



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

Grandes catástrofes en la historia de La Tierra: extinciones en masa

Cecilia Prados Téllez

Julio, 2014

ÍNDICE.

RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. Definición de extinción masiva.....	6
1.2. Historia y orígenes.....	7
1.3. Metodología.....	8
1.4. La extinción como una oportunidad evolutiva.....	11
2. PRINCIPALES EXTINCIONES QUE HAN EXISTIDO A LO LARGO DE LA HISTORIA DE LA TIERRA.....	12
2.1. Ordovícico superior.....	13
2.2. Devónico superior.....	15
2.3. Pérmico-Triásico.....	18
2.4. Triásico- Superior.....	20
2.5. Cretácico- Terciario.....	21
3. PRINCIPALES CAUSAS DE LAS EXTINCIONES EN MASA EN LA HISTORIA DE LA TIERRA.....	29
3.1. Introducción.....	29
3.2. Vulcanismo fisural.....	30
3.2.1. Traps de Siberia.....	32
3.2.2. Traps del Deccan.....	33

3.3. Impactos de bólidos extraterrestres.....	25
3.3.1. El impacto de Chicxulub.....	37
3.3.1.1. Evidencias a favor del impacto de un bólido extraterrestre en el Golfo de México.....	38
3.3.1.1.1. Cráter.....	38
3.3.1.1.2. Esférulas de vidrio.....	40
3.3.1.1.3. Cuarzos de alta presión.....	42
3.3.1.1.4. Tectitas.....	43
3.3.1.1.5. Depósitos de tsunamis.....	44
3.4. Cambios eustáticos y paleogeográficos.....	45
4. EXTINCIÓN MASIVA ACTUAL.....	47
5. BIBLIOGRAFÍA.....	48

RESUMEN.

Los objetivos del presente trabajo de revisión bibliográfica acerca de algunas de las grandes catástrofes ocurridas en la Historia de la Tierra son hacer notar la importancia de las extinciones masivas en un contexto evolutivo, adquirir los conocimientos básicos sobre fenómenos de extinción del pasado, concretamente procesos naturales que actuaron con una intensidad más alta de la normal en cortos intervalos de tiempo, así como lograr comprender la importancia de las distintas escalas temporales y los cambios que se dan en la Naturaleza.

La extinción es uno de los problemas más interesantes y que más preocupa a la sociedad actual, puesto que cada día es más evidente el comienzo de una extinción masiva, la cual, en último término, podría afectar a la especie humana. En este Trabajo de Final de Grado se ha llevado a cabo la descripción e interpretación de las extinciones masivas que más destacan en la Historia de la Tierra, concretamente las que ocurrieron al final del Período Ordovícico, Devónico, Pérmico, Triásico, entre el Cretácico y Terciario, y la actual extinción, denominada “sexta extinción masiva”. También se explican algunos de los acontecimientos históricos más relevantes que pudieron provocar estas extinciones en masa, como las emisiones fisurales de lava, concretamente, entre otras causas, los Traps del Decán y de Siberia y los impactos de bólidos extraterrestres con la Tierra,. En concreto se analiza con algo más de detalle el acontecimiento del límite K-T, en el que se ha hecho especial hincapié en las posibles evidencias a favor del impacto encontradas en el Golfo de México. Se concluye con un somero análisis de los cambios del nivel del mar.

Palabras clave: *extinción masiva, catástrofes e Historia de la Tierra, impactos extraterrestres, límite K-T.*

ABSTRACT.

This is a work of literature review on some of the major catastrophes in Earth's History. Its main objectives are: underline the importance of mass extinctions in an evolutionary context; acquire the basic knowledge of extinction events of the past, specifically natural processes acting with a higher intensity than usual in short time spans, as well as gain an understanding of the importance of the different time scales and the changes that occur in Nature.

Extinction is one of the most interesting problems of greatest concern to today's society, since it is becoming increasingly evident the beginning of a mass extinction, which ultimately could affect humans. In this Degree Final Project a description of the most important mass extinctions in the Earth's History along with their probable causes have been carried out. Namely those occurred at the end of the Ordovician, Devonian, Permian and Triassic periods and that of the Cretaceous/Tertiary (K/T) boundary, as well as the current extinction called the "sixth mass extinction" are analyzed. Some of the most important historical events that could cause mass extinctions are also addressed, such as fissure lava emissions or flood basalts as the Deccan and Siberia Traps, and the impacts of extraterrestrial bolides with Earth, among other causes. The K/T boundary event has been discussed in somewhat more detail, placing particular emphasis on the evidence found in the Gulf of Mexico area. Finally, the revision ends with a brief analysis of sea level changes in the Earth's History.

Keywords: mass extinction, catastrophes and Earth's History, extraterrestrial impacts, K-T boundary.

1. INTRODUCCIÓN.

A lo largo de la Historia de la Tierra han tenido lugar numerosas catástrofes, que son acontecimientos de una gran magnitud que se producen en un corto intervalo de tiempo. Entre las catástrofes que han atraído más la

atención de los científicos están las que se denominan “extinciones en masa de organismos” o más abreviadamente, simplemente, “extinciones en masa”. De entre todas las que han existido se pueden distinguir cinco principales: final de los Períodos Ordovícico, Devónico, Pérmico, Triásico y tránsito Cretácico-Terciario.

1.1. Definición de extinción masiva.

El concepto de “extinción en masa” se caracteriza por la pérdida imprevista de gran cantidad de plantas y animales en relación con el número de especies nuevas que se añaden (Keller, 2007). Según Molina (1995), la extinción masiva se puede definir como una gran crisis biológica relativamente brusca a escala geológica que elimina gran cantidad de seres vivos muy variados.

Puesto que la escala del tiempo geológico se basó originariamente en la aparición y desaparición de diferentes especies de fósiles, las extinciones en masa coinciden generalmente con los límites de períodos o épocas geológicas de la escala cronológica. Se han apuntado muchas hipótesis con el fin de dar explicación a las extinciones masivas de la Historia de la Tierra, como por ejemplo, un cambio climático relativamente rápido; la tectónica de placas, que se trata de un proceso lento que cambia la posición de continentes y por lo tanto de hábitats a un sitio distinto; así como erupciones volcánicas extraordinariamente grandes que expulsaron un volumen enorme de ceniza volcánica a la atmósfera, cambiando el clima.

Por otra parte, para definir una extinción como un acontecimiento importante, la consideración principal debe ser su gravedad. McGhee(1996) define una extinción importante como aquella que afecta a un mínimo del 15% de la diversidad de vida en una determinada familia en menos de quince millones de años, la cual debería afectar a los ambientes tanto terrestres como marinos de todo el mundo e incluir a la flora y la fauna.

Sin embargo, Raup y Sepkoski (1982) consideran que las extinciones en masa ocurren cuando se da el caso de una brusca terminación de muchas especies o la gran mayoría de ellas, en un mismo horizonte o dentro de un intervalo estratigráfico limitado. Debe ser generalizada e independiente. La aparición de especies por encima del suceso no debe estar severamente relacionada con las anteriores.

1.2. Historia y orígenes.

Puede afirmarse que, históricamente, la Paleontología científica nació con el concepto de extinción de las especies, fenómeno que hoy en día parece muy evidente e indiscutible, pero que en el pasado era algo desconocido por falta de datos y en consecuencia se recurría a la interpretación literal de las narraciones bíblicas. Ni siquiera el Diluvio Universal hubiera provocado extinciones masivas, ya que supuestamente Noé habría salvado una pareja de cada especie. Hubo que llegar al final del siglo XVIII para que Georges Cuvier, a quien se le puede considerar uno de los fundadores de la Paleontología, y desde luego, de la anatomía comparada, pusiera de manifiesto que una serie de revoluciones habían provocado catastróficas extinciones. Todavía en el siglo XIX, éstas eran interpretadas por Alcide d'Orbigny, verdadero impulsor de la Micropaleontología y de la Bioestratigrafía, como extinciones totales y creaciones sucesivas, llegando a identificar hasta 27 renovaciones de este tipo.

Las ideas catastróficas fueron rechazadas por gradualistas, tales como Charles Darwin que restaron importancia al fenómeno de la extinción, y atribuían la apariencia catastrófica a imperfecciones del registro fósil. Éstos se apoyaban en las ideas uniformitaristas de James Hutton y Charles Lyell, que postulaban que durante extensos períodos de tiempo, la Tierra había sufrido cambios lentos y continuos. Estas ideas han condicionado la formación de las actuales generaciones de geólogos (Molina, 1995).

Una extinción masiva está considerada como el aspecto más importante en la Paleontología, y es uno de los temas más atractivos, polémicos, inusuales

y fecundos de la investigación sobre la historia de la Tierra y de la vida. (Fernández, 2010). Si miramos al pasado, nos encontramos con cinco grandes extinciones en masa en el registro fósil (Ordovícico superior, Devónico superior, Pérmico-Triásico, Triásico superior y Cretácico-Terciario). Algunos autores creen que son seis las extinciones en masa mediante la adición del Cámbrico a las cinco anteriores, otros hablan sobre las extinciones en masa cíclicas de hasta 23 eventos desde el Cámbrico. Sin embargo, los patrones y causas de estas extinciones en masa son todavía discutibles, aunque es notable que exista una gran variedad en el grado de pérdida de la diversidad biológica entre la menor y más grave de las catástrofes que han tenido lugar. A pesar de ello, los científicos insisten en las cinco extinciones en masa más importantes, con un mayor enfoque en el evento Cretácico – Terciario (Prothero, 1998).

1.3. Metodología

Existen un conjunto de aspectos metodológicos que son esenciales para poner de manifiesto cómo se ha producido la extinción a lo largo de la historia geológica. El uso de distintas metodologías es la razón primordial de la polémica actual, la cual afecta a la clarificación de los modelos y causas de la extinción masiva. Desafortunadamente, el registro fósil no puede ser interpretado de forma literal, ya que debido a sus condiciones hay resultados que dificultan el reconocimiento de los modelos de extinción. Ocurre algo similar con los aspectos de tipo tafonómico, puesto que los procesos que sufren los organismos desde que mueren hasta que son encontrados como fósiles pueden ocultar un modelo de extinción establecido, bien produciendo la desaparición temporal debido a factores como la disolución, o bien prolongando la distribución temporal de algunas especies más allá del momento de su extinción debido a la resedimentación (Molina, 1995).

Cuando el intervalo de tiempo entre los fósiles autóctonos y alóctonos es muy pequeño, resulta difícil detectar estas contrariedades; entonces hay que recurrir a sofisticadas técnicas, como las isotópicas empleadas por Nielsen et

al. (1982) y Barrera y Keller (1990), quienes han puesto de manifiesto que ciertas especies encontradas en la base del Paleoceno, aparentemente resedimentadas, tenían la misma señal isotópica que las del Paleoceno, y por tanto, eran autóctonas.

En cuanto a la extinción de especies raras, a pesar de que los factores paleoecológicos y taxonómicos se mantengan constantes, que suele constituir un problema en la investigación basada en fósiles de vertebrados por su tamaño y rareza, al no mostrar un registro continuo y, aunque se intensifique el muestreo, resulta muy complicado completar sus distribuciones temporales reales, como ocurre con la extinción de los dinosaurios.

Por otro lado, el estudio de un evento de extinción requiere muestreos de alta resolución con la finalidad de poder precisar si la extinción es brusca o gradual, debido a que no todos los grupos tienen igual poder de resolución para precisar sus modelos de extinción, primordialmente por el tamaño. De la misma forma, las técnicas utilizadas en el laboratorio pueden desfigurar el modelo de extinción y especialmente el de aparición de ciertos fósiles; concretamente en el caso de los foraminíferos planctónicos del límite Cretácico/Terciario si no se utiliza un tamiz de luz de malla lo suficientemente fino (inferior a 100 micras) el relevo de fauna aparentará ser totalmente brusco, ya que las formas de la base del Paleoceno son muy pequeñas y no se recogerían en los tamices normalmente utilizados. En este sentido, la utilización de los tamices adecuados le permitió a Luterbacher y Premoli Silva (1964) poner de manifiesto la existencia de una minúscula asociación y definir la biozona de alta resolución de *G. eugubina*.

Otros problemas de evaluación de las extinciones están asociados a la naturaleza del registro geológico. En este sentido, agudeza, perfección e intuición son criterios notables a la hora de evaluar la utilidad de una secuencia para documentar el ritmo de cambio (González-Donoso y Sequeiros, 1989) y consiguientemente de extinción; con frecuencia, hiatos pequeños difíciles de detectar pueden dar la apariencia de una extinción brusca y masiva.

Finalmente, otros aspectos que puede afectar a la interpretación sobre la magnitud de una determinada extinción son los taxonómicos y los cronológicos. Una extinción suele parecer más gradual cuanto mayor es el nivel taxonómico considerado. En un grupo de organismos basta que una especie sobreviva a una crisis de extinción para que los taxones superiores se registren como no extintos en esa crisis.

Existen varios modelos de extinción que han podido conocerse gracias al registro fósil que suministra datos y permite reconstruir estos modelos. Atendiendo a los aspectos metodológicos anteriores, los modelos se reducen fundamentalmente a tres:

I) La extinción de fondo: ocurre aleatoriamente con una tasa constante en todos los grupos a lo largo del tiempo y es considerado el proceso normal de extinción. La extinción de fondo gradual está principalmente condicionada por factores biológicos como la competencia y el endemismo, los cuales implicarían una intervención decisiva de la selección natural. La extinción de fondo gradual se define como una gran crisis biológica relativamente brusca a la escala geológica que elimina gran cantidad de seres vivos muy variados.

II) La extinción masiva gradual: consiste en una aceleración de la extinción de fondo que tiene su origen en cambios relativamente rápidos, a causa de efectos graduales como pueden ser el vulcanismo o un cambio significativo de la temperatura.

III) La extinción catastrófica: se produce de forma brusca en un intervalo de tiempo muy corto, a causa por ejemplo del impacto de un meteorito, y no daría tiempo a las especies a adaptarse a tales condiciones.

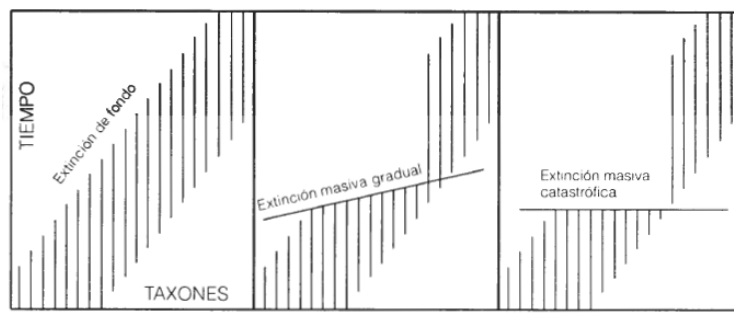


Figura 1: modelos de extinción de los taxones a lo largo del tiempo. (Molina, 1995).

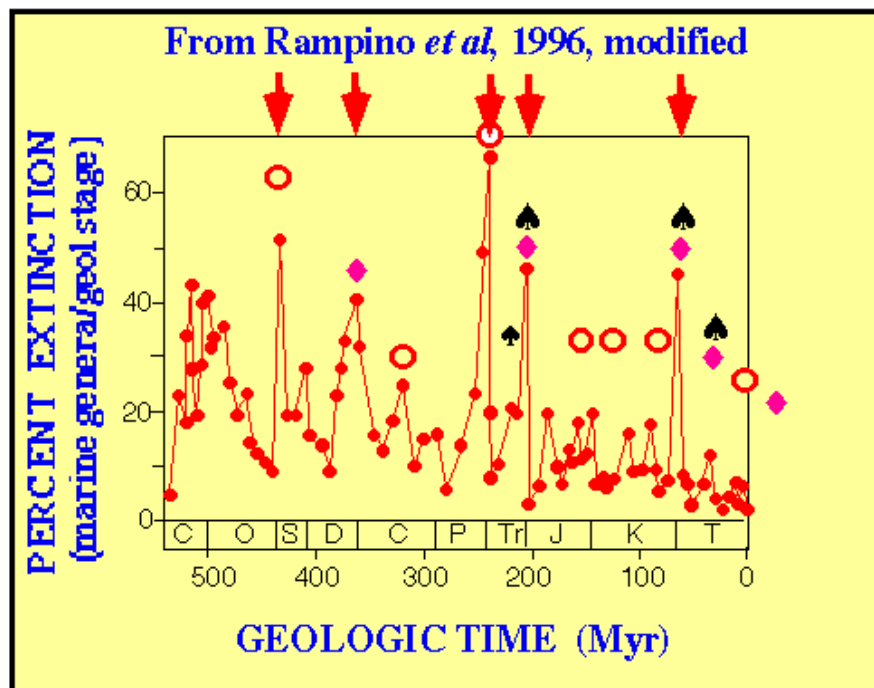
1.4. La extinción como una oportunidad evolutiva

Se suele pensar que las extinciones solo causan muerte y destrucción, o como mínimo una gran pérdida de diversidad biológica, pero también suponen un impulso primordial para la evolución, pues los organismos supervivientes prosperan y se diversifican, a veces hasta convertirse en dominantes. Las extinciones dejan disponibles nichos ecológicos, lo que supone una oportunidad para que otras especies puedan sobrevivir y prosperar. Tras una extinción masiva, las primeras especies que sobreviven y evolucionan son pequeñas y generalistas, y estos organismos al ser poco evolucionados, son capaces de adaptarse a muy diversos nichos ecológicos, por lo que prosperan en ambientes oscilantes. El mecanismo de diversificación y adaptación evolutiva impulsa la transformación del ecosistema hacia una nueva dirección biológica.

Por lo tanto, la extinción no es sino el primer paso de un proceso a través del cual la vida se adecua una y otra vez a un planeta en permanente transformación. De no ser así, la Tierra sería otra descomunal roca yerma orbitando alrededor del Sol, como lo son Mercurio, Venus o Marte (Pardoet *al.*, 2009).

2. PRINCIPALES EXTINCIONES QUE HAN EXISTIDO A LO LARGO DE LA HISTORIA DE LA TIERRA.

En los últimos 541 millones de años de la Historia de la Tierra, hubo al menos cinco sucesos importantes de extinciones en masa que están indicadas con flechas rojas en la figura 2. La más antigua ocurrió hace aproximadamente 446 millones de años, cerca del final del Período Ordovícico:



- Diagnóstico de la evidencia estratigráfica del impacto.
- ◆ Posible evidencia estratigráfica del impacto.
- ♠ Edad del impacto.

Figura 2: porcentaje de extinción frente a tiempo en millones de años hacia atrás en el pasado.

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. ¿Que fenómeno podría explicar estos sucesos? ¿Era terrestre o extraterrestre? Si era extraterrestre, ¿dependía de la influencia solar, del sistema solar o de la galaxia?

2.1. ORDOVÍCICO SUPERIOR.

Una de las extinciones en masa más grandes de la historia de la Tierra, que ocurrió hace entre 440 y 450 millones de años durante la transición del Período Ordovícico al Silúrico, en la que se extinguieron unas 100 familias de invertebrados marinos. Este suceso coincidió con un periodo

glacial importante en el hemisferio sur. De hecho parece que este suceso fueron realmente dos extinciones, una cuando el clima se enfrió y la otra cuando el clima se calentó después del período glacial.

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 desaparecieron en esta extinción masiva (Sepkoski, 1989).

Los científicos asignan esta extinción a un enfriamiento global que desencadenó la glaciación y un descenso significativo del nivel del mar. Como resultado, un centenar de familias de invertebrados marinos murieron, incluidos dos tercios de todas las familias de braquiópodos, briozoos y trilobites, así como grupos arcaicos de equinodermos, que también murieron. (Sepkoski 1984, 1989; Hallam y Wignall, 1997; Prothero, 1998).

El período Ordovícico fue una época de amplia diversificación, sobre todo en invertebrados marinos, incluyendo graptolites, trilobites, braquiópodos y conodontos; una comunidad marina típica estaba formada por estos animales y además algas rojas y verdes, corales, pescados, cefalópodos primitivos, crinoideos y gasterópodos. Aunque los organismos presentes también en el Cámbrico eran numerosos en el Ordovícico, una variedad de nuevos tipos, incluidos los cefalópodos, corales, briozoos, crinoideos, graptolites, gasterópodos, y bivalvos florecieron. Las plantas invadieron la Tierra en esta época.

Sin embargo, como en el Cámbrico, la vida en el Ordovícico continuó estando restringida a los mares. La extinción del Ordovícico se produjo al final del Período, hace unos 440-450 millones de años. Esta extinción masiva, causó la desaparición de un tercio de todos los braquiópodos y familias de briozoos, así como numerosos grupos de conodontos, trilobites, y graptolites, además de gran parte de la fauna arrecifal.

La extinción masiva del Ordovícico ha sido interpretada por muchos paleontólogos como ser el resultado de un solo evento; la glaciación del continente Gondwana al final del período. Depósitos glaciares descubiertos por

los geólogos en el desierto de Sahara proporcionan evidencia de este evento de glaciación, que también causó una disminución del nivel del mar en todo el mundo; grandes cantidades de agua quedaron atrapadas en casquetes glaciares. Una combinación de esta disminución del nivel del mar y la consiguiente reducción del espacio ecológico en las plataformas continentales, conjuntamente con el enfriamiento causado por la propia glaciación son probables agentes que condujeron a la extinción masiva del Ordovícico. En total, más de un centenar de familias de invertebrados marinos desaparecieron en esta extinción.

Las posibles causas de la extinción del Ordovícico son las siguientes.
(Página web Peripatus):

- Enfriamiento climático.
- Gran glaciación.
- Caída del nivel del mar.
- Océano proto-Atlántico cerrado, eliminando hábitats.
- Colapso Plataforma de Cámbrico-Ordovícico.
- Orogeniatacónica.

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. Se perdió el 27 % de familias y 57 % de géneros, 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.

2.2. DEVÓNICO SUPERIOR.

La extinción masiva del Período Devónico tardío tuvo lugar hace 372 Ma, de una manera gradual. Culminó cerca del límite Frasnense-Fameniense (F-F) y duró unos tres millones de años. Esta época se caracterizó por una extinción gradual de los organismos marinos (McGhee, 1996; RohdeyMuller, 2005).

El Devónico Superior corresponde a un período de gran reducción del crecimiento de arrecifes. Los corales que habían dominado el período se extinguieron y hasta el Triásico no volvieron a ser importantes los arrecifes coralinos. 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. Esta gran extinción está considerada como uno de los cinco grandes eventos de extinción y fue una época en la que la vida terrestre sufrió una gran devastación. A nivel mundial, los ecosistemas marinos y terrestres sintieron sus efectos. Hubo grandes pérdidas en todos los niveles taxonómicos de algas microscópicas e invertebrados, así como de los primeros anfibios terrestres. Muchas familias diferentes de equinodermos se vieron afectados por esta extinción masiva: los carpoideos y cistoideosrombíferos se perdieron, y tres familias de blastoideos se extinguieron. El 42% de asteroideos se extinguieron así como el 32% de la diversidad familiar de crinoideos (McGhee, 1996).

Los artrópodos sufrieron pérdidas en la extinción del Devónico, aunque muchos sobrevivieron e irradiarían más tarde. Los trilobites experimentaron una disminución constante y ocho familias de Givetiano trilobites se perdieron en el Frasniano con dos familias que sobrevivieron en el Famenniano. La familia Scutellidae se extinguió también. Dieciséis de 28 géneros de trilobites se extinguieron durante el Frasniano, lo que representa alrededor del 42% de sus géneros (Rossbach y Hall, 1998). Los crustáceos malacostráceos perdieron el 68% de sus especies en el Frasniano superior, con sólo siete especies sobrevivientes (McGhee, 1996).

Según el mismo autor (McGhee, 1996), en el Frasniano tres familias más de organismos bentónicos se perdieron. En total, alrededor de 60% de las especies de ostrácodos, que son crustáceos de pequeño tamaño, se extinguieron en el límite F-F. Los euriptéridos perdieron el 27% de sus géneros en el límite F-F y se extinguieron el 63% más durante el Famenniano. Los conchóstracos perdieron 33 especies en el Frasniano inferior, 29 más en el Frasniano superior, y sólo una especie sobrevivió y llegó al Famenniano.

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, la causa de esta extinción todavía sigue siendo un misterio, ya que no se sabe con exactitud; a pesar de ello existen varias hipótesis:

I) Caída de un gran meteorito: hace poco se descubrió una zona de 200 kilómetros de diámetro en Australia donde habría impactado un gigantesco meteorito hace alrededor de 360 millones de años. El meteorito pudo medir entre 10 y 20 kilómetros de diámetro y su impacto tuvo lugar en la cuenca de East Warburton, en el sur de Australia. Lo realmente impresionante es la extensión de la zona impactada: un mínimo de 200 kilómetros de diámetro, lo que lo convierte en la tercera mayor superficie en el mundo impactada por un cuerpo celeste (Glikson *et al.*, 2013). “Se trata de un asteroide de al menos 10 kilómetros de diámetro, cuya caída sobre La Tierra habrá tenido impacto no sólo regional, sino mundial”, afirmó este autor (Glikson *et al.*, 2013). El asteroide, convertido en meteorito tras tocar el suelo, provocó un inmenso cráter actualmente recubierto de una capa de 3.000 m de sedimentos. Al caer, seguramente provocó gigantescas nubes de humo y de vapor que cubrieron la Tierra. Los asteroides de este tamaño colisionan con nuestro planeta una vez cada decenas de millones de años.

II) Una era glacial: una bajada tan drástica de las temperaturas heló una buena parte del agua de los mares, y su nivel se vio así drásticamente reducido; ese enfriamiento pudo ser provocado por la gran variedad y difusión de plantas, que habrían fijado una buena parte del dióxido de carbono de la atmósfera y contribuyó de esta manera a su enfriamiento.

Fue precisamente la extinción del Devónico la que sentó las bases para el desarrollo de los vertebrados, es decir, la que preparó el terreno para la gran diversidad de vertebrados (entre ellos nosotros) que viven en la actualidad. Esta extinción masiva, que afectó especialmente a los mares y a sus habitantes, diezmó 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). Por otra parte, Joachimski y Buggisch (1993) sugirieron que el enfriamiento del clima junto con cambios oceanográficos importantes podrían representar un poderoso escenario para dar cuenta de la extinción masiva del Devónico tardío.

2.3. PÉRMICO-TRIÁSICO.

El evento catastrófico del límite Pérmico-Triásico, que ocurrió hace 251,4 millones de años aproximadamente está marcado por la extinción masiva más grave del registro geológico. El muestreo de algunas zonas del límite Pérmico-Triásico indica que las extinciones ocurrieron de forma muy abrupta, y que su causa debió ser extraterrestre y catastrófica (Becker *et al.*, 2001).

El intervalo de extinción fue de unos 200.000 años. Se perdió 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:

l) Impacto de un bólido, asteroide o cometa: el cráter tiene un diámetro de alrededor de 500 kilómetros y está situado a una profundidad de 1,6 kilómetros bajo el hielo de la Antártida. Esto da explicación a un posible impacto de un meteorito en la tierra de Wilkes (Welhaupt,1976). Los fullerenos desde C60 (fullereno estable más pequeño) hasta el fullereno C200 de los sedimentos en el límite Pérmico-Triásico contienen helio y argón atrapados con las relaciones isotópicas similares a las condritas carbonáceas, un tipo de meteorito. Estos datos implican que un evento de impacto (asteroides o cometas) acompañó a la extinción, como fue el caso de la extinción del Cretácico-Terciario, el evento que ocurrió hace unos 65 millones de años (Becker et al, 2001).



Figura 3: cráter de impacto, una estructura gravimétrica de la Antártida, en Tierra de Wilkes, en la parte australiana, bajo el hielo (Creative Commons).

Este cráter mide 500 km de diámetro aproximadamente y se considera el mayor de todos los conocidos. Habría sido realizado por un bólido extraterrestre de unos 50 km de diámetro, 5 veces el de Chicxulub del límite K-T. Su edad, 250 millones de años, coincidiría con el tránsito Pérmico-Triásico y fue descubierto en 2006.

II) Vulcanismo fisural masivo de lavas basálticas: los volcanes produjeron erupciones masivas durante ese período y la enorme cantidad de ceniza volcánica y gases en la atmósfera generaron probablemente un enfriamiento. Las edades radiométricas de los Traps de Siberia, efusiones masivas fisurales de enormes volúmenes de lava basáltica (que volveremos a tratar en un apartado posterior), sugieren que el vulcanismo era coincidente con el momento de la extinción del límite Pérmico-Triásico.

El final del período Pérmico fue una época de crisis que culminó con una gran extinción en masa en la historia de nuestro planeta. Se encontraron elementos traza y tierras raras, así como carbono, oxígeno e isótopos de estroncio agrupados, que reflejan el ambiente químico del agua de mar y de los parámetros de calidad del agua, los cuales condujeron a la crisis de final del Pérmico. La actividad volcánica de finales del Pérmico, alrededor de 2000 años antes de la extinción, liberaba grandes cantidades de dióxido de carbono y junto con las emisiones de metano termogénico activaban el calentamiento global y el aumento de la erosión continental. Anteriormente a la extinción en masa, hubo una breve interrupción de la tendencia al calentamiento global, coincidiendo con una recuperación leve, pero significativa, en la biodiversidad en el Tethys occidental. Es posible que la emisión de aerosoles volcánicos de sulfato resultara en una breve refrigeración inmediatamente después del inicio del calentamiento. Pero justo después del depósito de los aerosoles se reanudó el calentamiento global y dio comienzo el declive biótico que culminó en la mayor extinción en masa de la Historia de la Tierra (Brand *et al*, 2012).

2.4. TRIÁSICO SUPERIOR.

Este evento de extinción se produjo hace 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 teorías para dar explicación de las causas de este evento de extinción en masa:

- I) Fluctuaciones del nivel del mar.
- II) Impacto de un bólido extraterrestre con la Tierra.
- III) Vulcanismo.
- IV) Un cambio climático.

Desaparecieron el 20 % de todas las familias marinas y los enormes crurotarsos, así como también algunos terápsidos y muchos de los grandes anfibios. Al menos, la mitad de las especies que vivieron en esa época se extinguieron. La gran afección causada por esta catástrofe en los arrecifes del Triásico, especialmente en el Océano Tethys, sugiere que el enfriamiento fue un factor significativo (Prothero, 1998). Este autor añadió que la abundancia de pizarras negras y las anomalías geoquímicas indican que los cambios oceánicos fueron significativos. Por otro lado, la posibilidad de que los impactos extraterrestres pudieran haber jugado un papel importante en este evento, no puede descartarse.

2.5. CRETÁCICO-TERCIARIO.

La extinción del límite K- T es la extinción masiva mejor conocida, 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 *et al.*, (1980) en Gubbio (Italia), y Smit y Hertoguen (1980) en Caravaca (véase la figura a continuación), 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

extremadamente raro en la corteza terrestre pero relativamente abundante, en los meteoritos, lo que les sirvió para documentar que esta extinción, que supusieron simultánea con la de otros muchos organismos, tales como los dinosaurios había sido provocada por los efectos catastróficos del impacto de un gran meteorito de unos 10 km de diámetro.



Figura 4: Caravaca, en Murcia.

El mayor evento de extinción masiva se registra como el límite K-T, se denomina así debido a que se produjo en el límite de las eras geológicas Cretácea (K) y Terciaria (T), que ocurrió hace 65 millones de años. Se piensa que fue debido a un caso de impacto extraterrestre, esta hipótesis está ampliamente aceptada. Entran en debate tanto la extinción masiva como el papel del impacto de ésta en la naturaleza.

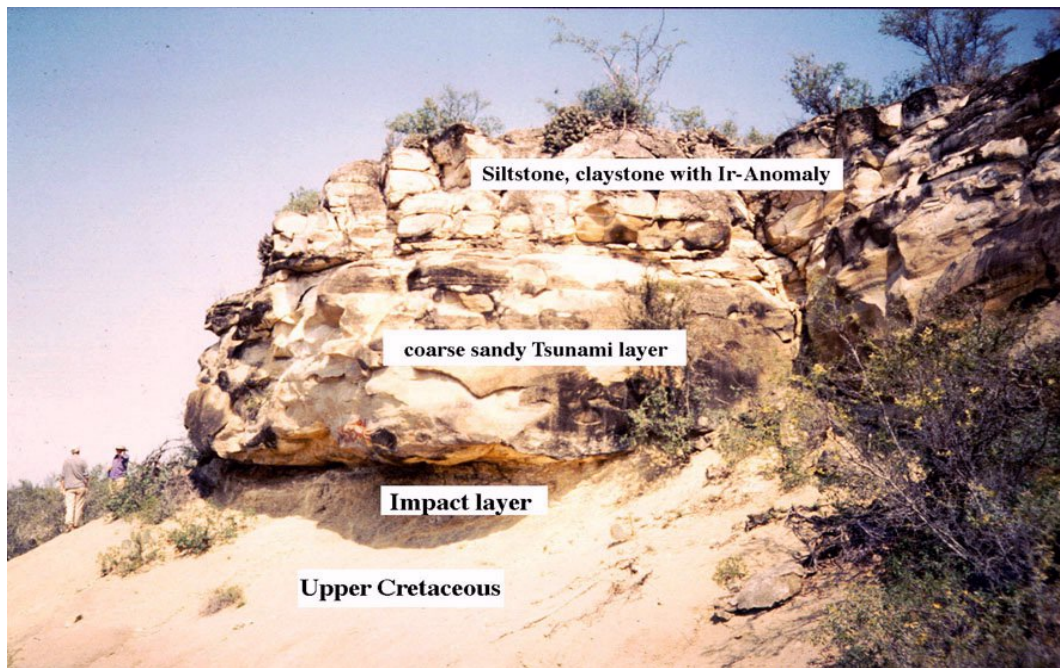


Figura 5: sucesión completa en una capa de impacto del límite Cretácico-Terciario cerca del Golfo de México.

En esta imagen se muestra, en primer lugar, una capa de sedimentos del Cretácico Superior, justo encima, la capa de impacto, donde están los ejecta, luego una capa de tsunamita causada por el maremoto, que es una arena gruesa y por último viene la lluvia de polvo que se inyectó en la atmósfera y que fue cayendo y formando así la anomalía de iridio con limonita y arcillita.

Las posibles causas de esta gran extinción fueron debidas únicamente a un cometa o un asteroide cuyo diámetro era aproximadamente de 10 kilómetros y golpeó el planeta en la costa norte de la Península de Yucatán. Este suceso transformó la historia de la Tierra hasta nuestros días. Sin embargo, después de este acontecimiento, gran parte del paisaje de la Tierra perduró sin alterar, pero los habitantes fueron cambiados en su gran mayoría. Un impacto extraterrestre pudo haber perturbado los ecosistemas de la Tierra y el clima mediante la inyección de inmensas cantidades de polvo así como gases climáticamente activos en la atmósfera.

Otra hipótesis alternativa para dar explicación a tal calamidad biótica fue por un vulcanismo masivo. Estudios recientes sugieren que la mayoría de los basaltos de inundación del Traps del Deccan entraron en erupción en menos de un millón de años, intervalo que coincide con el límite K-T. El efecto global ambiental de la extensa actividad volcánica podría ser similar a los efectos de un gran impacto, pero la escala de tiempo de los dos procesos sería diferente.

La citada posible causa, el vulcanismo, que puede explicar la extinción masiva de esta y otras extinciones, que goza de bastantes seguidores desde que se descubrió que las partículas arrojadas a la atmósfera por el volcán Kilauea contenían una proporción apreciable de iridio. Además, algunos autores piensan que el iridio podría concentrarse por la actividad de ciertos microorganismos, tales como las cianobacterias. (Molina, 1995). Incluso otras evidencias consideradas de impacto como los cuarzos de choque y las tectitas, como las de la figura, han sido consideradas como erupciones volcánicas explosivas.



Figura 6: tectitas, fragmentos de rocas terrestres fundidas tras el impacto de un gran meteorito.

Sin embargo han sido las extensas formaciones volcánicas del Deccan la evidencia más relevante para esta hipótesis, puesto que acontecieron hasta el límite K-T. La arcilla del límite K-T es un distintivo, por lo general ocupa un par de centímetros de espesor, que separa rocas sedimentarias del Cretácico de los del Terciario, como bien puede verse en la figura. La deposición de la

arcilla proporcionaría información importante sobre la causa y las tasas de extinción en masa y el cambio climático en el límite K-T.



Figura 7: nivel de arcilla con iridio visto en Agost (Alicante).



Figura8 : Mapa de todos los sitios donde se ha localizado en el Sur de España el nivel de arcilla del límite K-T ya mencionado anteriormente.



Figura 9: capa de ejecta en Caravaca, Murcia. Barranco del Gredero.

Se han aportado evidencias de impacto, tales como cuarzos de choque, espinelas de níquel, nanodiamantes, así como abundantes microtecticas en Beloc (Haití), (Sigurdsson *et al*, 1991). Junto al hallazgo de una estructura geofísica que ha sido interpretada como un cráter de impacto en la Península de Yucatán (México). Hildebran, *et al*, (1991), documentan bastante bien la caída de un gran meteorito, sin embargo, algunos autores cuestionan esta interpretación aclarando las formaciones atribuidas a “tsunamis” de la región del Caribe como sedimentación turbidítica sin dependencia del impacto y de edad ligeramente menor, por lo tanto la polémica continúa.

Entre otros tipos de hipótesis se puede destacar el cambio de nivel del mar, propuesta por Ginsburg en 1964, quien abogó por la existencia de la relación causa-efecto entre la regresión originada por la caída del nivel del mar, así como la extinción de los dinosaurios y otros organismos en el Cretácico terminal. Estos cambios del nivel del mar estarían condicionados por cambios en la temperatura y acreción en las dorsales oceánicas.

Dentro de la hipótesis gradualista, el periodo crítico habría sido mucho más largo, precediendo al límite K-T, en más de medio millón de años, y la extinción se debería a tres procesos principales y relacionados: 1) una pérdida de hábitats en el mar por regresión, exhumación y reducción de las plataformas continentales, 2) La congelación del agua en los casquetes polares por enfriamiento, hizo descender el nivel del mar, al retirar agua líquida del sistema, y 3) la emisión masiva de materiales volcánicos desde la meseta del Deccan en India, que entró en erupción y originó basaltos hasta producir depósitos de unos 3.000 metros de espesor durante este periodo crítico.

Puede parecer extraño que no haya acuerdo sobre las pautas de extinción documentadas en el registro fósil, sobre cuyos datos de observación no debería haber discrepancia. Sin embargo, las interpretaciones de los datos de observación introducen parcialidades y sesgos en los resultados, a su vez sujetos a parcialidad paleobiológica y el sesgo taxonómico. Para llegar a compartir una misma percepción del registro fósil, la comunidad científica tiene que superar la dificultad de obtener, identificar y datar sucesiones paleontológicas lo más continuas posible, en condiciones comparables y en diferentes secciones estratigráficas, a través de todo el mundo.

Los defensores de las dos hipótesis enfrentadas, catastrofista y gradualista, recurren a la “imperfeción del registro fósil” como argumento para mantener sus postulados ante los datos paleontológicos desfavorables (Alvarez, 1983; Macleod *et al.*, 1997). El grado de perfección del registro se suele relacionar directamente con el grado de continuidad del proceso de sedimentación, a menudo inferido en función del espesor de los depósitos preservados. Aunque los tres procesos son independientes (la conservación de fósiles no tiene relación con la continuidad de la sedimentación, ni ésta con la mayor apilamiento de depósitos), en la práctica se buscan las secciones estratigráficas más potentes y ricas en contenido paleontológico para disponer de datos con mayor resolución y representatividad temporal *a priori*.

Alrededor del 70 % de todos los géneros y sus especies asociadas se fueron extinguiendo. Los dinosaurios constituyen el grupo emblemático extinto en este límite, pero presenta un registro deficiente, por lo que resulta complicado establecer si se trata de una extinción gradual o brusca.

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. La proporción de especies extinguidas con relación al número de especies cretácicas existentes en los grupos más afectados oscila entre un 20% (crinoides, plantas) y un 100 % (inocerámidos, rudistas, belemnites, ammonites; dinosaurios, pterosaurios y reptiles marinos). Se extinguió también el 75 % de especies de foraminíferos planctónicos y el 90 % de nanoplancton y del bentos, casi el 80% de corales y braquiópodos, el 100% de los macroforaminíferos). Sobrevivieron el 50 % de especies de erizos de mar y todas las cianobacterias, algas rojas, caracoles y microforaminíferos bentónicos.

En conclusión, la riqueza de información acumulada en los últimos veinte años sobre el tránsito Cretácico-Terciario hace de este periodo como el mejor estudiado de la historia de la Tierra, así como de su registro fósil el más adecuado con el fin de abordar el estudio del misterioso proceso de extinción de las especies, tanto como el de su origen. Esta visión general del registro geológico del tránsito Cretácico-Terciario muestra la evolución que sufrió la biosfera durante este periodo crítico. Aunque el registro estratigráfico, en la mayoría de las secciones del mundo no muestra modificaciones significativas asociadas a un evento del límite K-T, las anomalías geoquímicas y el registro fósil permiten detectar un evento a escala planetaria que está asociado a un episodio de impacto meteorítico. Este cambio brusco es fácilmente perceptible en las series de depósitos oceánicos gracias a la diferente composición de los

microfósiles planctónicos antes y después del acontecimiento, pero en medios continentales resulta muy difícil de detectar.

Los fósiles de dinosaurios hallados en depósitos posteriores al límite del Cretácico-Terciario son probablemente reelaborados de depósitos anteriores. Algunas especies de dinosaurios se extinguen significativamente antes del límite K-T, al igual que los ammonites, pero varias especies debieron subsistir hasta el momento del impacto del meteorito, aunque no se ha registrado una capa de mortalidad en masa que documente una catástrofe ecológica que afectara a las últimas poblaciones de dinosaurios.

3. PRINCIPALES CAUSAS DE LAS EXTINCIONES EN MASA EN LA HISTORIA DE LA TIERRA.

3.1. Introducción.

A lo largo del trabajo se han ido comentando las posibles causas que generaron las cinco grandes extinciones masivas, pero sin lugar a duda, resaltan como causas fundamentales las emisiones fisurales de lava, que se ha considerado durante mucho tiempo como la causa principal de extinción, así como los impactos de bólidos extraterrestres, estas dos causas se van a desarrollar detalladamente en el siguiente apartado. También los cambios del nivel del mar deben tener importancia a lo largo de la Historia de la Tierra. Es decir, a las extinciones en masa no hay que buscarle una causa, sino que sería más bien un conjunto de factores.

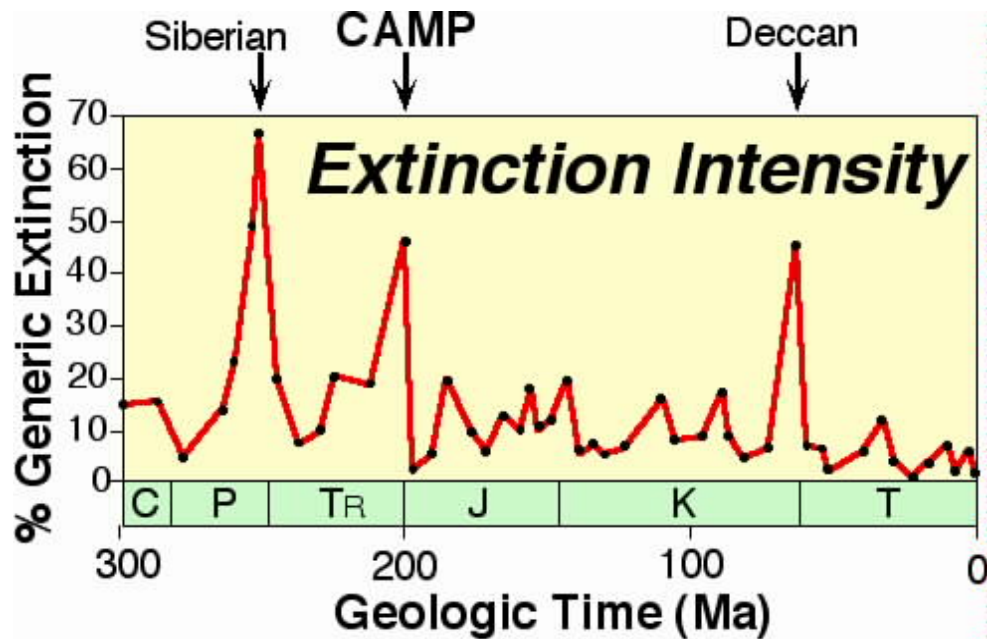


Figura 10: extinciones en masa.

Se observa en la figura anterior que hubo emisiones volcánicas importantes junto con cada extinción en masa.

El registro fósil de la vida en el pasado pone de manifiesto cinco grandes crisis de extinción acaecidas a finales del Ordovícico, Devónico, Pérmico, Triásico y Cretácico, las cuales afectaron a muchos grupos y son consideradas como extinciones masivas de primer orden. Otras extinciones también consideradas masivas pero que afectan a menos grupos de organismos, tales como las de finales del Paleoceno y del Eoceno, por su diferente magnitud revisten gran interés para conocer las causas de extinción, y junto con la de finales del Cretácico están siendo las más estudiadas con detalle a nivel mundial.

3.2. Vulcanismo fisural.

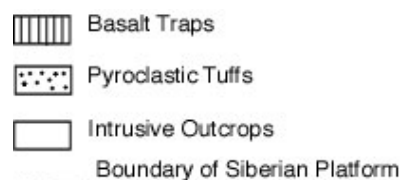
El vulcanismo es una de las enormes fuerzas modeladoras de la superficie terrestre y de la vida a lo largo de la historia geológica. La mayor de todas las extinciones masivas, ocurrida a finales del Pérmico, hace 251

millones de años, estuvo provocada por las grandes erupciones masivas de Siberia, que se detallará a continuación.

Por muy destructiva que sea, la lava no siempre es causante del proceso de extinción biológica; en una gran erupción, los culpables son los gases y las cenizas que se proyectan a la atmósfera. Pero no todas las erupciones producen extinciones: para que un evento volcánico pueda causar una extinción en masa, además de su magnitud e intensidad, es imprescindible que se trate de un volcanismo lo suficientemente potente como para lanzar una inmensa cantidad de gases (dióxido de carbono, dióxido de azufre, ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico), junto con cenizas, hasta llegar a la estratosfera. Desde esa altura, (15 km), las corrientes de chorro pueden distribuir estos materiales en poco tiempo por toda la Tierra.



Figura 11: vulcanismo fisural



3.2.1. Traps de Siberia.

Las trampas de Siberia forman una gran región de rocas volcánicas, que constituyen una de las grandes y más enigmáticas emisiones de basalto en el planeta. Abarcan más de 3.000.000 km² de desiertos árticos. El evento eruptivo que formó los Traps de Siberia, es datado como uno de los mayores sucesos volcánicos en la historia geológica de la Tierra, y se produjo hace unos 250 millones de años, emitiendo materiales ígneos durante un millón de años. Este suceso se produjo entre los Períodos Pérmico y Triásico, la llave entre el fin de la Era Primaria y el comienzo de la Secundaria.

Los descomunales volúmenes de lava y basalto pavimentaron una gran extensión de la primitiva Siberia. A su vez, los gases producidos, afectaron al clima global, alterando también drásticamente a las cadenas biológicas entonces existentes. Actualmente, el área cubierta sobrepasa los tres millones de kilómetros cuadrados de desiertos árticos. Sin embargo, las estimaciones de la cobertura original, serían del orden de unos siete millones, pudiendo ser el resultado de una pluma del manto, que alcanzó la corteza originando un punto caliente, y que permaneció activo, emitiendo materiales magmáticos por un millón de años. Las causas que determinaron la formación de los Traps de Siberia, son principalmente cósmicas: grandes rocas procedentes del espacio, y el impacto directo de un asteroide monumental, habrían abierto inmensas grietas en la corteza del nuestro planeta, con la inmediata emisión magmática que caracterizó la formidable erupción.



Figura 12: Traps de Siberia.

3.2.2. Traps del Decan.

El vulcanismo masivo del Decán, en la India, había jugado un papel crucial en la extinción del Cretácico-Terciario (McLean, 1981). El autor citado concluía que el magma procedente de las zonas más centrales del manto terrestre rico en iridio en la zona del Decán, habría provocado un aumento significativo en el nivel de dióxido de carbono liberado a la atmósfera, entre el 10 y el 25 %, acidificando e incrementando la temperatura de los océanos, lo que causó la extinción de la fauna marina, incluyendo a los foraminíferos plantónicos. Actualmente se sabe que lo que produjo esta extinción en masa no fue el calentamiento, sino el enfriamiento global, pero MacLean (1981) acertó al relacionar el vulcanismo del Decán con una catástrofe climática y ambiental capaz de desencadenar una extinción masiva. También sugirió que la fuente de iridio del límite K/T podría ser volcánica y no extraterrestre.



Figura 13: Traps del Decán.

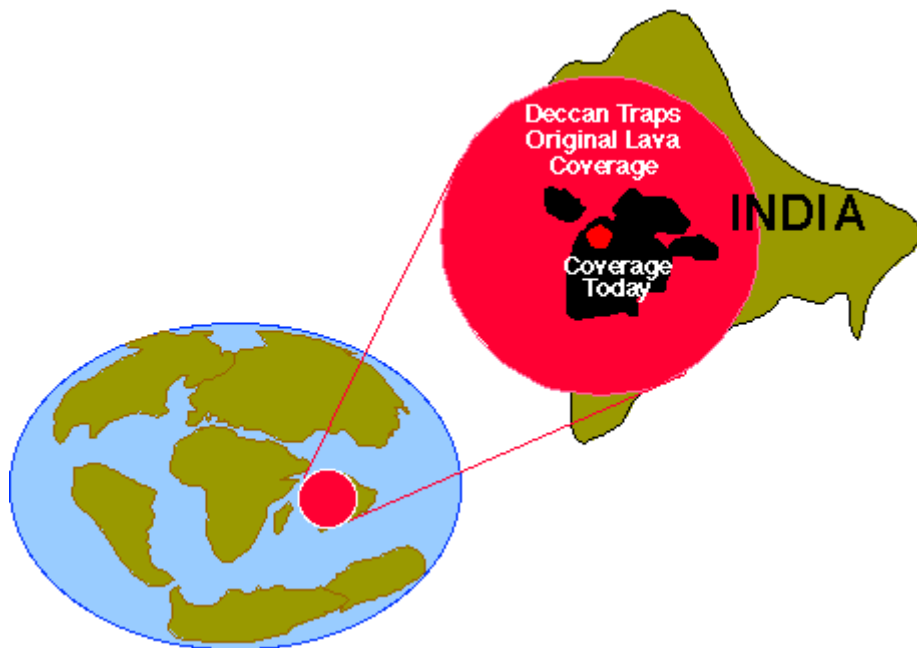


Figura 14: volumen de lavas $8 \times 10^6 \text{ km}^3$ en los Traps del Deccan.

El vulcanismo de los Traps del Decán, en la India, se dio durante un máximo de tres crones magnéticos, centrados en un cron principal invertido, el

cual debería coincidir con 29r, que contiene el límite Cretácico-Terciario. (La inversión 29r es la 29^a inversión geomagnética ocurrida en la historia de la Tierra, y abarca desde 65.118 hasta 65.861 millones de años con 360.000 años por debajo del límite K/T). Las erupciones del Decán, cuya fase principal coincidió con la extinción masiva, produjo ríos de lava que componen hasta el 80% de las montañas volcánicas de 3.500 metros de altitud en la India. Según esta teoría, la idea más estimable es que los gases de dióxido de azufre fueran mortales a la hora de causar un enfriamiento global, mientras que la lluvia ácida destruyó las plantas y la acidificación de los océanos acabó con los organismos carbonatados. Las Traps del Decán se asentaron y entraron en erupción probablemente a través de la corteza arcaica de la Placa Índica, considerando los terrenos de la plataforma, que afloran alrededor de las fronteras de la provincia. Sus 500.000 km² presentan un área indudablemente originalmente mayor(Raja Rao *et al.*, 1978). Según algunos autores la desaparición de los dinosaurios pudo deberse a una combinación de factores, pero el impacto de Chicxulub no sería uno de ellos. De hecho, para algunos, ni una sola especie se extinguió como resultado del impacto de Chicxulub(Keller *et al.*, 2009). .

Las erupciones del Decán ocurrieron en tres fases: la primera, relativamente menor, tuvo lugar hace 67,4 millones de años y tras ella hubo dos millones de años de inactividad; la segunda y la principal fase volcánica produjo 80 % del total de magma que forma los traps. Después hubo un largo período de inactividad de unos 280.000 años y fue entonces cuando tuvo lugar la tercera fase de erupción.

3.3. Impactos de bólidos extraterrestres.

Últimamente se ha divulgado la idea de que las grandes extinciones masivas han sido provocadas por impactos de meteoritos. Esta generalización tiene su base en la evidencia de grandes cráteres de impacto en la Luna y en el descubrimiento reciente de otros en la Tierra, los cuales suelen estar erosionados, aunque se puede observar que algunos alcanzan

enormes dimensiones, y su formación implicaría una gran catástrofe. Del principio de que “efectos extraordinarios requieren causas extraordinarias” surge la idea de que las extinciones masivas requerirían una gran catástrofe provocada por el impacto de un gran meteorito. Aunque esta hipótesis parece ser cierta para el límite Cretácico/Terciario, donde el impacto de un gran meteorito está bastante bien documentado, también una gran crisis de extinción puede llegar a ser provocada por pequeños cambios en la organización de los ecosistemas, y grandes cambios pueden provocar pequeñas extinciones, dependiendo del grado de interdependencia dentro del sistema.

3.3.1.El impacto de Chicxulub.

Uno de los impactos que atrajo la atención en los últimos 25 años es la colisión del impactor de Chicxulub contra la Península de Yucatán (México). Existe una gran polémica en cuanto a la fecha, dimensiones y ramificaciones ambientales de ese impacto. Aun así, las observaciones señalan un evento verdaderamente cataclísmico (Hildebrandet *al.*, 1991).



Figura 15: cráter de Chicxulub en el golfo de México.

Este cráter impactó fundamentalmente en el mar, en una plataforma carbonatada marina, actualmente sigue en parte sumergida y en parte emergida. El cráter se vio por gravimetría en el subsuelo, como muestra la siguiente figura:

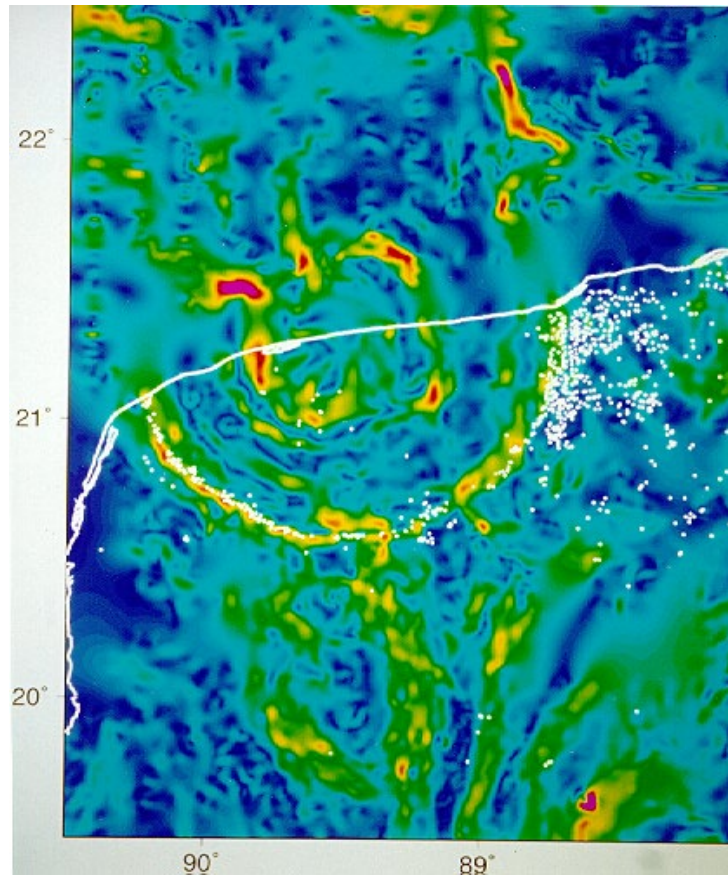


Figura 16: mapa de anomalías gravitatorias de un área del golfo de México, visto en profundidad en el subsuelo. Se aprecia una estructura peculiar con rebordes del Cráter de Chicxulub.

3.3.1.1. Evidencias a favor del Impacto de un bólido extraterrestre en el Golfo de México:

3.3.1.1.1. Cráter.

El proceso de colisión de un determinado meteorito involucra varias etapas que dan como resultado la formación de cráteres de impacto donde 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. 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).

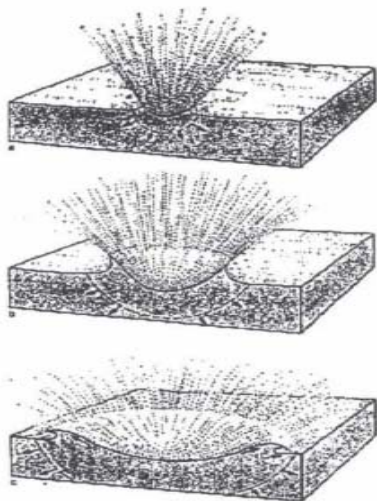


Figura 17: formación de un cráter de impacto. a) El impacto del bólido expulsa gran cantidad de material en todas direcciones. b) El paso de las ondas de choque produce una compresión muy alta de los estratos, fracturándolos y generando un brechamiento muy intenso, c) La estratigrafía se rompe por plegamientos y rompimientos. Los materiales expulsados cubren un área circular alrededor del cráter. (Carrasco-Núñez 1997).

El cráter de Chicxulub fue relacionado con la extinción en masa del límite Cretácico-Terciario, situado en la Península del Yucatán (México). La localidad Chicxulub se encuentra en el centro del cráter, de ahí su nombre. (Pardo, et al, 2009).

El lugar del cráter fue identificado en 1991 y se trataba de un cráter de impacto sepultado, con un diámetro de 180 kilómetros. Se puede apreciar claramente que es casi circular 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. Se cree que el cráter, que ahora está lleno de otras rocas, tendría una profundidad de 30-40 metros en el momento del impacto. Sin embargo, el posterior

desplome y desprendimiento de materiales de los lados pronto llenó gran parte del cráter y la sedimentación durante los últimos 65 millones de años sepultó la estructura por completo. La fuerza del impacto excavó el cráter, fracturó la roca del exterior y produjo una brecha debido a roca vítrea fundida bajo una capa masiva.

El enorme asteroide que alcanzó la Península de Yucatán hace 65 millones de años se estima que tenía 10 kilómetros de diámetro aproximadamente, y alcanzó la atmósfera de la Tierra con una velocidad de 30 kilómetros por segundo. La cantidad liberada de energía se calcula que fue de unos 100 millones de megatones, 10000 veces mayor que todo el arsenal nuclear del mundo. (Keller y Blodgett, 2007).

El cráter Chicxulub es anterior a la extinción de los dinosaurios por unos 300.000 años. Los resultados sugieren que el cráter fue perforado en la Tierra alrededor de un tercio de millón de años antes de que los dinosaurios desaparecieran (Keller, *et al.*, 2009).

3.3.1.1.2. Esférulas de vidrio.

La teoría del impacto del bólido extraterrestre como causa de extinción masiva en el límite entre los períodos Cretácico y Terciario hace 65 millones de años se planteó poco después del descubrimiento del cráter de impacto en Chicxulub. En este mismo lugar se encontraron esférulas de vidrio en los sedimentos situados debajo del límite K/T, que se asocia con la extinción masiva. La capa de esférulas marca el momento del impacto (Keller *et al.*, 2009). La gran acumulación de esférulas de vidrio se producen cuando se solidifica rápidamente roca vaporizada y un tipo exclusivo de cristales de cuarzo llamado “cuarzo de impacto” que solo se encuentra en las proximidades de los cráteres producidos por la caída de objetos extraterrestres, y también aparecía abundancia de hollín que debió producirse por el gran incendio que siguió a la caída del meteorito.

Keller y sus colaboradores encontraron nuevas pruebas de que el impacto antecedió en 300 millones de años el límite K/T y que no tuvo el efecto catastrófico que se pensaba sobre las especies. (Keller *et al.*, 2009). En la localidad mexicana de El Peñón, los paleontólogos hallaron fósiles de las mismas 52 especies en los sedimentos situados por debajo y por encima de la capa de esférulas, incrustadas en sedimentos a más de entre 4 y 9 metros de profundidad por debajo del límite K/T. Según la autora Keller, ninguna especie se extinguió como resultado del impacto de Chicxulub. También rechaza las alegaciones de los defensores de la teoría del impacto según los cuales ambos eventos están separados en el registro geológico debido a un movimiento sísmico o a un tsunami como resultado del choque del asteroide.

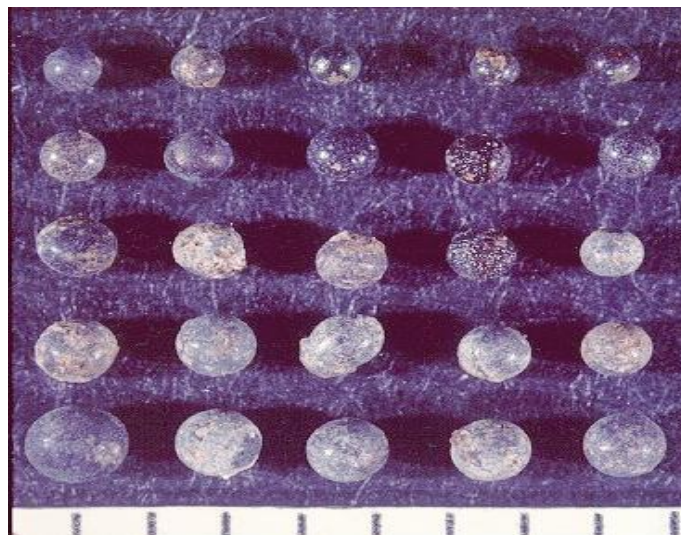


Figura 18: Esferulitas (Wyoming, EEUU).

Las esferulitas son material fundido que en su viaje por la atmósfera se convierten en esferas pequeñas durante el impacto, debido al enfriamiento.



Figura 19: capa de esferulitas en México.

3.3.1.1.3. Cuarzos de alta presión.

El cuarzo es característico de impactos meteoríticos. El impacto meteorítico dejó huellas en el registro sedimentario en todo nuestro planeta. En multitud de secciones sedimentarias, el límite K-T viene marcado por una capa arcillosa de espesor variable, y en su base se puede detectar la presencia de diversos marcadores de impacto, como abundancias anómalas de diferentes elementos químicos, especialmente de iridio y otros elementos del grupo del platino y granos de cuarzo con rasgos de deformación causados por ondas de choque de alta presión. (Villasante, M.V. 2010). Hildebrand y sus colaboradores, en 1991 (Hildebrand et al., 1991), analizaron núcleos de roca en la zona del impacto. El material de Chicxulub contenía indicaciones de un posible impacto, como cuarzo impactado, rocas fundidas y brechas de impacto.

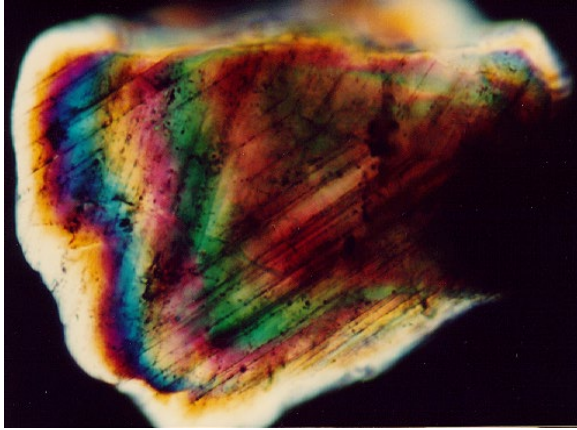


Figura 20: cristales de cuarzo deformados con textura de alta presión.

3.3.1.1.4. Tectitas.

Se han descubierto gran número de esférulas vítreas parecidas a las tectitas que se producen cuando se funden las rocas. Habitualmente se originan en las proximidades de los volcanes, pero también a efectos de impactos de meteoritos. El análisis químico descartó el origen volcánico. Alrededor del cráter de Chicxulub se han encontrado extensísimos yacimientos de tectitas, indicando claramente la zona del impacto.

El origen del impacto de tectitas ha sido cuestionado por varios investigadores que han observado algunas características volcánicas en tectitas. Las tectitas también son más secas. Mientras que las rocas fundidas por el impacto parecen rocas volcánicas, incorporan fragmentos fundidos de la roca madre, los campos de formulario inusualmente grandes e ininterrumpida, y tienen una composición química mucho más variado que los materiales volcánicos arrojados desde dentro de la Tierra. También pueden tener cantidades relativamente grandes de elementos tras, los cuales se asocian con meteoritos, como el níquel, el platino, el iridio y el cobalto.



Figura 21: nivel de "ejecta", material arrojado al espacio por el impacto, con granuloclasificación.

3.3.1.1.5. Depósitos de tsunamis.

El meteorito que provocó la extinción de los dinosaurios, de diez kilómetros de diámetro, atravesó la atmósfera terrestre a 250.000 kilómetros por hora y generó un 'tsunami' con olas de 90 metros de altura. Cuando el gran meteorito de fuego cayó sobre la península del Yucatán, en México a una velocidad de hasta 250.000 kilómetros por hora, atravesó la atmósfera en pocos segundos, generando un terremoto de magnitud 13, un tsunami con olas de hasta 90 metros de altura e inyectando a la atmósfera y a la estratosfera unos 21.000 kilómetros cúbicos de polvo y fragmentos de roca. (Alvarez et al., 1980; Hildebrand et al., 1991; Hallam y Wignall, 1997; entre otros).

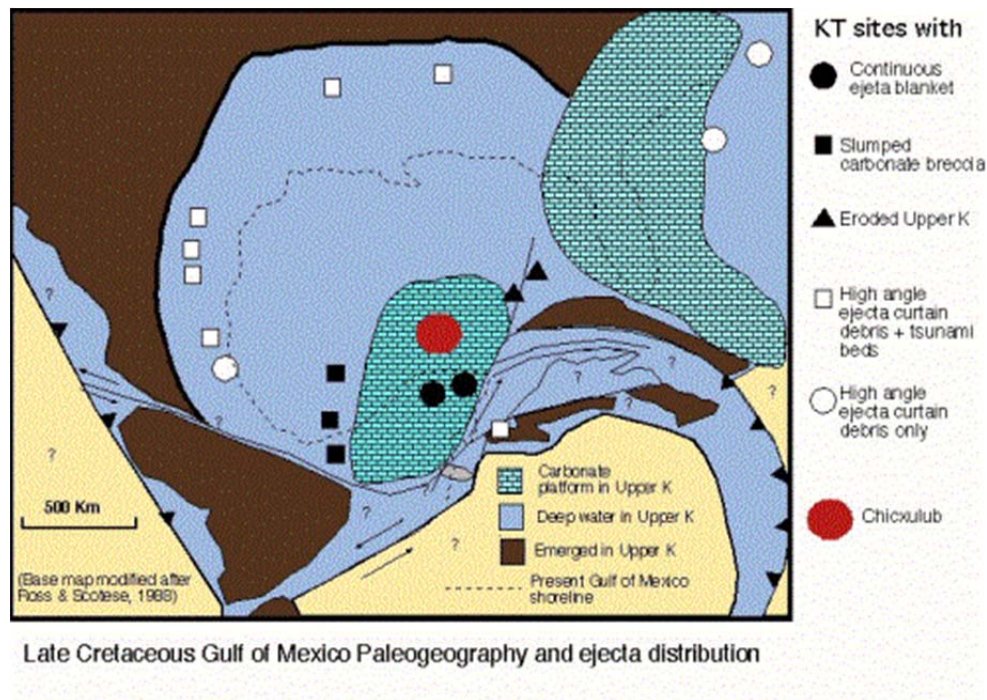


Figura 22: depósitos en el área del Golfo de México.

La figura 22 recoge un gráfico con un mapa paleogeográfico esquemático del área del Golfo de México. En esta figura se indican las evidencias que se han encontrado en los alrededores del impacto: el círculo negro se refiere a una capa continua de ejecta; el cuadrado negro a brechas afectadas por pliegues sinsedimentario o “slumps”, es decir son zonas deslizadas de brechas carbonáticas, se han deformado estratos durante el depósito de los materiales en la propia cuenca sedimentaria. El triángulo simboliza materiales del Cretácico-Superior erosionados; el cuadrado blanco son capas de derrubios con fuerte buzamiento, fuerte inclinación y depósitos de tsunamis o “tsunamitas”.

3.4. Cambios eustáticos y paleogeográficos.

Los cambios del nivel del mar, la deriva de los continentes y la distribución de tierra y mares influyen en las extinciones, y se pueden analizar como posibles causas, ya que cierran múltiples ecosistemas y espacios, por

tanto desaparecen hábitats, que son medios muy prolíficos en la vida, como por ejemplo las plataformas continentales. Los cambios en el nivel del mar se producen debido al movimiento de grandes volúmenes del agua de los océanos hacia las capas de hielo, y viceversa (Lambeck *et al.* 2002).

Estos movimientos son el resultado de las oscilaciones entre glaciares y los niveles del mar bajo condiciones climáticas interglaciales, y se ha comprobado científicamente que el nivel del mar estaba 140 metros por debajo de lo que está en la actualidad. (Lambeck *et al.* 2002).

Los cambios regionales del nivel del mar se pueden aproximar usando las fluctuaciones del nivel del mar a nivel mundial, que son a su vez usualmente derivadas de los estudios de isótopos de oxígeno (Chappell y Shackleton, 1986).

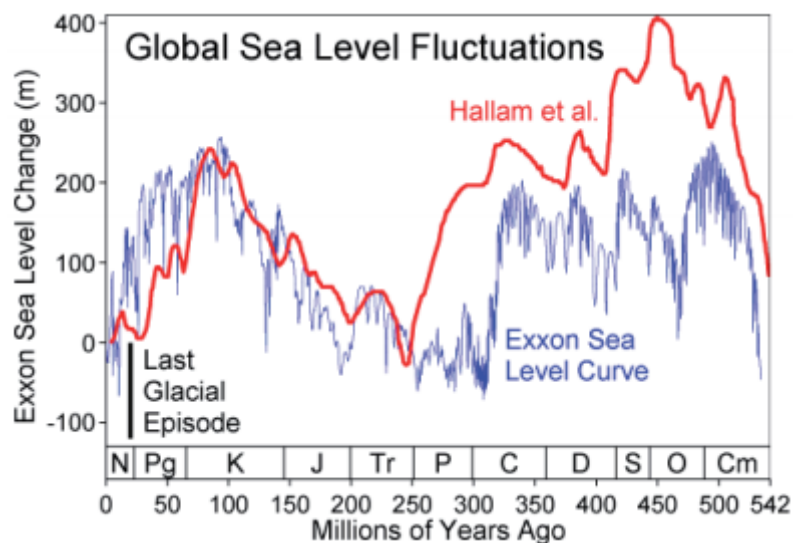


Figura 23: Fluctuaciones del nivel del mar. Comparación de las variaciones globales del nivel del mar a lo largo del Fanerozoico realizadas mediante técnicas diferentes.

Cuando hay un máximo glacial, el nivel del mar está bajo, es decir, donde hay un máximo glacial se da un mínimo eustático. Eustatismo es cambio del nivel del mar a escala global.

4. EXTINCIÓN MASIVA ACTUAL.

Cada una de las grandes catástrofes biológicas y su seguida evolución de nuevas formas de vida, cambiaron enormemente la Tierra hasta llegar al actual dominio del ser humano: ¿Vamos hacia una sexta extinción masiva? Muchos científicos responden a esta pregunta con un "sí", como en el caso de Crutzen y Stoermer(2000) y de Ashraf (2008). Se ha argumentado sobre el tema de que las especies están programadas 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. Tanto la muerte de las células como de las especies son una parte normal de la vida y de la evolución, de tal manera que todos los organismos contienen las semillas genéticas de su propia autodestrucción. ¿Estamos los seres humanos genéticamente programados para nuestra propia destrucción? Los seres humanos y sus predecesores han acelerado la pérdida de la biodiversidad de nuestro planeta en una sexta extinción masiva global. Paleontológicamente, es un acontecimiento nuevo para una extinción en masa, la cual se atribuye a una única especie, pero la evolución y expansión de los seres humanos ha creado circunstancias únicas. Mientras que los comportamientos relacionados con la sociedad humana pueden estar vinculados a las extinciones específicas, el patrón global de la pérdida de biodiversidad está rotundamente asociado con el descomunal crecimiento del tamaño y la densidad de nuestra población. Las perspectivas de las continuas pérdidas de especies vegetales y animales siguen siendo probables si la población humana sigue creciendo.

La destrucción del 70 % del mundo natural en 30 años, que sería el colapso de la sociedad humana en muchos países, es la previsión de un elaborado informe de una multitud de científicos. Esta catástrofe eliminará especies, principalmente en las zonas costeras, que es donde se concentra mayor parte de los hábitats humanos. Los bosques seguirán desapareciendo a

una enorme velocidad y el 10 % de la tierra capacitada para producir alimentos se perderá por la degradación del suelo. Más del 50 % del planeta sufrirá escasez de agua, con el 95 % de la población en Oriente Medio y el 65 % de la del resto de Asia y el Pacífico con serios problemas. Mientras tanto, las costas mediterráneas soportarán especiales presiones causadas por el crecimiento urbano, tratamiento inadecuado de aguas residuales, turismo y cultivos intensivos (Brown, 2002).

5. Referencias

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

Alvarez, 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.

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

Becker, L., Poreda, R.J., Hunt, A.G., Bunch, T.E., Rampino, M.(2001). "Impact Event at the Permian-Triassic Boundary: Evidence from Extraterrestrial Noble Gases in Fullerenes". *Science*,291-1530.

Brand, U.,Posenato, R., Came, R., Affek, H., Angiolini, L., Azmy, K.,Farabegoli, E. (2012). "The end-Permian mass extinction: A rapid volcanic CO₂ and CH₄ climatic catastrophe". *ChemicalGeology.Elsevier*, 322, 323: 121-144

Broszimmer, F.J. (2005). "*Ecocidio: Breve historia de la extinción en masa de las especies*". Laetoli, Paamplona, 318 pp.

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

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.

Chappell, J., Shackleton, N.J. (1986). Oxygen isotopes and sea level. *Nature* 324:137-140

Copper, P. (1986). "Frasnian/Famennian mass extinction and cold-water oceans". *Geology*, 14: 835-839.

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

Farley, K. A., Mukhopadhyay, S. (2001). "An Extraterrestrial Impact at the Permian-Triassic Boundary?" *Science*, 293, 2343.

Fernández, E. (2010). "Construyendo una nueva vision de la historia de la Vida". *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1132-9157: 60-73.

Glikson, A.Y, Uysal, I.T., Fitz-Gerald, J.D., Saygin, E. (2013). Geophysical anomalies and quartz microstructures, Eastern Warburton Basin, North-east South Australia: Tectonic or impact shock metamorphic origin?. *Tectonophysics*, 589: 57-76.

Hallam, A. y Wignall, P.B. (1997). *“Mass Extinctions and their aftermath”*. Oxford University Press, 328 pp.

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

Joachimski, M.M. y Buggisch, W. (1993). Anoxic events in the late Frasnian—Causes of the Frasnian-Famennian faunal crisis?. *Geology*, 21: 675-678.

Kaiho, K., Yatsu, S., Oba, M., Gorjan, P., Casier, J.G., Ikeda, M. (2013). “A forest fire and soil erosion event during the Late Devonian mass extinction”: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Elsevier, 392: 272-280. Japón.

Keller, E. y Blodgett, R. (2007). *“Riesgos naturales: procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes”*. Pearson Prentice Hall. 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, Paleoeecology*, 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.

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.

Mukhopadhyay, S., Farley, K.A., Montanari, A.(2001). "A Short Duration of the Cretaceous-Tertiary Boundary event: Evidence from Extraterrestrial Helium-3". *Science*, 291:1952-1955.

Orth, C. J. (1989). "Geochemistry of the bio-event horizons". In Donovan SK (ed) "*Mass Extinctions – Processes and Evidence*". Columbia University Press, 266 pp.

Pardo, A., Keller G., Adatte T. (2009). "Extinciones y evolución de la vida". *Ciencia y desarrollo*, Noviembre 2009: 33-57.

Prothero, D. R. (1998) "*Bringing fossils to life: An introduction to paleobiology*". WCB/McGraw-Hill, USA, 560 pp

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.

Raup, D. M. y Sepkoski, J.J. (1982). "Mass extinctions in the marine fossil record". *Science*, 215: 1501-1503.

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

Rosbach, T.J. y Hall, J. C. (1998). The Upper Devonian (Frasnian-Famennian) extinction event in the Catskill Delta of Virginia and West Virginia. *Geological Society of America*, Field Trip Guidebook, 35p.

Sallan, L.C. y Coates, M.I. (2010) "End-Devonian extinction and a bottleneck in the early evolution of modern jawed vertebrates"*Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, PNAS, 107:10131-10135.

Sepkoski, J.J. (1984). "A kinetic model of Phanerozoic taxonomic diversity. III. Post-Paleozoic families and mass extinctions".*Paelobiology*, 10: 246-267.

Sepkoski, J.J. (1989). Periodicity in extinction and the problem of catastrophism in the history of life.*Journal of the Geological Society of 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). "Calibrating the End-Permian Mass Extinction". *Science*, 334, 1367.

Villasante, V., Martínez, F., Osete, M.L., Lamolda, M.A. (2010). "The Cretaceous-Tertiary boundary in the Iberian Peninsula marine record: meteoritic impact phases, diagenesis and paleoenvironmental effects deduced from rock magnetism", *Física de la Tierra*, 22: 81-124.

Weihsaupt, J.G. (1976) "The Wilkes Land Anomaly: Evidence for a possible hypervelocity impact crater". *Journal of Geophysical Research*, 32: 5651-5663.