí su nombre (Pardo, 2009). Este fenómeno ha atraído la atención desde su descubrimiento hasta la actualidad de numerosos científicos y abierto un debate

sobre la fecha, dimensiones, consecuencias y ramificaciones ambientales de aquel episodio catastrófico. Aun así, las observaciones señalan a un evento verdaderamente cataclísmico (Hildebrandet, 1991).



**Imagen 22:** Ubicación del cráter de Chicxulub. Fuente:

["https://www.lugaresdemexico.com/chicxulub.htm"](https://www.lugaresdemexico.com/chicxulub.htm)

El impacto de este gran bólido extraterrestre fue descubierto en 1991 debido a una prospección magnética con el objetivo de localizar áreas donde pudieran extraer petróleo y localizaron un cráter de impacto sepultado de 180 kilómetros de diámetro. El enorme asteroide alcanzó la ciudad de Chicxulub hace aproximadamente 65 millones de años, se estima que tenía 10 kilómetros de diámetro y alcanzó la atmósfera de la Tierra a una velocidad de 30 kilómetros por segundo. La cantidad liberada de energía se calcula que fue de unos 100 millones de megatones, 10.000 veces mayor que todo el arsenal nuclear del mundo. (Keller y Blodgett, 2007). Se observa en imágenes como el cráter es casi una circunferencia y también el límite entre las rocas sin fracturar dentro del cráter y las rocas fracturadas fuera del mismo. La mitad del cráter está situado bajo el fondo marino del golfo de México y la otra

bajo rocas sedimentarias y vegetación en el extremo norte de la Península de Yucatán.

Los resultados de la científica Keller (2006) sugirieron que el impacto del Chicxulub se produjo 300.000 años antes de la extinción en masa del límite Cretácico – Paleógeno, por lo que la extinción de los dinosaurios ocurrió después del impacto, al contrario de otros científicos como Álvarez (1983), que defendía la hipótesis de la extinción debido al impacto de un bólido extraterrestre.

El impacto que provocó la extinción de los dinosaurios, atravesó la atmósfera terrestre a enorme velocidad y generó un “megatsunami” con olas de hasta 90 metros de altura. Cuando el gran meteorito de fuego cayó sobre la península del Yucatán, generó una eyección de la roca fragmentada y trozos de meteorito que provocaron numerosos incendios a nivel global debido a las altas temperaturas de éstos fragmentos, también provocó un terremoto de magnitud 13 e inyectó a la atmósfera y a la estratosfera unos 21.000 km<sup>3</sup> de polvo y fragmentos de roca que se depositaron sobre la superficie de todo el planeta, haciendo de éste un lugar inhóspito para los seres vivos que habitaban en esta época. El polvo y el dióxido de carbono emitido y acumulado en la atmósfera impidió el paso de la luz solar, lo que provocó una disminución drástica de las temperaturas y la neutralización en la realización de la fotosíntesis por parte de las plantas (Alvarez et al., 1980; Hildebrand 1991; Hallam y Wignall, 1997; entre otros).

### **2.2.2 Cráter de la Tierra de Wilkes**

Dicho cráter fue descubierto en 2006 por los satélites GRACE de la NASA, basándose en las mediciones de los radares de gravedad y subsuelo que encontraron un enorme mascón con un tamaño dos veces superior al cráter del Chicxulub, con una extensión de casi 500 kilómetros de diámetro (Thomas Hamilton, 2014) es uno de los mayores cráteres de impacto de la Tierra. Se cree probable que dicho cráter hubiera sido formado por el impacto de un bólido extraterrestre hace aproximadamente 250 millones de años, aunque en un principio no se pudo delimitar

con seguridad debido a la dificultad de la zona, y se abrió un amplio margen de entre 100 y 500 millones de años.

Se localiza en la Antártida, entre la cordillera Gamburtsev y las montañas Transantárticas y actualmente dicho cráter permanece oculto bajo una capa de hielo de más de un kilómetro de espesor (Nieves, J.M., 2010).



**Imagen 23:** Localización del cráter de la Tierra de Wilkes. Fuente: ["https://es.wikipedia.org/wiki/Cr%C3%A1ter\\_de\\_la\\_Tierra\\_de\\_Wilkes"](https://es.wikipedia.org/wiki/Cr%C3%A1ter_de_la_Tierra_de_Wilkes)

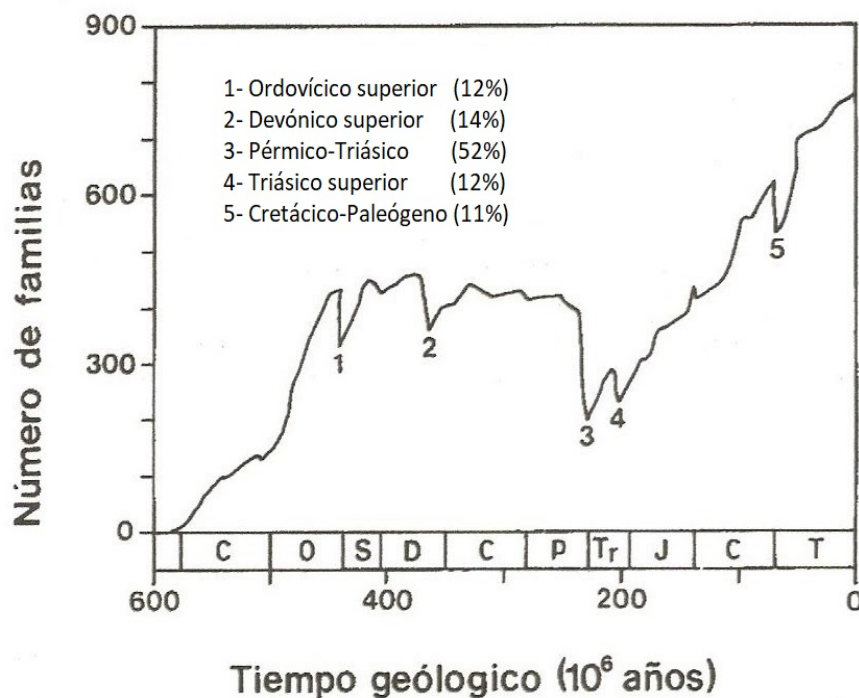
Se encuentra relacionado con la aparición de los Traps de Siberia y en consecuencia con la gran extinción en masa del Pérmico- Triásico que acabó con más de la mitad de especies del planeta, como veremos más adelante.

De ser cierto la teoría del impacto del bólido, dicho asteroide debería de tener un diámetro de 48 kilómetros aproximadamente para formar dicho mascón, casi cinco veces más grande que el de Chicxulub. La colisión habría producido una potencia de 8.000 millones de megatones, pudiendo registrarse vientos de hasta 5.000 km/h y terremotos de más de 11 en la escala de Richter (Gareth Collins, H.Jay

Melosh y Robert Marcus, 2015). Los efectos catastróficos del impacto alcanzaron hasta los 10.000 km de distancia, los efectos secundarios llevaron a la disminución de temperaturas debido al polvo en suspensión en la atmósfera y a un invierno nuclear causando la pérdida de vegetación por los incendios y por pérdida de gran parte de las cadenas alimenticias.

### 3. CONSECUENCIAS: GRANDES EXTINCIONES EN MASA

Algunas de las consecuencias de las grandes catástrofes en la historia de la Tierra anteriormente expuestas han dado lugar en los últimos 540 millones de años a al menos cinco grandes extinciones. Según Sepkoski (1984, 1989), las extinciones masivas eran periódicas, las mayores extinciones biológicas tenían lugar cada 26 millones de años aproximadamente, en un ciclo muy regular que se repite desde hace 250 millones de años.

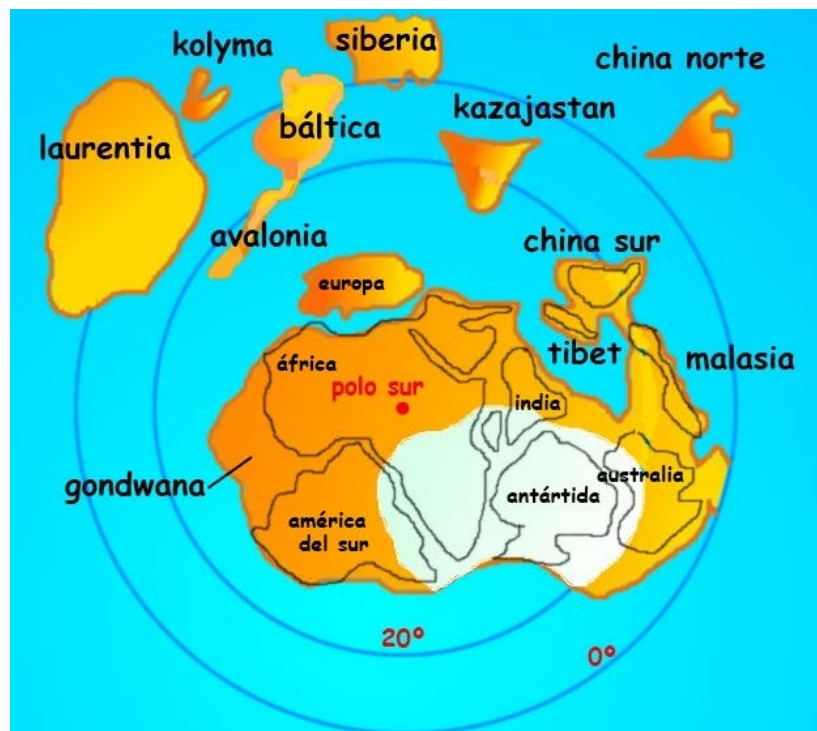


**Tabla 2:** Muestra las 5 grandes extinciones en masa y entre paréntesis el porcentaje de familias extinguidas en total. (Elaboración propia).

### 3.1 Ordovícico superior

Ocurrió hace entre 440 y 450 millones y es la única de las grandes extinciones que no tiene su origen en un evento de vulcanismo o de impactos de meteoritos (Gerta Keller, 2014). Marcó la diferencia entre dos épocas, la Ordovícica y la Silúrica, el primer gran evento de extinción en masa comenzó en el Ordovícico Superior, a pesar de la crisis rigurosa que supuso esta extinción, hasta ahora ha recibido poca atención por parte de los científicos. El 57% de los géneros marinos, más de 100 especies de familias, desaparecieron en esta extinción masiva (Sepkoski, 1989).

La teoría explicada por varios autores cuenta que la primera extinción masiva fue originada al inicio de una larga edad de hielo que provocó la glaciación del continente Gondwana y que hizo disminuir el nivel del mar afectando a la gran mayoría de las zonas costeras donde vivían la mayoría de los organismos extintos (Ernesto Sartorius, 2011).



**Imagen 24:** Zona de radiación de la glaciación de Gondwana en el Ordovícico tardío, hace unos 445 millones de años. Fuente: "<http://programacontactoconlacreacion.blogspot.com/2017/03/posible-explicacion-para-las-extranas.html>"

Un millón de años más tarde, la temperatura global del planeta aumentó y la fusión de los hielos elevó el nivel del mar, provocando nuevas extinciones debido a la disminución de oxígeno en los fondos marinos. Pero el resultado evolutivo fue que en el Silúrico, los peces oceánicos se diversificaron, los corales empezaron a formar arrecifes y las plantas colonizaron la tierra firme.

### **3.2 Devónico superior**

Esta gran extinción masiva tuvo lugar hace 372 millones de años aproximadamente y se caracterizó por una extinción gradual de los organismos marinos que fueron más afectados que los organismos terrestres (McGhee, 1996, Rohde y Muller, 2005). Se han reconocido al menos dos eventos de extinción, el evento Kellwasser en el límite Frasniano-Famenniano y el evento Hangenberg entre el Famenniano y el Missisipiano. Los corales, que habían sido predominantes, vieron su población disminuida y los arrecifes coralinos no volvieron a ser importantes hasta el Triásico.

Sin embargo, hay autores que consideran que las extinciones del Devónico, en concreto la extinción en el límite Frasniano-Famenniano, no fueron en realidad extinciones masivas, sino una pérdida de biodiversidad causada por unas tasas de especiación muy bajas (Stigall, A. L., 2012). La vida durante el Devónico Medio e Inferior experimentó una gran diversificación biológica. Tras la gran extinción, tuvo lugar el traslado de animales desde los océanos a la tierra, incluyendo los primeros anfibios, caracoles, gusanos oligoquetos, nematodos, escorpiones, milpiés y ciempiés (Copper, 1986). Anteriormente, sólo crecieron las plantas primitivas pero durante el Devónico dominaron las plantas terrestres. Los primeros bosques crecieron en respuesta al desarrollo del suelo (Copper, 1986).

Hoy en día aún se desconocen exactamente las causas que pudieron suceder para llegar a esta masiva extinción, aunque se ha hablado de varias hipótesis: el impacto de un meteorito y/o una glaciación a nivel mundial.

Fue precisamente esta gran extinción la que sentó las bases para el desarrollo de los vertebrados, es decir, la que preparó el terreno para la gran

diversidad de vertebrados que viven en la actualidad ya que afectó especialmente a los mares y a las especies marinas, mermando el número de especies justo en el momento en que los primeros vertebrados empezaban a arrastrarse fuera del agua. Un hecho que quizá les ayudó a estar entre los pocos que consiguieron sobrevivir a la catástrofe y que marcó el punto de partida evolutivo para todos los vertebrados. (Sallan y Coates, 2010).

### **3.3 Pérmico-Triásico**

El evento catastrófico ocurrió hace aproximadamente 250 millones de años y está marcado por la extinción masiva más grave del registro geológico. El muestreo de algunas zonas indica que las extinciones ocurrieron de forma muy exagerada, y que su causa debió ser extraterrestre y catastrófica (Becker, 2001). El intervalo de extinción fue de unos 200.000 años y se perdieron alrededor del 90 % de las especies marinas y el 70 % de los géneros de vertebrados y plantas terrestres. Esta extinción en masa puede que no fuera causada por una única catástrofe, sino que pudo haberse prolongado durante un período de unos 7 millones de años. Se han presentado muchas teorías para explicar las causas de esta extinción, incluyendo la teoría de las placas tectónicas, un evento de impacto extraterrestre, una supernova o explosión estelar, un vulcanismo extremo, la liberación de hidratos de metano de los lechos oceánicos a causa de un efecto invernadero o alguna combinación de factores.

### **3.4 Triásico superior**

Este evento de extinción ocurrió hace aproximadamente 200 millones de años y es considerado uno de los principales eventos de extinción masiva del Fanerozoico que afectó profundamente a las especies terrestres y marinas. Hay varias hipótesis sobre las causas a las que pudieron deberse este fenómeno aunque no se sabe a ciencia cierta a que se debió exactamente; se habla de vulcanismo, de fluctuaciones del nivel del mar, de impacto de un bólido extraterrestre y de un cambio climático a nivel global. Desaparecieron el 12% de familias del total de seres vivos, y el 20% del

total de familias de origen marino. Ante ésta situación de liberación de nichos ecológicos permitieron a los dinosaurios asumir el papel predominante durante el periodo Jurásico subsiguiente.

### **3.5 Cretácico-Paleógeno**

La extinción del límite K- P ocurrió hace 65 millones de años y es la extinción masiva que tiene mayor información, puesto que es la más reciente de las cinco grandes extinciones y su registro fósil es el que mejor conservado está. Se han publicado numerosos artículos, es especial desde que Álvarez (1980) en Gubbio (Italia), y Smit y Hertoguen (1980) en Caravaca, encontraron un nivel con una anomalía de Iridio que coincide con la crisis de extinción más importante en la historia de los foraminíferos plantónicos. El Iridio es un metal muy raro en la corteza terrestre pero relativamente abundante en los meteoritos.

Las causas de esta gran extinción se debe al gran meteorito que colisionó en la península de Yucatán, como comentamos anteriormente provocó un cambio climático a nivel mundial que dio como resultado la extinción de un porcentaje muy elevado de familias, entre ellas los dinosaurios. Otras hipótesis culpan de esta extinción al vulcanismo fisural, en concreto a los Traps del Deccan, ambas hipótesis son sostenibles e incluso complementarias.

Según Nieves López Martínez (2001), la crisis del final del Mesozoico afectó a todas las biotas, tanto en el mar como en tierra. Una visión general de la magnitud relativa de la extinción en diferentes grupos de organismos marinos y terrestres del final del Cretácico muestra una gran variedad de casos. El porcentaje de especies extinguidas con relación al número de especies cretácicas existentes en los grupos más afectados oscila entre un 20% de crinoides y plantas y un 100 % de inocerámidos, rudistas, belemnites, ammonites; dinosaurios, pterosaurios y reptiles marinos.

#### 4. REFLEXIÓN FINAL

El presente trabajo ha puesto de manifiesto el gran poder de destrucción que tiene la naturaleza, hemos visto como los volcanes, tanto fisurales como explosivos, y los impactos de bólidos extraterrestres aniquilan todo lo que encuentran a su paso y son capaces de cambiar el clima a nivel global. Ante éstas situaciones el hombre poco o nada puede hacer para intentar impedir éstos procesos, lo único que podemos hacer es estudiar el cómo, cuándo y por qué suceden éstas catástrofes y de qué manera podemos predecir y mitigar los efectos causados haciendo planes de prevención, protección y mitigación de catástrofes.

En la actualidad sigue habiendo una increíble actividad volcánica en muchos sitios del mundo por lo que es necesario monitorizar éstos volcanes y que las medidas de predicción y alerta sean lo más efectivas para evitar tantas muertes como sea posible.

Hay algunos autores que abogan a que estamos en la dirección de una sexta gran extinción (Crutzen y Stoermer, 2000 ;Ashraf, 2008), y aunque los seres vivos están programados para morir y que algunas formas de extinción se deben principalmente a la evolución-apoptosis controlada genéticamente, donde las especies están "*podados*" del árbol de la vida después de servir como fines biológicos o actuar como un puente hacia una especie posterior es indudable de que el ser humano está acelerando la pérdida de biodiversidad, estamos ante una nueva situación en la que nunca antes había sucedido ya que no ha habido una especie que predominara tanto el mundo como actualmente el ser humano. El continuo y progresivo crecimiento de densidad de poblaciones humanas está irremediablemente asociado a la pérdida de especies vegetales y animales.

Hay estudios que afirman que una destrucción del 70 % del mundo natural en 30 años, sería el colapso de la sociedad humana en muchos países, las principales áreas en notar los efectos serán las zonas costeras que son las más habitadas por los seres humanos, los bosques seguirán desapareciendo, los suelos cada vez serán menos fértiles para producir el alimento necesario y más del 50 % del planeta sufrirá escasez de agua (Brown, 2002).

## BIBLIOGRAFIA

**Álvarez L. W., Alvarez W., Asaro F., Michel H. V., Op. Cit., Alvarez, W., Asaro, F.** 1990. An extraterrestrial impact. *Scientific American* 263 (4): 78-84.

**Álvarez, L.W.** 1983. "Experimental evidence that an asteroid impact led to the extinction of many species 65 million years ago". *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 80: 627-642, Washington D.C.

**Álvarez, L.W., Alvarez, Asaro, F., Michel, H.V.** 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, 208: 1095-1108.

**Ashraf, E.** 2008. "Mass extinction". Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 258 pp.

**Becker, L., Poreda, R.J., Hunt, A.G., Bunck, T.E., Rampino, M.** 2001. "Evento de impacto en el límite pérmico-triásico: evidencia de gases nobles extraterrestres en fullerenos". *Science* 291: 1530-1533.

**Bishop, S. E.** 1885, *Krakatoa*, *Nature* 31, 796: 288-289.

**Brayshay, M y Grattan, J.** 1999.- *Respuestas ambientales y sociales en Europa a la erupción del volcán de fisura Laki en Islandia en 1783: una consideración de la evidencia documental contemporánea*. Firth, C. R. y McGuire, W. J. (editores), *Volcanes en el cuaternario*. Sociedad Geológica, Londres, Publicación Especial, pp.161: 173-187.

**Britt, Robert Roy.** 2006. Gigante cráter encontrado: vinculado a la peor extinción masiva de la historia.

**Brown, L.** 2002. *Eco-economía. Para una economía a la medida de la Tierra*. Editorial Hacer, Barcelona, pp. 9-37.

**Campbell, I.H. Czamanske, G.K., Fedorenko, V.A., Hill, R.I. y Stepanov, V.** 1992. Sincronismo de las trampas siberianas y el límite Pérmico-Triásico. *Science* 258:1760-1763.

**Carrasco-Núñez, G.,** 1997. "Volcanes vs. Cráteres de impacto: el caso del Chicxulub", en A.L. Carreño y M. Montellano-Ballesteros, editoras. *Extinción masiva del límite Cretácico-Terciario: mitos y realidades*. Unión Geofísica Mexicana, Monografía No. 4: 121-136.

**Charnock, Richard Stephen.** 1859. *La etimología local, un diccionario derivado de nombres geográficos*. Houlston and Wright.- London, 289 pp.

**Clarkson, M. O., Kasemann, S. A., Wood, R. A., Lenton, T. M., Daines, S. J., et al.** 2015. La acidificación de los océanos y la extinción en masa permo-triásica. *Science*, 348: 6231: 229–232.

**Collins, Gareth; Melosh, H. Jay; Marcus, Robert.** 2005. Programa de efectos del impacto en la Tierra: un programa basado en la Web para calcular las consecuencias ambientales regionales de un impacto meteoritoide en la Tierra. *La meteorología y la ciencia planetaria*. 40(6), 817 -840.

**Copper, P.** 1986. "Extinción masiva de Frasnian / Famennian y océanos de aguas frías".- *Geology*, 14: 835-839.

**Crutzen, P. J. y Stoermer, E. F.** 2000. *The 'Anthropocene*. Global Change Newsletter, 41:17–18.

**Espíndola, Juan Manuel y Macías Vázquez, José Luis.** 1996. El vulcanismo. *Ciencias*, núm. 41, enero-marzo, pp. 12-22.

**Fraunfelder F, Kalima R. Buist S, Berstein R, Johnson D.**1983. Ocular Effects Following the Volcanic Eruption of Mount St. Helens. *Arch. Pphthamol*, 101: 376-378

**Hallam A, Wignall PB.** 1997. *Extinciones en masa y sus consecuencias*. Oxford University Press, Oxford. 328: 242 – 253.

**Hamilton, Thomas Wm.** 2014. *Impact Craters of Earth: with Selected Craters Elsewhere*.

**Harris, Stephen L.** 1988. *Fire Mountains of the West: The Cascade and Mono Lake Volcanoes*. Mountain Press Publishing Company, Missoula.

**Hildebrand, A.R., Penfield, G.T., Kring, D.A., Pilkington, M., Camargo, A.Z., Jacobsen, S.B.** 1991. *Chicxulub crater: A posible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatán Peninsula*. Mexico. *Geology*, 19: 867-871.

**Isozaki, Y.** 2001. An extraterrestrial impact at the Permian-Triassic boundary. *Science* 293, 2343a.

**Johnson, Stehen T.; Wynne, P. Jane; Hart, Craig J. R.; Enkin, Randolph J.; Engebretson, David C.; Engebretson, David C.** 1996. *Yellowstone in Yukon: The Late Cretaceous Carmacks Group*. *Geology* 24 (11): 997, 998.

**Keller, E. y Blodgett, R.** 2007. *Riesgos naturales: procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes*. Pearson Prentice Hall. Nueva Jersey. 448 pp.

**Keller, G., Abramovich, S., Berner, Z., Adatte, T.** 2009. Biotic effects of the Chicxulub impact, K-T catastrophe and sea-level change in Texas. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 271: 52-68.

**Lambeck, K, Esat, T y Potter, E** (2002). "Links between climate and sea levels for the past three million years", *Nature*, 419: 199-206.

**MacLeod N, Rawson PF, Forey PL, Banner FT, Boudagher-Fadel MK, Bown PR, Burnett JA, Chambers, P, Culver S, Evans SE, Jeffery C, Kaminski MA, Lord AR, Milner AC, Milner AR, Morris N, Owen E, Rosen BR, Smith AB, Taylor PD, Urquhart E, Young JR** 1997. *The Cretaceous–Tertiary biotic transition*. Journal of the Geological Society 154 (2): 265-292

**McGhee, G. R.** 1996. The Late Devonian Mass Extinction. The Frasnian-Famennian Crisis". Columbia University Press, New York. 303 pp.

**McLean, D.M.** 1981. Terminal Cretaceous extinctions and volcanism: American Association for the Advancement of Science. *147th National Meeting, Abstracts of Papers*, p. 128

**Molina, E.** 1995. Modelos y causas de extinción masiva. *Interciencia*, 20 (2): 83-89.

**Newhall, Daniel Dzurisin,** 1988, Historical Unrest at Large Calderas of the World. **U.S. Geological Survey** Bulletin 1855

**Nieves, J.M.** 2010. Hallan en la Antártida el mayor cráter de impacto de la Tierra. ABC. Disponible on line: [https://www.abc.es/ciencia/crater-antartida-201008270000\\_noticia.html](https://www.abc.es/ciencia/crater-antartida-201008270000_noticia.html)

**Placanica, A.** 1991. El espejo del mundo: usos historiográficos alternativos del tema catastrófico. *En Prodigio, paure, ragione: eventinaturalioggi*, Milán, 219-239.

**Raja Rao, C.S., Sahasrabudhe, Y.S., Deshmukh, S.S. y Raman, R.** 1978. Distribution, structure and petrography of the Deccan Trap, India. *Rep. Geol. Survey Ind.* 43 pp.

**Rohde, R.A. y Muller, R.A.** 2005. Cycles in fossil diversity. *Nature*, 434: 208-210.

**Rudwick, M.J.S.** 1998. *Georges Cuvier, FossilBones, and Geological Catastrophes*. University Chicago Press. Chicago. 318 pp.

**Sallan, L.C. y Coates, M.I.** 2010. End-Devonianextinction and a bottleneck in theearlyevolution of modernjawedvertebrates. *Proceedings of theNationalAcademy of Sciences of theUnitedStates of America*, PNAS, 107:10131-10135.

**Self, S., Rampino, M. R., Newton, M. S., Wolff, J. A.** 1984.Volcanologicalstudy of thegreat Tambora eruption of 1815. *Geology*. 12:659-663.

**Sepkoski Jr JJ.** 1989. Periodicidad en la extinción y el problema del catastrofismo en la historia de la vida. *J GeolSoc London* 146: 7-19

**Shen, S.Z., Crowley, J.L., Wang, Y., Bowring, S.A., Erwin, D.H., Sadler, P.M., Cao, C.Q., Rothman, D.H., Henderson, C.M., Ramezani, J.** 2011.CalibratingtheEnd-PermianMassExtinction. *Science*, 334, 1367.

**Sigurdsson H, Carey S, Cornell W, Pescatore T.** 1985. La erupción del Vesubio en AD 79. *NatGeogr Res* 1: 332–387.

**Sigurdsson, Haraldur; Cashdollar, Stanford; Sparks, R. Stephen J.** (1982). "The Eruption of Vesuvius in A. D. 79: Reconstruction from Historical and Volcanological Evidence". *American Journal of Archaeology*

**Von Frese, Ralph R. B.** 2005. «GRACE gravity data target possible mega-impact in north central Wilkes Land, Antarctica»

**Ward, P. D.** 2000. *Rivers in Time: The Search for Clues to Earth's Mass Extinctions*.