

La barrera entre la revisión de la investigación sobre un tema especializado y una contribución para la actualización docente es difusa. En el tren del desarrollo científico, tal vez el primer paso que se da después del descubrimiento sea el de su sistematización en forma de un artículo de revisión. De allí a su utilización en el proceso docente sólo hay un paso más. Esta sección

PROFESORES AL DÍA recoge, pues, artículos de revisión de tal forma que su "digestión" no desemboque en "congestión", sino en actualización docente.

El iridio: una pista importante en la explicación de la desaparición de los dinosaurios

Francisco Medina y Alberto López*

Los restos de dinosaurios

De acuerdo con datos recabados en cientos de investigaciones, hace unos 65 millones de años la Tierra pasó por un corto periodo de drásticos cambios en su clima, los cuales afectaron profundamente a los diferentes ecosistemas en toda la superficie terrestre. Una de las consecuencias más impactantes, derivada de esos cambios, fue el hecho de que los grandes y los pequeños dinosaurios, que habían habitado la superficie terrestre durante más de 160 millones de años en continua evolución, desaparecieron casi totalmente de la superficie terrestre, al igual que otra enorme cantidad de especies animales y vegetales.

Para tratar de explicar los fenómenos que causaron cambios tan severos, se ha requerido un gran número de investigaciones en diversas áreas científicas, siendo la Geoquímica la que ha proporcionado una de las últimas pistas para poder elaborar una reconstrucción de los hechos que llevaron a los dinosaurios a la extinción.

Las primeras pistas que permitieron percatarse de este fenómeno fueron proporcionadas por los paleontólogos del siglo pasado y principios del presente, pues reunieron mucho material fósil proveniente de un gran número de estratos geológicos en los cinco continentes de la Tierra. La actividad de estos científicos fue muy intensa, pues buscaban el famoso "eslabón perdido"; es decir, los restos fósiles del antepasado evolutivo del hombre que atestiguaran la existencia de un primate intermedio entre los monos y el *homo sapiens*.

Dicha búsqueda permitió observar que en diferentes estratos geológicos había fósiles característicos; es decir, fósiles que sólo se encuentran en depósitos geológicos con determinada antigüedad. Los paleontólogos y naturalistas del pasado se dieron cuenta de que los restos de dinosaurios podían encontrarse solamente en cierto tipo de estratos geológicos, y conforme se hacía la exploración de nuevas zonas, nuevos esqueletos fosilizados fueron apareciendo.

Podemos imaginar que la reconstrucción de estos animales no fue nada fácil; había que armar todo un animal desconocido a partir de pedazos de huesos fosilizados, además de imaginar

sus características fisiológicas, dermatológicas, su aspecto físico, sus hábitos, etcétera. Así, poco a poco nacieron los nombres de Diplodocus, Triceratops, Tiranosaurio... Nuevas especies con esqueletos particulares fueron tomando un nombre.

De hecho, los restos de dinosaurios ya eran conocidos desde la antigüedad; por ejemplo, el poeta chino Chang Qu (siglo III) habla en sus poemas de los dragones que cayeron del cielo para dejar restos de sus huesos en la Tierra. También hay escritos europeos del siglo XVII en los que se habla de huesos de gigantes que habitaron la Tierra en la antigüedad. Los jesuitas que colonizaron Baja California en el siglo XVIII padecieron la misma confusión; al observar huesos fosilizados de dinosaurios presentes en algunas zonas de la península, pensaron en gigantes que habitaron esa área, dando origen a la leyenda de la existencia de pobladores de gran estatura en la península de Baja California en tiempos remotos.

El nombre Dinosaurio lo usó por primera vez el anatomista inglés Richard Owen, en 1842, quien unió dos raíces griegas: *Deimos* = terrible y *saurio* = lagartija. Este científico, al reconstruir los esqueletos, se imaginó monstruos semejantes a enormes y terroríficas lagartijas. Con ello se inició el mito de los "terribles saurios" o dinosaurios que tanto ha sido utilizado en las películas.

Hipótesis sobre su desaparición

Pero hablemos de las pistas acerca de su desaparición. Con el correr de los años y con el constante aumento de información, los geólogos se percataron de la existencia de zonas en las cuales los diferentes estratos geológicos estaban depositados uno sobre otro en forma horizontal. De esta forma, al cavar en ellos se podía seguir la secuencia de estratos con diferente edad con sólo cavar unas cuantas decenas de metros. Los fósiles encontrados serían más antiguos mientras más profundo fuera el estrato. Sin embargo, mientras en unos estratos había fósiles de dinosaurios en otros no se encontraban.

Desde luego había formaciones geológicas en donde el fenómeno era más visible, y cuando los diferentes estratos se localizaban uno sobre otro en un mismo terreno, se podía llegar a apreciar un fenómeno por demás desconcertante: de un estrato a otro los fósiles de dinosaurios desaparecían, daba la impresión de que los dinosaurios hubieran desaparecido durante un corto lapso.

El paleontólogo inglés William Smith, hacia 1810, fue uno

* Institutos de Geofísica y Astronomía, UNAM, Apartado Postal 2681, Ensenada 22800 B.C.

Recibido: 7 de septiembre de 1993;

Aceptado: 10 de noviembre de 1993.

de los primeros en percatarse de ello, además de que fue quien dio inicio al uso de fósiles característicos, pues dado un fósil específico podía decir el lugar de donde provenía. Smith se había percatado de que determinados fósiles sólo se encontraban en estratos geológicos con características específicas. Sus colegas quedaron impresionados con dicha observación, y aceptaron este hecho como un elemento importante en el estudio de los fósiles.

Basándose en el hecho de que un estrato inferior era más antiguo que uno superior, los paleontólogos del siglo pasado pudieron organizar una secuencia cronológica de estratos con edades relativas. Ellos no tenían medios para asignar edades absolutas a los estratos, sólo partían de la base de que mientras más profundos eran, más antiguos deberían de ser. También intuyeron que cada estrato debería de haber tardado algunos millones de años en depositarse y consolidarse como formación geológica.

Pero el fenómeno que indicaba que los dinosaurios desaparecían de improvisto era muy contundente. Al pasar del estrato denominado Cretácico al estrato denominado Terciario, los fósiles de dinosaurios desaparecían por completo. Muy pronto aparecieron diferentes personajes que intentaron explicar por qué los restos fósiles de dinosaurios desaparecían abruptamente en el registro geológico. Algunos de ellos postularon que la desaparición tenía esas características debido a una catástrofe universal, lo cual explicaba por qué se observaba el mismo fenómeno en toda la superficie terrestre.

Los seguidores de la Biblia dieron una respuesta acorde a sus ideas religiosas, para ellos el problema era sencillo: los dinosaurios se extinguieron pues al ser enormes no cabían en el arca de Noé y el diluvio universal los debía haber acabado. Debido a su gran tamaño, Dios no se había compadecido de ellos y terminaron su existencia ahogados en el gran diluvio.

Otros fueron menos religiosos pero igual de catastróficos y supusieron un suicidio colectivo, fenómeno que ha llegado a observarse en algunas especies. Otros propusieron que por un brusco cambio climático, las plantas se pudrieron y por ello podía haber ocurrido un envenenamiento masivo. Muchas otras hipótesis fueron saliendo a la luz de la actividad intelectual y científica; una que fue muy popular por los años cincuenta del presente siglo fue la de suponer que los minúsculos roedores mamíferos, contemporáneos a los dinosaurios, se alimentaban con los huevos de los dinosaurios y que dicha actividad podía haberlos llevado a la extinción. En esta forma también explicaban el hecho de que a partir de la desaparición de los dinosaurios, los mamíferos empezaron a sobresalir y dominar los diferentes ecosistemas, tal como puede inferirse del registro fósil.

Peró también podían postularse otras teorías, por ejemplo: La intensa actividad volcánica en el pasado podía haberlos acabado, o podía haberse desarrollado de improvisto una época glacial para lo cual no estaban adaptados, o la caída de un meteorito podría haber causado grandes cambios en los ecosistemas donde vivían, o pudo haberlos atacado algún virus. Muchas hipótesis son las que se han generado en los más de 150 años que han

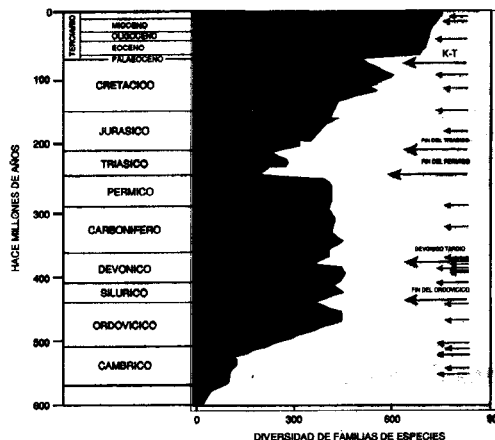


Figura 1. Variación en la diversidad de familias de especies en los últimos 570 millones de años. En cada estrato geológico se han contado las familias existentes y, como puede verse, hay variaciones de un periodo a otro. Por ejemplo, el final del Pérmico tiene un decrecimiento sustancial de especies respecto al nivel posterior, el Triásico. Estos aspectos hacen ver que la disminución de especies pudo haber sido abrupta y ocasionada por un fenómeno catastrófico como la posible caída de un meteorito. La flecha indicada por K-T es la que corresponde a la frontera entre el Cretácico y el Terciario. En depósitos Cretácicos aún es posible encontrar fósiles de dinosaurios, en los del Terciario no.

pasado desde el descubrimiento de la primer pista de su desaparición.

Hoy en día se conocen más de 350 especies diferentes de dinosaurios, la mitad de ellos han sido descubiertos en los últimos 20 años gracias al impulso de la actividad científica de las últimas décadas. También se sabe que no todos los dinosaurios fueron contemporáneos, o seres que vivieron simultáneamente. Entre los dinosaurios más antiguos están el Plateosauro y el Stegosauro, cuyos restos se encuentran en estratos con unos 210 millones de años de antigüedad; los restos del Diplodocus se encuentran en capas de hace 170 millones de años; el Sismosauro (llamado así debido a su gran tamaño y peso, pues cada paso debía de "generar" un pequeño sismo) se encuentra en depósitos con 150 millones de años de antigüedad; su peso debió ser mayor a las 150 toneladas, un solo hueso de la cadera llega a pesar más de 1.5 ton. Los restos del Iguanodonte se encuentran en depósitos con 140 millones de años de antigüedad, el Archeopteryx (hermoso ejemplar mitad reptil y mitad ave encontrado en Alemania en 1876) se encuentra en sedimentos con unos 120 millones de años, el terrible Tyranosaurus Rex en depósitos con unos 100 millones de años, y el Triceratops en otros con unos 80 millones de años.

Muchas películas nos hacen creer que todos ellos vivieron simultáneamente, e incluso hay algunas que ponen al hombre primitivo junto con ellos. Pero esto no fue así, el hombre del pasado nunca vio un dinosaurio vivo.

El datado radiactivo ayuda a recoger más pistas

El hecho de que se conozca actualmente la edad en años de un determinado depósito geológico procede del avance en las investigaciones de la física y la química. El desarrollo de métodos de

fechamiento para rocas fue precisamente lo que proporcionó una nueva pista en la explicación del fenómeno. Un poco después de la primera mitad del presente siglo, la física pudo desarrollar métodos relativamente precisos de datación. Dichos métodos permitieron asignar edades absolutas a los diferentes estratos geológicos y con ello se tuvo una mejor idea del cuadro evolutivo de los dinosaurios.

A finales de la década de los cincuenta el avance en el conocimiento de la estructura de la materia y del núcleo atómico permitió contar con técnicas precisas para realizar la separación y el conteo de radioisótopos de uranio y plomo, de rubidio y estroncio, de potasio y argón. El desarrollo de equipos como los espectrógrafos de masas, permitieron aportar nuevas pistas en la solución del misterio, pues al fechar se pudo hacer una cronología detallada y una reconstrucción de la secuencia de eventos geológicos.

De esta forma, se pudo saber que los dinosaurios iniciaron su desarrollo como especie hace unos 230 millones de años y que hace 65 millones de años desaparecieron casi totalmente de la faz de la Tierra.

Al comenzar a popularizarse los métodos de fechamiento se inició la acumulación de datos de los diferentes estratos geológicos; con ello se pudo determinar que hace 65 millones de años no sólo los dinosaurios se extinguieron. Al hacer un análisis detallado de los fósiles se pudo comprobar que casi 50% de todas las especies de plantas y animales que habitaban la Tierra en esa época, también desaparecieron.

La observación estaba sustentada, entre otras cosas, por la presencia de un delgado estrato geológico, muy bien definido, que servía de separación entre lo que los geólogos denominan el periodo Cretácico y el periodo Terciario. Este estrato tiene una antigüedad de 65 millones de años.

La extinción masiva de especies en el periodo Cretácico-Terciario no es la única descubierta por la Paleontología. Etapas de extinción masiva de especies marcan el final de algunos

periodos geológicos, como la del Ordovícico (hace 350 millones de años); el final del Devónico (hace 280 millones de años), a finales del Pérmico (hace 200 millones de años) y a finales del Triásico (170 millones de años).

¿Desaparición periódica de especies?

En todos estos casos es posible postular la existencia de un fenómeno global en la Tierra que tuvo como consecuencia la extinción, en forma masiva, de muchas especies biológicas. Haciendo un análisis más detallado del registro fósil, algunos investigadores llegaron a observar decenas de posibles periodos de extinción, algunos más importantes que otros. Esto llevó a un grupo de estudiosos a postular que la extinción masiva de especies se lleva a cabo, aparentemente, con cierta periodicidad.

Hay investigadores que opinan que cada 26 millones de años ocurre una extinción de especies en la Tierra debido a la presencia de un fenómeno desconocido. La aparente periodicidad de las extinciones ha quedado atestiguada en los cambios bruscos de los depósitos fósiles y ha podido ser observado en los diferentes estratos geológicos.

Para explicar esta supuesta periodicidad se han presentado hipótesis tales que involucran la presencia de una estrella compañera del Sol (llamada Némesis), con órbita muy excéntrica y que cada 26 millones de años tendría su máximo acercamiento, produciendo una lluvia de cometas y meteoritos sobre el Sistema Solar, afectando con ello las condiciones de vida en nuestro planeta. Otra hipótesis similar es la referente a la presencia de un planeta adicional en nuestro Sistema Solar, denominado Planet X, el cual produciría efectos parecidos a Némesis. Cruces del Sistema Solar por nubes moleculares en su órbita alrededor del centro galáctico y cruces del Sistema Solar por el plano galáctico en su movimiento epicíclico, son teorías adicionales que buscan también explicar el origen de la posible periodicidad de la extinción de especies inferida de los registros geológicos.

El hecho de que el fenómeno fuera periódico se puso en

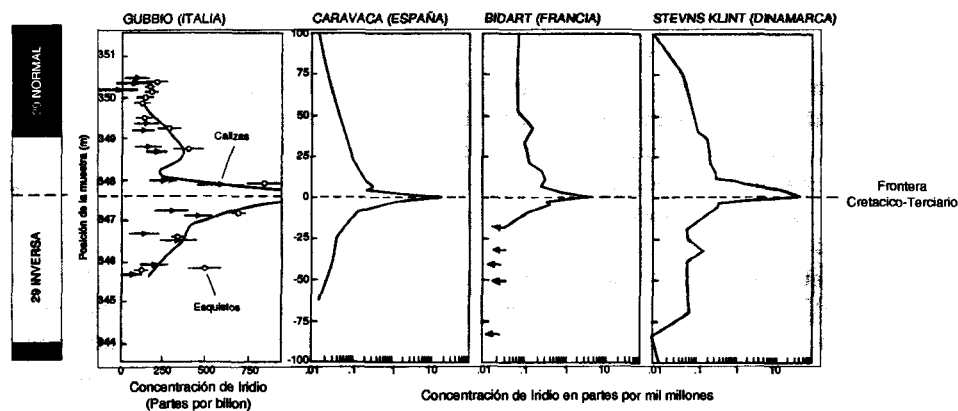


Figura 2. La concentración anormalmente alta de iridio en los horizontes que separan los depósitos cretácicos de los terciarios, encontrados inicialmente en Italia y después en España, Francia, Dinamarca, etcétera, fue un argumento sumamente importante para soportar la teoría de la caída de un meteorito gigantesco y la consecuente desaparición de especies biológicas. El iridio es un elemento químico muy poco abundante en la corteza terrestre, pero abundante en los meteoritos.

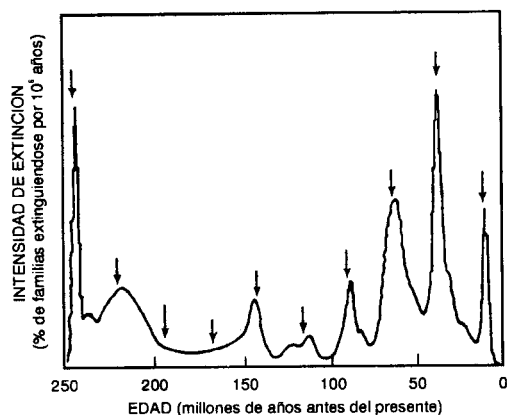


Figura 3. Al hacer un gráfico de la intensidad de extinción de las especies biológicas por familias, respecto al tiempo, para los últimos 250 millones de años, se obtiene la figura que se muestra aquí. En ella algunos investigadores han querido ver una periodicidad, del orden de 26 millones de años, para la presencia de eventos catastróficos relacionados con la extinción de especies biológicas. Este aspecto los ha llevado a proponer algunas teorías relacionadas con la existencia de fenómenos celestes con dicha periodicidad.

discusión; pero periódico o no, el fenómeno que podía causar extinciones masivas de especies en la Tierra también podría causar la desaparición del hombre. El ser humano constituye sólo una especie más en los ecosistemas terrestres y si los dinosaurios se extinguieron, también el hombre podría estar expuesto a que le ocurriera lo mismo. Esta observación acentuó y urgió a los científicos a encontrar nuevas pistas que pudieran ayudar a aclarar el problema.

La pista del iridio

Así, hasta hace sólo una o dos décadas los paleontólogos tenían la certeza de que la evolución de la vida en la Tierra se ha visto influenciada por breves periodos de extinción de especies. También era posible pensar que el fenómeno que causaba la extinción podría ser de índole periódica. Estas dos pistas se unieron a una tercera: el descubrimiento de un delgado estrato geológico con alto contenido de iridio.

El análisis geoquímico de los depósitos geológicos que se encuentran en la localidad de Petriccio y Gubbio, en Italia, fue realizado hace un poco más de 12 años por un equipo de geólogos americanos. Entre otras cosas descubrieron que una pequeña y delgada capa geológica contenía una concentración anormal de iridio y que esta capa coincidía con la frontera entre los depósitos del Cretácico y los del Terciario (esto también se denomina frontera K/T). Esto quería decir que dicha capa tenía una antigüedad de 65 millones de años.

En un principio se pensó que dicha capa rica en iridio era un fenómeno local, pero al avanzar en las investigaciones se pudo observar que dicha anomalía también está presente en otras partes del mundo y podía ser ubicada en regiones de España, Francia, Dinamarca, y otros países europeos.

El iridio es un elemento muy pobremente distribuido en la corteza terrestre. Esto se debe a que es un elemento que tiende

a concentrarse en el núcleo de la Tierra, al igual que el hierro, el níquel y otros metales. Por ello se les denomina elementos siderófilos; la presencia en alta concentración en una capa de la corteza terrestre es muy poco usual.

De acuerdo con los modelos de la formación y evolución química de la Tierra, los diferentes elementos que la formaron, hace poco más de 4,500 millones de años, se han diferenciado mediante diversos procesos internos. Durante todos esos millones de años, la mayor parte del iridio presente en los materiales que formaron la Tierra se ha ido concentrando en las partes más profundas, tanto en el núcleo como cerca de él. Por ello, su concentración en los materiales de la superficie terrestre es muy pequeña, del orden de sólo unas cuantas partes por mil millones.

Por supuesto que para detectar cantidades tan pequeñas de iridio en rocas fue necesario que se alcanzaran detectores con alta sensibilidad. Dichos detectores fueron desarrollados en la Universidad de Berkeley, como parte del proyecto de investigación acerca de la desaparición de los dinosaurios. El nuevo detector es capaz de analizar muestras de rocas con concentraciones de iridio del orden de sólo unas cuantas partes por billón. Con este nuevo equipo se pudo estudiar la capa de los depósitos geológicos en Europa, que confirmaron lo antes expuesto.

Un meteorito o la actividad volcánica.

¿Cuál fue el culpable?

El descubrimiento de esta importante pista dejó ver que el fenómeno que causaba las extinciones masivas de especies, dejaba un rastro: cantidades anormalmente altas de iridio. Ello llevó a pensar, en forma más contundente, que el fenómeno debería estar asociado con el impacto de un meteorito sobre la superficie de la Tierra.

Entre los diferentes tipos de meteoritos, algunos llegan a contener cantidades importantes de iridio, sobre todo los condritos del tipo CI. Entonces, si un meteorito de gran tamaño llega a impactarse en la superficie terrestre, los residuos del polvo que se depositen, después del impacto, deberán contener una concentración relativamente alta de iridio. Esta hipótesis parecía sumamente contundente.

No obstante, muchos investigadores postularon otra posibilidad: los volcanes proyectan hacia la atmósfera millones de toneladas de magma fragmentado, el cual proviene del interior de la Tierra. Si los magmas fueran de origen muy profundo, podrían contener una alta concentración de iridio. Entonces, una violenta etapa de actividad volcánica en la Tierra podría generar también un depósito geológico con alta concentración de iridio.

Ante esta posible alternativa, los vulcanólogos parecían llevar la ventaja a pesar de que una alta actividad volcánica difícilmente podría producir una capa con tan alta concentración de iridio. Esto era así ya que, mientras que en ninguna parte de la Tierra se podían encontrar los restos de un impacto meteorítico con antigüedad cercana a los 65 millones de años, en la India sí existía una provincia volcánica antigua (denominada Deccan Traps) cuya máxima actividad volcánica se sitúa hace unos 65

millones de años. Parecía pues que los volcanes eran la explicación satisfactoria al misterio de la desaparición de los dinosaurios.

Pero en medio de la discusión entre paleontólogos y vulcanólogos, la NASA dio a conocer hace sólo unos dos años, una nueva pista en el asunto. Los estudios de imágenes de la superficie terrestre, desde el espacio, permitieron descubrir una serie de rasgos morfológicos localizados en la porción norte de la península de Yucatán, que parecían ser los restos de un antiguo cráter de impacto meteorítico: el cráter Chicxulub.

El cráter yucateco

Muy pronto se iniciaron los estudios en la zona del cráter y se pudo comprobar que, aunque altamente erosionado, el cráter Chicxulub fue producido por la caída de un meteorito del tamaño de unos 10 a 12 kilómetros de ancho, lo cual provocó un cráter con un diámetro cercano a los 200 kilómetros. Al impactarse en la zona, la energía liberada fue tan intensa que fundió las rocas de la superficie terrestre en la zona de impacto además de fundir la masa del meteorito. Los productos fueron pulverizados y proyectados en todas direcciones, dejando en toda la atmósfera terrestre una gruesa capa de polvo que pudo disiparse sólo después de muchos años.

Por medio de estudios geoquímicos se han podido detectar los restos de rocas fundidas producto del enorme impacto, denominadas tectitas, y que pueden encontrarse en la zona noreste de México y sureste de los Estados Unidos, además de estar presentes en muchas islas del Caribe como Haití o Cuba. Adicionalmente, las tectitas se sometieron a estudios de fechamiento, y la edad resultó ser de 65 millones de años.

En esta forma, las incógnitas acerca de la desaparición de los dinosaurios parecen estar casi resueltas. El impacto de un meteorito de gran tamaño sobre la superficie terrestre genera alteraciones tan drásticas en la atmósfera y en el clima, que son capaces de cortar súbitamente las cadenas alimenticias, provocando efectos devastadores en la mayoría de las especies en todo el planeta.

Pero la historia no puede ser archivada todavía puesto que aún falta por aclarar qué tan cierto es que dicho fenómeno parece ser periódico, además de que debemos evaluar la posibilidad real de que en un futuro próximo, otro meteorito de gran tamaño pueda impactarse contra la superficie terrestre. Estos aspectos

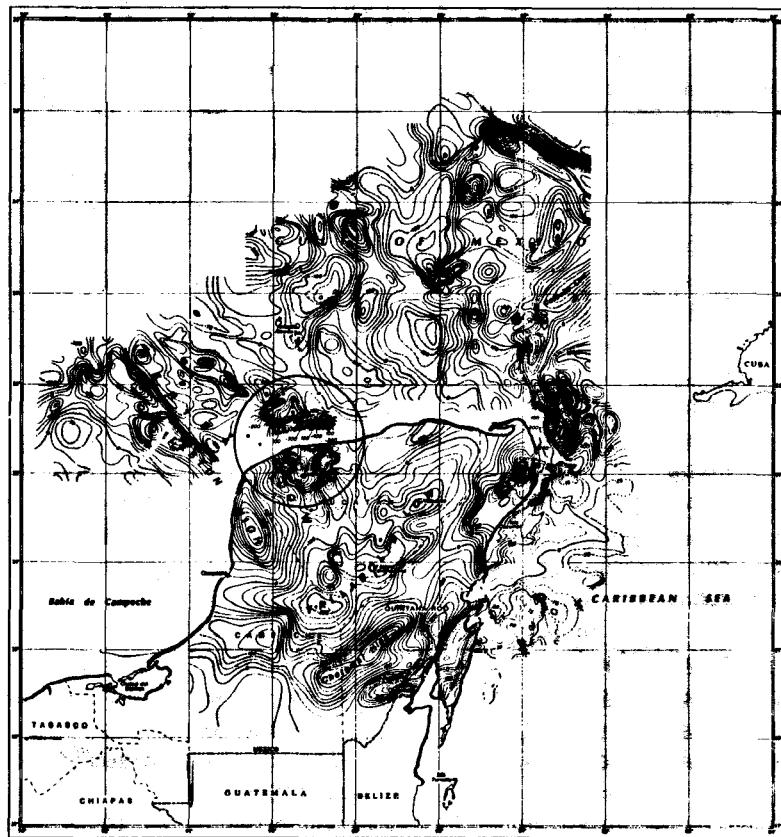


Figura 4. Mapa de anomalía magnética de las rocas para la zona de la Península de Yucatán. La región encerrada en el círculo corresponde al cráter Chicxulub, un cráter cuyo origen se debe a un impacto de meteorito con la Tierra y que ocurrió hace 64.7 millones de años. Se piensa que este cráter corresponde a las huellas dejadas por el fenómeno catastrófico que llevó a muchas especies a la extinción, entre ellas a los dinosaurios. La zona es actualmente motivo de múltiples estudios ya que el cráter fue descubierto hace solamente unos años.

están llevando a muchos astrónomos a enfocar sus telescopios en el cinturón de meteoritos que se encuentra entre Marte y Júpiter, a catalogarlos detalladamente y a buscar meteoritos cuya trayectoria pueda intersectarse con la órbita terrestre.

Sin embargo, este tipo de investigaciones se están iniciando apenas y pasarán algunos años antes de que tengamos nuevos resultados con los cuales terminar de completar el triste caso de la desaparición de los dinosaurios. ■

Referencias

Álvarez, W.L., "Mass extinctions caused by large bolide impacts", *Physics Today*, 40[7] 24-33 (1987).
 Álvarez, W. and Assaro, F., "An extraterrestrial impact", *Scientific American*, 263[4] 78-84 (1990).
 Courtillot, V., "A volcanic eruption", *Scientific American*, 263[4], 85-92 (1990).
 French, B., "25 years of the Impact-Volcanic Controversy", *EOS, Trans. Am. Geophys. Union.*, 411-413 1990.
 Raup, D., "Extinction: bad genes or bad luck?", *New Scientist*, 1786, 46-49 (1991).