



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Una mirada Geofísica de la
estructura geológica que
definió la extinción de los
dinosaurios**

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de

Ingeniero Geofísico

P R E S E N T A

Javier Enrique Salazar Bejarano

ASESORA DE MATERIAL DIDÁCTICO

Dra. Iza Canales García



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, mi fuerte y afilada espada, con la cual pude llegar hasta donde estoy ahora, gracias por apoyarme y darme la fuerza para salir adelante, gracias por tu lucha constante, tú valor y tú coraje, por nunca darte por vencida, gracias a ti soy quien soy ahora, y creo ser capaz de convertirme un día, en un gran ser humano del cual hacerte sentir orgullosa, y por ello solo puedo decirte, gracias por estar aquí, madre, gracias.

A mi padre, mi gran y poderoso escudo y mi ejemplo a seguir, diste todo el fuego de tu corazón para protegerme y acompañarme hasta donde pudiste, siempre estaré agradecido de tener la dicha de ser el hijo del mejor hombre que haya conocido, gracias padre. †

A mi hermana, tu eres mi mochila de aventurero, y sin ti, no habría podido llegar donde estoy ahora, gracias por ser mi hermana.

A mi abuelita Gloria, gracias por siempre poner tener tu fe en mí.

A mis amigos y compañeros de trinchera, Gaby, Manuel, Gabs, Afedo, Cristóbal, tío Dhiter, Naye, Erick y el Belmont, que no hicieron más que apoyarme, compartir risas y hasta sufrimiento a lo largo de este ajetreado camino, siempre estaré agradecido de haberlos conocido, gracias por todo.

A Clau, Ate, Fercho, Bryan y Antonio, mis amigos y mi familia, no pude haber deseado mejor compañía en esta etapa de mi vida, gracias por lo más valioso que me dieron, su tiempo y su compañía, se los agradezco con toda mi alma.

Índice

AGRADECIMIENTOS.....	2
RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.2 EL LÍMITE K/T Y SU IMPORTANCIA EN EL DESARROLLO DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA ACTUAL.....	9
1.2.1 LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA DEL CRETÁCICO.....	9
2. MARCO TECTÓNICO.....	11
2.1 LOCALIZACIÓN.....	11
2.2 CLIMA.....	12
2.3 GEOLOGÍA.....	13
2.4 FISIOGRAFÍA.....	15
2.5 DISTRIBUCIÓN CONTINENTAL.....	16
2.6 TEORÍAS DEL IMPACTO.....	17
2.6.1 IMPACTO K/T.....	17
2.7 CRÁTER CHICXULUB.....	18
3. TEMPERATURA Y LA EVOLUCIÓN HACIA LOS DINOSAURIOS.....	20
3.1 EVOLUCIÓN DEL PRIMER DINOSAURIO.....	22
4. EL METABOLISMO DE LOS DINOSAURIOS.....	24
4.1 RESULTADOS DEL CAMBIO DEL METABOLISMO.....	25
4.2 SISTEMA CARDIOVASCULAR.....	26
4.3 ALIMENTACIÓN Y DIGESTIÓN.....	28
4.4 SISTEMA RESPIRATORIO.....	31
4.5 POSTURA.....	33
4.6 ESTRUCTURA ÓSEA.....	34
5. LA TERMODINÁMICA: CAUSANTE DE LA DIFERENCIACIÓN ENTRE MAMÍFEROS, LAS AVES, REPTILES Y LOS DINOSAURIOS.....	37
5.1 VERTEBRADOS.....	38
5.2 MAMÍFEROS.....	38
5.3 REPTILES.....	43

5.4 REPTILES PEQUEÑOS	47
5.5 DINOSAURIOS	51
5.6 CAMINO DE LOS DINOSAURIOS HACIA LAS AVES	55
5.7 PTESAURIOS.....	56
5.8 LAS AVES.....	57
6. EXTINCIÓN, EL IMPACTO DEL CHICXULUB: UNA MIRADA DESDE LA GEOFÍSICA.....	60
6.1. TEORÍAS DE LA EXTINCIÓN	60
6.2 CRÁTER CHICXULUB.....	64
6.3 MODELOS GEOFÍSICOS	65
6.3.1 MODELOS MAGNETOMÉTRICOS.....	65
6.3.2 MODELOS GRAVIMÉTRICOS	69
6.3.3 MODELOS SÍSMICOS	72
7. CONCLUSIONES.....	81
REFERENCIAS.....	83

RESUMEN

El cráter Chicxulub es una estructura de gran relevancia en la historia del planeta Tierra debido al impacto de un meteorito con la superficie, lo que provocó uno de los mayores eventos de extinción y el límite entre dos eras geológicas, el Cretácico y el Paleógeno.

El impacto y sus consecuencias son los causantes de la desaparición de los seres más grandes que habitaron en la faz de la Tierra, los dinosaurios, pero, a su vez, fue el precursor del mayor éxito biológico que perdura hasta nuestros días, los mamíferos.

A través de la geofísica, en conjunto con otras áreas como la biología y la termodinámica, se busca correlacionar ese éxito evolutivo en los mamíferos, con lo sucedido en el pasado, y demostrar los procesos que hicieron exitosos en su periodo a los dinosaurios.

El análisis abarcara, desde la gran extinción del periodo Pérmico, que posee características similares a lo sucedido por el meteorito en Chicxulub y dio paso a muchos cambios en el ambiente mayormente ligados a la temperatura, cambios en la distribución la energía como metabolismo y sus consecuencias como cambios fisiológicos y biológicos.

ABSTRACT

The Chicxulub crater is a structure of great relevance in the history of planet Earth due to the impact of a meteorite with the surface, causing one of the largest extinction events and the boundary between two geological eras, the Cretaceous and the Paleogene.

Being the cause of the disappearance of the largest beings that inhabited the face of the Earth, the Dinosaurs, but, in turn, was the precursor of the greatest biological success that lasts to this day, the mammals.

Through geophysics, together with other areas such as biology and thermodynamics, the aim is to correlate that evolutionary success in mammals, with what happened in the past, and demonstrate the processes that made the dinosaurs successful in their period.

The analysis will cover from the great extinction of the Permian period, which has characteristics similar to what happened with the Chicxulub meteorite and gave way to many changes in the environment mainly linked to temperature, changes in the distribution of energy as processing and its consequences as physiological and biological changes.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata de analizar desde el punto de vista geofísico y termodinámico un evento clave para la evolución de la vida sucedido en el Periodo Cretácico, esto a partir de una estructura geológica que, por sus características, marcaría un antes y un después para cualquier organismo en la faz de la Tierra.

La estructura anteriormente mencionada lleva por nombre cráter del Chicxulub, formada hace aproximadamente 65 millones de años, fue generada a partir del impacto de un meteorito en lo que actualmente son las costas de la península Yucatán.

Este evento fue de tal magnitud que, puede ser observado en el registro estratigráfico a nivel global y por lo tanto, sus consecuencias se dispondrían a este mismo nivel, y a su vez, es de gran importancia debido a que representa el fin de la era Mesozoica y el inicio de la era Cenozoica.

Analizar este evento a partir de algunos procesos que pueden ser inferidos por distintos métodos geofísicos, además de sus consecuencias y repercusiones en ciertas especies, de las cuales se discutirán sus transformaciones biológicas relacionadas con la temperatura, para determinar si es posible que, un evento meteórico pueda determinar el éxito o la extinción de las especies y ser un factor crucial en un nuevo camino de la vida en la Tierra.

Este trabajo de investigación va dirigido a los estudiantes de ingeniería geofísica con el fin de aportar una perspectiva distinta a lo que generalmente se ve en la carrera, otro punto de vista con el que, se busca inspirar a desarrollar y abarcar terrenos que la geofísica no ha explorado, si bien, no podemos resolverlo todo con geofísica, ver la forma de integrarse con distintas ciencias, como para el caso concreto, la ciencia de la biología, la ciencia de la termodinámica y aplicación de las leyes físicas, para interrelacionar todo el conocimiento de ellas, para recrear o inferir el pasado, y con ello, llevar más en alto la geofísica e ingeniería.

1.1 OBJETIVOS

Generar un documento que, centrándose en los procesos observados en estructuras geológicas, ayude a entender el éxito evolutivo de los dinosaurios durante el Mesozoico y los procesos que desencadenaron su extinción, haciendo énfasis en sus características termodinámicas.

Aportar material que sirva de apoyo y motive a los estudiantes a enfocar e incluir distintas áreas de estudio para la resolución de problemas en las Ingenierías de Ciencias de la Tierra.

1.2 EL LÍMITE K/T Y SU IMPORTANCIA EN EL DESARROLLO DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA ACTUAL

1.2.1 LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA DEL CRETÁCICO

Todo comenzó a partir de un gran evento termodinámico sucedido en el pasado, aproximadamente hace 250 millones de años, en el cual ocurrió una gran extinción masiva a finales del periodo pérmico [Sahney, S., y Benton, M., 2008], también conocida como la Gran Mortandad, que fue el causante de la desaparición de la mayor parte de organismos en la Tierra, aproximadamente un 95% de los animales marinos y el 80% de los animales terrestres [Ogden, D. y Sleep, N., 2011], además marca el fin de la era Paleozoica y el inicio de la era Mesozoica.

A partir de este evento y a lo largo de la era Mesozoica, los organismos supervivientes como algunas clases de Sinápsidos (ancestros de los mamíferos) y Saurópsidos (ancestros de los reptiles y dinosaurios) se desarrollarían e iniciarían una gran expansión, en especial una clase particular de Saurópsidos, los Arcosaurios.

Durante el final del periodo Triásico, el Jurásico y el Cretácico, la especie dominante en el planeta Tierra eran los seres gigantes denominados dinosaurios, seres muy prósperos que se diversificaron a todos los nichos biológicos existentes debido a sus características fisiológicas ancestrales [Desmond, A., 1992] y las nuevas adaptaciones en sus cuerpos, siendo el grupo de organismos de mayor desarrollo y presencia a lo largo del planeta en ese periodo.

A su vez, los descendientes de los Sinápsidos, se desarrollarían en mucha menor medida a la sombra de los dinosaurios, por lo que, para sobrevivir se adaptaron a los nichos inaccesibles, evolucionando en seres muy pequeños, aproximadamente del tamaño de un ratón [Desmond, A., 1992].

Los nichos biológicos del periodo Triásico, consistían de las grandes llanuras y pantanos, estos empezaban a desaparecer debido al aumento de temperatura global, lo cual

produciría una nueva clase flora a inicios del periodo Jurásico, por lo que la gran variedad de helechos tuvieron un gran descenso para dar paso a las plantas con semillas, cícadas y bosques de coníferas [Diéguez, C., 2004] por último, destacando el surgimiento de las primeras plantas con flores en el periodo Cretácico superior como sugiere Bakker, R. [1978].

En el medio acuático, como océanos, lagos, y pantanos, los reptiles como tortugas, ranas y serpientes, además de algunas clases de dinosaurios acuáticos proliferaban y llenaban estos nichos.

Pero en algún punto y sellando el fin del periodo Cretácico, un evento de extinción masiva marcaría la faz de la Tierra y de los organismos que la habitaban, el impacto de un meteorito en las costas de la actual península de Yucatán, con ello, desaparecerían aproximadamente al 80 % de los organismos tanto en superficie como en el océano [Longrich, N. et al., 2012].

Aquí es donde los pequeños descendientes de los Sinápsidos, los mamíferos, tendrían una segunda oportunidad para desarrollarse, gracias a las adaptaciones de estos pequeños seres y ventajas con las ya contaban, la evolución forzada debido al impacto dio paso, miles de años después, al auge de estos organismos, que, destacaría hasta nuestros días por ser la más diversa y prospera de lo que ninguna especie lo fue antes.

2. MARCO TECTÓNICO

2.1 LOCALIZACIÓN.

Ubicada en el sureste de México, en el litoral del Golfo de México, la Península de Yucatán se encuentra entre los $18^{\circ}50'42''$ N y los $89^{\circ}7'32''$ W, delimita hacia el sureste con el estado de Quintana Roo, al norte con el Golfo de México, y al suroeste con el estado de Campeche [Durán R. y M. Méndez, 2010].

El cráter del Chicxulub se encuentra entre los $21^{\circ}24'0''$ N, $89^{\circ}31'0''$ W. Como se puede ver en la figura 1 y 2.



Figura 1. Tomada de Google Earth. Ubicación de la península de Yucatán.

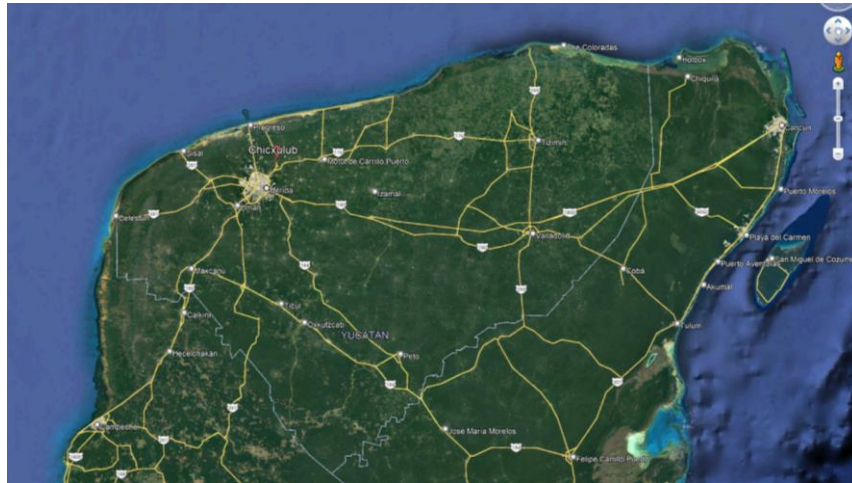


Figura 2. Tomada de Google Earth, Ubicación del pueblo del Chicxulub, lugar considerado el más próximo al centro del cráter.

2.2 CLIMA

El estado de Yucatán abarca una variedad de climas cálidos, que van desde los climas secos semiáridos como son BS_0 y el BS_1 , los cálidos AW_0 , AW_1 , y los cálidos húmedos como AW_2 . Todos con periodos de lluvias en verano y en invierno [Orellana R. et al., 2010]. La escala de colores se aprecia en la figura 3.



Figura 3. Tomado de García y Graniel, [2010]. Clasificación climática basada en la clasificación de Köppen de la península de Yucatán.

2.3 GEOLOGÍA.

La península de Yucatán es una planicie de sedimentos calcáreos marinos, en su mayoría está compuesta por calizas, evaporitas y dolomitas [García y Graniel, 2010].

Las formaciones que se encuentran dispuestas a lo largo de la península son las siguientes y se aprecian en la figura 4:

Formación Paleoceno-Eoceno

Calizas compactas cristalinas de variedades de colores claros, se encuentran silicificadas y dolomitizadas, sin rastro de fósiles, con un espesor aproximado de 350 m. Esta formación aflora en la sierra Ticul y, además, dispone de un eje compuesto por calcarenitas rojizas de grano fino y fragmentos de organismos fósiles marinos y terrestres [Isphording, 1975].

Formación Chichén Itzá

Esta formación está dividida en dos miembros por la variación litológica observada: Pisté y Chumbec.

El miembro Pisté, contiene calizas amarillas a blancas con gran cantidad de microfauna y algas calcáreas, correspondiente al Eoceno Medio.

El miembro Chumbec, contiene calizas masivas que tienden al color blanco cristalino, correspondiente al Eoceno Superior. [García y Graniel, 2010].

Formación Oligoceno (no diferenciado)

Agrupación de distintas clases de rocas sin una clasificación particular, compuestas desde margas de colores blancas a grises, con intercalaciones de arcillas y presencia de calizas. [García y Graniel, 2010].

Formación Carrillo Puerto

Compuesta en su mayoría por calizas y calizas con meteorización de espesores de cientos de metros, la presencia de fracturas abundantes permiten que esta formación posea una alta porosidad y permeabilidad, convirtiéndola en una unidad hidrogeológica o acuífero, intercalan algunos estratos de coquinas y arcillas lateríticas. Butterlin, [1958] sugiere que esta formación corresponde al Mioceno Superior [García y Graniel, 2010].

Formación de calizas Conquíferas

Agrupación de calizas masivas de colores claros de espesores de decenas de metros. Presentan gran porosidad y permeabilidad debido a fracturas. Esta formación corresponde al Pleistoceno y Holoceno. [García y Graniel, 2010].

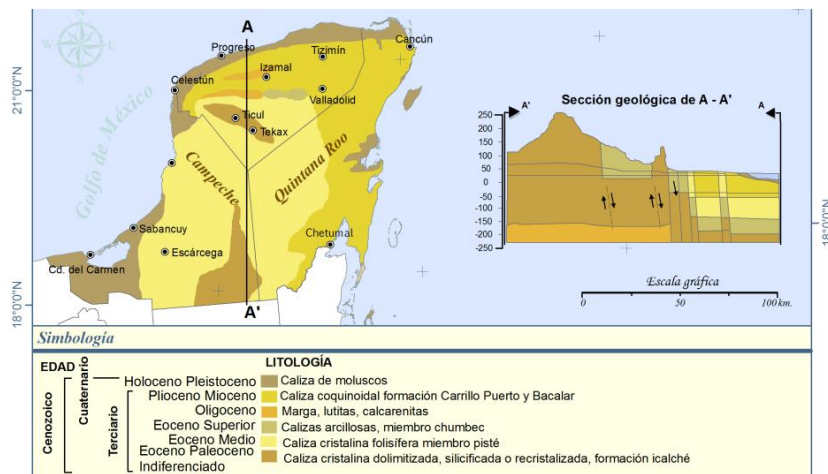


Figura 4. Tomado García y Graniel, [2010]. Clasificación litológica y sección geológica de la Península de Yucatán.

2.4 FISIOGRAFÍA

De acuerdo con Ramos E. [1973], la Península de Yucatán, puede dividirse en tres regiones principales, esta amplia planicie Mérida-Valladolid-Puerto Juárez, comprende la parte norte de la península. Desde la Sierrita de Ticul hasta el Golfo de México, se extiende con una pendiente suave de norte a sur, elevándose sólo unos cuantos metros sobre el nivel del mar.

- La primera unidad, es la planicie de la zona norte de la península, abarca desde la Sierra Ticul hasta el Golfo de México
- La segunda unidad, hacia la zona sur de la península, se observan un conjunto de lomas con orientación NW-SE de distintas alturas que van desde 50 hasta 150 m, que contrasta con la planicie antes mencionada
- La tercera unidad está dispuesta en la zona central de la península, con orientación hacia el SW, se dispone una planicie ligeramente rugosa orientada de norte a sur.

2.5 DISTRIBUCIÓN CONTINENTAL

La distribución de la superficie terrestre en la escala geológica del Eón fanerozoico, abarca desde los 542 hasta los 145 millones de años, entre los cuales se dispondría de una serie de conjuntos de Tierra que pasarían por varios procesos de fracturas, rompimientos, colisiones y movimientos tectónicos, dando paso a la unión de estos bloques, formando lo que actualmente se conoce como el supercontinente de Pangea (figura 5).

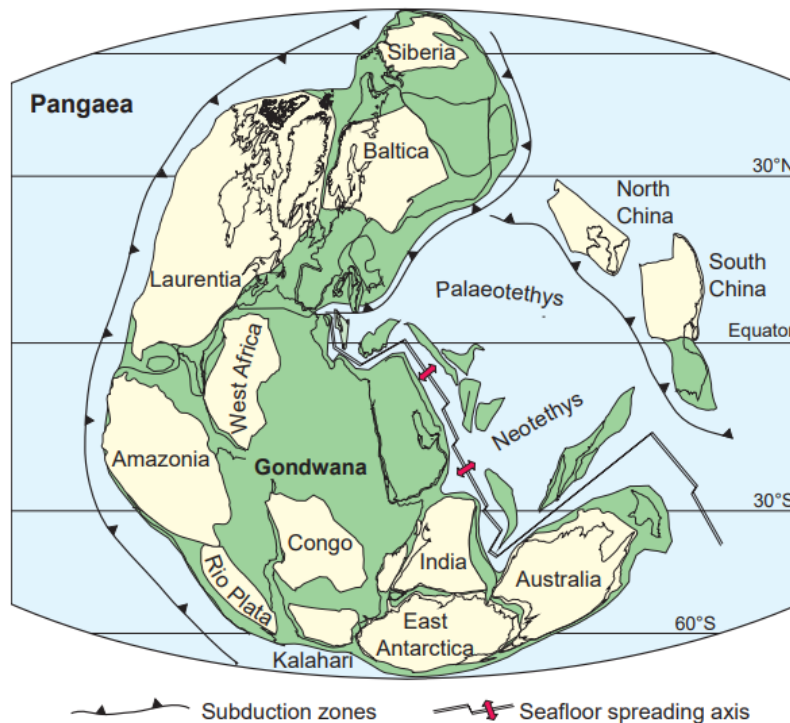


Figura 5. Tomado de Trond H, [2003]. Distribución aproximada de supercontinente Pangea en el periodo Pérmico tardío.

Como sugiere Trond H, [2003], Pangea se comenzó a formar hace 330 millones, debido a nuevos factores, como el aumento de temperatura del núcleo de la Tierra, la formación de nueva corteza y movimiento de las placas tectónicas.

Von Frese [2005] menciona la posibilidad de que, un impacto meteórico sucedido en el actual cráter de Wilkes, influyera en el adelgazamiento y fractura de la corteza en la Antártida y Australia, el cual facilitaría y terminaría por separar estas regiones.

2.6 TEORÍAS DEL IMPACTO

2.6.1 IMPACTO K/T

El límite K/T o también denominado límite Cretácico-Paleógeno (K/Pg), es un evento observable como una capa de roca en el horizonte estratigráfico, a su vez, cobra gran importancia debido a las implicaciones que conlleva.

La teoría se basa en el impacto de un meteorito en las costas de lo que hoy en día es el estado de Yucatán, en México.

También llamado impacto K/T, un cuerpo meteórico de aproximadamente 10 km de diámetro colisionó en la superficie de la Tierra, hace 65 millones de años [Dieusaert T., 2001].

Este evento, desencadenaría los procesos termodinámicos, sísmicos, atmosféricos y posiblemente también volcánicos, provocando un aumento de temperatura y luego un enfriamiento global, a su vez, iniciando una extinción masiva en la Tierra, con la desaparición de aproximadamente el 80 % de las especies existentes [Longrich, N. et. al., 2012].

Este posible impacto podría ser la causa de una de las mayores extinciones sucedidas en la Tierra, matando a los exitosos dinosaurios y la mayoría de los organismos vivientes y a su vez, forzando a los pocos organismos a adaptarse y evolucionar rápidamente para

así, poder sobrevivir a las nuevas condiciones de los nichos biológicos, resultando en el auge y éxito de los seres que conocemos actualmente como mamíferos [Desmond, A., 1992].

Este evento a su vez, señala y delimita las eras geológicas, poniendo fin a la era Mesozoica e iniciando el periodo Cenozoico.

El cráter del Chicxulub es: “la única estructura de impacto terrestre conocida que ha estado directamente relacionada con un evento de extinción masiva” además de que es “la única estructura de impacto terrestre con una capa de eyección a nivel global” [Gulick, S., et al. 2013, p. 33.].

2.7 CRÁTER CHICXULUB

Ubicación:

Ubicado al noroeste de la península de Yucatán, en México, al oriente del puerto de Progreso.



Figura 6. Tomada de: Chicxulub, el cráter de la muerte [Dieusaert T., 2001]. Ubicación geográfica regional del cráter Chicxulub.

Descubierto a mediados de 1970, a través de la búsqueda de yacimientos de petróleo con métodos geofísicos para la empresa Petróleos Mexicanos (PEMEX), Antonio Camargo Zanoguera, Glen Penfield y colaboradores, descubren una estructura anillar que sugeriría una huella de impacto y tendría su centro aproximadamente en lo que se conoce como el pueblo de Chicxulub en Yucatán. [Urrutia-Fucugauchi et al. 2011].

Como sugieren Schulte et al. [2010] este impacto puede relacionarse gracias a los restos geológicos-estratigráficos de una capa delgada de arcilla denominada límite K-Pg, que contiene altos niveles de iridio metálico, el mineral más rico dispuesto en los asteroides y meteoritos (ver figura 7).

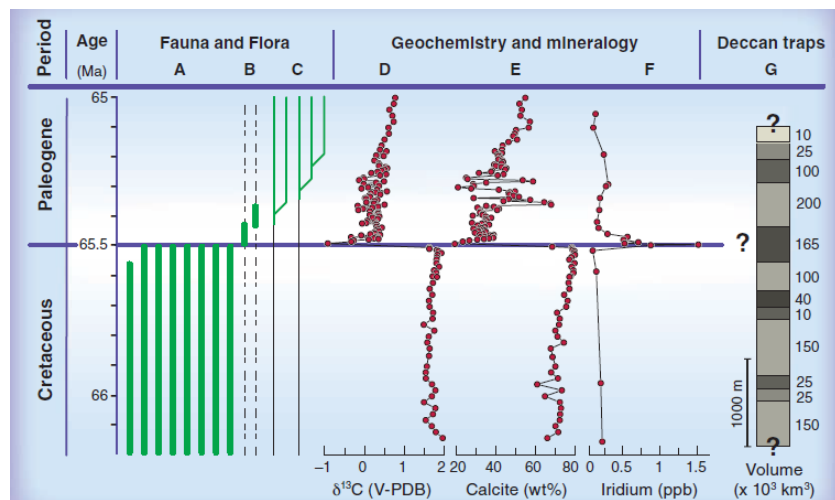


Figura 7. Tomada de Schulte, et al., [2010]. Nótese los niveles altos de iridio a finales del Cretácico asociados a un evento de impacto meteórico y surgimiento de nuevas especies tanto flora como fauna (b)(c).

3. TEMPERATURA Y LA EVOLUCIÓN HACIA LOS DINOSAURIOS

La evolución biológica, es el proceso por el cual los organismos pasan la información genética a la siguiente generación gradualmente con el pasar del tiempo [Kutschera, U. y Niklas, K. 2004], con el fin de lograr la perpetuación de la especie.

Todos los organismos que existen en la Tierra, evolucionaron porque en algún punto del tiempo, algo cambio el sistema/ambiente que los rodeaba, en la mayoría de los casos, la temperatura del ambiente es un factor clave o precursor de este proceso.

Podemos observar un gran cambio termodinámico en la historia geológica de la Tierra hace 251 millones de años, el cual dio paso al evento conocido como la gran extinción masiva a finales del periodo Pérmico [Sahney, S., y Benton, M., 2008]

Las causas de este evento aún se encuentran en discusión, se sugieren como probables desencadenantes una gran actividad volcánica, la caída de un meteorito, movimiento de las placas continentales o una combinación de dichos eventos [NASA, 2002].

Con estas hipótesis, se puede destacar que, todas abarcan o generarían un aumento de temperatura, un calentamiento global que, sería el desencadenante de una nueva evolución y la diversificación de nuevas especies sobrevivientes.

Una de las consecuencias compartidas de las hipótesis sería el denominado “efecto invernadero”, el cual se produce una acumulación de gases nocivos en la atmósfera, ocasionando un tipo de sistema de aislamiento tanto hacia dentro como fuera de la atmósfera.

A partir de este efecto invernadero, por miles de años, la Tierra tendría un aumento de temperatura (ver figuras 8) y pudiendo hablar de una estabilización, el cual podemos ver como detonante para que el clima en la Tierra fuera apto para el desarrollo de nuevos nichos biológicos y de los organismos que los habitaban.

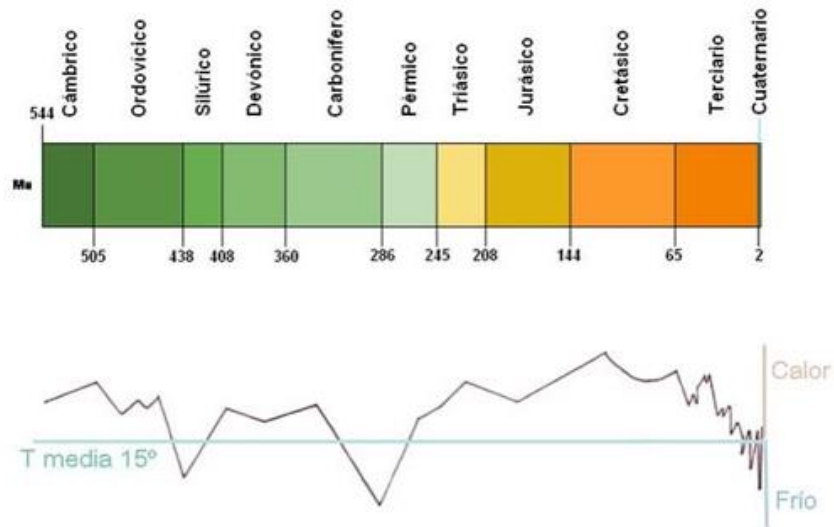


Figura 8. Cambio de temperatura a través de las eras geológicas, la temperatura se mantuvo relativamente constante a partir del final del periodo Pérmico, hasta finales del periodo Cretácico. Eva Medeiros. (s.f.), “Evolución del clima.” UNESCO. Tomado de http://www.ccpems.exactas.uba.ar/CDs/CDTierra/contents/1_histo_tierra/hist_tierra_home.htm

3.1 EVOLUCIÓN DEL PRIMER DINOSAURIO

El clima sufría un gran cambio debido a la nueva estabilización después de miles de años, ya no había cambios radicales de temperatura (heladas u oleadas de calor), lo que causó que todos los organismos con las condiciones necesarias pudieran desarrollarse.

Los nichos pantanosos a lo largo de la Tierra empezaron a secarse [Desmond, A., 1992] además, la Pangea comenzaba a fracturarse originando nuevos biomas y climas, la protección del agua y alimento comenzaron a escasear en los antiguos nichos provenientes del Pérmico, por lo que la competencia se hizo más dura entre los seres existentes.

En este intervalo de tiempo es donde empieza el desarrollo de los primeros dinosaurios, a una clase particular de descendientes de los antiguos Arcosaurios, se les asignó el término de Thecodontia o Tecodontes, surgidos a finales del periodo Pérmico, es un animal con características parecidas a un cocodrilo, caminaba en cuatro patas, con un hocico largo y puntiagudo (ver figura 9), dientes con alveolos (huecos en el hueso donde solía estar el diente) y con un tamaño aproximado a unos 90 centímetros de largo y en el cual destaca, como su representante principal, el Euparkeria, [Desmond, A., 1992].



Figura 9. Silueta de como debió verse un Tecodonte. (Propia Autoría)

En el periodo del Triásico temprano, este pequeño ser vivía junto con ancestros de los cocodrilos (arcosaurios) y otros seres vivos acuáticos-terrestres (ancestros de tortugas) y con otros parecidos a hipopótamos (sinápsidos).

Los Tecodontes contaban con ventajas que había heredado como seres acuáticos, destacan unas fuertes patas traseras y una cola musculosa, [Desmond, A., 1992] esta adaptación resulto excelente ya que, en tierra, el desplazamiento y migración fue lo que hizo que tuvieran tanto éxito.

En este punto el Euparkeria y sus descendientes se encontraron con nuevos nichos prácticamente vacíos, la tierra era un nuevo lugar sin explorar y con pocos rivales, no había grandes depredadores y la cantidad de alimento crecería debido al aumento de fauna, por lo que las manadas de Tecodontes se dispersaron por casi toda la Pangea [Desmond, A., 1992].

Se cree que, de este animal, surgieron los dos grupos hacia los dinosaurios, los Tecodontes que se especializaron para ser herbívoros y los que se convertirían en los grandes carnívoros.

Por los fósiles sabemos que los Tecodontes tenían una característica peculiar, comenzaban a caminar erguidos (no eran totalmente bípedos) ya que varios de ellos mostraban que las patas delanteras más pequeñas en relación con las traseras [Desmond, A., 1992].

Estos Tecodontes, al reaccionar al cambio del clima y su nicho, habrían de haber mejorado su metabolismo para producir un alto nivel de energía y mantener un desplazamiento constante y veloz, esto a su vez requeriría de una manera eficiente de almacenamiento y uso de la energía [Desmond, A., 1992].

Para esto, ellos empezaron a adaptar o evolucionar su metabolismo hasta un punto en el que pasarían de ser seres Ectotermos (sangre Fría) como sus ancestros los reptiles, a un nuevo metabolismo en dirección a la endotermia (sangre caliente), a este desarrollo intermedió, se le denomino como mesotermia [Grady, J. et al., 2014].

4. EL METABOLISMO DE LOS DINOSAURIOS

En el proceso del metabolismo, está involucrado un proceso de aumento de calor o temperatura gracias a la transformación de la energía, este aumento, por lo tanto, debe regularse para funcionar correctamente y los dinosaurios fueron los primeros en desarrollar una nueva forma de termorregulación intermedia [Grady, J. et al., 2014].

Prácticamente todos los animales en la Tierra son capaces de regular su temperatura hasta cierto punto, tanto para evitar un sobrecalentamiento o congelamiento con respecto al ambiente, y eso no descarta a los dinosaurios.

Las teorías más discutidas del funcionamiento de regulación de temperatura y del metabolismo de los dinosaurios están dadas por las siguientes características.

- Los Dinosaurios eran de sangre fría, como los reptiles modernos (ectotermia).
- Eran de sangre caliente, como mamíferos o pájaros modernos (endotermia).
- No eran de sangre fría ni de sangre caliente, sino que tenían un metabolismo diferente y, de alguna manera, sería un proceso intermedio entre los de los animales de sangre fría y de sangre caliente [Grady, J. et al., 2014] (mesotérmicos).

Podemos observar que, la endotermia y la ectotermia, son los dos lados opuestos de procesos para diferenciar la contribución de calor interno y la temperatura corporal contra la del ambiente y por lo que nos enfocaremos en el proceso entre ellos, la mesotermia.

Como los dinosaurios son descendientes de los reptiles y cocodrilos antiguos, tendrían que haber heredado algunas de sus características de regulación ectotérmicos, y como organismos en desarrollo deberían de haber mejorado estas características para su beneficio, lo que pudo dar paso a las características intermedias y en un futuro, endotérmicas.

Partiremos por enunciar las características inferidas de los animales mesotérmicos:

- Tasas metabólicas en reposo bajas, lo que reduciría la cantidad de alimentos que necesitaban y les permitiría utilizar más alimentos para el crecimiento que los animales con altas tasas metabólicas en reposo (Intermedias).
- La capacidad de controlar la pérdida de calor al expandir y contraer los vasos sanguíneos justo debajo de la piel, como lo hacen muchos reptiles y mamíferos modernos (termorregulación).

[Eagle, R. et al., 2015] mencionan la posibilidad de que estos, pasaran por este proceso intermedio, con ello, los huevos de oviraptóridos apoyarían la hipótesis de que algunos dinosaurios poseían la llamada 'mesotermia', una etapa intermedia entre ectotermia y endotermia, además que los fósiles de los dientes de algunos dinosaurios sugieren que la temperatura de estos era similar a los grandes mamíferos y aves de hoy en día.

Como animales intermedios y en camino a la endotermia, debemos tener en cuenta que, desarrollarían las ventajas de este tipo de organismos, como una nueva capacidad aeróbica en comparación con sus ancestros ectotermos, lo que repercute en su mantenimiento de temperatura corporal, alimentación, fisiología, sistema respiratorio y hasta estructura ósea.

4.1 RESULTADOS DEL CAMBIO DEL METABOLISMO

Para los dinosaurios, el metabolismo lento heredado de sus ancestros los reptiles se encontraban en un proceso de cambio, el aumento de energía a través del alimento y del ambiente creció sin precedentes, desencadenando una serie de cambios fisiológicos que permitirían el usar la energía a su favor para desempeñar sus funciones y sobrevivir.

Un cambio metabólico repercute directamente en la fisiología de un organismo, por lo que, las siguientes adaptaciones surgieron y determinaron las nuevas capacidades de los seres denominados, dinosaurios.

4.2 SISTEMA CARDIOVASCULAR

El metabolismo de los antiguos reptiles, como lo es el de los actuales, no era capaz de mantener un ejercicio aeróbico prolongado [Gutiérrez, Carlos, 2000] (Correr o desplazarse constantemente por largos periodos), una de las causas principales era la capacidad de oxigenación en la sangre a través de la válvula encargada, el corazón

El cambio climático fue uno de los factores que contribuyo a modificar el sistema circulatorio, las tasas de flujo sanguíneo y la presión en sangre tendría que aumentar para compensar los cambios en su fisiología (empezaban a aumentar su tamaño y actividad).

Los antiguos reptiles poseían un corazón de tres cámaras, dos aurículas y un ventrículo, lo que en su momento, permitía un buen funcionamiento para su tamaño y actividad, pero con el cambio climático y debido al aumento de la temperatura, algunos reptiles, cocodrilos antiguos comenzarían a desarrollar un mejor corazón,

El cual estaría completamente rediseñado para cuando surgieron sus descendientes los dinosaurios, un nuevo corazón de cuatro cámaras (ver figura 10), con capacidad suficiente de sobrellevar este nuevo clima en la Tierra, mejorando la capacidad de oxigenación y distribución sanguínea a los músculos.

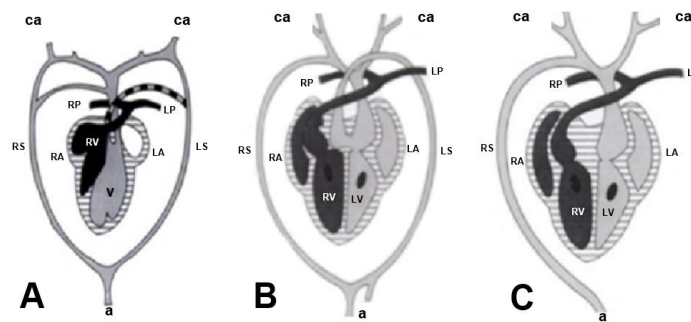


Figura 10. Comparación entre los corazones de un reptil A, cocodrilo B y un dinosaurio C. La evolución de los grandes reptiles antiguos está dada por el paso de un corazón de tres cámaras a uno de cuatro más eficiente. Modificada de Brett-Surman M. (2012). “El dinosaurio completo”.

El corazón pudo desencadenar en mejoras de otros órganos o sistemas, los cocodrilos y sus descendientes los dinosaurios, pudieron desarrollar este aparato circulatorio que puede servir para la asistencia a sus necesidades de termorregulación, retener el dióxido de carbono dentro del cuerpo permite incrementar la tasa de secreción de ácido gástrico, mejorando así la eficiencia de la digestión y haciendo más eficientes otros órganos gastrointestinales, como el páncreas, el bazo, el intestino delgado y el hígado [Farmer, C. G, et al., 2008].

La repercusión directa de la evolución del corazón, se vería reflejada en los Tecodontes, la nueva velocidad y capacidad de digestión de los alimentos (nuevo metabolismo).

4.3 ALIMENTACIÓN Y DIGESTIÓN

Los primeros dinosaurios fueron casi con certeza carnívoros y depredadores como los arcosaurios, además de que, compartieron varias características con sus parientes los reptiles como sugiere Desmond, A. [1992] como son:

- Un sistema digestivo comparativamente más corto a los mamíferos debido a que ellos no requieren romper la celulosa encontrada en las plantas.
- Los dientes relativamente grandes, curvados, en forma de cuchilla, mandíbulas grandes y de gran apertura que se cerraron como tijeras, a su vez, no poseían una función masticatoria.
- Abdomen relativamente pequeño, ya que los carnívoros no requieren grandes sistemas digestivos.

El nuevo corazón que partiría el desarrollo de la mesotermia, proporcionaría un ligero aumento en la velocidad de su metabolismo, este ya no sería “lento” como el de un reptil, pero tampoco rápido como el de un mamífero actual, este metabolismo intermedio desencadenaría en un aumento o mayor necesidad de alimentación, además de mejoras en el uso y almacenamiento de la energía [Desmond, A. 1992].

Entonces los primeros dinosaurios desarrollarían una mejora en la capacidad de obtener y procesar los nutrientes, aunque el método de alimentación todavía se asemejaba a la de los reptiles (ver figura 11), estos comenzaban a desarrollar un paladar secundario que permitía al dinosaurio una mejor respiración al alimentarse, lo que sugiere que empezaban a masticar el alimento [Desmond, A. 1992], este proceso era mucho mayor en eficiencia energética, y proporcionaría los ingredientes necesarios para acelerar el aumento en su desarrollo fisiológico [D. B. Norman. 2001].



Figura 11. Deglución de la comida reptiles y algunos dinosaurios. Tomado de <https://www.infoserpientes.com>.

Pero también debemos tener en cuenta el otro gran camino que divide a los dinosaurios y se relaciona con otro tipo de alimentación y digestión, los dinosaurios herbívoros.

Gracias a la nueva diversidad de árboles y plantas en el planeta, algunos dinosaurios se situaron en difíciles nichos biológicos, algunos con poca biodiversidad animal, lo que repercute en falta de alimento, por lo que algunos grupos de Tecodontes empezaron a alimentarse de arbustos y hasta insectos [Desmond, A. 1992], con el fin de sobrevivir, lo cual, daría paso a una forma diferente de alimentación y digestión entre los dinosaurios, los omnívoros y herbívoros gigantes.

Las nuevas características mencionadas por D. B. Norman. [2001] en los dinosaurios herbívoros y omnívoros en base a su dieta incluyen:

- Mandíbulas que solo se abrieron y cerraron ligeramente para que todos los dientes se unieran al mismo tiempo, función masticatoria.
- Abdomen grande que puede acomodar grandes cantidades de vegetación y almacenarla durante el tiempo que lleva digerir la vegetación.

- Tripas que probablemente contenían microorganismos simbióticos que digieren la celulosa, ya que ningún animal conocido puede digerir este material resistente directamente.
- Con el fin de ayudar a la digestión, usaban Gastrolitos, rocas que ayudan en la función de digerir y moler los alimentos dentro del estómago de un animal.

La diversificación y éxito de estos dinosaurios por todo el planeta puede deberse a, la variedad de la dieta de los dinosaurios herbívoros, se basaba principalmente en hojas, cortezas y ramas blandas, ya que durante el Mesozoico no existían frutos carnosos o pasto. La fauna común en ese periodo eran helechos, coníferas y cícadas, la mayoría de ellas poseían un gran tamaño, superando los 30 centímetros de altura [Diéguez, Carmen, 2004] (ver figura 12), generando en consecuencia una adaptación para que se desarrollaran los herbívoros gigantes denominados en general como los Saurópodos o dinosaurios gigantes de cuatro patas.



Figura 12. Tempskya, un género extinto de helechos de gran tamaño de la era mesozoica. Tomado de <https://redhistoria.com/>.

De la mano de algunos grandes herbívoros y los nichos biológicos, surgiría otra subclase de dinosaurios, estos serían conocidos como los Ornitisquios (cadera de ave), estos se especializarían en su andar en dos patas y no poseían el tamaño peculiar de los grandes Saurópodos.

De esta rama de los dinosaurios se infiere que, es la que más desarrollo la mesotermia, hasta el punto de ser comparable con la endotermia o “sangre caliente”.

4.4 SISTEMA RESPIRATORIO

De los grandes cambios desencadenados por el cambio termodinámico en la Tierra a la par del Corazón, fue el sistema respiratorio, con la estabilización del CO₂ en la atmósfera, también hubo un incremento de oxígeno, lo que repercutiría en la capacidad aeróbica y su distribución dentro del organismo.

Los fósiles de muchos dinosaurios contienen cavidades llenas de aire especialmente en las vértebras, además de los pulmones, poseían sacos de aire, este sofisticado sistema de respiración les habría ayudado a perseguir a sus presas con gran velocidad, aligeraría la distribución del peso y desencadenaría a un desarrollo a ser animales altamente activos [Hicks, J.W. & Farmer, C.G. 1998].

Bakker, R. T. [1972] propuso que las cavidades o sacos de aire no eran solamente dispositivos para ahorrar peso, estaban conectadas como en los sistemas respiratorios de las aves actuales, lo que sugiere que eran los organismos más eficientes en cuanto a la respiración durante el periodo Mesozoico.

Hicks, J.W. & Farmer, C.G., [1998] afirman que, sin sacos de aire, las pequeñas mejoras en el sistema circulatorio y respiratorio permitirían que un reptil de gran tamaño obtuviera el flujo de oxígeno similar al de un mamífero de mismas dimensiones, a su vez, la falta de sacos aéreos no evitaría el eventual desarrollo de la endotermia.

Por lo tanto, en los primeros dinosaurios Saurópodos, las vértebras cervicales (cuello) muestran estas características bolsas (ver figura 13) y con el paso del tiempo en los Saurópodos avanzados ("neosaurópodos") demuestran el desarrollo hacia las vértebras de la región lumbar y de la cadera [Sereno, P. C., et al., 2008], lo que sugiere el primer paso en el proceso de evolución y desarrollo hacia las aves actuales.

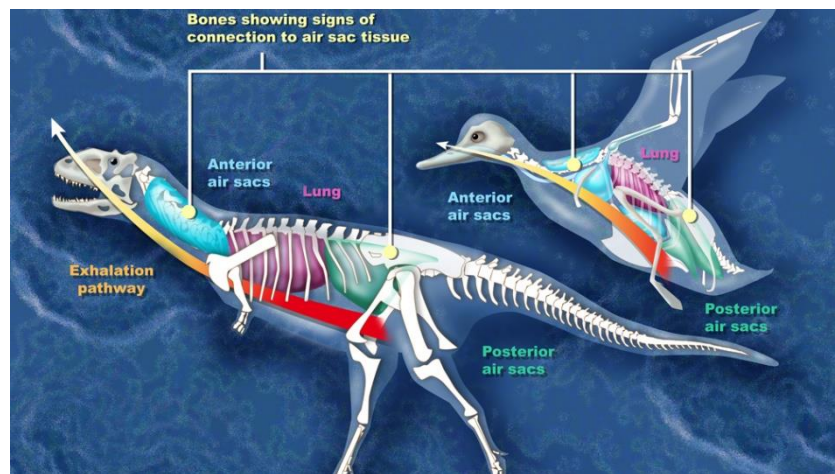


Figura 13. Similitudes de bolsas aéreas Tomado de CNX OpenStax [CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)], vía Wikimedia Commons.

Sereno, P. C., et al., [2008] sugieren tres explicaciones para el desarrollo de sacos aéreos en dinosaurios:

- Aumento de la capacidad respiratoria, ya que los dinosaurios tenían tasas metabólicas bastante altas.
- La mejora del equilibrio y la maniobrabilidad al reducir el centro de gravedad y la inercia rotacional. Sin embargo, esto no explica la expansión de los sacos aéreos en los Saurópodos cuadrúpedos.
- Sacos como mecanismo de enfriamiento. Parece que los sacos aéreos y las plumas evolucionaron aproximadamente al mismo tiempo en los celurosaurios. Si las plumas retuvieran el calor, sus dueños habrían requerido un medio para disipar el exceso de calor.

Los sistemas respiratorios de dinosaurios (sacos aéreos) pudieron ser los responsables de mantener niveles de actividad más altos que los que pueden soportar los mamíferos del mismo tamaño y constitución similares, además, el flujo más rápido de aire habría sido un mecanismo de enfriamiento más efectivo para deshacerse del exceso de calor [Michael K. Brett-Surman., 2012].

4.5 POSTURA

El cambio de postura de un organismo es afectado también por el nivel de actividad y el metabolismo, sumándole las nuevas características pulmonares y circulatorias, eventualmente repercutiría en el desarrollo muscular.

El nivel de actividad de un organismo depende de las características que su cuerpo pueda ofrecer, estos empezaron a desarrollar una postura donde las patas en vez de estar a los lados como los reptiles, se dispusieron debajo del cuerpo y en algunos las patas traseras comenzaron a fortalecerse. [Desmond, A. 1992].

Hay que señalar que, los Tecodontes, los primeros dinosaurios, disponían de una distribución no totalmente cuadrúpeda, alternaban el uso de sus patas de acuerdo a la actividad, pero a través de su descendencia, tenemos una divergencia entre las clases de dinosaurios, donde algunos siguieron con la distribución cuadrúpeda pero aumentaron su tamaño enormemente, y otros dinosaurios seguirían el camino del bipedismo, pero también desarrollarían sus propias ventajas.

Las principales diferencias entre bípedos y cuadrúpedos se basan en los músculos de sus extremidades. En los cuadrúpedos, la masa de los músculos flexores de las piernas es casi el doble que la de los extensores. En los bípedos, esta situación es a la inversa, facilitando la postura erguida (ver figura 14). [Cerruti, P. 2019].

La locomoción bípeda tiene una gran ventaja frente a la locomoción cuadrúpeda, la posición erguida permite una mayor expansión de los pulmones y caja torácica al correr o saltar [Cerruti, P. 2019], generando una mejora en su capacidad aeróbica.

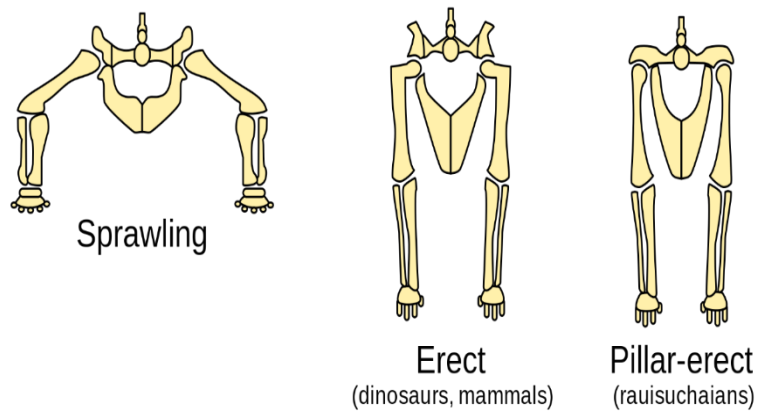


Figura 14. Diferencias entre posturas de animales ancestros como cocodrilos y reptiles (izquierda) y animales evolucionados como dinosaurios y mamíferos (derecha). Tomado de CNX OpenStax [CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)], vía Wikimedia Commons.

4.6 ESTRUCTURA ÓSEA

El metabolismo de los dinosaurios puede inferirse al observar el ritmo del crecimiento óseo y por lo tanto su edad. Los huesos de los fósiles se depositan en capas, las cuales revelan qué tan rápido crecían estas especies.

También podemos observar el ritmo de crecimiento a partir de los huesos de los fósiles de las patas de los dinosaurios, que proporcionan un indicador de la tasa de flujo sanguíneo y, por lo tanto, de la tasa metabólica que tenían.

Estos indicadores se tratan de agujeros de nutrientes, están dispuestos en el interior del hueso, donde pasa la arteria principal del vaso sanguíneo, aquí se ramifica en pequeños vasos por un sistema llamado canales de Havers (ver figura 15); Este sistema es

responsable de reemplazar el hueso viejo con hueso nuevo reparando así los micro cortes que ocurren naturalmente durante la locomoción.

Estos canales son comunes en los animales de "sangre caliente" y están asociados con un crecimiento rápido y un estilo de vida activo, además ayudan a reciclar los huesos para facilitar el crecimiento rápido y reparar daños causados por el estrés de la actividad o las lesiones [Ricqlès, A. J., 1974].

Los canales secundarios de Havers se correlacionan con el tamaño y la edad, el estrés mecánico y el recambio de nutrientes. La presencia de canales secundarios de Havers sugiere un crecimiento óseo y una esperanza de vida comparables en mamíferos y dinosaurios [Fastovsky. D. & Weishampel D., 2009].

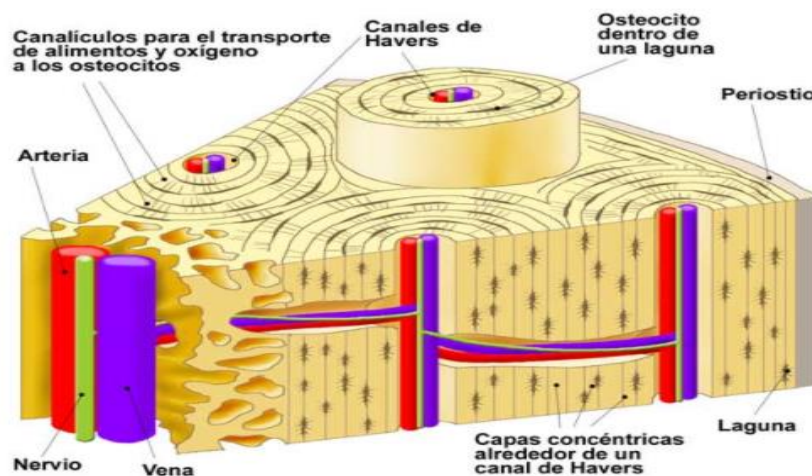


Figura 15. Canales de Havers. Tomado de

http://www.educa.madrid.org/web/cc.nsdelasabiduria.madrid/Ejercicios/3_ESO/Locomotor/huesos.htm

Sin embargo, como los huesos de dinosaurios a menudo contienen líneas de crecimiento detenido (GAL), formadas por períodos alternos de crecimiento lento y rápido [Erickson, G. M. et al., 2004].

La formación de anillos de crecimiento generalmente es impulsada por cambios estacionales en la temperatura, y esta influencia estacional a veces se ha considerado como un signo de metabolismo lento y ectotermia. Pero los anillos de crecimiento se encuentran en los osos polares y en los mamíferos que hibernan. [Chinsamy, A., & Vickers-Rich, P., 1998].

5. LA TERMODINÁMICA: CAUSANTE DE LA DIFERENCIACIÓN ENTRE MAMÍFEROS, LAS AVES, REPTILES Y LOS DINOSAURIOS

La termodinámica fue la causa principal de la evolución de los dinosaurios, pero a su vez, también afectó a las demás especies, está claro que, si los dinosaurios surgieron por un cambio termodinámico a finales del periodo Pérmico, las otras especies y destacando a los mamíferos y ciertas clases de reptiles debieron seguir un proceso similar.

Sobrepondremos las pistas dejadas por los fósiles e información obtenida del sobrecalentamiento global del planeta para recrear los distintos caminos que siguió la vida de los dinosaurios, como lo son los mamíferos, reptiles y finalmente las aves.

Para esto debemos tomar en cuenta las dos grandes extinciones masivas observables a través de las eras geológicas.

- La gran mortandad fue una extinción masiva que sucedió hace aproximadamente 250 millones de años, también llamada la extinción del Periodo Pérmico-Triásico, que fue responsable de la desaparición de aproximadamente el 80% de las especies en la Tierra [Sahney, S., y Benton, M., 2008].
- La extinción masiva debido al impacto de un meteorito, hace aproximadamente 65 millones de años. Cerca del 75 % de los géneros biológicos desaparecieron, entre ellos la mayoría de los dinosaurios [Longrich, N. et al., 2012].

Nos enfocarnos en cada familia o clado y sus adaptaciones y características con el fin de observar como todos los organismos sufrieron estos procesos evolutivos paralelamente y correlacionaremos la evolución como parte de la termodinámica.

5.1 VERTEBRADOS

En el periodo Pérmico los animales dominantes sobre el medio terrestre eran algunos vertebrados amniotas (ver figura 16), se caracterizan por un embrión de cuatro capas: el corion, el alantoides, el amnios y el saco vitelino, que crea un medio acuoso en el que puede respirar y del que puede alimentarse (huevo).



Figura 16. Vertebrados amniotas (animales nacidos a través de un huevo como las tortugas o algunos reptiles actuales) tomado de <https://www.expertoanimal.com/como-incubar-un-huevo-de-tortuga-23895.html>

Esta es una adaptación evolutiva que, a diferencia de lo que ocurre con los anfibios, permitió la reproducción ovípara en un medio seco y terrestre.

5.2 MAMÍFEROS

Los primeros ancestros de los reptiles y actuales mamíferos surgieron durante el período Carbonífero superior, hace 320 millones de años, fueron los vertebrados

dominantes a lo largo del periodo Pérmico hasta la extinción masiva de La gran Mortandad, a estos organismos se les denomino como Sinápsidos [Carroll, R. L., 1988].

Estos sinápsidos amniotas se diferenciaron tempranamente en dos principales líneas evolutivas; los sinápsidos (mamíferos) y los Saurópodos (reptiles);

Los sinápsidos amniotas comenzaron un enorme periodo de diversificación a lo largo del periodo Pérmico hasta el gran evento de extinción, donde sus números y diversidad se redujeron drásticamente hasta el punto de la extinción.

Los descendientes que lograron sobrevivir tuvieron que adaptarse a lo largo de la era Mesozoica disminuyendo su tamaño de gran forma y cambiando su alimentación a una parcialmente insectívora al no poder competir con los dinosaurios.

Algunos de estos sinápsidos, fueron los primeros en desarrollar el inicio del camino hacia la endotermia, después de un largo periodo de glaciación, estos animales tendrían que adaptarse para compensar estos grandes cambios de temperatura, la adaptación tomaría la forma de “velas” a sus espaldas (ver figura 17), las cuales permitirían regular de mejor manera la temperatura de sus cuerpos comenzando a no depender del ambiente [Bennett, S. C., 1996].

Adaptaciones fisiológicas evolutivas surgidas a partir del periodo Pérmico:

- Desarrollaron una vela termorreguladora.
- Sin escamas ni pelo.
- Una sola fosa temporal (aberturas detrás del cráneo).

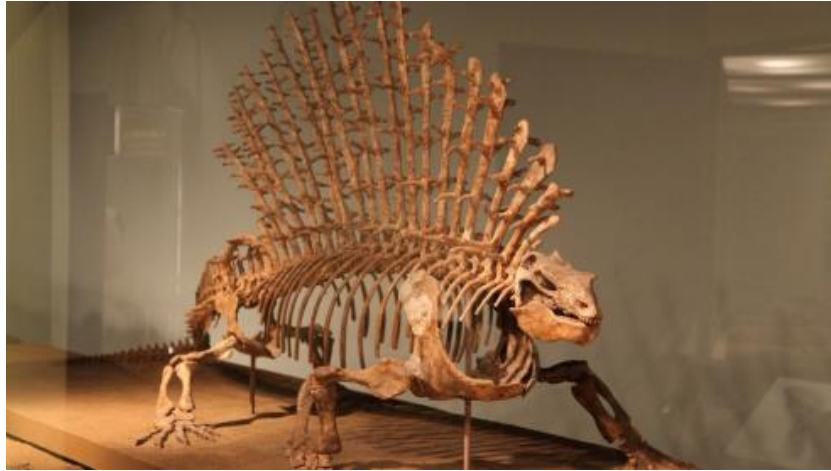


Figura 17. Sinápsidos (reptil con características mamíferas) con vela termorreguladora, Tomada de <https://imageshack.com/i/fxfieldmuseum77j>, Field Museum de Chicago, Andrew Y. Huang (2011).

Los sinápsidos por su parte se diferencian de los otros reptiles por poseer una sola fosa temporal (aberturas detrás del cráneo), lo que repercute en un cráneo más ligero, permitiendo más masa muscular para accionar la incrementar el movimiento mandibular, por lo que podrían ser los inicios de la función masticatoria [Hopson, J. A., 1987].

Fueron los primeros tetrápodos en poseer varios tipos de dientes, como incisivos, caninos y molares. Los primitivos sinápsidos tenían varios huesos en la mandíbula inferior, que fueron reduciéndose en número y en tamaño en el curso de su evolución hasta convertirse en parte del oído medio que encontramos en los mamíferos [Hopson, J. A., 1987].

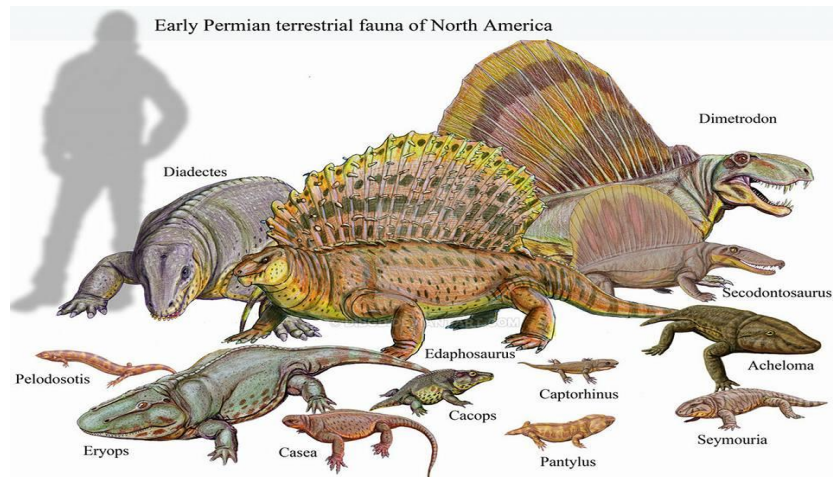


Figura 18. Distintas clases de Sinápsidos del periodo Permico. Tomado de RobinGoodfellow_(m). (Attribution-NonCommercial-ShareAlike 2.0 Generic (CC BY-NC-SA 2.0). <https://www.flickr.com/photos/130140542@N03/41644239100>

Todos los descendientes de los sinápsidos se tratarían como un grupo monofilético, es decir, todos descienden de un antepasado común que se remonta a mediados del Pérmico, pero los organismos con características similares a los mamíferos actuales, aparecerían eventualmente a finales del Triásico e inicios del Paleógeno.

Se desconoce en qué momento adquirieron características mamíferas (figura 19) como pelo o las glándulas mamarias ya que los fósiles no proporcionan evidencias de los tejidos blandos.

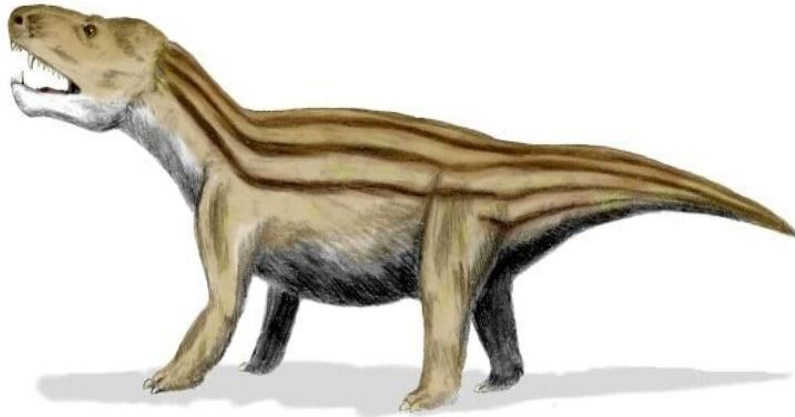


Figura 19. Sinápsidos con características mamíferas. Tomado de ¿Qué son los protomamíferos? Recuperado de <https://curiosoando.com/reptiles-mamiferoides-o-protomamiferos>

A finales del periodo Cretácico, la gran extinción ocasionado por el impacto K/T les daría una nueva oportunidad a estos organismos, estos, por su tamaño, metabolismo y nuevas características fisiológicas, les permitieron sobrevivir y desarrollarse de manera extraordinaria, se diversificarían para el comienzo de la era Cenozoica.

5.3 REPTILES

Los reptiles como los conocemos hoy en día son también descendientes de sinápsidos de la clasificación de los vertebrados amniotas. Los amniotas son seres que poseen un amnios (ver figura 20), esta característica es resultado de que el embrión posea una membrana que lo envuelva y lo proteja mientras se encuentra en desarrollo, los reptiles en general, poseen esta característica hasta el presente.

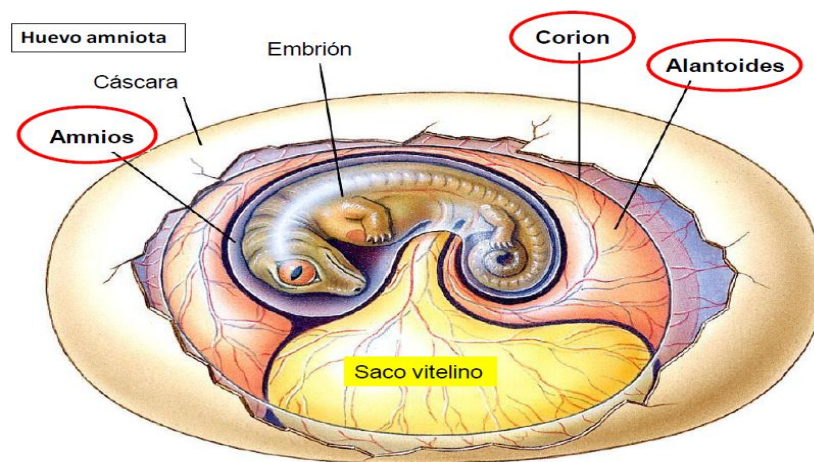


Figura 20. (Imagen de amnios y huevo, podemos imaginarlo como un sistema cerrado) podemos el amnios como un sistema cerrado, donde solo puede atravesar la energía en forma de calor (imágenes de referencia).

La función del amnios es recrear un medio acuoso, el líquido amniótico lo protege evitando la desecación, y además le proporciona equilibrio osmótico y temperatura constante.

Esto permitió que los organismos pudieran respirar y alimentarse sin sufrir daños en su desarrollo en tierra.

A partir de la división dada en dos caminos de los vertebrados, surgirían los Sinápsidos (mamíferos antiguos) y en los que nos enfocaremos, los Saurópsidos (reptiles antiguos) [Wilson, J. A., 2002].

Los Saurópsidos:

Estos organismos aparecieron en la Tierra a principios del periodo Triásico, hace 251 millones de años, estos se caracterizaban por estar cubiertos de escamas de queratina, que protegen y previenen la pérdida de agua en su cuerpo, una distribución de sus piernas en cuatro patas (Tetrápodos), y su principal característica es su nacimiento por medio de un huevo.

Dentro de la taxonomía tradicional, los Saurópsidos abarcarían a tres subclases de organismos amniotas existentes, los Sinápsidos (reptiles con características mamíferas), los reptiles Diápsidos (Diapsida) y los reptiles Anápsidos (Anapsida) [Modesto, S., & Anderson, J., 2004].

También existe otra clasificación en la que nos enfocaremos, esta dice que los “reptiles” saurópsidos, solo incluyen a los Diápsidos y Anápsidos por sus principales características anatómicas, las cuales son las siguientes:

Los reptiles Anápsidos (Anapsida):

Subclase de amniotas que aparecieron en el periodo carbonífero, hace aproximadamente 359 millones de años, agrupa a aquellos reptiles caracterizados por la ausencia de fosas temporales en el cráneo, la mayoría de estos organismos Anápsidos se extinguieron en el evento de la gran mortandad y los que sobrevivieron, actualmente están extintos [Reisz, R. et al., 2011].

Los reptiles Diápsidos (Diapsida):

Subclase de amniotas que evolucionaron aproximadamente entre el periodo Carbonífero y el Pérmico, se caracterizan por presentar, dos fosas temporales o aberturas craneales cada lado del cráneo tras la órbita ocular (ver figura 21), de este grupo de organismos se

desprenden eventualmente los dinosaurios, lagartos, cocodrilos, serpientes y aves como las conocemos [Reisz, R. et al., 2011].

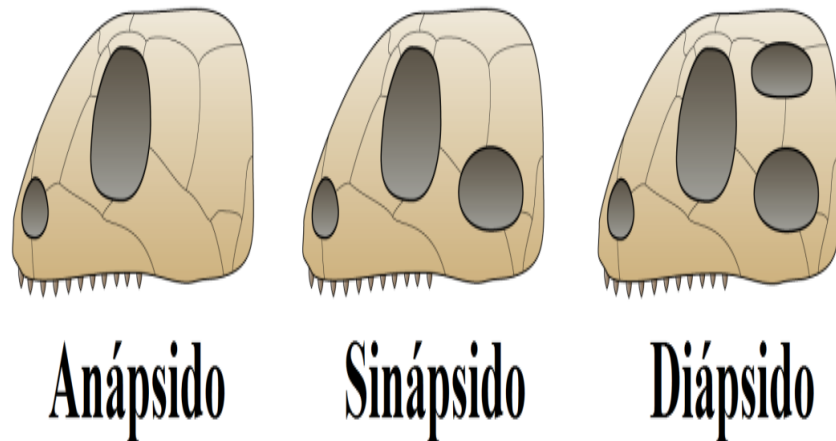


Figura 21. Reptiles Anápsidos y Diápsidos comparación con Sinápsidos. Modificada de http://paleontologia-y-evolucion-ucm.blogspot.com/2014/06/reptiles_11.html

Eventualmente y a finales del periodo Pérmico, apareció uno de los grupos más destacables de Diápsidos, los arcosauromorfos, que dirigirían el camino a seguir por sus descendientes hasta los actuales cocodrilos.

Los Arcosauromorfos (Archosauomorpha):

Estos descendientes son los primeros “reptiles” que superficialmente son similares a los lagartos modernos (cocodrilos y caimanes), aparecieron aproximadamente hace 265,8 millones de años, en el periodo Pérmico medio [Hutchinson, J., 2006].

Estos animales eran animales cazadores semiacuáticos, con una postura de extensión de los codos hacia fuera y hocicos muy largos, además de una fuerte cola [Desmond, A. 1992].

Se incluyen dentro de esta subclase todas los arcosauriformes, más primitivos, así a como todos sus descendientes los arcosaurios (ver figura 22).

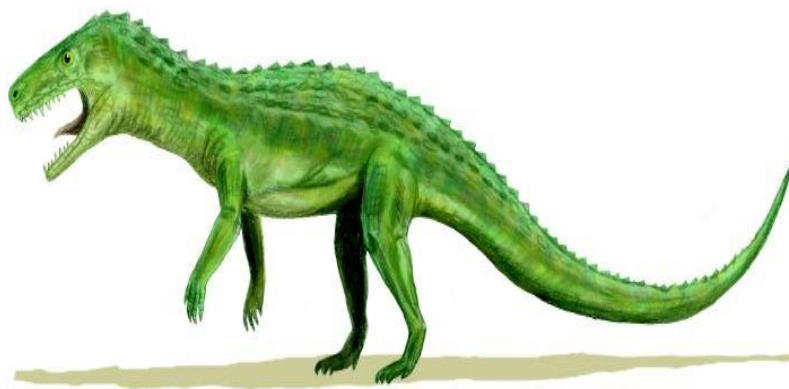


Figura 22. Arcosauromorfo. Tomada de Nobu Tamura, (Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0). Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Archosauriformes#/media/Archivo:Euparkeria_BW.jpg

Los Arcosaurios (Archosauria):

Grupo de arcosauriformes que evolucionarían en algún punto del periodo Triásico temprano hace 245 millones de años, unos de sus más destacables miembros (hablando evolutivamente) son los Tecodontes del periodo Triásico [Desmond, A. 1992], de los cuales, en su gran diversificación y capacidad de adaptación surgirían dos clases de arcosaurios, los carnívoros que comparten muchas características con los dinosaurios y los herbívoros que se especializarían en vegetales y hojas.

Con el paso de millones de años, y a partir de la gran extinción del impacto K/T los únicos arcosaurios sobrevivientes darían paso a lo que hoy conocemos como los cocodrilos, caimanes.

Adaptaciones fisiológicas evolutivas:

Entre sus principales características que lo diferencian a sus ancestros se basan en lo mencionado por Desmond, A. [1992]:

- Patas delanteras ligeramente más delgadas que las posteriores.
- Dientes en alveolos.
- Impulso para moverse que procedía de la pelvis, y no de las rodillas.
- Una ventana suborbital (una abertura en cada lado del cráneo entre las órbitas oculares y las ventanas de la nariz)

5.4 REPTILES PEQUEÑOS

Los reptiles surgieron a la par de los Saurópsidos como una subclase de los animales amniotas a comienzos del periodo Carbonífero [Modesto, S., & Anderson, J., 2004], hace 359 millones de años, aquí aparecen los primeros animales con forma de reptil o también llamados reptiliomorfos.

Eran animales anfibios que poseían un cráneo alargado, además de forma triangular, se diversificaron en formas semiacuáticas y terrestres. Las acuáticas eran muy similares a los organismos anfibios con patas cortas y cráneos aplanados. Las formas terrestres desarrollarían patas más largas y su aspecto era más parecido a un reptil o salamandra.

La descendencia se dividió en dos caminos en algún punto del periodo Pérmico, los Lepidosaurios (reptiles más próximos a los lagartos) y los Arcosaurios.

Los lepidosaurios (Lepidosauria):

Este conjunto de reptiles abarca los de espaldas espinosas o tatuaras [Martínez, R. N., 2021] además de los lagartos, serpientes y anfisbénidos (reptiles adaptados para la vida al ras del suelo como se aprecia en la figura 23).

Adaptaciones fisiológicas evolutivas

Entre sus principales características que lo diferencian de sus ancestros se basan según lo señalado por Young, J. Z., [1977].

- Los machos poseen un hemipene (pene oculto) en lugar de un pene sencillo, como en el caso de los cocodrilos, aves, mamíferos y tortugas, se encuentra dispuesto en la base de la cola.
- La mayor parte de ellos pueden amputar miembros con el fin de escapar de los depredadores.
- Las escamas compuestas de queratina, sirven como una forma de protección.
- La muda se efectúa por partes o bien en un solo momento, como ocurre en las serpientes.

Con el éxito que tuvieron estos primeros reptiles llegarían a sobrevivir hasta la Gran Extinción masiva del Periodo Cretácico (impacto K/T), donde tuvieron que volver a especializarse por un nuevo proceso termodinámico, el cual se bifurcarían principalmente en dos subclases, las cuales se diferencian por la posesión de espinas.

El orden Squamata que abarca los lagartos, serpientes y anfisbénidos (reptiles sin espinas), y Sphenodontia tuatara (reptiles con espinas).

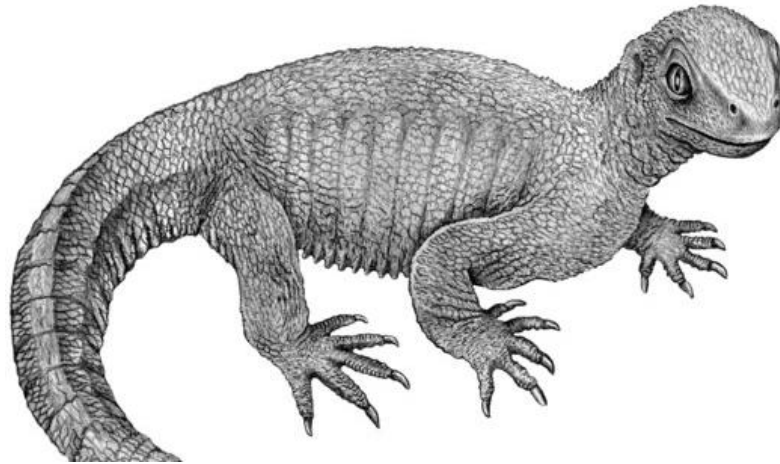


Figura 23. Reconstrucción de lepidosaurio. Tomado de Rainer Schoch [s.f], recuperado de <https://fsotonfossil.wordpress.com/category/lepidosaurios/>

Squamata (lagartos, serpientes y anfisbénidos):

Este conjunto de reptiles incluye los camaleones, iguanas, serpientes que aparecieron en algún punto del final del periodo Triásico.

Estos animales se diferencian de los Tuatara a partir de la adaptación surgida a través de su alimentación, estos reptiles al deglutir la comida, dejaron de necesitar una gran fuerza para morder, por lo que su adaptación está dada por la movilidad de la mandíbula, a esto se le denomina cinesis craneal.

Adaptaciones fisiológicas evolutivas mencionadas por Young, J. Z., [1977]:

- La cinesis craneal que se utiliza para describir el movimiento de los huesos del cráneo entre ellos, además del maxilar superior e inferior.
- Disminución del tamaño de sus patas en familias independientes, fenómeno que dio lugar a las serpientes y anfisbénidos.

Sphenodontia tuatara (reptiles con espinas):

Los esfenodontos (Sphenodontia) en la actualidad incluye solamente tres especies conocidas con el nombre de tuátaras, estos son los reptiles Diápsidos más antiguos que sobreviven hasta la actualidad.

Adaptaciones fisiológicas evolutivas mencionadas por Young, J. Z., [1977]:

- Se hallan dos fosas temporales completas.
- Poseen dos órganos de Jacobson de estructura compleja (estructuras huecas en forma de bóveda situadas en la zona anterior del paladar).
- Uno de los pocos rasgos especializados son los dientes anteriores, grandes y muy agudos.

5.5 DINOSAURIOS

Los dinosaurios son descendientes de los reptiles antiguos conocidos como arcosaurios.

La propuesta de la diferenciación de estos organismos está dada por dos principales caminos determinados por la forma de su cadera (ver figura 24), los Saurisquios y los Ornitisquios [Serenó, P. C., 1997].

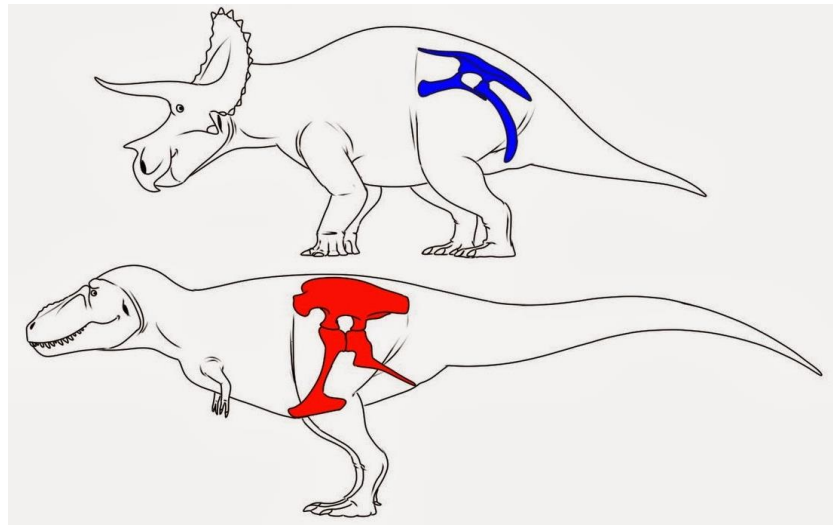


Figura 24. Diferencias entre caderas de las dos ramas principales de los dinosaurios.

Tomada de "StygimolochSpinifer", recuperada de <http://palaeos-blog.blogspot.com/2014/01/los-dinosaurios-cabeza-dura.html>

Los dinosaurios Saurisquios (cadera de lagarto).

Los Saurisquios son un suborden de la rama principal de los dinosaurios, estos se distinguen por presentar caderas con una forma similar a la de los lagartos, en la que el hueso púbico apunta hacia delante [Young, J. Z., 1977].

Aparecieron en el Periodo Triásico Superior, hace aproximadamente 228 millones de años y se diversificaron enormemente durante el Jurásico y el Cretácico hasta la gran extinción del periodo Cretácico (impacto K/T).

Los dinosaurios Saurisquios tienen dos linajes principales, los Saurópodos y los Terópodos, que bien podríamos llamarlos carnívoros y herbívoros.

Los Saurópodos (Sauropoda):

Son un clado de dinosaurios herbívoros de cuello largo, este grupo se distingue por contener a los más grandes vertebrados que han caminado a lo largo de la Tierra, ellos fueron los herbívoros dominantes en el Jurásico Superior y el Cretácico Inferior.

Adaptaciones fisiológicas evolutivas señaladas por Young, J. Z., [1977]:

- Un ligero y pequeño cráneo con orificios en la parte superior.
- Los dientes eran espatulados o lanceolados, ineficaces para la masticación
- Una larga cola (con tres vértebras sacras adicionales).

Los Saurópodos se adaptaron fisiológicamente para alimentarse de las copas de los grandes árboles de coníferas que existían en este periodo, logrando alcanzar mayores alturas que cualquier otro herbívoro en la Tierra (ver figura 25).



Figura 25. Distintas formas el género Sauropoda. Tomado de ZHAO Chuang and WANG Xiaolin. Recuperado de <https://www.ngenespanol.com/animales/china-revela-el-descubrimiento-de-tres-nuevos-dinosaurios-gigantes-de-17-metros-de-largo/>

Los dientes y cráneos de los Saurópodos no eran muy adecuados para masticar completamente las plantas y ramas de las que se alimentaban, por lo que debían usar gastrolitos (piedras estomacales) para terminar de procesar el alimento en el aparato digestivo.

Los Terópodos (Theropoda):

Los terópodos aparecieron por primera vez a finales del período Triásico, hace 231.4 millones de años.

Este grupo se distingue por poseer huesos huecos y extremidades con tres dedos funcionales; Generalmente eran organismos bípedos y de dentadura fuerte (ver figura 26).

Los terópodos desarrollaron en términos de la cobertura y textura del piel muchas formas y adaptaciones, se cree que existía la presencia de plumas o estructuras similares a

plumas en muchos linajes de terópodos; las plumas parecen haber estado confinadas a ejemplares juveniles, especies pequeñas o a ciertas partes del animal [Xu, X., et al., 2008]

Siendo un grupo de animales enormemente diverso, la postura adoptada por los terópodos probablemente variaba considerablemente entre varios linajes a lo largo del tiempo.

Adaptaciones fisiológicas evolutivas mencionadas por Young, J. Z., [1977]:

- Hasta donde se sabe todos los terópodos conocidos son bípedos.
- Las extremidades anteriores reducidas en longitud.
- Dientes afilados con bordes aserrados.
- Cuello corto, además de una mordida fuerte.
- La fusión de elementos esqueléticos de las patas posteriores, para darle mayor resistencia y rapidez en la carrera.

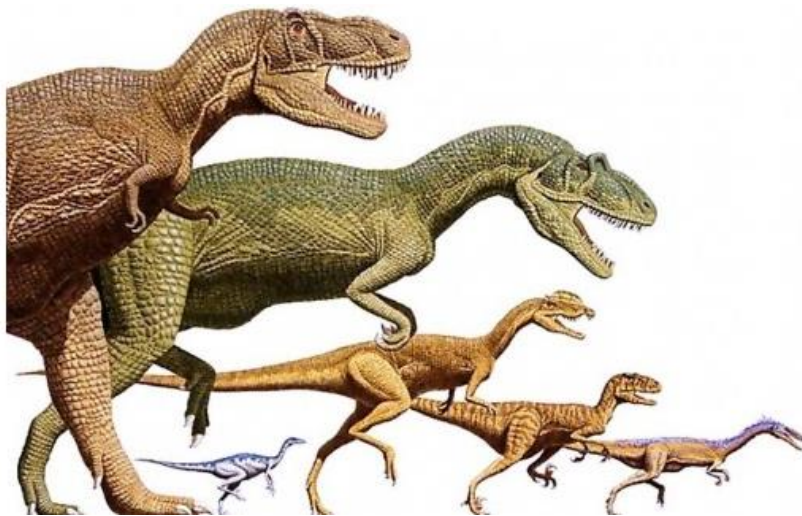


Figura 26. Distintas formas del género terópodo. Tomada de <https://dinosaurioss.com/los-teropodos/>

5.6 CAMINO DE LOS DINOSAURIOS HACIA LAS AVES

Los dinosaurios Ornitisquios (cadera de ave):

Son uno de los dos órdenes de dinosaurios que vivieron desde el periodo Triásico Superior y el Cretácico superior, hace aproximadamente entre 228 y 65 millones de años

Son conocidos como los dinosaurios cadera de ave, aunque esta similitud solo es superficial, ya que las aves derivan de un grupo de Saurisquios del orden de los terópodos [Young, J. Z., 1977].

Estos animales eran herbívoros, vivían en manadas, siendo la subclase más numerosa que la de los Saurisquios. Los Ornitisquios eran generalmente las presas para los terópodos carnívoros y por lo general más pequeños que Saurópodos.

Los Ornitisquios de cuatro patas con adaptaciones anatómicas notables incluyen los dinosaurios blindados (estegosaurios, triceratops y anquilosaurios como se muestra en la figura 27).



Figura 27. Dinosaurios Ornitisquios. Tomada de Mariana Ruiz Villarea. Recuperado de http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gastonia_burgesi_dinosaur.png

Adaptaciones fisiológicas evolutivas señaladas por Young, J. Z., [1977]:

- Dientes dispuestos en filas para masticar.
- Los dedos se convirtieron en un tipo de pezuñas.
- Hueso predentario, que junto con el premaxilar formaban un pico (en la mayoría de familias de Ornitisquios).
- Placas Oseas.

5.7 PTESAURIOS

Los Pterosauria son un orden extinto de saurópsidos voladores que existieron durante la era Mesozoica (ver figura 28).

Fueron los primeros vertebrados en conquistar el aire, gracias a que sus alas estaban formadas por una compleja membrana sostenida por el cuarto dedo de la mano, como los ahora murciélagos o zorros voladores [Unwin, D., & Bakhurina, N., 1994]. Su cuerpo estaba cubierto de pelo, preservado en algunos fósiles de al menos tres especies distintas

Estos dinosaurios debieron ser los organismos de su época más cercanos a la adaptación endotérmica o de sangre caliente, ya que para volar o mantener el vuelo largo (como lo hacen las aves actuales, necesitaría de mucho oxígeno, necesitaría un metabolismo rápido para compensar la cantidad de energía gastada en un vuelo y termorregulación interna.

Debido a que la anatomía de los Pterosaurios estaba muy modificada para el vuelo, y a la falta actual de un predecesor inmediato, los orígenes de los Pterosaurios no son muy bien comprendidos y aún se encuentran en discusión.

Adaptaciones fisiológicas evolutivas mencionadas por Young, J. Z., [1977]:

- Huesos huecos (para disminuir el peso).
- Un esternón diseñado para el anclaje de los músculos implicados en el vuelo.
- La fusión de los huesos de la mandíbula, formando un pico.
- Alas compuestas por membranas.
- Picnofibras, similares pero no homólogos a el pelo de los actuales mamíferos.



Figura 28. Pterosaurios. Tomada de Elenarts, recuperado de https://www.abc.es/ciencia/abci-donde-salieron-pterosaurios-202012100920_noticia.html

5.8 LAS AVES

Sabemos que, los dinosaurios dominaron la era Mesozoica, pero a mediados de ese periodo, en el periodo Jurásico, a partir del grupo de Ornitisquios, algunas formas de dinosaurios comenzaron a especializarse aún más disminuyendo su tamaño, esto, junto a las características evolutivas anteriormente dispuestas ya en ellos como el nuevo metabolismo intermedio (mesotermia), darían paso a las primeras aves (figura 29).



Figura 29. Archaeopteryx, indicios del primer dinosaurio-ave. Tomada de <https://www.muyinteresante.com.mx/ciencia-tecnologia/ave-mas-antigua/>

Las aves como organismos se originaron a partir de dinosaurios carnívoros bípedos del Jurásico, entre 200/145 millones de años [Young, J. Z., 1977], y son, de hecho, los únicos “dinosaurios” que sobrevivieron a la extinción masiva producida al final del Mesozoico.

Adaptaciones fisiológicas evolutivas descritas por Young, J. Z., [1977]:

- El esqueleto está formado de huesos huecos.
- Cavidades óseas llenas de aire conectadas al aparato respiratorio.
- Las plumas son una característica única de las aves, proporcionan aislamiento térmico.
- Los huesos del cráneo están fusionados, sin presentar suturas craneales.
- Rápida digestión.
- Las aves son animales homeotérmicos.

Teoría del vuelo:

Una de las principales teorías del vuelo se basa en que las aves eran dinosaurios terópodos muy pequeños que vivían en ambientes boscosos, estos comenzarían a disponer de proto-plumas para su aislamiento y aerodinámica, con el paso del tiempo, sus especializaciones pudieron dar paso a las primeras aves.

6. EXTINCIÓN, EL IMPACTO DEL CHICXULUB: UNA MIRADA DESDE LA GEOFÍSICA

6.1. TEORÍAS DE LA EXTINCIÓN

Existen diversas opiniones de lo ocurrido en el evento de extinción relacionado al evento K/T, pero partiremos de una de las cuatro hipótesis sugeridas por Chaloner, B. [2009] un evento de impacto.

Este evento abraza la mayoría de las teorías e hipótesis, como lo son, vulcanismo, regresión marina y cambio climático [Chaloner, B. 2009], y sumado a esto, con la confirmación de la caída de un gran cuerpo meteórico que, a su vez, originó el gran cráter del Chicxulub [Collins, et. al. 2020], las repercusiones debieron ser catastróficas para cualquier organismo en la Tierra.

Como sugiere Dieusaert, [2001], en cuanto el meteoro tocara la superficie de la Tierra éste habría generado una inmensa explosión comparable a cinco mil millones de bombas atómicas, esto a causa del tamaño y velocidad del meteoro, que equivaldría al Monte Everest cayendo aproximadamente a 30 km/s impactando contra la superficie terrestre, destruyendo, pulverizando y levantando la roca alrededor de la zona de impacto.

Esto solo sería el comienzo de una larga y desafortunada lista de repercusiones tanto físicas como termodinámicas que acabarían con los nichos biológicos y formas de vida en toda la Tierra.

Las repercusiones al momento del impacto serían la muerte instantánea de los organismos cercanos al lugar de impacto, el cual, fundiría y fracturaría la corteza circundante, levantando grandes cantidades de material hacia la atmósfera formando una capa de polvo que se dispersaría hacia todas las regiones del planeta, algunos fragmentos alcanzarían velocidades capaces de superar la atmósfera logrando salir del planeta, otras, reentrarían como bólidos envueltos en fuego y continuando la

devastación, lo que a su vez causaría un aumento de temperatura [Schulte, P. et. al. 2010],

Schulte, P, et. al. [2010] menciona que “los modelos geofísicos indican que el impacto causaría la liberación de grandes cantidades de agua, polvo y los gases, que forzarían y alterarían drásticamente el sistema climático”

El cambio climático debido al impacto conlleva un auge de gases liberándose a la atmósfera en grandes cantidades, estos gases en su mayoría, como el dióxido de carbono (CO₂) y dióxido de azufre (SO₂), absorberían la luz y ocasionarían un efecto invernadero, y como sugiere Schulte, P. et al. [2010] tendrían la capacidad de enfriar la superficie de la Tierra a lo largo de años hasta décadas, aproximadamente 10 ° C menos que la temperatura global hasta el momento del impacto.

AGENTE DE CAMBIO AMBIENTAL	DURACIÓN
VELO DE POLVO (OSCURO Y FRIO)	Meses
VIENTO PROXIMAL	Horas
OLAS GIGANTES PROXIMALES	Horas
IRRADIACIÓN PROXIMAL O REGIONAL DE BOLAS DE FUEGO	Minutos
PULSO TÉRMICO REGIONAL DE MATERIAL EYECTADO QUE RE-INGRESA AL SITIO	Horas
LLUVIA ACIDA (COMPUESTA DE NITRÓGENO Y COMPUESTA DE SULFURO)	Año
AEROSOLES EN LA ESTRATOSFERA (FRÍOS)	Décadas
REDUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO (EXPOSICIÓN ULTRAVIOLETA)	Décadas
H₂O DE INVERNADERO	Décadas
CO₂ DE INVERNADERO	Milenio
VENENOS Y MÚGATENOS	¿Años hasta Milenios?
CLIMA OSCILATORIO/INTERRUMPIDO	Millones de años

Tabla 1. Modificada de Hildebrand, R. et al. [1998]. Posibles consecuencias y su aproximada duración de eventos que repercutirían en el medio ambiente por el impacto ocurrido en el cráter Chicxulub.

Además, existe la posibilidad de que los eventos volcánicos fueran generados por los terremotos, la fricción y fragmentación de la corteza, lo que a su vez, acentuaría la liberación de gases tóxicos del subsuelo y fondo marino a la atmósfera.

Schulte, P. et al. [2010] menciona que el impacto también generaría terremotos con magnitudes mayores a 11 en la escala de Richter, lo que, a su vez, repercutiría en grandes tsunamis que arrasaría las zonas costeras y se adentrarían dentro de los continentes hasta aproximadamente 900 km.

La mayoría de las formas de vida del Mesozoico perecerían en el evento K/T, incluidos los organismos más representativos de esta Era geológica, los dinosaurios. También se produjeron extinciones entre mamíferos, reptiles e insectos en tierra, como sugieren Longrich N. R. et al. [2011]

En el ecosistema marino, variadas formas de fauna invertebrada, en su mayoría compuesta por moluscos, como las amonitas, además de reptiles marinos y muchos grupos de plancton [Friedman, M. et al. 2009].

Si bien, este gran evento de extinción desapareció aproximadamente al 80% de la vida en la tierra, el 20% restante sufriría una adaptación evolutiva con el fin de sobrevivir a las nuevas condiciones del ambiente.

[De Maupertuis, 1750, p. 167] menciona que “No se puede dudar que la mayoría de los animales perecería, si tuvieran que reducirse a soportar el calor muy excesivo, o nadar en fluidos muy diferentes a los propios, o hasta respirar vapores extraños. Resultaría en que sólo los animales más robustos y posiblemente los más pequeños son los que permanecerían vivos. Especies completas serían destruidas”.

Los procesos termodinámicos se encargarían de acelerar nuevas adaptaciones a los organismos sobrevivientes, principalmente y como ejemplo, los organismos mamíferos, que desarrollaron pelaje como aislamiento ante tales cambios abruptos en el medio ambiente y un metabolismo que no dependa del ambiente (endotermos), entre otros.

6.2 CRÁTER CHICXULUB

Fue descubierto en la década de 1970, debido a un programa de exploración petrolera por parte de Petróleos Mexicanos (PEMEX), donde se detectaron anomalías gravimétricas con distribución semicircular en la costa de Yucatán [Penfield y Camargo-Zanoguera, 1981].

El actual cráter del Chicxulub se encuentra localizado en la península de Yucatán con centro aproximadamente en el puerto de Chicxulub, tiene de diámetro aproximadamente de 200 km, el cual fue formado por el impacto de un meteorito hace aproximadamente 66 millones de años [Urrutia-Fucugauchi et al. 2010].

El tamaño y la morfología del cráter de impacto se obtuvieron a través de métodos geofísicos como gravimetría y magnetometría satelital [Hildebrand et al., 1991] como se observa en la figura 30, además se ha continuado su investigación a través de métodos sísmicos, registros de pozos y núcleos, los cuales son capaces de correlacionarse con el límite K/T. [Urrutia-Fucugauchi et al. 2010].

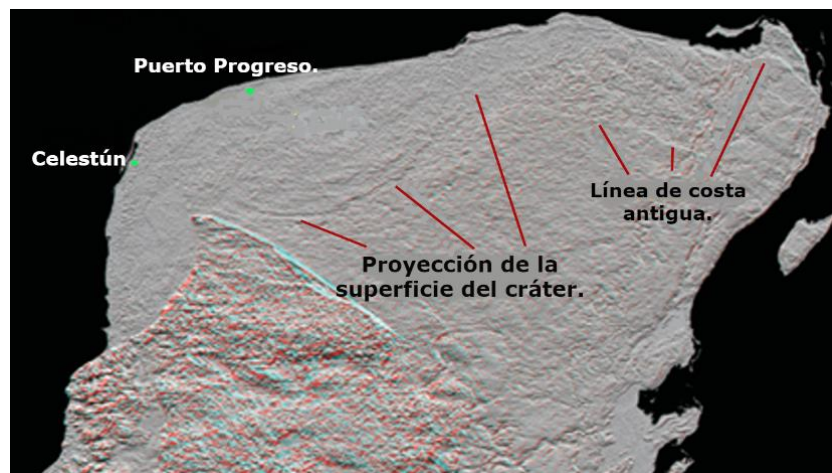


Figura 30. Modificada de Urrutia-Fucugauchi et al. [2008]. Imagen satelital de radar interferométrico que muestra la proyección de la superficie del cráter de impacto, consiste en la mitad anillar de la huella del impacto en superficie terrestre. Se pueden observar las líneas de costa que sugieren antiguos niveles del océano

6.3 MODELOS GEOFÍSICOS

6.3.1 MODELOS MAGNETOMÉTRICOS

Campo Magnético Total

A partir del levantamiento aeromagnético realizado por Pemex en 1978, Pilkington, M., & Hildebrand, A. R., [2000] realizan un modelo del campo magnético total en el crater del Chicxulub con el fin de caracterizar la zona (figura 31).

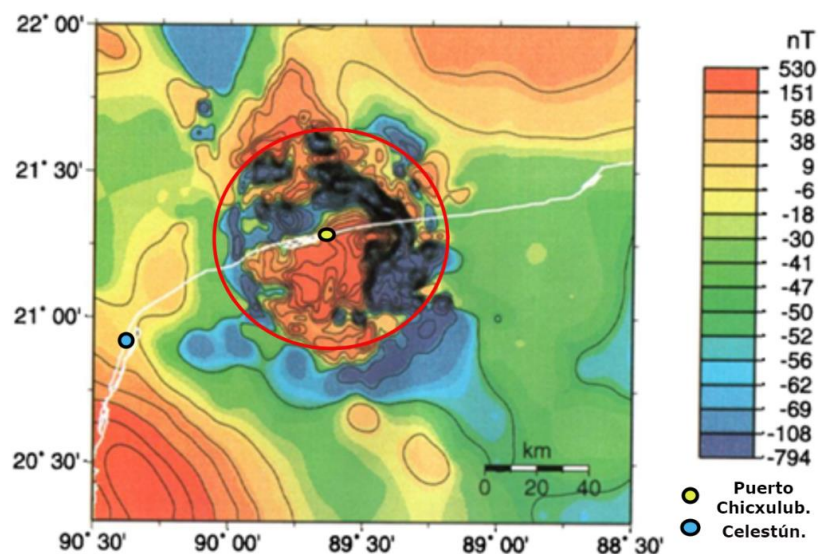


Figura 31. Modificado de Pilkington, M., & Hildebrand, A. R., [2000] Mapa aeromagnético del cráter del Chicxulub; Se aprecian valores altos en el centro y se delimita aproximadamente una circunferencia externa que contrasta con valores bajos.

Perfil 2D

A través del estudio magnético en perfiles 2d del cráter Chicxulub y la modelación en computadora, Pilkington, M., & Hildebrand, A. R. [2000] sugiere que el impacto ocurrió desde la dirección sureste, esto debido a que el perfil realizado en estudios anteriores muestra un desplazamiento del modelo magnético con tendencia hacia el suroeste a partir del centro del cráter como se aprecia en la figura 32.

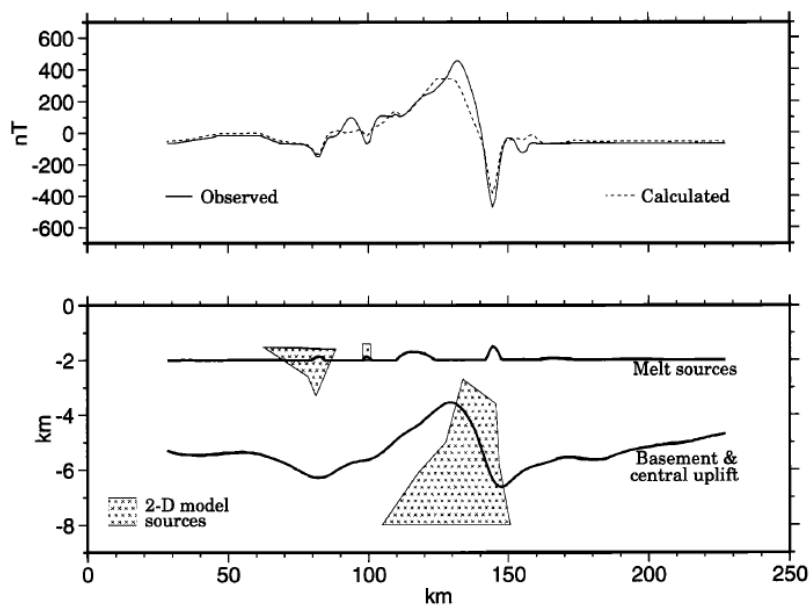


Figura 32. Tomada de Pilkington, M., y Hildebrand, A. R., [2000]. Comparación del modelo de magnetización (figura 31) como resultados del estudio en un perfil 2-D.

Anomalía Aeromagnética

El mapa aeromagnético realizado por Ortiz-Alemán y Urrutia-Fucugauchi, [2010] nos muestra el centro del impacto a través de anomalías dipolares, estos datos reflejan grandes valores dispuestos en el centro del cráter (color negro) con valores aproximados de 1000 nT y longitudes de onda muy cortas, también se aprecian ligeramente las estructuras anillares dipolares de los eventos de deformación de la superficie. Los valores regionales de magnetización fuera de la zona de impacto contrastan por tener un comportamiento de baja frecuencia y amplitud.

Como se observa en la imagen 33, la anomalía central con amplitud mayor a 500 nT está relacionada con el derretimiento de brechas y al ascenso del basamento, por otro lado, las estructuras anillares que abarcan rangos desde 100 nT hasta los 500 nT pueden asociarse a brechas con alto contenido de vidrio y rocas fundidas [Ortiz-Alemán y Urrutia-Fucugauchi, 2010].

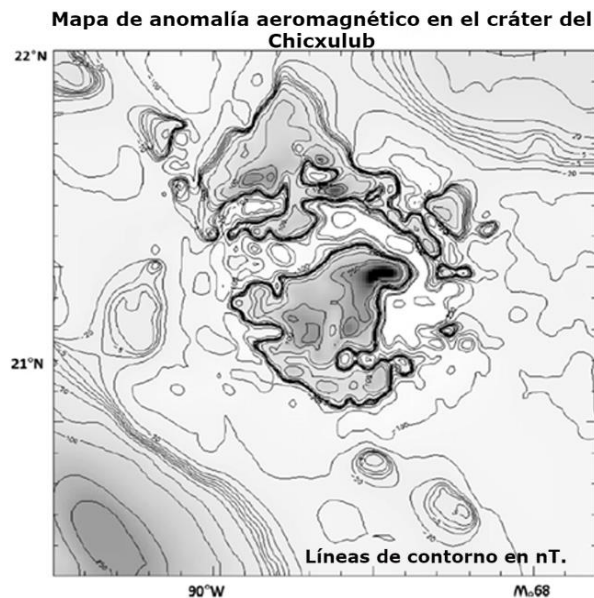


Figura 33. Modificado de Ortiz-Alemán y Urrutia-Fucugauchi, [2010]. Mapa de anomalía aeromagnético en el cráter del Chicxulub, nótese los valores altos en el centro y la disposición semicircular.

Método de deconvolución de Euler

La deconvolución de Euler es una herramienta de interpretación para determinar la localización y estimación de fuentes asociadas con anomalías de campos potenciales [Orihuela, N., y García, A., 2015].

Este método permitió a Ortiz-Alemán y Urrutia-Fucugauchi, [2010] observar cinco conjuntos de rocas de distinto magnetismo en contraste a los valores magnéticos generales del área de estudio, las cuales se separaron en dos grupos debido a sus frecuencias como se muestra en la figura 34.

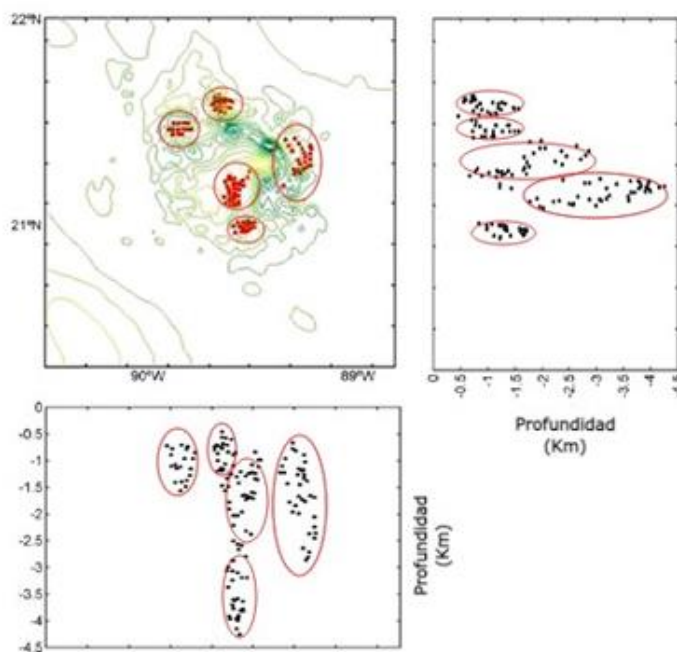


Figura 34. Modificada de Ortiz-Alemán y Urrutia-Fucugauchi, [2010] Método de Deconvolución de Euler para estimar profundidades de anomalías magnéticas y su asociación en cinco grupos de anomalías a profundidad.

El primer conjunto de rocas (estructuras anillares) abarca anomalías magnéticas dipolares de alta frecuencia de polaridad inversa. Lo cual se asoció a brechas magnéticas y rocas fundida, las profundidades estimadas sugieren que estas anomalías

se encuentran en rango de profundidad de 0,5 a 2,0 km. [Ortiz-Alemán y Urrutia-Fucugauchi, 2010]

El segundo conjunto de rocas (en el centro) abarca anomalías a mayor profundidad, lo que sugiere el ascenso de rocas magnéticas asociadas al basamento junto con el levantamiento de la roca circundante, las profundidades estimadas sugieren que estas anomalías se encuentran en rango de profundidad de 2,0–4,5 km. [Ortiz-Alemán y Urrutia-Fucugauchi, 2010].

6.3.2 MODELOS GRAVIMÉTRICOS

El cráter del Chicxulub ha sido modelado e inferido gracias a diversos estudios y técnicas gravimétricas con el fin de correlacionar los datos entre magnetometría, sísmica y gravimetría para modelar e inferir lo ocurrido en el impacto K/T y el cráter Chicxulub, se presenta una recopilación de algunos a continuación:

Modelo de anomalía de Bouguer

Con el fin de comprender mejor el evento de impacto del Chicxulub, Sharpton et al., [1993] analizaron el mapa de anomalías de gravedad (figura 35), notando una depresión con valores aproximados por debajo de los 25 mGals menos que los valores regionales de la zona, a su vez, destacando amplitudes de hasta 30 mGals en el centro del cráter, además de tres unidades con forma anillar concéntricas al centro que contrastan con valores altos y bajos de gravedad.

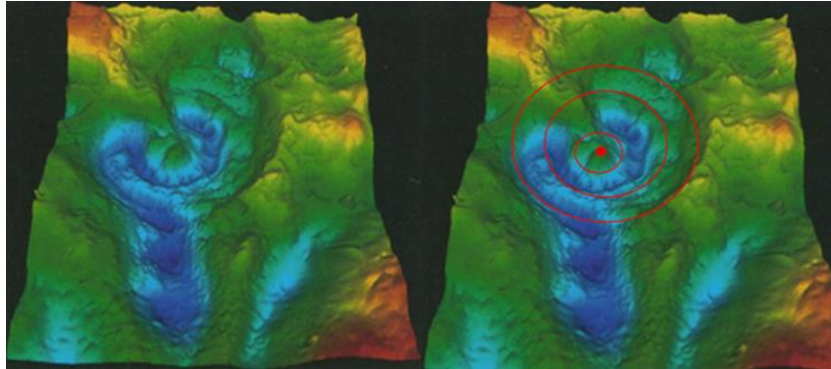


Figura 35. Modificado de Sharpton et al., [1993]. Representación de modelo 3D de anomalías gravitacionales de Bouguer sobre el cráter Chicxulub. Destacan el centro (punto rojo) y tres anillos concéntricos (rojos) que contrastan con valores bajos (azul).

Los valores altos en el centro del cráter corresponden a la gran concentración de masa, el fracturamiento y levantamiento de la corteza, probablemente el impacto ocasionaría la fusión materiales de la superficie y de la corteza, además, las estructuras anillares, surgirían a través de la deformación del suelo a causa de las etapas del impacto [Sharpton et al., 1993].

Perfil de anomalía gravimétrica

Se pueden relacionar los pequeños cambios gravimétricos con las estructuras dispuestas en el subsuelo, por lo que Sharpton et al., [1993] en base a los contrastes de densidad y la realización de un perfil con los datos del cráter, sugiere la disposición de los siguientes materiales: 1, Brecha fundida por el impacto; 2, brecha alogénica interna; 3, basamento cristalino levantado y fracturado; 4, brecha alogénica exterior; 5, Sedimentos de la plataforma del Cretácico; 6, basamento superior cristalino; 7, basamento intermedio; y 8. Basamento profundo elevado (ver figura 36). Además, dispone una línea discontinua que mostraría la posición aproximada del límite del cráter.

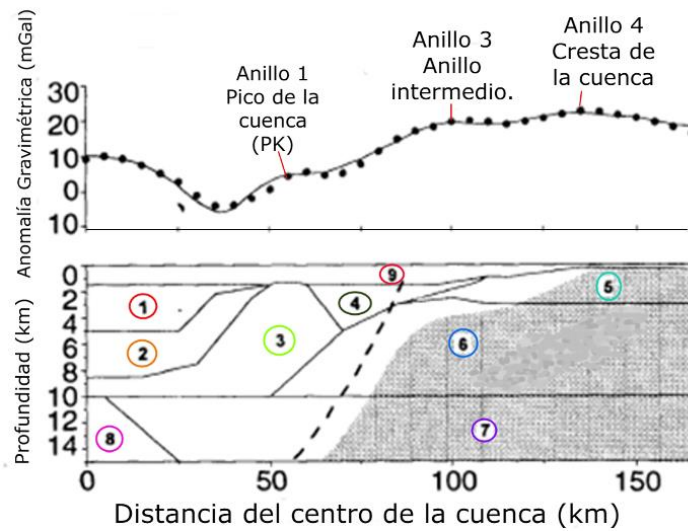


Figura 36. Modificado de Sharpton et al. [1993]. Perfil de anomalía gravimétrica en el cráter del Chicxulub que sugiere las estructuras anillares y el borde del cráter, los números corresponden a la litología inferida.

Mapa de gradiente horizontal

El gradiente horizontal es la variación de la gravedad en una cierta distancia hacia una dirección, es usado para reconocer zonas de fractura y/o fallas y/o contactos entre estructuras, se muestran el gradiente como los puntos grises agrupados en la figura 37.

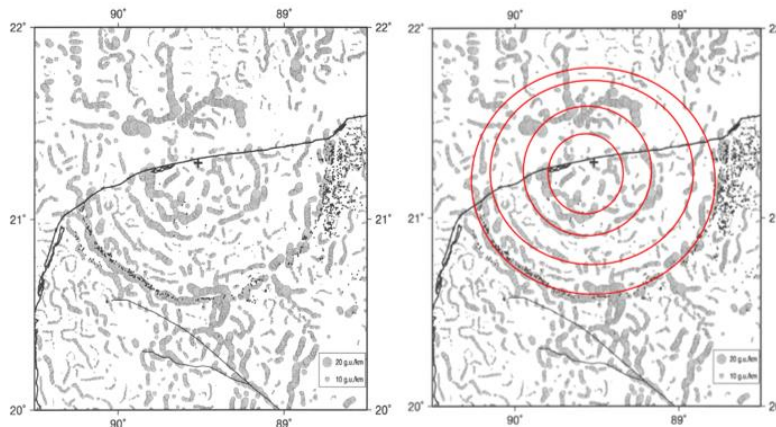


Figura 37. Modificada de Hildebrand, R. et al. [1998] Mapa que muestra los gradientes máximos de gravedad en la zona de impacto del Chicxulub, la posible disposición de los anillos dejados por el impacto se señalan en rojo.

Perfil de contraste de densidades

El perfil realizado por Hildebrand, R. et al [1998] muestra un modelo bidimensional de gravedad (figura 38) para poder obtener una inferencia de la estructura del subsuelo.

El perfil se realizó a lo largo del centro del cráter y paralelo a la costa, lo que sugiere una aproximación del campo de gravedad del sitio [Hildebrand, R. et al 1998].

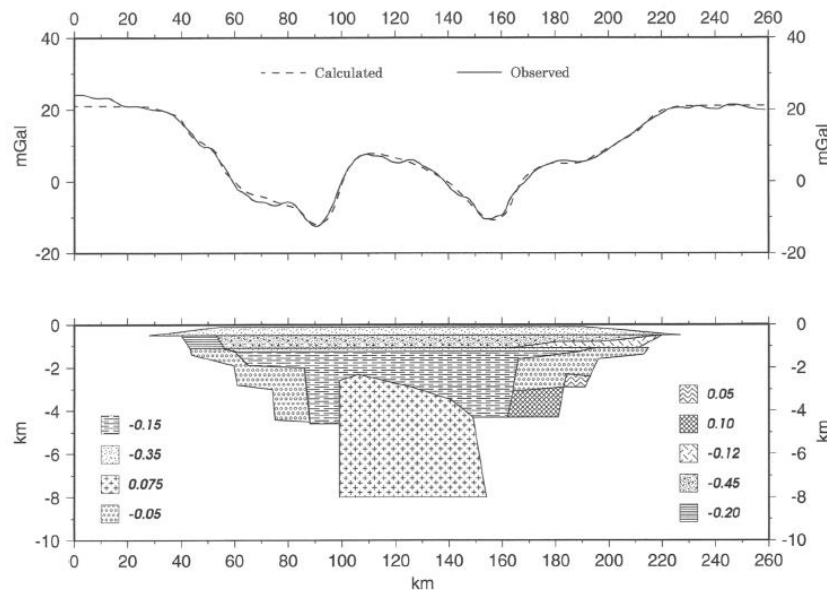


Figura 38. Tomada de Hildebrand, R. et al [1998]. Nótese en el centro un gran bloque de rocas conformadas posiblemente por la fusión de materiales debido al impacto.

6.3.3 MODELOS SÍSMICOS

Los más importantes estudios del cráter Chicxulub a través de métodos sísmicos fueron realizados por Camargo-Zanoguera y Suarez-Reynoso, [1994] por parte de Petróleos Mexicanos en el año de 1992, de los cuales fueron llevados a cabo dos perfiles sísmicos de reconocimiento de poca penetración.

Además, otros estudios sísmicos de penetración profunda se han realizado por parte del Sindicato de Perfiles de Reflexión de Instituciones Británicas (BIRPS) en 1996,

adquiriendo aproximadamente 650 km de perfil de reflexión sísmica marina [Morgan et al., 1997]

Más recientemente en 2005, otro estudio sísmico de penetración profunda por parte de Gulick et al., [2008] llevo a cabo la toma de 1.822 km de datos adicionales de reflexión sísmica y con métodos sísmicos de refracción tridimensionales (3D) adquiridos sobre el centro del cráter.

Perfiles del cráter Chicxulub

Gulick, S. P. S., et al. [2013] compila en su trabajo que los datos obtenidos por los anteriores estudios, que constan de aproximadamente 2470 km de perfiles de reflexión sísmica marina.

Como se aprecia en la figura 39, Gulick, S. P. S., et al. [2008] realizó varios perfiles de reflexión sísmica con distintas orientaciones para poder describir la morfología aproximada del cráter.

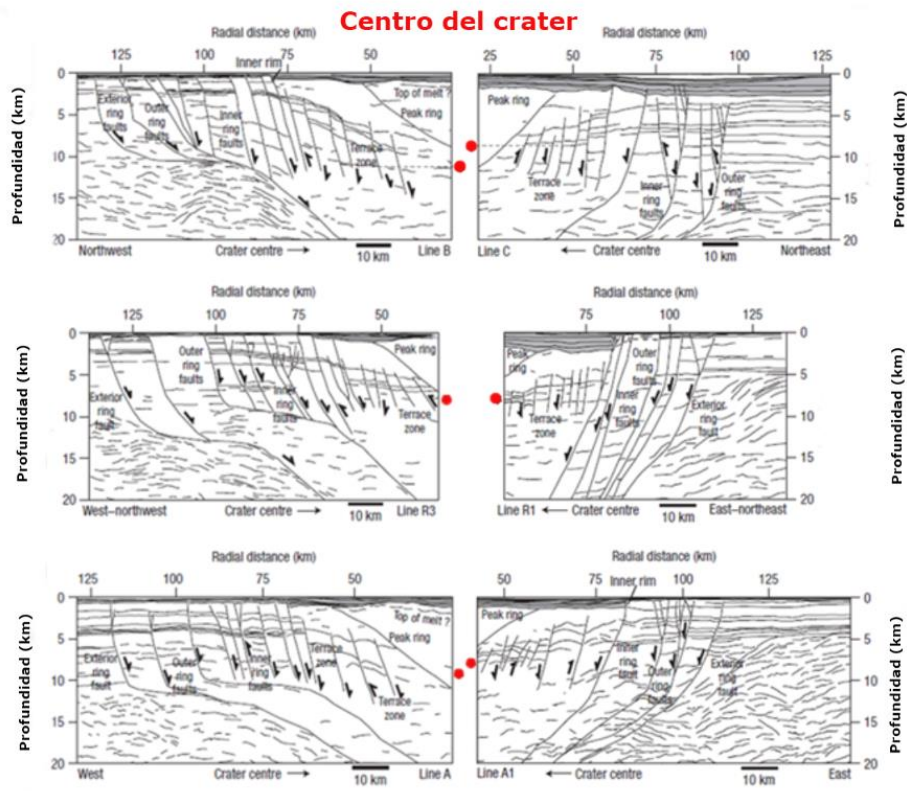


Figura 39. Modificada de Gulick, S. P. S., et al. [2008]. Interpretación regional de la porción exterior de la costa a través de perfiles sísmicos del cráter Chicxulub. Los perfiles se encuentran dispuestos en distintas direcciones.

Modelo de velocidades de la zona Peak Ring

El siguiente perfil sísmico (Figura 40) o línea 10, está dispuesto cerca del Pico del anillo del cráter Chicxulub.

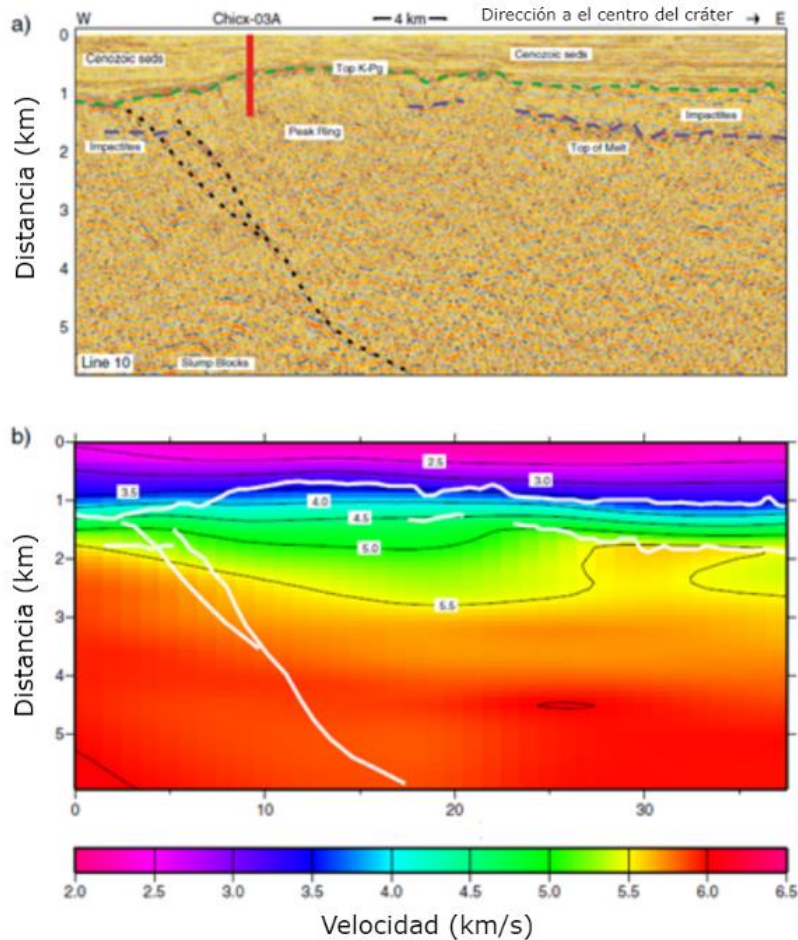


Figura 40. Modificado de Gulick, S. P. S. et al. [2013]. Se muestra la interpretación de velocidades a partir de la reflexión sísmica del Pico del anillo (Peak Ring) a partir del modelo de velocidad bidimensional. Las líneas blancas muestran la interpretación de los datos obtenidos en el perfil (a) de reflexión sísmica de la Línea 10.

Modelo conjunto de velocidad-gravedad

Gulick, S. P. S. et al. [2013], muestra un modelo que une los métodos sísmicos y gravimétricos para observar y correlacionar anomalías del cráter Chicxulub a escala regional.

Las líneas blancas son la disposición de los perfiles sísmicos y la línea negra marca la costa de Yucatán, la estrella roja marca el centro del cráter (figura 41).

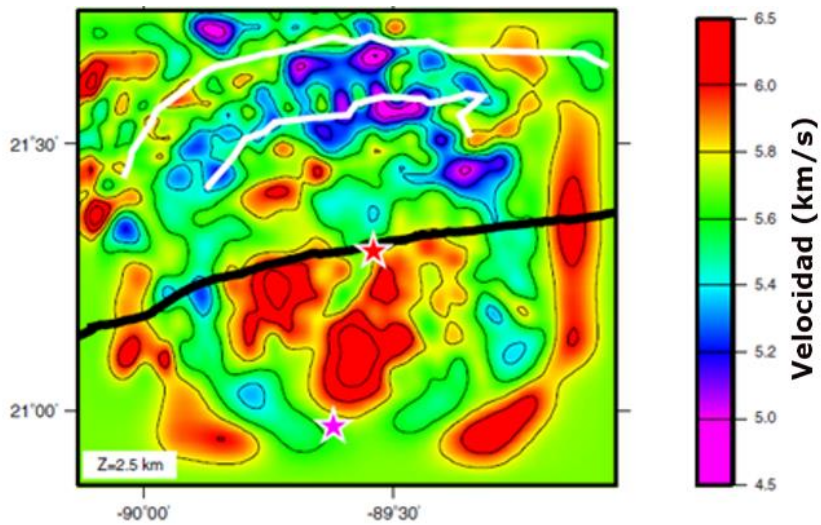


Figura 41. Modificada de Gulick, S. P. S. et al. [2013]. Modelo de velocidad-gravedad tridimensional del cráter Chicxulub a 2,5 km de profundidad. Las anomalías de altos valores se aprecian más en superficie (valores de color rojo).

Perfil de velocidad-distancia-profundidad.

La línea 9 se aprecia en la figura 42, dispuesta cerca de la zona del Pico del anillo del cráter para formar un modelo de profundidad-velocidades.

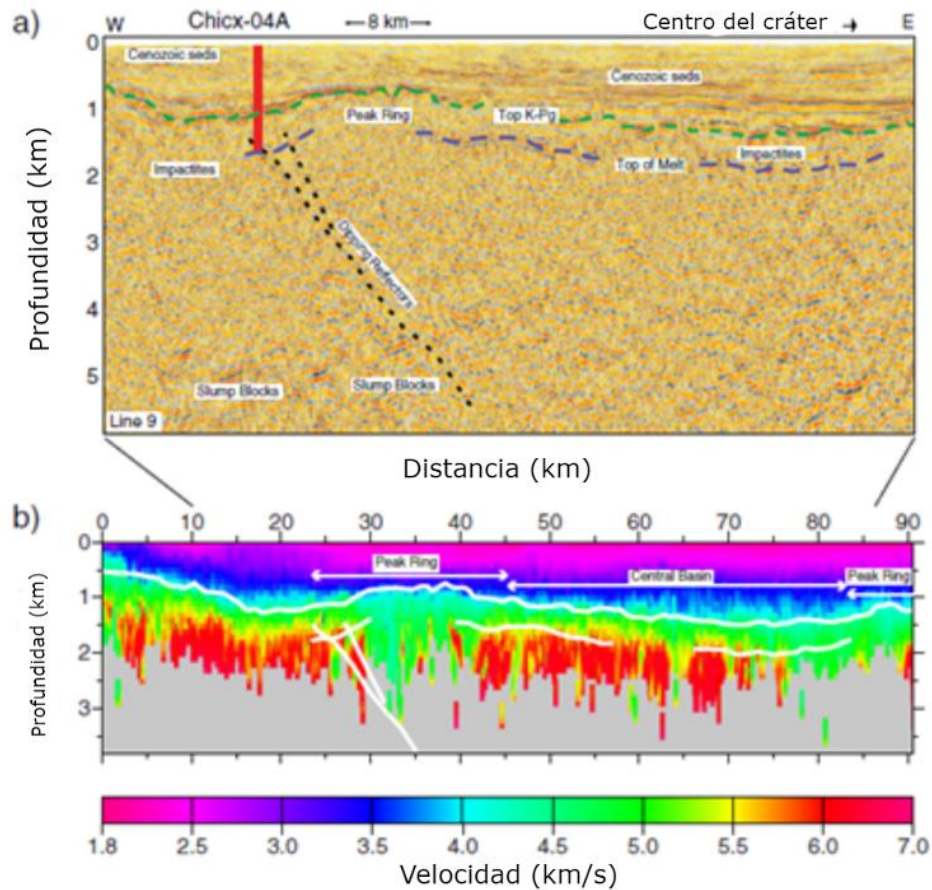


Figura 42. Modificado de Gulick, S. P. S. et al [2013] donde presenta el modelo de Barton, P.J. et al [2010] en conjunto con el perfil formado de picos de refracción sísmica de primera llegada que son transformados en un perfil de espacio velocidad-distancia-profundidad. Las líneas blancas muestran la disposición de toma de datos de la Línea 9.

Perfil NW-SE

A través del análisis de otro perfil, Gulick, S. P. S., et al. [2013] sugiere que el cráter Chicxulub tiene un borde interior que a su vez, tiene un límite inferior, que muestra fallas a lo largo del anillo (figura 43), además sugiere otras estructuras como una zona de terraza, un valle de disposición anillar, un pico (Peak Ring) y la cuenca central dentro del pico.

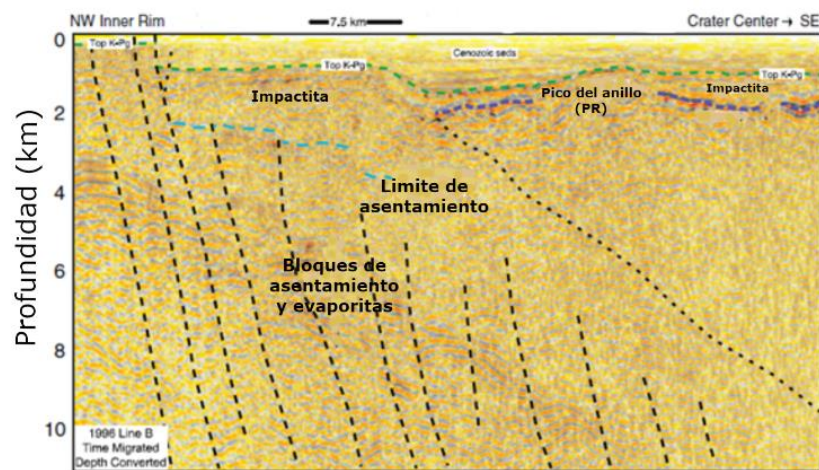


Figura 43. Modificada de Gulick, S. P. S., et al. [2013]. En el perfil se aprecia un bloque descendente hacia el centro el cráter junto con un grupo de fallas normales y otro conjunto de material en la parte superior que se describe como litologías de impacto (impactites) además de la zona límite superior del impacto K-PG.

Perfil de exploración sísmica profunda

En 2005, se adquirieron un total de 29 perfiles de reflexión sísmica multicanal a través de 4 líneas multicanal orientadas radialmente al centro del cráter adicionales en diversas orientaciones [Urrutia-Fucugauchi. et al 2010].

Los datos sísmicos permiten reconocer la ubicación del borde del cráter, el pico central del impacto y los anillos exteriores (figura 44), los cuales pueden asociarse con el colapso de la superficie y el levantamiento del basamento [Urrutia-Fucugauchi. et al 2010].

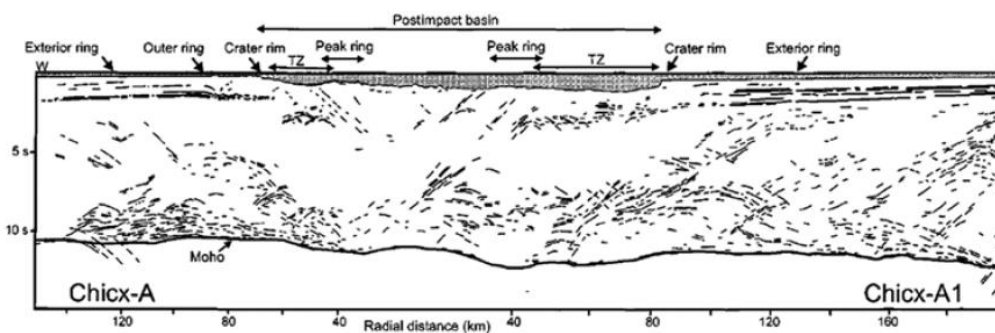


Figura 44. Tomada de Urrutia-Fucugauchi. et al [2010]. Perfil de reflexión sísmica sin migración Chicx-A y Chicx-A1. Se pueden observar en la zona superior de la imagen hasta 3 anillos exteriores, lo que se puede relacionar con los métodos antes vistos como gravimetría y magnetometría

Gracias a las estructuras antes mencionadas, métodos sísmicos y perforaciones de pozos, se hace la inferencia: “se proponen cuatro etapas de fracturamiento / fallamiento: la primera etapa ocurrió en el momento del impacto formando una cavidad de tránsito; La segunda etapa ocurrió cuando el levantamiento central y la capa de eyección colapsaron, durante esta etapa se formó la estructura del pico del anillo. En la tercera etapa se desarrolló la zona de terrazas; y finalmente, en la cuarta etapa se produjeron hundimientos y fallas menores por compactación diferencial.” [Urrutia-Fucugauchi et al, 2010, p. 106]

Esquemas de sección transversal estructural

La interpretación del cráter por Pilkington y Hildebrand, [2000] con métodos de reflexión sísmica y datos de campo potencial (magnéticos) permitió realizar una inferencia del tipo de rocas en el subsuelo de la cuenca (ver figura 45).

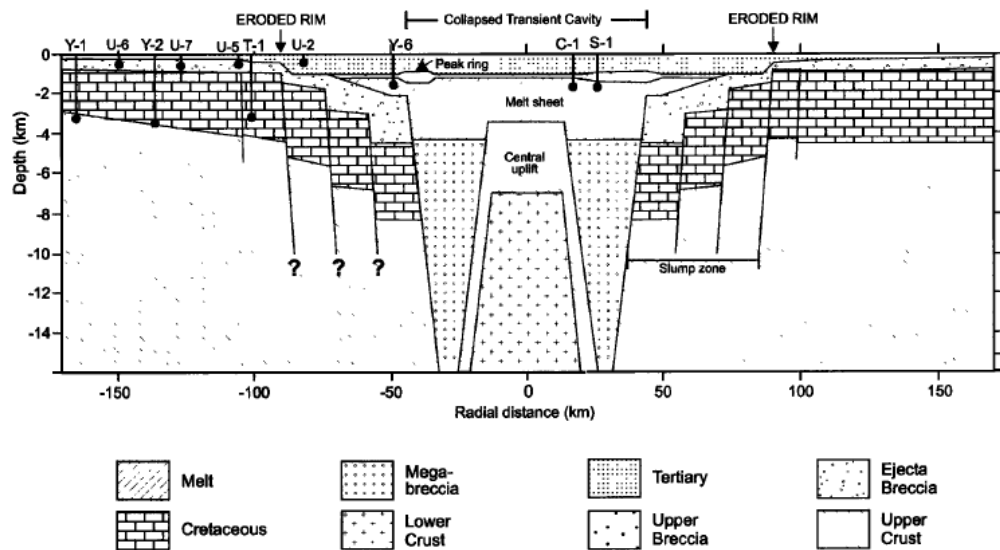


Figura 45. Tomada de Pilkington y Hildebrand, [2000]. Esquema de una sección transversal del cráter del Chicxulub basado en perforaciones de pozos, reflexión sísmica y datos de métodos potenciales. Los pozos graficados son S-1, Sacapuc-1; C-1, Chicxulub-1; Y-6, Yucatán-6; U-2, UNAM-2; T-1, Ticul-1; U-5, UNAM-5; U-7, UNAM-7; Y-2, Yucatán-2; U-6, UNAM-6; Y-1, Yucatán-1.

7. CONCLUSIONES

Los cambios termodinámicos sucedidos a lo largo de la historia han sido incontables, entre ellos destacan dos eventos que cambiaron radicalmente la forma y la vida de los organismos en la Tierra.

Estos eventos pueden ser estudiados gracias a la información dispuesta en los fósiles y algunas estructuras geológicas. Estas son, la gran extinción del periodo Pérmico y la huella de un impacto meteórico, ahora denominado como cráter Chicxulub en la península de Yucatán.

Podemos saber a través de la geofísica y de la geología que, este impacto acabó con la mayor parte de organismos del periodo Mesozoico, aproximadamente el 80% de toda la vida en la Tierra, y a su vez, es el precursor y detonante del surgimiento de muchas y nuevas formas de organismos, siendo los más exitosos hasta nuestros días, los mamíferos.

Pero, ¿qué tiene que ver el impacto meteórico y la gran extinción del periodo Pérmico?

Si bien, las causas del evento de extinción del periodo Pérmico todavía son inciertas, estos dos eventos comparten las mismas consecuencias, vulcanismo, un periodo con un alto efecto invernadero, invierno nuclear, movimiento de placas y la evolución sin precedentes de nuevos organismos, todo ligado a los cambios en los procesos termodinámicos del sistema de la Tierra.

Al analizar estos eventos, podemos notar la importancia del estudio de la termodinámica, del cómo, el evento K/T, el impacto de un meteorito, fue el más grande agente de cambio termodinámico registrado y comprobable dentro de las estructuras geológicas de la Tierra.

El cual, es el parteaguas de que, los mamíferos y subsecuentemente, la especie humana, estén su lugar actual, y que en cualquier momento, como los dinosaurios, por un simple cambio de temperatura podríamos evolucionar o desaparecer.

Con ello, la geofísica nos muestra otro punto de vista posible para conocer indirectamente el pasado geológico de la Tierra y de lo que podría deparar el futuro para todas las especies.

Con este trabajo de investigación se pretende resaltar que la geofísica puede ser aplicada para otros usos que normalmente no están contemplados, sirve de base, correlación y como ejemplo, para unir otras ciencias como la biología, geología y la termodinámica, y así, crear nuevas formas de abordar problemas y encontrar soluciones tanto del pasado como del futuro. Inspirar la curiosidad de los estudiantes para tengan una nueva visión y se interesen en investigaciones que enriquezcan los conocimientos del ser humano.

REFERENCIAS

- Bakker, R. T. (1972). "Anatomical and Ecological Evidence of Endothermy in Dinosaurs." *Nature*, 238(5359), 81–85. doi:10.1038/238081a0
- Bakker, R. T. (1978). Dinosaur feeding behaviour and the origin of flowering plants. *Nature*, 274(5672), 661–663. doi:10.1038/274661a0
- Barton, P. J., Grieve, R. A. F., Morgan, J. V., Surendra, A. T., Vermeesch, P. M., Christeson, G. L., ... Warner, M. R. (2010). Seismic images of Chicxulub impact melt sheet and comparison with the Sudbury structure. *Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution IV*, 103–113. doi:10.1130/2010.2465(07)
- Bennett, S. C. (1996). Aerodynamics and thermoregulatory function of the dorsal sail of *Edaphosaurus*. *Paleobiology*, 22(04), 496–506. doi:10.1017/s0094837300016481
- Butterlin J. (1958). Reconocimiento geológico preliminar del territorio de Quintana roo. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geología Petrolera, México* 10(9-10):531-570.
- Arévalo, C. (2000). "Biología de reptiles". Universidad de Guadalajara división de Ciencias Biológicas y Ambientales.
- Carroll, R. L. (1969). Problems of the origin of reptiles. *Biological Reviews*, 44(3), 393–431. doi:10.1111/j.1469-185x.1969.tb01218.x
- Carroll, R. L. (1988). *Vertebrate Paleontology and Evolution*. New York: W.H. Freeman & Co. ISBN 0-7167-1822-7
- Carroll, RL (1969). Problemas del origen de los reptiles. *Revisiones biológicas*, 44 (3), 393–431. doi: 10.1111 / j.1469-185x.1969.tb01218.x
- Chaloner, B. (2009). Plants and the K–T Boundary. *Annals of Botany*, 103(7), v–vi. doi:10.1093/aob/mcp052
- Chinsamy, A., Rich, T., & Vickers-Rich, P. (1998). Polar dinosaur bone histology. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 18(2), 385–390. doi:10.1080/02724634.1998.1001106

- Clemente, C. J. (2014). The evolution of bipedal running in lizards suggests a consequential origin may be exploited in later lineages. School of Biological Sciences, University of Queensland, Queensland. doi:10.1111/evo.12447
- Codd, J. R., Manning, P. L., Norell, M. A., & Perry, S. F. (2008). "Avian-like breathing mechanics in maniraptoran dinosaurs." *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275(1631), 157–161. doi:10.1098/rspb.2007.1233
- Collins, G. S., Patel, N., Davison, T. M., Rae, A. S. P., Morgan, J. V. (2020). A steeply-inclined trajectory for the Chicxulub impact. *Nature Communications*, 11(1). doi:10.1038/s41467-020-15269-x
- D. B. Norman. (2001). "Dinosaur Feeding". In *Encyclopedia of Life Science*. doi:10.1038/npg.els.0003321
- De maupertuis, L. M. (1750). *Essay de Cosmologie*, in *Les Oeuvres de Mr. De Maupertuis*, 1752, Dresden, Libraire du Roy, 1-54.
- Desmond, A. (1992). *Los dinosaurios de sangre caliente*. Plaza & Janés.
- Diéguez, Carmen. (2004). *Flora y vegetación durante el Jurásico y el Cretácico*. Monografías del Jardín Botánico de Córdoba, ISSN 1135-366X, Nº 11, 2004, pags. 53-62.
- Dieusaert Tom. (2001). *Chicxulub, El cráter de la muerte*. Revista ¿Cómo ves?. Vol. 34. UNAM
- Durán R. y Méndez M. (Eds). 2010. *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA.
- Eagle, R. A., Enriquez, M., Grellet-Tinner, G., Pérez-Huerta, A., Hu, D., Tütken, T., Eiler, J. M. (2015). Isotopic ordering in eggshells reflects body temperatures and suggests differing thermophysiology in two Cretaceous dinosaurs. *Nature Communications*, 6(1). doi:10.1038/ncomms9296
- García Amaro, E. (2017). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.
- Erickson, G. M., Makovicky, P. J., Currie, P. J., Norell, M. A., Yerby, S. A., & Brochu, C. A. (2004). Gigantism and comparative life-history parameters of tyrannosaurid dinosaurs. *Nature*, 430(7001), 772–775. doi:10.1038/nature02699

- Farmer, C. G., Uriona, T. J., Olsen, D. B., Steenblik, M., & Sanders, K. (2008). The Right-to-Left Shunt of Crocodylians Serves Digestion. *Physiological and Biochemical Zoology*, 81(2), 125–137. doi:10.1086/524150
- Fastovsky, D. E. and Weishampel D. B. (2009). “A Review of “Dinosaurs: a Concise Natural History”. Cambridge University Press, 377 pp.
- Fisher, PE (2000). Evidencia cardiovascular de una tasa metabólica intermedia o más alta en un dinosaurio ornitisquio. *Science*, 288 (5465), 503–505. doi: 10.1126 / science.288.5465.50
- Friedman, M. (2009). Ecomorphological selectivity among marine teleost fishes during the end-Cretaceous extinction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(13), 5218–5223. doi:10.1073/pnas.0808468106
- Gaona Vizcayo, S., M. Villasuso-Pino, J. Pacheco, A. Cabrera, J. Trejo, G. Tuche, C. Tamayo, v. Coronado, J. Durazo y E. Perry. (1985). Hidrogeoquímicos de Yucatán I: perfiles hidrogeoquímicos profundos en algunos lugares del acuífero del noroeste de la península de Yucatán, Instituto de Geofísica, UNAM.
- García G., y E. Graniel. Geología. En R. Durán y M. Méndez (Eds.) 2010. Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA.
- Grady, J. M., Enquist, B. J., Dettweiler-Robinson, E., Wright, N. A., & Smith, F. A. (2014). Evidence for mesothermy in dinosaurs. *Science*, 344(6189), 1268–1272. doi:10.1126/science.1253143
- Gulick, S. P. S., Barton, P. J., Christeson, G. L., Morgan, J. V., McDonald, M., Mendoza-Cervantes, K., Warner, M. R. (2008). Importance of pre-impact crustal structure for the asymmetry of the Chicxulub impact crater. *Nature Geoscience*, 1(2), 131–135. doi:10.1038/ngeo103
- Gulick, S. P. S., Christeson, G. L., Barton, P. J., Grieve, R. A. F., Morgan, J. V., & Urrutia-Fucugauchi, J. (2013). Geophysical characterization of the Chicxulub impact crater. *Reviews of Geophysics*, 51(1), 31–52. doi:10.1002/rog.20007
- Gutiérrez, Carlos. (2000). “Biología de reptiles”. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

- Hicks, J.W. & Farmer, C.G. (1998). "Lung Ventilation and Gas Exchange in Theropod Dinosaurs". *Science*.
- Hildebrand A. R., Penfield G.T., Kring D.A., Pilkington M., Camargo-Zanoguera A., Jacob-sen S.B., Boynton W.V., 1991, Chicxulub Crater: A possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatan Peninsula, Mexico. *Geology*, 19, 867-871.
- Hildebrand, A. R., & Boynton, W. V. (1990). Proximal Cretaceous-Tertiary Boundary Impact Deposits in the Caribbean. *Science*, 248(4957), 843–847. doi:10.1126/science.248.4957.843
- Hildebrand, A. R., Pilkington, M., Ortiz-Aleman, C., Chavez, R. E., Urrutia-Fucugauchi, J., Connors, M., Niehaus, D. (1998). Mapping Chicxulub crater structure with gravity and seismic reflection data. *Geological Society, London, Special Publications*, 140(1), 155–176. doi:10.1144/gsl.sp.1998.140.01.12
- Hillenius, WJ (2006). Fisiología de los dinosaurios: ¿eran los dinosaurios de sangre caliente? *Enciclopedia de Ciencias de la Vida*. doi: 10.1038 /npg.els.0003323
- Hopson, J. A. (1987). The Mammal-Like Reptiles: A Study of Transitional Fossils. *The American Biology Teacher*, 49(1), 16–26. doi:10.2307/4448410
- Hutchinson, J. R. (2006). The evolution of locomotion in archosaurs. *Comptes Rendus Palevol*, 5(3-4), 519–530. doi:10.1016/j.crpv.2005.09.002
- Isphording W. C. (1975). The physical geology of Yucatan. *Transactions. Gulf Coast Association of Geological Societies* 25:231-262.
- Khan Academy. (s.f.) "Estrategias de regulación de la temperatura" Tomado de: <https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/ecology-ap/energy-flow-through-ecosystems/a/animal-temperature-regulation-strategies>
- Kutschera, U., & Niklas, K. (2004). The modern theory of biological evolution: an expanded synthesis. *Naturwissenschaften*, 91(6). doi:10.1007/s00114-004-0515-y
- Longrich, N. R., Bhullar, B.-A. S., & Gauthier, J. A. (2012). Mass extinction of lizards and snakes at the Cretaceous-Paleogene boundary. *Proceedings of the*

National Academy of Sciences, 109(52), 21396–21401.
doi:10.1073/pnas.1211526110

- Longrich, N. R., Tokaryk, T., & Field, D. J. (2011). Mass extinction of birds at the Cretaceous-Paleogene (K-Pg) boundary. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(37), 15253–15257. doi:10.1073/pnas.1110395108
- López-Ramos, E., (1973). Estudio Geológico de la Península de Yucatán: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 25 (1-3), 23-75.
- Martínez, R. N., Simões, T. R., Sobral, G., & Apesteguía, S. (2021). A Triassic stem lepidosaur illuminates the origin of lizard-like reptiles. *Nature*. doi:10.1038/s41586-021-03834-3
- McNab, B. K. (1978). The Evolution of Endothermy in the Phylogeny of Mammals. *The American Naturalist*, 112(983), 1–21. doi:10.1086/283249
- Brett-Surman, M. K.; Thomas R. Holtz Jr.; James O. Farlow. (2012). “El dinosaurio completo”. Segunda edición. Prensa de la Universidad de Indiana. ISBN: 0253357012
- Modesto, S. P., & Anderson, J. S. (2004). The Phylogenetic Definition of Reptilia. *Systematic Biology*, 53(5), 815–821. doi:10.1080/10635150490503026
- Morgan, J., Warner, M., the Chicxulub Working Group, Brittan, J., Buffler, R., Camargo, A., Trejo, A. (1997). Size and morphology of the Chicxulub impact crater. *Nature*, 390(6659), 472–476. doi:10.1038/37291
- NASA. (2002). “The great dying”. Science NASA. Tomado de: https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/28jan_extinction/
- Ogden, D. E., & Sleep, N. H. (2011). Explosive eruption of coal and basalt and the end-Permian mass extinction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(1), 59–62. doi:10.1073/pnas.1118675109
- Orihuela, N., y García, A. (2015). Deconvolución de Euler de datos gravimétricos del segmento central de la zona de borde sur de la Placa Caribe. *Boletín de Geología*, 37 (2).

- Ortiz-Alemán C., Urrutia-Fucugauchi J. (2010). Aeromagnetic anomaly modeling of central zone structure and magnetic sources in the Chicxulub crater. *Phys. Earth Planet. Int.*, doi:10.1016/j.pepi.2010.01.007.
- Cerruti, P. (2019). "Animales bípedos - Ejemplos y características". *ExpertoAnimal*. <https://www.expertoanimal.com/animales-bipedos-ejemplos-y-caracteristicas-24645.html>
- Penfield G. T., Camargo-Zanoguera A. (1981), Definition of a major igneous zone in the central Yucatan platform with aeromagnetism and gravity, in: Technical Program, Abstracts and Bibliographies, 51st Annual Meeting, p. 37, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma.
- Pilkington, M., & Hildebrand, A. R. (2000). Three-dimensional magnetic imaging of the Chicxulub Crater. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B10), 23479–23491. doi:10.1029/2000jb900222
- Pilkington, M., Hildebrand, A. R., & Ortiz-Aleman, C. (1994). Gravity and magnetic field modeling and structure of the Chicxulub Crater, Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 99(E6), 13147. doi:10.1029/94je01089
- Ralph R.B. von Frese, Laramie V. Potts, Stuart B. Wells, Luis R. Gaya-Piqué, Alexander V. Golynsky, Orlando Hernandez, Jeong Woo Kim, Hyung Rae Kim, Jong Sun Hwang, and Patrick T. Taylor (2005). GRACE gravity data target possible mega-impact in north central Wilkes Land. NASA. 20050180397. <https://ntrs.nasa.gov/citations/20050180397>
- Reisz, R. R., Modesto, S. P., & Scott, D. M. (2011). A new Early Permian reptile and its significance in early diapsid evolution. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1725), 3731–3737. doi:10.1098/rspb.2011.0439
- Reptiles (2013). Conferencia 20. Morfología de los reptiles. *cmas.siu.buap*. Recuperado de http://cmas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/biologia/resources/PDFContent/440/Conferencia%2020.%20Reptiles.pdf

- Reptiles. (2013). Conferencia 19 - cmas.siu.buap. Recuperado de <https://dokumen.tips/documents/reptiles-2013-conferencia-19-cmassiubuap-parece-ser-que-los-primeros-reptiles.html>
- Ricqlès, A. J. de. (1974). "Evolution of endothermy: histological evidence". *Evolutionary Theory* 1.
- Orellana Lanza, R., Celene Espadas Manrique y Federico Nava Marín. Climas. En R. Durán y M. Méndez (Eds.) 2010. Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA.
- Ribas, R. (1987). "Reptiles: Tortugas, Serpientes, Lagartos". *Revista de AVEPA*, Vol. 7. Número 3.
- Ruben, J. A. (1997). Lung Structure and Ventilation in Theropod Dinosaurs and Early Birds. *Science*, 278(5341), 1267–1270. doi:10.1126/science.278.5341.1267
- Sahney, S., & Benton, M. J. (2008). Recovery from the most profound mass extinction of all time. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275(1636), 759–765. doi:10.1098/rspb.2007.1370
- Schulte, P., Alegret, L., Arenillas, I., Arz, J. A., Barton, P. J., Bown, P. R., Willumsen, P.S. (2010). The Chicxulub Asteroid Impact and Mass Extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary. *Science*, 327(5970), 1214–1218. doi:10.1126/science.1177265
- Schulte, P., Smit, J., Deutsch, A., Salge, T., Friese, A., & Beichel, K. (2001). Tsunami backwash deposits with Chicxulub impact ejecta and dinosaur remains from the Cretaceous–Palaeogene boundary in the La Popa Basin, Mexico. *Sedimentology*, 59, 20-45. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2011.01274.x>
- Sereno, P. C. (1997). THE ORIGIN AND EVOLUTION OF DINOSAURS. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 25(1), 435–489. doi:10.1146/annurev.earth.25.1.43
- Sereno, P. C., Martinez, R. N., Wilson, J. A., Varricchio, D. J., Alcober, O. A., & Larsson, H. C. E. (2008). Evidence for Avian Intrathoracic Air Sacs in a New Predatory Dinosaur from Argentina. *PLoS ONE*, 3(9), e3303. doi:10.1371/journal.pone.0003303

- Seymour, RS (2016). Fisiología cardiovascular de los dinosaurios. *Fisiología*, 31 (6), 430–441. doi: 10.1152 / fisiol.00016.2016
- Sharpton, V. L., Burke, K., Camargo-Zanoguera, A., Hall, S. A., Lee, D. S., Marin, L. E., ... Urrutia-Fucugauchi, J. (1993). Chicxulub Multiring Impact Basin: Size and Other Characteristics Derived from Gravity Analysis. *Science*, 261(5128), 1564–1567. doi:10.1126/science.261.5128.1564
- Torsvik, Trond H (2003). The Rodinia jigsaw puzzle. *Science* 300 (5624): 1379. PMID 12775828. doi:10.1126/science.1083469.
- Unwin, D. M., & Bakhurina, N. N. (1994). *Sordes pilosus* and the nature of the pterosaur flight apparatus. *Nature*, 371(6492), 62–64. doi:10.1038/371062a0
- Urrutia-Fucugauchi, Jaime, & Camargo-Zanoguera, Antonio, & Pérez-Cruz, Ligia, & Pérez-Cruz, Guillermo (2010). The Chicxulub multi-ring impact crater, Yucatan carbonate platform, Gulf of Mexico. *Geofísica Internacional*, 50(1),99-127. . ISSN: 0016-7169.
- Vermeesch, P. M., Morgan, J. V., Christeson, G. L., Barton, P. J., & Surendra, A. (2009). Three-dimensional joint inversion of travelttime and gravity data across the Chicxulub impact crater. *Journal of Geophysical Research*, 114(B2). doi:10.1029/2008jb005776
- Weidie, A. E. (1985). Geology of the Yucatan Platform, Part 1. Pages 1-19 in Ward, W. C., A.E. Weidie, and W. Back, eds. *Geology and hydrogeology of the Yucatan and Quaternary Geology of northeastern Yucatan Peninsula*. New Orleans Geological Society. New Orleans, LA.
- Wilson, J. A. (2002). Sauropod dinosaur phylogeny: critique and cladistic analysis. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 136(2), 215–275. doi:10.1046/j.1096-3642.2002.00029.x
- Xu, X., Zhao, Q., Norell, M., Sullivan, C., Hone, D., Erickson, G., Guo, Y. (2008). A new feathered maniraptoran dinosaur fossil that fills a morphological gap in avian origin. *Science Bulletin*, 54(3), 430–435. doi:10.1007/s11434-009-0009-6
- Young, J. Z. (1977). *La vida de los vertebrados*. Editorial Omega, Barcelona, 660 pp. ISBN 84-282-0206-0

