

PEDRO A. RUIZ ORTIZ

*La interpretación del  
registro geológico:  
Nuevas perspectivas*

*Lección Inaugural.*

*Curso Académico 1993-94*



UNIVERSIDAD DE JAÉN



**PEDRO A. RUIZ ORTIZ**

*Catedrático de la Facultad de Ciencias Experimentales*

*La interpretación del  
registro geológico:  
Nuevas perspectivas*



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**

*Lección Inaugural. Curso Académico 1993-94*

© Pedro Alenjandro Ruiz Ortiz.

© UNIVERSIDAD DE JAÉN (para la 2.<sup>a</sup> edic. Julio 1996)

Diseño de cubierta: Andrés Ramírez.

Depósito Legal: J - 439 - 1996

I.S.B.N.: 84-88942-70-2

Difusión: Publicaciones de la Universidad de Jaén  
Vicerrectorado de Extensión Universitaria  
c/. Virgen de la Cabeza, 2-4  
23071 JAÉN  
Teléfono (953) 21 23 36 - Fax (953) 21 23 43

Impreso por: Gráficas "LA PAZ" de Torredonjimeno, S. L.  
c/. Molinillo, 4 y 6  
23650 TORREDONJIMENO (Jaén)  
Teléfono (953) 57 10 87 - Fax (953) 57 12 07

*A Charo, Charete y Ángel*



Excmo. Sr. Presidente de la Junta de Andalucía, Excmo. Sr. Consejero de Educación y Ciencia, Excmo. y Magnífico Sr. Presidente de la Comisión Gestora de la Universidad de Jaén, Excmos. e Ilmos. Sres., compañeros, estudiantes, amigos, Sras. y Sres.:

Cuando con una beca de investigación en el bolsillo llegué a Jaén y comencé a colaborar con el Colegio Universitario en su antigua sede de la Avda. de Madrid, no podía imaginar lo que el destino me tenía reservado. Desde entonces, cuando fui el primer becario del plan de Formación de Personal Investigador que venía a Jaén, se han abierto caminos, se han desbrozado sendas en el mundo universitario jiennense, hasta llegar a hoy, cuando me ha correspondido pronunciar el primer discurso inaugural de la Universidad de Jaén. Para una persona, que ha pasado por todas y cada una de las categorías existentes en la Universidad española, hasta llegar a mi cátedra actual, siempre en Jaén, el honor propio de la ocasión tiene una especial significación. Por ello, no puedo dejar de expresar mi agradecimiento y de recordar a todos los que de una forma u otra han sido compañeros de viaje en esta larga y dinámica aventura, al tiempo que desearía enviar un mensaje a las nuevas generaciones, animándolas a concentrar sus esfuerzos en el estudio y la investigación, en la seguridad de que su dedicación encontrará estímulos y recompensas a lo largo del camino.

Mi disertación girará en torno al *registro geológico*, a los principios

metodológicos en los que se fundamenta la interpretación de la información contenida en el mismo, al modo en que discurren los procesos y al tiempo geológico.

El registro geológico contiene más información que la que pudiera almacenar el más potente ordenador que jamás construya el hombre; más información de la que tal vez nunca el hombre sea capaz de llegar a conocer en su totalidad. Tal cantidad de información, una vez descifrada, si quiera parcialmente es, como todo conocimiento, de incalculable valor para el que lo posee. La prospección y explotación de recursos naturales, petróleo, gas, minerales, la tan necesitada agua, rocas ornamentales; la construcción de obras civiles, carreteras, ferrocarriles, presas; el conocimiento de la historia de la Tierra, de la evolución de los seres vivos, etc., son campos que tradicionalmente se han beneficiado de la información que nos proporciona el registro geológico. Pero también, campos que adquieren cada vez más importancia para el hombre, para la sociedad actual, como el medio ambiente en general o los cambios climáticos en particular, se ven avocados a mirar al registro geológico en busca de respuestas, en busca de modelos análogos que pudieran haber existido en el pasado y cuyas tendencias evolutivas hubieran quedado preservadas. Este proceder tiene un profundo significado metodológico, pero justo en la dirección opuesta a lo establecido por el paradigma que ha dominado la geología en los últimos 150 años, por ello, adentrémonos, ordenadamente, en la cuestión, porque...

Para poder llegar a obtener la información del registro geológico es necesario manejar un cierto lenguaje. Dificilmente podríamos entender el contenido de un texto escrito en un lenguaje que desconocemos. Este lenguaje, en el caso que nos ocupa, no es otro que el conjunto de conocimientos que constituyen el cuerpo de doctrina de las ciencias geológicas, de las ciencias de la Tierra. Estos conocimientos consisten en toda una serie de relaciones causales entre los hechos registrados en los materiales de la corteza terrestre y los procesos o fenómenos que creemos los originaron. Atribuir una significación unívoca a cada una de nuestras observaciones, no siempre es tarea fácil. La interpretación que autores distintos pueden hacer del mismo dato o conjunto de datos puede ser de

lo más controvertido. Por ello, la historia de los conocimientos geológicos esta plagada de grandes controversias que frecuentemente trascendieron el ámbito puramente científico. Ello es debido a la frecuente imposibilidad material de utilizar la experimentación, paso fundamental en el método científico, para verificar o falsar las interpretaciones que hacemos de los hechos geológicos. No podemos reproducir en el laboratorio aquellos procesos en los que intervenga la variable Tiempo geológico.

El tiempo geológico lo medimos en millones de años. La edad de la Tierra se cifra en 4.600 millones de años. El material más antiguo que se ha llegado a datar en la superficie terrestre mediante isótopos radioactivos, corresponde a un cristal de zircón encontrado recientemente en unas rocas del escudo canadiense, al que se le ha asignado una edad en torno a los 4.000 millones de años. 4.000 millones de años, 4.600 millones de años... necesitamos sin duda adaptar nuestra mente, estructurar nuestro pensamiento, a esa escala de tiempo. Utilizando una analogía conocida por los profesores y estudiantes de Geología, podemos realizar el siguiente ejercicio: Si dividimos los 4.600 millones de años de antigüedad de la Tierra, entre 365 días que tiene un año, estaríamos reduciendo la edad de la Tierra a un año, pero a un año un poco especial, ya que cada día de ese año duraría 12,5 millones de años. La Tierra se habría originado el día de año nuevo a las 00,01 horas y ahora serían las 11:59 de la noche del día 31 de Diciembre, ¡y esperemos que lo sean por mucho tiempo!. Bien, pues a esa escala podemos situar algunos acontecimientos, como, p.ej., la gran eclosión de seres vivos pluricelulares que se da al comienzo del Cámbrico, hace 570 millones de años, se habría generado, a la escala del año, el 16 de Noviembre a las 6:30 de la tarde. Los primeros vertebrados habrían aparecido el 25 de Noviembre a las 4,30 de la madrugada. Los dinosaurios aparecerían el 16 de Diciembre y se extinguirían el 26 del mismo mes, hace 5 días, unos 65 millones de años. El *Homo habilis*, primero de nuestros antepasados genéricos, habría aparecido el mismo día 31 de Diciembre, alrededor de las 7 de la tarde, es decir, hace unos 2 millones y medio de años. La vida media de una persona, 70 años, no representa más de 5 décimas de segundo a la escala del año. Cada segundo veríamos pasar dos generaciones.

¿Podríamos reproducir a lo largo de una vida humana, o incluso de

varias generaciones, es decir, en algunos segundos, acontecimientos o procesos que han durado varios días, es decir, decenas o centenas de millones de años?. Una vez que asumimos que nuestra vida representa algo menos que un suspiro en la historia de la Tierra, se hace necesario, y así lo ha sido a lo largo de la historia de la Geología, asumir también ciertos principios como bases de partida para la interpretación del registro geológico. Desde 1830, dominan los principios uniformitaristas. En dicha fecha sale a la luz el libro de Charles Lyell «*Principios de Geología*», con un largo subtítulo, en el que decía: «*un intento de explicar los primitivos cambios de la superficie de la Tierra tomando como referencia las causas que actúan en el presente*». Estos principios uniformitaristas, fueron propuestos por James Hutton (1726-1797) y desarrollados y difundidos por Lyell, quien nace en 1797, el mismo año de la muerte de Hutton. En ellos se defiende, por una parte, la constancia de las leyes naturales en el tiempo y en el espacio, lo que Gould (1965) ha llamado *uniformitarismo metodológico*, y, por otra parte, la uniformidad de las condiciones materiales y de la velocidad de los procesos a lo largo de la historia; es el *uniformitarismo sustantivo* de Gould.

La carta que el 15 de Enero de 1829 Lyell escribe a Murchinson, recoge magníficamente en un sólo párrafo los fundamentos de la filosofía uniformitarista. En ella Lyell comunica a Murchinson su plan de preparar un nuevo libro que trataría de los *principios del razonamiento en geología*. Estos principios, dice Lyell:

«...son ni más ni menos que las causas que ahora están actuando y no otras, que actuaron desde los tiempos más remotos hasta el momento actual y nunca actuaron con grados de energía diferentes de los que utilizan en el momento presente» (en Hallam, 1985).

Realmente, el uniformitarismo fue un término introducido por William Whewell, profesor de Mineralogía en Cambridge, quien en 1832 publica en la *Quarterly Review* una revisión del segundo volumen de la obra de Lyell. Bajo esa denominación se recogen una serie de asunciones y afirmaciones sobre el mundo real, algunas actualmente aceptadas y otras no, que han dado lugar a cierta confusión aún en tiempos recientes.

Rudwick (1972) distingue cuatro asunciones de diferente significado

dentro del uniformitarismo:

1) *La uniformidad de las leyes*: Las leyes naturales son invariantes en el espacio y en el tiempo. Se trata de una asunción metodológica *a priori* que se hace para poder hacer ciencia; es una necesidad para la inferencia inductiva.

2) *La uniformidad de los procesos*: Cuando es posible, se explican los resultados pasados como debidos a causas que aún hoy actúan sobre la Tierra. No se inventan causas que no tengan análogos modernos cuando las causas actuales puedan dar cuenta de los resultados observados. Es, como afirma el filósofo Goodman (1967), una defensa particular del principio general de la simplicidad. Como tal, es otra asunción metodológica hecha *a priori* asumida por todos los científicos y no una afirmación nacida del mundo empírico. Es el *actualismo* de los geólogos de la Europa continental, poco usado en Gran Bretaña y Estados Unidos por la diferente significación que el término *actual* tiene en lengua inglesa.

Estos dos presupuestos metodológicos son aceptados por todos los científicos y estarían incluidos en el uniformitarismo metodológico de Gould (1965; 1984).

3) *Uniformidad de las tasas (gradualismo)*: La visión de Lyell del mundo cae dentro de la tradición establecida. Su tierra era, a buen seguro, una tierra dinámica, en constante flujo, pero con un ritmo tan pausado que un observador humano que estuviera mirándola durante toda una vida la describiría como estática. Con todo, la inmensidad del tiempo garantizaba enormes resultados por acumulación. Todos los grandes acontecimientos de la historia de la Tierra, desde la erosión del Gran Cañón del Colorado hasta el levantamiento de los Himalayas, deben ser interpretados como el resultado de causas ordinarias que avanzaron paso a paso innumerables pasos, milímetros de erosión o levantamiento por siglo, acumulados lentamente y establemente a través del tiempo.

A diferencia de las dos primeras uniformidades, el gradualismo no es un presupuesto metodológico. Es una afirmación empírica sobre el mundo. Puede ser verdadera o falsa. Debe ser comprobada, no asumida.

4) *Uniformidad de las condiciones (no direccionalismo, un estado estable dinámico)*: La tierra de Lyell era un lugar en constante cambio y, con todo, de aspecto permanente. Iba y venía cíclicamente, sin un final, sin dirección. Lyell no creía así en la progresión orgánica, y estaba confiado en que se llegarían a encontrar mamíferos en el Paleozoico; después de todo los del Mesozoico acababan de ser descubiertos en el Jurásico de Stonesfield. Además, la extinción de grandes grupos no implica para Lyell dirección alguna para la historia de la vida, ya que aquellos reaparecerán algún día, cuando el «gran año» haga su ciclo completo.

De nuevo, la uniformidad de las condiciones no es una asunción necesaria, sino una afirmación comprobable sobre el mundo real. Sin duda, como afirma Gould (1984), es una formulación incorrecta de Lyell. No podemos esperar encontrarnos un dinosaurio en el post-Holoceno, es decir, en el tiempo geológico venidero.

Estas dos últimas uniformidades, 3.<sup>a</sup> y 4.<sup>a</sup>, son las que Gould (1984), de quien hemos tomado sus contenidos, incluye en el uniformitarismo sustantivo

El uniformitarismo surge como oposición al Catastrofismo. El catastrofismo, término también acuñado por William Whewell, era la corriente de pensamiento dominante que se aplicaba a la interpretación del registro geológico, de la historia de la Tierra. En esta doctrina se pretende explicar todos los fenómenos geológicos con procesos que actúan en intervalos de tiempo extremadamente cortos.

El triunfo inicial de las tesis catastrofistas se entiende en un mundo que trata de conciliar las observaciones del medio natural con las Sagradas Escrituras. La Tierra se creó en 6 días, como establece el Génesis, y aún en el caso de las interpretaciones más laxas, que asignaban períodos de tiempo variable a cada uno de estos «días», la edad resultante de la Tierra constituía un lapsus de tiempo insuficiente como para que la acción uniforme y gradual de los procesos geológicos modelara la superficie de la Tierra, tal como hoy la conocemos. Hay que tener en cuenta que ya en 1654 James Ussher, arzobispo de Armagh, había ideado un sistema cronológico a partir de las Escrituras del que dedujo la fecha de la Creación, estableciéndola

en 4004 años a. J.C., y más concretamente, ¡el 25 de Octubre a las nueve de la mañana! Esta fue la fecha que a partir de entonces se imprimió en muchas ediciones de la Biblia, y de ahí su influencia posterior. También existió una profunda preocupación por demostrar con pruebas empíricas la existencia del Diluvio, especialmente en Gran Bretaña, lo cual pudo deberse, como dice Hallam (1985), a que algunas de las figuras más importantes de la geología, como Buckland, Conybeare y Sedgwick fueran clérigos.

No obstante, a pesar de la mala prensa que tuvo el catastrofismo, sus seguidores compartían los presupuestos metodológicos del uniformitarismo, si bien diferían de ellos en las afirmaciones sustantivas de Gould, tercera y cuarta uniformidad anteriormente citadas. Los catastrofistas deniegan la uniformidad de las tasas de actuación de los procesos puesto que atribuyen la mayor parte de la estructura y la morfología de la Tierra a paroxismos intermitentes, a menudo de escala global. Además, adoptan una visión direccional de la historia de la Tierra. Sus ideas estaban tan asumidas, que constituían la forma convencional de explicar la realidad. El propio Hutton, a quien se considera el padre de la geología moderna, y algunos de sus discípulos como Playfair, precursores de las tesis uniformitaristas, introducen ideas catastrofistas en algunas de sus descripciones.

El máximo exponente de la filosofía catastrofista lo constituyó la escuela parisina encabezada por Cuvier (1769- 1832). Nacido en el seno de una familia luterana y militar en Wurtemberg, actualmente parte de Francia, Berton (1984) lo describe como «un individuo camaleónico cuyas opiniones parecían variar con sus circunstancias políticas y cuyas verdaderas motivaciones y convicciones probablemente nunca serán conocidas». Cuvier rechazaba la teoría, fuera ésta científica, filosófica o social. Creía en los hechos y descripciones. Estudiando los depósitos que rellenan la cuenca de París, Cuvier descubre que los distintos niveles horizontales de la sucesión estratigráfica, los distintos estratos o grupos de estratos, contienen restos fósiles de diferentes organismos. Llega a la sensacional conclusión de que algunos de los organismos que generaron dichos fósiles se habían extinguido, mientras los que se encuentran en los estratos superiores, los más modernos, pertenecen a grupos actualmente existentes. Plantea acon-

tecimientos catastróficos para explicar las extinciones de los organismos y la sucesión faunística observada. Las causas no podían haber sido perturbaciones que afectaran a la corteza terrestre, puesto que los estratos no están plegados sino horizontales. Sin embargo, alternan capas con fósiles marinos y otras con huesos de vertebrados terrestres por lo que en este caso interpreta las catástrofes como sucesivas inundaciones marinas. En su obra *Discurso preliminar o Discurso sobre las revoluciones de la superficie del globo*, refiriéndose a las transgresiones y regresiones marinas, escribe:

*«...es extraordinariamente importante observar que estos repetidos avances y retiradas no eran en absoluto graduales. Por el contrario, la mayoría de los cataclismos que produjeron fueron súbitos...»*,

y algo más adelante afirma,

*«...Las dislocaciones, cambios de dirección y vuelcos de los estratos más antiguos, no dejan lugar a duda de que fueron causas repentinas y violentas las que produjeron las formaciones que observamos hoy y de manera parecida, la violencia de los movimientos que sufrieron los mares está atestiguada, todavía hoy, por la acumulación de derrubios y cantos rodados que se encuentran en muchos lugares entre los estratos rocosos bien consolidados»* (en Hallam, 1985).

Frente a las propuestas catastrofistas, Lyell llega a escribir sin embargo, en su libro *Principios de Geología*:

*«...No es la magnitud de los resultados, aunque sean de proporciones gigantescas, lo que nos puede explicar en el más mínimo grado si se trataba de una operación súbita o gradual, casi insensible o paroxismal. Es necesario demostrar que un proceso lento no hubiera podido llegar nunca a los mismos resultados en ninguna de las series de edades...»* (en Hallam, 1985).

De nuevo es el factor tiempo el que condiciona la interpretación del registro geológico. Admitiendo lapsus de tiempo suficientemente amplios para el depósito de las diferentes formaciones sedimentarias de la cuenca de París, así como para las interrupciones sedimentarias que separan una de otra, la interpretación del registro geológico cambiaría sustancialmente.

Cuvier creía, como la mayoría de los eruditos del siglo XIX, que todos los acontecimientos de la historia de la Tierra habían tenido lugar en un lapsus de tiempo de unos 75.000 años, un lapsus de tiempo solo cinco veces mayor que la historia de la humanidad. Lyell, en el volumen I de su obra, nos pone un ejemplo utilizando las pirámides del antiguo Egipto y plantea que solamente nos veríamos obligados a pensar en un origen sobre-humano de las pirámides si tuviéramos la certeza de que se construyeron en una hora. Por ello, a medida que se fue ensanchando la visión sobre la antigüedad de la Tierra se fueron imponiendo gradualmente los principios uniformitaristas.

Así, hacia final del siglo con los trabajos de Lord Kelvin y, especialmente, a partir del descubrimiento por Henri Becquerel, en 1896, de la radioactividad, se entra en un período de rápido cambio en la concepción sobre el tiempo geológico y la edad de la Tierra. Diversos autores, a partir de métodos diferentes dan edades que ya se miden en decenas de millones de años. De todos, el más prestigioso en la época fue Kelvin, catedrático de Filosofía Natural en la Universidad de Glasgow a la temprana edad de 22 años. Intermitentemente, durante 48 años de su vida, Kelvin intentó calcular la edad de la Tierra, a partir de aproximaciones diferentes al problema. Sus cálculos le llevaron a proponer en principio 98 millones de años, con límite inferior y superior en 20 y 400 millones de años respectivamente. Posteriormente, diversas consideraciones llevaron a Kelvin a reducir el límite superior y a proponer en un discurso pronunciado en 1897 en el Instituto Victoria y publicado en 1899, que la corteza terrestre llegó a consolidarse a partir

*«...más de 20 y menos de 40 millones de años, y probablemente más cerca de 20 que de 40» (en Albritton, 1989).*

Estos cálculos, no obstante, aún no eran suficientes para el «gradualismo» de Lyell ni para la selección natural de Darwin, mecanismo responsable de la evolución orgánica. Sin embargo, en las primeras décadas del siglo XX, con los trabajos de Rutherford y sobretodo del Catedrático de Física del Imperial College de Londres, R.J. Strutt, progresaron aceleradamente las dataciones radiométricas de rocas y minerales. En 1931,

una importante reunión celebrada en Washington para tratar de la edad de la Tierra ya concluyó asignándole entre 1.600 y 3.000 millones de años. El catastrofismo obligatorio, nacido de la necesidad de encontrar un hueco en una corta historia de la Tierra, para cada uno de la larga serie de acontecimientos deducidos del estudio del registro geológico, había quedado desterrado.

En 1957, Leonard Hawkes, en un discurso pronunciado con ocasión del 150 aniversario de la Sociedad Geológica de Londres, decía:

*«... Cuando se celebre el 200 aniversario, el uniformitarismo estará fundamentado en unas bases más sólidas y seguras que las actuales»*  
(en Albritton, 1989).

Como vemos, el uniformitarismo estaba ya entonces firmemente instalado. Y sin embargo, mirando al presente, a un presente histórico a escala humana, vemos que existen procesos cuyos resultados son catastróficos y capaces de influir en el medio terrestre. *Terremotos*, que además de provocar ingente número de víctimas modifican la morfología terrestre en unos pocos segundos; *episodios volcánicos*, algunos de carácter explosivo, como el del volcán Perbuatan que destruyó parcialmente la isla de Krakatoa en 1883, ocasionó la muerte a más de 37.000 personas e inyectó tal cantidad de cenizas volcánicas en la atmósfera, que coloreó las puestas de sol en todo el mundo durante varias semanas; en el recuerdo permanecen las imágenes de los dramáticos acontecimientos ocasionados por la colada de lodo generada a causa de la erupción del Nevado del Ruiz (Colombia), en 1985; *inundaciones* fluviales, como las recientes del Missisipi (verano 1993), o litorales: se ha calculado que si se fundiera el hielo de los dos casquetes polares, cerca de 24 millones de km.<sup>3</sup>, el nivel del mar subiría unos 60 m. (Skinner y Porter, 1987); regiones como la campiña baja del Guadalquivir, y ciudades como Huelva, Cádiz y Sevilla quedarían totalmente bajo las aguas.

Las consecuencias de este tipo de catástrofes se manifiestan, como vemos, a nivel local o regional, ya que, puesto que estamos aquí, es evidente que no se ha producido ningún acontecimiento catastrófico a nivel global en tiempos históricos, ni siquiera en los últimos millones de años, que haya afectado a la especie humana, al género *Homo*, ...o a los andaluces del

bajo Guadalquivir. Pero... ¿han existido tal tipo de acontecimientos catastróficos en el pasado geológico?; ¿qué nos muestra el registro geológico?; ¿cómo lo interpretamos?.

En las últimas décadas se admite que la mayoría de las especies que han existido en el planeta, ya se han extinguido. Schopf (1982; en Albritton, 1989) por ejemplo, considera que probablemente el 99,99999 % de todas las especies que han existido sobre la Tierra se han extinguido. Dichas extinciones no se han repartido de un modo uniforme en el tiempo ni en el espacio. Por el contrario, las extinciones tienden a darse en relación con un número limitado de episodios, a los que se reconoce con el nombre simplificado de *acontecimientos de extinción* o, más frecuentemente, *extinciones en masa* (*extinction events* o *mass extinction* en inglés), durante los que desaparecerían un gran porcentaje de los biotas en cada caso existentes. Los cinco más importantes se dieron en:

<u>Edad relativa</u>	<u>Edad absoluta Ma</u>
Ordovícico superior	440
Devónico superior	365
Pérmico superior o terminal	250
Triásico superior	215
Cretácico terminal	65

Las edades absolutas indicadas, expresadas en millones de años (Ma), marcarían el final de los episodios de extinción, los cuales habrían comenzado tiempo atrás. En todos ellos desaparecieron familias enteras de invertebrados marinos, y en los tres últimos también desaparecieron vertebrados terrestres. De todas, la extinción del final del Pérmico, hace unos 250 millones de años, fue la más devastadora para los ecosistemas marinos. No obstante, la extinción de final del Cretácico es la que ha gozado y goza de mayor publicidad, ya que en ella desaparecieron los grandes reptiles. Los Dinosaurios, los reptiles voladores y los grandes reptiles

la Tierra aparece como un blanco muy vulnerable a las influencias externas.

Influencias extraterrestres de diversos tipos se han argüido para explicar las extinciones en masa, prácticamente a lo largo de todo el siglo, pero no pasaban de ser especulaciones carentes del apoyo empírico necesario. Sin embargo, en 1980, un grupo de prestigiosos investigadores de la Universidad de Berkeley, California, constituido por el Premio Nobel de Física Luis Alvarez, su hijo, geólogo, Walter Alvarez, y los químicos nucleares Frank Asaro y Helen Michel, dio a conocer en una prestigiosa revista científica su hipótesis del impacto extraterrestre. Pocos artículos científicos del siglo XX han generado tanta controversia (Alvarez *et al.*, 1980). El escenario dibujado por estos autores sería el siguiente:

Hace 65 millones de años, un asteroide de unos 10 kms. de diámetro habría chocado con la Tierra. A consecuencia del impacto se habrían inyectado en la estratosfera cantidades enormes de polvo, producto de la trituración tanto del propio asteroide como de las rocas de la corteza terrestre. Tal acumulación de polvo habría impedido el paso de la luz solar, durante unas semanas o unos meses, con la consiguientes drásticas consecuencias para las plantas fotosintéticas y para el plancton marino. La ruptura de la cadena alimenticia habría provocado una reacción en cadena en el conjunto de la biosfera. El posterior depósito del polvo atmosférico dio lugar a un nivel arcilloso, generalmente de escasa potencia, en torno a 1 ó 2 cms. como espesor más frecuente, que jalona el contacto Cretácico-Terciario en localidades muy distantes y distintas de la Tierra. De la localidad italiana de Gubbio, procedían las muestras estudiadas por los autores del trabajo; posteriormente, se ha descubierto este nivel con las mismas características en Caravaca (Murcia) y en Zumaya (Guipúzcoa) en la Península Ibérica, así como en otros puntos de los continentes y de los fondos oceánicos. Este nivel se encuentra anormalmente enriquecido en iridio y en otros elementos del grupo del platino, elementos que son poco abundantes en la corteza terrestre, y sin embargo son proporcionalmente más abundantes en cuerpos celestes con composiciones similares a las del interior de la Tierra.

Posteriormente se han descubierto nuevos argumentos que apoyan

la Tierra aparece como un blanco muy vulnerable a las influencias externas.

Influencias extraterrestres de diversos tipos se han argüido para explicar las extinciones en masa, prácticamente a lo largo de todo el siglo, pero no pasaban de ser especulaciones carentes del apoyo empírico necesario. Sin embargo, en 1980, un grupo de prestigiosos investigadores de la Universidad de Berkeley, California, constituido por el Premio Nobel de Física Luis Alvarez, su hijo, geólogo, Walter Alvarez, y los químicos nucleares Frank Asaro y Helen Michel, dio a conocer en una prestigiosa revista científica su hipótesis del impacto extraterrestre. Pocos artículos científicos del siglo XX han generado tanta controversia (Alvarez *et al.*, 1980). El escenario dibujado por estos autores sería el siguiente:

Hace 65 millones de años, un asteroide de unos 10 kms. de diámetro habría chocado con la Tierra. A consecuencia del impacto se habrían inyectado en la estratosfera cantidades enormes de polvo, producto de la trituración tanto del propio asteroide como de las rocas de la corteza terrestre. Tal acumulación de polvo habría impedido el paso de la luz solar, durante unas semanas o unos meses, con las consiguientes drásticas consecuencias para las plantas fotosintéticas y para el plancton marino. La ruptura de la cadena alimenticia habría provocado una reacción en cadena en el conjunto de la biosfera. El posterior depósito del polvo atmosférico dio lugar a un nivel arcilloso, generalmente de escasa potencia, en torno a 1 ó 2 cms. como espesor más frecuente, que jalona el contacto Cretácico-Terciario en localidades muy distantes y distintas de la Tierra. De la localidad italiana de Gubbio, procedían las muestras estudiadas por los autores del trabajo; posteriormente, se ha descubierto este nivel con las mismas características en Caravaca (Murcia) y en Zumaya (Guipúzcoa) en la Península Ibérica, así como en otros puntos de los continentes y de los fondos oceánicos. Este nivel se encuentra anormalmente enriquecido en iridio y en otros elementos del grupo del platino, elementos que son poco abundantes en la corteza terrestre, y sin embargo son proporcionalmente más abundantes en cuerpos celestes con composiciones similares a las del interior de la Tierra.

Posteriormente se han descubierto nuevos argumentos que apoyan

la hipótesis del impacto, algunos de ellos de mayor relevancia que la propia anomalía geoquímica del Ir. Este es el caso de la presencia en el nivel de arcilla del límite K-T de granos de distintos minerales (cuarzo y feldespato) y rocas (granito y rocas cuarcíticas) que han sufrido un metamorfismo de impacto. Estos granos muestran cierto tipo de láminas y facetas que los hacen indistinguibles de los encontrados en cráteres de impacto conocidos (p.ej. el Cráter Meteorito de Arizona) (Alvarez *et al.*, 1987). Se han descrito en más de 20 localidades de América del Norte, desde Alberta, Canadá, a Nuevo Méjico. Esto hizo pensar a Izett y Bohor (1987) que el impacto extraterrestre se habría producido en algún lugar de América del Norte. No obstante, se conoce ya la presencia de granos de cuarzo con lo que se denomina metamorfismo de impacto en distintos lugares de Europa, en Nueva Zelanda e incluso se han reconocido en sondeos que atraviesan los sedimentos acumulados en el Pacífico. En todos los casos estos granos minerales característicos se asocian a una anomalía geoquímica de Ir y al nivel de arcilla del límite K-T. Algunos autores han tomado estas evidencias como argumento que confirma la hipótesis de Alvarez *et al.* (1980) y creen que tal tipo de granos deben encontrarse en todos los puntos donde el nivel de arcilla del límite K-T contenga niveles anormalmente altos de los elementos del grupo del platino (Bohor *et al.*, 1987).

Aún existen otras evidencias asociadas al nivel de arcilla del límite K-T que favorecen la hipótesis del impacto extraterrestre: p. ej., la presencia de partículas microscópicas con formas globulares o discoidales de diversa naturaleza, que se interpretan como gotitas solidificadas de materiales fundidos por el impacto. Concretamente, la presencia de este tipo de partículas y la de cristales de cuarzo con metamorfismo de impacto, en una estructura actualmente enterrada de 200 km de diámetro (la estructura *Chicxulub*), están entre los principales argumentos en que se basan diversos autores (Sharpton *et al.*, 1992; Blum *et al.*, 1993) para proponer que el lugar del impacto habría sido la parte norte de la península de Yucatán (Méjico). Sin embargo, Robin *et al.* (1993) tras examinar las microesferas con espinela encontradas en los depósitos del límite K-T en un sondeo en el océano Pacífico y tras estimar su repartición geográfica, proponen un impacto de un asteroide de 2 kms. de diámetro en el Pacífico en el límite

Cretácico-Terciario. En su opinión, para explicar la distribución global de las microesferas con espinela se habrían requerido varios impactos en distintos lugares de la Tierra.

No obstante, todos los argumentos presentados se han tratado de explicar, alternativamente, como debidos a causas de origen totalmente terrestre. Entre éstas, la anomalía geoquímica se mira como resultado de un intenso vulcanismo procedente del manto. Se tienen incluso algunas evidencias empíricas: Zoller *et al.* (1983) describieron partículas con alto contenido en Ir inyectadas en la atmósfera por la erupción del volcán Kilauea de Hawai en Enero de 1983.

Para explicar las extinciones en masa asociadas al límite K-T se han dibujado también escenarios de lo más diverso. Desde quien cambia la naturaleza del cuerpo que impactó con la Tierra, que pasa a ser un cometa, una lluvia de cometas, una supernova que estalló en las proximidades de la Tierra..., o el lugar del impacto, continente u océano, a quien alude a aumentos o descensos de la temperatura, contaminación química de las aguas de los océanos y de la atmósfera por emisiones volcánicas, etc. Incluso, existen autores que aceptan la hipótesis del impacto de un cuerpo extraterrestre con la Tierra, pero creen que tal acontecimiento catastrófico no puede por si solo justificar la diversidad de especies de organismos vivos que desaparecieron. Estos autores, como Gretener (1984), creen en una conjunción de causas para explicar las extinciones, entre las que se encontrarían: descensos globales del nivel del mar e incremento de las emisiones volcánicas, junto al impacto de cuerpos extraterrestres. Sin duda, este ha sido el tema dentro del ámbito de las Ciencias de la Tierra, sobre el que más se ha escrito a lo largo de la última década.

Pero lo que aquí se plantea es si en realidad estamos en presencia o no del registro geológico de un acontecimiento catastrófico a nivel global, que influyó decisivamente en la biosfera y si tal acontecimiento fue de origen extraterrestre total o parcialmente. La contestación a estas dos cuestiones puede cambiar nuestra perspectiva sobre la evolución de la Tierra y su biosfera, modificando nuestra visión del mundo. De hecho, las reacciones en la comunidad científica no se hicieron esperar. El escepticismo dominó

inicialmente una comunidad muy asentada en los presupuestos uniformitaristas. Como escribió Shoemaker (1984):

*«...pensar en piedras del tamaño de colinas o montañas que caen del cielo, no es una idea que guste a la mayoría de los geólogos».*

Sin embargo, una encuesta realizada ya hacia el final de 1985 entre 118 paleontólogos de vertebrados (Raup, 1986; en Albritton, 1989) arrojaba resultados diferentes: el 90% de los encuestados no denegaba el impacto extraterrestre, pero solo el 4% lo aceptaba como la causa principal de la extinción de los dinosaurios y ¡un 27% estaba convencido de que no existió extinción en masa de animales terrestres! En el extremo opuesto estarían los defensores del neocatastrofismo, como Derek Ager, quien describe la evolución de los acontecimientos terrestres con una frase que merece ser transcrita literalmente (si bien traducida al castellano):

*«...la historia de cualquier parte de la Tierra es como la vida de un soldado, consiste en largos períodos de aburrimiento seguidos de cortos períodos de terror».*

Que esos cortos períodos de terror han podido estar ligados, con cierta frecuencia, al impacto de «bóvidos» extraterrestres, cae hoy, en mi opinión, fuera de toda duda. Debemos considerar a las Ciencias de la Tierra definitivamente instaladas en una nueva perspectiva cósmica. El registro geológico y los datos astronómicos así lo demuestran.

Además del mundialmente famoso cráter Meteoro del desierto de Arizona (USA), se conocen cerca de 224 cráteres formados por meteoritos en todo el mundo. Sus tamaños varían desde unos metros a varios kilómetros, si bien los que superan los 100 metros, poco abundantes, suelen ser cráteres de explosión, de morfología y características ligeramente diferentes a los denominados de impacto. Unos 200 cráteres de impacto de los conocidos se formaron al mismo tiempo, en relación con la lluvia meteorítica denominada Sikhote-Aline, que cayó sobre Siberia oriental en 1947.

En 1908 otro importante acontecimiento de origen extraterrestre ocurrió en la parte central de Siberia. Se trata del que se ha denominado

acontecimiento de *Tunguska*. Las descripciones de testigos presenciales hablan de una bola de fuego que cruzó a enorme velocidad el cielo en la mañana del 30 de junio. Se oyeron ruidos de truenos y colisiones, pero se cree que la explosión se produjo en la atmósfera, a una altitud de unos 10 km, donde liberó una energía de entre 10 y 20 megatones (Chyba *et al.*, 1993). Las ondas de choque fueron registradas por barógrafos de estaciones meteorológicas inglesas unas cinco horas después. La energía transmitida al suelo generó ondas sísmicas que fueron registradas por estaciones sísmicas a 900 km de distancia. Las expediciones rusas que llegaron hasta el área devastada describen que los árboles estaban derribados hacia atrás, radialmente, a partir de una zona central, en un área de unos 50 kms. de radio. Se discute si el cuerpo pudo ser un cometa, o un meteorito de algún grupo conocido, si bien los resultados de las últimas investigaciones se inclinan por este último (Chyba *et al.*, 1993).

A partir de recuentos estadísticos de los cuerpos mayores de 1 km cuyas órbitas intersectan con la Tierra, Weatherill y Shoemaker (1982) calcularon que tres de ellos impactan con la Tierra cada millón de años. Los impactos de objetos de unos 10 km de diámetro como el postulado por Alvarez *et al.* (1980), mucho menos abundantes en las órbitas citadas, afortunadamente, se darían cada 40 ó 50 millones de años. De 0,5 kms. de diámetro caen unos 10 cada millón de años y producirían cráteres de alrededor de 10 kms. 8 veces el diámetro actual del cráter de Arizona.

Las periodicidades comentadas hay que evaluarlas, sin duda, en el contexto del tiempo geológico. La posibilidad *real* de que se produzca tal tipo de acontecimientos se enmarcaría en lo que Hsü (en Müller *et al.*, 1991) ha denominado la *inevitabilidad de lo improbable*: dando suficiente tiempo lo improbable llega a ser inevitable. Shoemaker (en Albritton, 1989), a su vez, ha llegado a aseverar audazmente que: «...*el impacto de cuerpos sólidos es el más fundamental de todos los procesos que han tenido lugar sobre los planetas terrestres*». Las imágenes de superficies craterizadas, rasgo destacable a distancia en las superficies de La Luna y del resto de los planetas y satélites terrestres conocidos, nos vienen a la memoria. La dinámica externa de la Tierra, donde la atmósfera juega un papel estelar, y la dinámica litosférica, serían responsables de ir borrando las huellas de impacto que

en otros planetas se van conservando.

Podemos afirmar que las hipótesis formuladas a partir de los datos del registro geológico, han contribuido a estimular la investigación de nuestro entorno espacial y a hacer predicciones, siquiera estadísticas, sobre el futuro. El presente es la clave del pasado, afirmación que constituye la quintaesencia del uniformitarismo, pero hoy ya estamos utilizando, además, *el pasado como clave del futuro*. Desde esta nueva perspectiva se refuerza el carácter histórico de la Geología.

Utilizar el registro geológico como un archivo donde poder leer el futuro, es el reto que tenemos ante nosotros. Es lo que plantea Nicole Petit-Marie (1992), en el campo de la paleoclimatología. Las modelizaciones numéricas predicen, con un amplio margen de incertidumbre a causa de la complejidad de las relaciones geobioquímicas que rigen nuestro planeta, un futuro próximo «cálido» relacionado con el aumento del efecto invernadero. Sin embargo, son incapaces de augurar con precisión el futuro regional de las zonas continentales, debido a la formidable diversidad de los ambientes terrestres. El papel del registro geológico y, en definitiva de las Ciencias de la Tierra, sería el de completar y precisar las modelizaciones generales. Se trataría de encontrar en el registro geológico, ejemplos que permitieran determinar las respuestas futuras de los medios terrestres a partir de sus respuestas a calentamientos naturales pasados.

Siguiendo esta metodología Petit-Marie sugiere que en el Sahara, la fase actual de calentamiento por efecto invernadero podría conducir a que se extendieran hacia el norte los monzones y las lluvias que los mismos acarrearán. Se caminaría entonces hacia un escenario más similar al que existió en la zona hace unos 8.000 años, cuando se alcanzó el último óptimo climático en dicha región y no hacia una intensificación de la aridez, nuestro futuro natural astronómico. El nuestro, el de los andaluces, que ocupamos el cinturón climático justo al norte del sahariano, parece preocupante si ciertamente los cinturones climáticos se desplazan hacia el norte.

Qué hacer con los residuos radioactivos generados por los reactores nucleares, es uno de los problemas más serios a los que hoy se enfrenta la sociedad industrial. Algunos de estos residuos producirán radiaciones

perjudiciales para el hombre durante decenas o centenas de miles de años. Por el contrario, la experiencia del hombre en este campo se remonta menos de un siglo atrás, y el primer reactor nuclear construido por el hombre tiene sólo 50 años. Sin embargo, un reactor nuclear natural funcionó ya en la tierra hace 2.000 millones de años. Se trata del llamado *reactor nuclear natural de Oklo* (Ozima, 1987). En la mina de uranio de Oklo, en la parte oriental de la República del Gabón, se descubrió en 1972 una relación isotópica anormalmente alta entre los isótopos del uranio  $U^{238}/U^{235}$ . La razón se encontraba en que en el pasado, tanto como unos 2.000 millones de años, se había generado en Oklo una reacción en cadena del uranio. La reacción en cadena del uranio generada por primera vez en la Universidad de Chicago por E. Fermi y sus colegas en 1952, había ya ocurrido en la naturaleza, al menos una vez antes, hace 2.000 millones de años. Los restos del reactor nuclear de Oklo nos proporcionan valiosísimas informaciones acerca del futuro de los reactores nucleares construidos por el hombre, de los residuos producidos por los mismos y de posibles vías para resolver el problema de cómo deshacernos de ellos.

La respuesta al impacto de los sistemas terrestres es la conclusión que buscan las modelizaciones en el campo de las ciencias medioambientales. Dicha respuesta se va concretando, normalmente, a lo largo del tiempo, cientos, miles, decenas de miles o millones de años. Estas magnitudes de tiempo no podemos reproducirlas en nuestros laboratorios, mientras que, por el contrario, los resultados de su actuación han quedado grabados, en muchos casos, en el registro geológico.

Necesitamos para ello insistir en su estudio y perfeccionar los sistemas de correlación y de datación, tanto absoluta como relativa. Con los métodos de datación de edad relativa, basados en los fósiles, podemos precisar hasta el millón de años, lo cual es mucho en materiales antiguos. Sería equivalente a poder precisar intervalos de dos horas en el «año geológico», analogía que al principio utilizamos. Las dataciones por medio de isótopos radioactivos tienen errores experimentales que varían con la edad del material. Para el Cenozoico el nivel de precisión puede llegar 0,5 Ma., mientras que, por ejemplo, para el Mesozoico se alcanzan niveles de precisión en torno a 1-2 Ma. No obstante, los cálculos que se están

efectuando a partir de medidas de la relación  $Ar^{40}/Ar^{39}$  están alcanzando niveles de precisión inferiores a 1 Ma, e incluso a 0,5 Ma (Blum *et al.*, 1993). El método del  $C^{14}$ , mucho más preciso, sólo es aplicable a materiales con menos de 60.000 años de antigüedad, con porcentajes de error que se incrementan con la edad.

La necesidad de encontrar sistemas de correlación cada vez más precisos ha conducido en las dos últimas décadas al nacimiento de la Estratigrafía sísmica, Estratigrafía de eventos o la denominada Estratigrafía de alta resolución. Se trata de poder correlacionar hechos o fenómenos a un nivel al que no alcanzan los métodos de datación. La solución está en elegir improntas suficientemente características. En este sentido van las curvas propuestas sobre oscilaciones del nivel del mar a nivel mundial, las curvas eustáticas, actualmente sometidas a debate. No es fácil, porque entre otras dificultades hay que contar con la propia imperfección del registro geológico, el cual se caracteriza por ser esencialmente discontinuo. En una sección dada, el tiempo que falta es, normalmente, mayor que el tiempo representado. Ello es debido bien a la falta de sedimentación o la actuación de la erosión. No obstante, la técnica está ayudándonos cada vez más a soslayar las dificultades. La sísmica de reflexión, que permite obtener una representación gráfica, si bien interpretable, de la estructura del subsuelo, la geoquímica isotópica, que además de permitirnos caracterizar materiales, nos proporciona información sobre diversos parámetros de los medios ambiente del pasado, las modelizaciones asistidas por ordenador de las relaciones de facies que se generarían en diferentes supuestos medio-ambientales, se cuentan entre ellas.

Por último, no debemos olvidar el carácter cíclico de la mayoría de los procesos que se dan en la naturaleza, algo que ya Joseph Barrell (1869-1919) observaba habían olvidado los uniformitaristas. Los propios procesos de extinción en masa pueden haberse sucedido con una cierta periodicidad. Si lo han hecho, y lo han hecho como consecuencia de la existencia de algún tipo o tipos de relojes biológicos, o de alguna forma de direccionalidad de estos sistemas físicos que somos los seres vivos o de la propia periodicidad de procesos físicos que afecten drásticamente al medio ambiente, son preguntas que aún permanecen sin contestar. La respuesta

es muy probable que se encuentre en algún lugar del registro geológico.

Debemos concluir; y lo hacemos con la convicción de que en los presupuestos metodológicos actuales de la geología se incluyen una mezcla de uniformitarismo y catastrofismo. Es el *catastrofismo actualista* de Hsü (1983), el *nuevo uniformitarismo* de Berggren y Van Couvering (1984), o el *neocatastrofismo* de Ager (1993). O, dejándonos de ...ismos, de etiquetas, un conjunto de conocimientos que conforman una visión sobre el mundo en la que se integran tanto la experiencia humana como las enseñanzas extraídas de la interpretación del registro geológico. Miramos al pasado para detectar los resultados de posibles procesos que caen fuera de la experiencia de la humanidad y,

*«...si un conjunto de datos geológicos puede ser explicado por procesos comunes, graduales, bien conocidos, esa debería ser la opción elegida, pero cuando la evidencia apoye fuertemente acontecimientos más rápidos y violentos, iremos donde la evidencia nos conduzca»*  
(Walter Alvarez (1986; en Alvarez et al., 1987).

Desde la humildad que nos debe proporcionar la idea de que representamos poco menos que un suspiro en la historia de la Tierra, las enseñanzas que obtengamos las aplicaremos a la comprensión del presente y al diseño del futuro. Seguiremos trabajando. En beneficio del hombre, de la sociedad y de esta Universidad de Jaén que hoy, oficialmente, inauguramos.

He dicho.



## REFERENCIAS

- AGER, D. (1993): *The New Catastrophism: The importance of the Rare Event in Geology*. Albritton, C.C. Jr. (1989): *Catastrophic Episodes in Earth History*. Chapman and Hall. London. 221 págs.
- ALVAREZ, L.W.; ALVAREZ, W.; ASARO, F., y MICHEL, H.V. (1980): «Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction». *Science*, 208: 1.095- 1.108.
- ALVAREZ, W.; HANSEN, T.; HUT, P.; KAUFFMAN, E.G., y SHOEMAKER, E.M.: (1987) «Uniformitarianism and the response of earth scientists to the theory of impact crises». *Inst. Advanc. Stud.* Princeton, 13-24.
- BENSON, R.H. (1984): «Perfection, continuity, and common sense in historical geology». En: Berggren, W.A., y Van Couvering, J.A. (eds.) *Catastrophes and Earth History. The New Uniformitarianism*. Princeton University Press. Princeton, N.J., págs. 35-75.
- BOHOR, B.F.; MODRESKI, P.J., y FOORD, E.E. (1987): «Shocked quartz in the Cretaceous-Tertiary boundary clays: evidence for a global distribution». *Science*, 236: 705-709.
- BERGGREN, W.A., y VAN COUVERING, J.A. (Eds.) (1984): *Catastrophes and Earth History. The New Uniformitarianism*. Princeton University Press. Princeton, N.J., 464 págs.
- BLUM, J.D.; CHAMBERLAIN, C.P.; HINGSTON, M.P.; KOEHLER, CH.; MARÍN, L.E.; SCHURAVTZ B.C., y SHARPTON, V.L. (1993): «Isotopic comparison of K/T boundary impact glass with melt rock from the Chicxulub and Manson impact structures». *Nature*, 364: 325-327.
- CHARIG, A. (1993): *La verdadera historia de los dinosaurios*. Salvat Ed. Barcelona, 200 págs.
- CHYBA, CH.F.; THOMAS, P.J., y ZAHNLE, K.J. (1993): «The 1908 Tunguska explosion: atmospheric disruption of a stony asteroid». *Nature*, 361: 40-44.
- GOODMAN, N. (1967): «Uniformity and simplicity». *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, 89: 93-99.
- GOULD, S.J. (1965): «Is uniformitarianism necessary?». *Amer. Jour. Sci.*, 263: 223-228.
- GOULD, S.J. (1984): «Toward the vindication of punctuational change». En: Berggren W.A. y Van Couvering, J.A. (Eds.): *Catastrophes and Earth History. The New Uniformitarianism*. Princeton University Press. Princeton, N.J., págs. 9-34.

- GRETFENER, P.E. (1984): «Reflections on the «rare event» and related concepts in geology». En: Berggren W.A. y Van Couvering, J.A. (eds.) *Catastrophes and Earth History. The New Uniformitarianism*. Princeton University Press. Princeton, N.J., págs. 77-89.
- HALLAM, A. (1985): *Grandes controversias geológicas*. Labor. Barcelona. 180 pp.
- HsĆ, K.J. (1983): «Actualistic catastrophism: Address of retiring president of the International Association of Sedimentologists». *Sedimentology*, 30: 3-9.
- IZETT, G.A., y BOHOR, B.F. (1987): «Comment on «Dynamic deformation of volcanic ejecta from Toba caldera: Possible relevance to Cretaceous/Tertiary boundary phenomena». *Geology*, 15: 90.
- MÜLLER, D.W.; BERNOULLI, D.; MCKENZIE, J.A., y WEISSERT, H. (1991): «Controversy and geologic theory». En: Müller, D.W.; McKenzie, J.A., y Weissert H. (eds.): *Controversies in Modern Geology*. Academic Press. London. págs. 3-9.
- OZIMA, M. (1987): *Geohistory. Global Evolution of the Earth*. Springer-Verlag. Berlín. 165 págs.
- PETIT-MARIE, N. (1992): «Leer el futuro en los archivos geológicos». *Mundo Científico*, 127: 772-775.
- RUDWICK, M.J.S. (1972): *The Meaning of Fossils*. McDonald. London, 287 págs.
- SHARPTON, V.L.; DALRYMPLE, G.B.; MARÍN, L.E.; RYDER, G.; SCHURAYTZ, B.C., y URRUTIA-FUCUGAUCHI, J. (1992): «New links between the Chicxulub impact structure and the Cretaceous/Tertiary boundary». *Nature*, 359: 819-821.
- SHOEMAKER, E.M. (1984): «The acceptance of the G.K. Gilbert Award». *Geological Society of America Bulletin*, 95: 1001-1002.
- SKINNER, B.J., y PORTER, S.C. (1987): *Physical Geology*. John Wiley and Sons. New York, 750 págs.
- WETHERILL, G.W., y SHOEMAKER, E.M. (1982): «Collision of astronomically observable bodies with the earth». *Geol. Soc. Amer., Spec. Paper*, 190: 1-13.
- VERA, J.A.; GALLEGOS J.A., y ROCA, A. (1988): *Geología*. Edelvives. Zaragoza. 479 págs.
- ZOLLER, W.H.; PARRINGTON, J.R., y PHELAN KOTRA, J.M. (1983): «Iridium enrichment in airborne particles from Kilauea volcano. January 1983». *Science*, 222: 1.118-1.121.

## *Apéndice*

---



DIVISIÓN TIEMPO GEOLÓGICO

TIEMPO GEOLÓGICO m. a.	EONES	ERATEMA	SISTEMA	SERIE	PRINCIPALES FASES TECTÓNICAS		
0	FANEROZÓICO	CENOZÓICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	WALÁCHICA ÁTTICA		
1.8				PLEISTOCENO			
22.5			TERTIARIO	NEÓGENO		PLIOCENO	SÁVICA
						MIOCENO	PIRENAICA
				PALEÓGENO		OLIGOCENO	
EOCENO							
65		PALEOCENO		LARÁMICA			
141		MESOZÓICO	CRETÁCICO	SENO NENSE	ÁUSTRICA		
				SUPERIOR			
				INFERIOR			
	NEOCOMIENSE			NEOKIMMÉRICA			
	MALM						
	DOGGER						
	LÍAS						
	195		TRIÁSICO		SUPERIOR		
	MEDIO						
	230		PALEOZÓICO	PÉRMICO	INFERIOR	PFÁLCICA	
SUPERIOR		SAÁLICA					
280	CARBONÍFERO	SUPERIOR		ASTÚRICA			
		INFERIOR		SUDÉTICA			
347	DEVÓNICO	SUPERIOR		BRETÓNICA			
		MEDIO		ÉRICA			
INFERIOR							
395		SILÚRICO		SUPERIOR	ARDÉNICA		
INFERIOR							
435	ORDOVÍCICO	SUPERIOR		TACÓNICA			
		INFERIOR	SÁRDICA				
500	CÁMBRICO	SUPERIOR					
		MEDIO					
		INFERIOR	CAODMIENSE				
570	PROTEROZOICO	PRECAMBRICO	ALGÓNQUICO				
600	CRIPTOZOICO						
		4000		ARCAICO			

DIVISIÓN DEL TIEMPO GEOLÓGICO (MODIFICADA DE VERA, GALLEGOS Y ROCA, 1988).



Servicio de Publicaciones  
e Intercambio Científico