

# A TECTÓNICA DE PLACAS E O IMPACTO KT. UNHA GRAN REVOLUCIÓN XEOLÓXICA E UNHA GRAN CONTROVERSIAS DO SÉCULO XX

Federico Vilas Martín\*  
Universidade de Vigo

## INTRODUCCIÓN

*En case tódolos asuntos, a mente humana tende fortemente a xulgar á luz da súa propia experiencia, coñecemento e prexuízos, antes que en función das evidencias presentadas. Deste modo, as ideas novas son xulgadas polas crenzas prevalecentes. Se as ideas son demasiado revolucionarias, é dicir, se se apartan demasiado das teorías reinantes, e se non se poden asimilar ó corpo de coñecementos de moda, non serán aceptables. Cando se fan os descubrimentos antes de tempo, é case seguro que serán ignorados ou rexeitados cunha oposición insuperable, de modo que na maioría dos casos, tanto daría no telos feito.*

Beveridge, 1950

Se observamos detidamente a historia da Humanidade, podemos decatarnos de que é moi difícil non resultar afectado polas revolucións políticas ou económicas. Pola contra, a xente común permanece á marxe ou allea ás explicacións científicas ou artísticas, aínda que por veces cheguen a constituír unha auténtica revolución. A historia bríndanos numerosos exemplos; os libros da Biblia (Bentor, 1978) conteñen

frecuentes e moi exactas descrições de acontecementos xeolóxicos: terremotos e os seus conseguintes movementos de terras (o paso do río Xordán), inundacións (Sodoma e Gomorra), volcanismo (o monte Sinaí), etc. Moitos destes sucesos xeolóxicos deberon de impresionar profundamente as mentes pre-científicas da época en que se escribiu a Biblia, por iso foron considerados de orixe supranatural. Só hoxe chega a comprenderse que estes acontecementos xeolóxicos forman parte do escenario apropiado para creala atmosfera precisa do relato bíblico e o seu principal sentido.

Máis próximo á nosa época, o reverendo Thomas Burnet, eminente pastor anglicano e capelán privado do rei Guillerme III, entre 1680 e 1690 publicou, primeiro en latín e logo en inglés, os catro libros de *Telluris theoria sacra*, ou *La Teoría sagrada de la Tierra: Conteniendo un Informe del Origen de la Tierra y de todos los Cambios Generales que se han experimentado, o que están por experimentar hasta la consumación de*

\* Catedrático de Estratigrafía.

*todas las cosas*. Burnet contou a historia do noso planeta proclamada pola infalible concordancia entre a palabra de Deus (os Textos Sagrados) e a obra de Deus (os obxectos da natureza). A súa obra, de moi pobre contido empírico, tal como insisten os seus detractores, non podería ser criticada por mesturar ciencia e relixión cando a taxonomía do seu tempo non recoñecía tal división, e mesmo non existía unha palabra para o que agora denominamos ciencia. Hoxe Burnet aparece nos nosos libros de texto como o arquetipo dunha idolatría bíblica que retivo o progreso da ciencia. Esta caracterización persiste na nosa xeración. Fenton e Fenton, na súa popular obra *Xigantes da xeoloxía* (1952, 22) rexeita a teoría de Burnet como “unha serie de ideas excéntricas acerca do desenvolvemento da Terra”.

Do mesmo xeito, e noutros ámbitos sociais, ninguén foi consciente no seu momento do que significaba o Cubismo ou o Surrealismo e só hoxe podemos avalialos enmarcados nos problemas da época. No mesmo sentido, pódese dicir que as revolucións científicas actuais pasan inadvertidas, mentres que recoñécemo-la importancia dos descubrimentos que ocorreron hai uns corenta ou cincuenta anos.

¿Cando comezou a última ‘revolución’ das Ciencias da Terra? A crenza dunha Terra ‘estable’ e non ‘móbil’, segundo a cal os continentes permaneceron na mesma posición, foi un punto de vista combatido por Wegener e logo en menor medida por Taylor. Foi preciso que transcorreran uns cincuenta

anos para lograr unha conversión masiva ós puntos de vista mobilistas. Non parece que medio século sexa un período excesivamente longo de indecisión e incerteza, no campo da ciencia son numerosos os exemplos que se poden citar: a teoría heliocéntrica de Copérnico e a persecución de Galileo pola mesma idea moito tempo máis tarde, o longo conflito novecentista entre xeólogos catastrofistas e uniformitaristas, a cuestionada idea da evolución darwiniana xa desde o comezo do século XIX, etc.

A principios do século XX toma forma a teoría sobre a mobilidade dos continentes, como produto da vitalidade do planeta Terra, e é a finais da década dos sesenta cando a revolución da tectónica de placas tomou ó asalto a ciencia da Xeoloxía. Constitúe esta a grande e indiscutible revolución da Xeoloxía no eido científico do século. Non obstante, outra nova idea xerminal parece entrar a finais da centuria e vén a esclarece-la forte controversia entre teorías enfrontadas: as influencias extraterrestres tanto na creación de vida como nas interrupcións na evolución biolóxica por extincións masivas de organismos en determinados momentos da historia xeolóxica do planeta. Non hai dúbida de que no campo da evolución tivo lugar un grande avance, a teoría do catastrofismo, é dicir, a non-uniformidade dos procesos ó longo do tempo, tal como postulan outras teorías científicas. Aínda cando a teoría contraria, o uniformitarismo, sobreviviu ata os nosos días, novas probas viñeron a demostrar que a maquinaria do

mundo que describiu James Hutton, padre da Xeoloxía, no seu libro *Theory of the Earth*, publicado en 1785, non sempre funciona en ciclos suaves e harmónicos; os cataclismos modificaron moitas veces a face da Terra ó longo dos tempos (Hallam, 1989).

Por iso, ó tempo que a propia dinámica do planeta Terra o fai evolucionar, a Wegener permitiulle explicala deriva dos continentes ata posicións distintas ás que hoxe ocupan, chegando a ser esta última a idea xerminal da nova tectónica global ou tectónica de placas de Wilson. Actualmente, cobran importancia, dentro dunha gran polémica científica, as hipóteses formuladas por Luis e Walter Álvarez sobre os impactos de corpos celestes ocorridos na Terra, como causantes de escenarios catastróficos que producirían grandes interrupcións da evolución biolóxica a consecuencia de extincións masivas. A 'grande extinción' descrita polos Álvarez non supón a única extinción en masa que coñeceu o noso planeta pero si foi relevante para a nosa especie, xa que daquel cataclismo, os entón pequenos mamíferos, gracias ós pasos evolutivos, terminarían producindo especies como a dos humanos. Os impactos catastróficos eran reais, e así o evidenciaban as mostras lunares e imaxes dos planetas enviadas polas sondas espaciais, polo que o gradualismo estrito debería estar desbotado. A comunidade xeolóxica, absorta no gran descubrimento da tectónica de placas, a penas advertía a evidencia lunar e planetaria de impactos catastróficos, e tódolos antigos prexuízos uniformitarios que-

daron reforzados polo triunfo da nova tectónica global: océanos tan grandes que para cruzalos en avión fan falta horas, medraron a unha taxa de poucos centímetros por ano e fan pensar que a teoría da tectónica de placas é a máis gradual e uniformitaria que se poida imaxinar. O testemuño do cráter Chicxulub, que establece e confirma para uns investigadores a hipótese do impacto por un grande asteroide ou cometa, sucedido hai sesenta e cinco millóns de anos na fronteira entre o Cretáceo e o Terciario, marca un novo punto de vista na controversia uniformismo-catastrofismo.

Son polo tanto dúas as excitantes ideas que no século XX acadan unha merecedora e destacable atención no campo das ciencias da Terra: a primeira, a que se aglutina baixo a denominación "da deriva dos continentes á tectónica de placas", teoría que transformou a nosa ciencia completamente ofrecendo unha nova comprensión da Terra; a segunda, a gran controversia suscitada polo denominado 'impacto KT' que introduce os xeólogos no mundo do postuniformitarismo.

#### DA DERIVA DOS CONTINENTES Á TECTÓNICA DE PLACAS

*...o compoñente máis importante é a suposición de grandes movementos horizontais de deriva que moveron os bloques continentais no curso do tempo xeolóxico e presumiblemente continúen aínda.*

A. Wegener, 1915

## OS PRECURSORES

Con posterioridade a Darwin, analizouse a distribución de animais e plantas con relación ós seus fósiles. Huxley propoñía unha orixe saltacional das especies. De Vries entendía que as especies cambiaban por mutacións e así explicaba as leis de Gregor Mendel. Extinguidos os réptiles xigantes, os mamíferos evolucionaron en función de cambios climáticos; o home, un primate que ó pasar da selva á sabana camiñaba erguido. A evolución dos marsupiais en Australia e os edentados en América do Sur chamou a atención polas súas diferencias con Eurasia, África e América do Norte. Comezaron a compararse os rexistros fósiles de cada continente. Edward Forbes xa propoñía en 1846 «pontes entre continentes» para explica-las relacións entre organismos distantes. Entre os monos sen cola de África encontrábase o elo perdido que dera orixe ó home.

As relacións entre as especies non eran claras de todo. Os xeólogos que abrazaran de contado o evolucionismo de Darwin crían a Edward Suess, que en 1904 postulaba que a Terra evolucionara contraéndose, orixinando así as montañas pregadas. Para F. Taylor (1910) as montañas orixináranse polo movemento dos continentes, pero como consecuencia de forzas de marea provocadas polo suposto desprendemento da Lúa durante o Cretáceo. Só algúns pregamentos se explicaban por movementos horizontais locais.

O punto de partida da hipótese de Taylor non foi a observación da coincidencia do contorno dos continentes que bordean o Atlántico, tal como claramente xa apuntara Schneider en 1858, senón a disposición das cadeas montañosas do Terciario de Eurasia. Sen dúbida, Taylor coñecía polo miúdo o traballo de Edward Suess, *The face of the Earth*, sobre os supostos movementos de contracción sufridos polo arrefriamento da Terra. A idea dun 'gran desprazamento' da codia terrestre xorde en Taylor como primeira hipótese, coherente e elaborada, do que hoxe denominamos deriva continental. Taylor non lle prestou demasiada atención ó mecanismo do desprazamento continental na súa monografía de 1910, razón pola cal a súa obra non acadou o eco que cabería esperarse na comunidade xeolóxica.

Foi Alfred Wegener quen encarou o problema da aparente mobilidade dalgunhas especies: non se requiría de grandes migracións de animais nin pontes hoxe desaparecidas; ¡os que se moveran foran os continentes!

Son diversas as primeiras formulacións que apuntan a posible migración dos continentes (Hallam, 1976). Moitas céntranse na opinión xeneralizada, na metade do século XIX, sobre a complementariedade das liñas de costa dos continentes do Atlántico sur. Tamén se especulou sobre a formación do océano Atlántico, como consecuencia da depresión deixada pola Atlántida, un misterioso continente supostamente desaparecido.

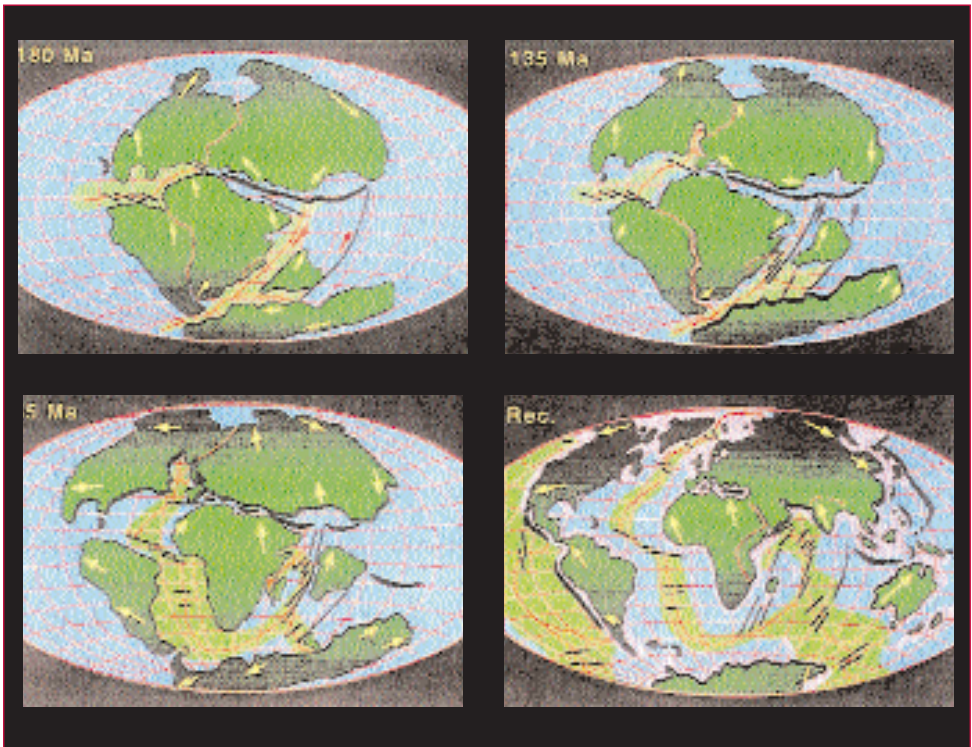


Figura 1. A evolución de terras e mares:

**Hai 180 millóns de anos**, a primitiva masa terrestre chamada Panxea empezou a desmembrarse. Primeiro, os continentes dividíronse ó longo das liñas dos océanos Índico e Atlántico setentrional. América do Norte separouse de África e o mesmo ocorreu coa India respecto á Antártida. Os vastos continentes de Laurasia, ó N., e Gondwana, ó S., quedaron case completamente separados polo chamado mar de Tetis. A Terra tiña tres grandes masas terrestres, ademais da India, que xa se empezara a mover cara ó N.

**Hai 135 millóns de anos**, despois de máis de 45 millóns de deriva dos continentes, estes aínda non adquiriran a forma que hoxe nos é familiar. As dúas grandes fracturas orixinais, o Atlántico Norte e o océano Índico, continuaron abrindo-se. O Atlántico Norte tiña entón unha anchura duns 1000 km. Unha serie de fracturas estendéronse ata o Mar do Labrador, separando as terras de Gronlandia de América do Norte. Entrementes, a India continuaba avanzando cara á costa meridional de Asia, aínda distante uns 3200 Km.

**Hai 65 millóns de anos**, os continentes empezaron a toma-la súa actual configuración. América do Sur separouse por fin de África, mentres que en Gondwana só Australia e a Antártida empezaran a moverse por separado. Unha prolongación da macrofractura do Atlántico Norte producirá outra gran fractura en Laurasia: Gronlandia separarase de Europa, e tamén o continente norteamericano do euroasiático. (A área coloreada con verde claro amosa a magnitude dos movementos da codia).

## A DERIVA DOS CONTINENTES

A imaxe convencional da estrutura e evolución da Terra que se tiña a principios de século veu a ser substituída pola revolucionaria hipótese wegeneriana da deriva continental.

Segundo o seu propio relato, Wegener tivo a definitiva sospeita de que os continentes se moveran lateralmente cando advertiu a notable coincidencia entre os contornos continentais a ámbalas beiras do Atlántico. Sucedería algo así como lles ocorre ás capas de xeo cando rompen e se desprazan, di Lange Koch que chegou a pensar Wegener, un dos compañeiros da expedición a Gronlandia. A busca de evidencias foi tan fructífera e corroboraban de tal xeito a súa idea inicial que expuxo a súa hipótese no seu libro *Die Entstehung der Kontinente* (1915). En 1920, 1922 e 1929 publicáronse edicións revisadas. A de 1922 atraeu a máxima atención e foi traducida ó inglés en 1924 baixo o título *The origin of continents and oceans*. Nesa edición aparece por primeira vez, correctamente traducido, o termo *continental displacement* (desprazamento continental), que posteriormente se transformou en *continental drift* (deriva continental). Wegener postulou a presenza dun enorme supercontinente denominado Panxea (fig.1), que significa 'Todo Terra' e que se fracturou hai 180 millóns de anos, primeiro no hemisferio sur e logo no norte; Europa e Norteamérica terían permanecido unidos ata o Cuaternario (1 millón de anos). Pero o mesmo que o argumento máis consistente foi o da

similitude entre rochas e cintos oroxénicos existentes entre os dous lados do Atlántico, tamén o foron os argumentos paleontolóxicos e paleoclimáticos.

Desafortunadamente, o mecanismo que propuxo foi a diferente atracción da gravidade entre o Ecuador e os polos, e unha deriva contra o oeste producta das atraccións da Lúa e o Sol. Para explicar este movemento propoñía un fondo mariño viscoso sobre o que os continentes se abrían paso no seu desprazamento. Os xeofísicos corrixírono no sentido de que o fondo do mar é ríxido.

Aínda que Wegener morreu sendo un descoñecido en 1930, durante unha expedición a Gronlandia, a posterior acumulación de argumentos foille dando a razón. Arthur Holmes (1929) explicou a deriva dos continentes por correntes convectivas no manto, de forma que a codia continental e mariña se moven xuntas sobre esta porción plástica do manto. Tampouco a Holmes lle creron demasiado. Veining Meinesz recoñece nas fosas oceánicas o lugar onde as correntes convectivas se afunden. O wegenerista Du Toit (1927) estudia comparativamente os fragmentos do supercontinente austral Gondwana separado de Laurasia polo Mar de Tetis. K. Runcorn (1962) e E. Irving (1964) corroboran o movemento dos polos mediante estudos paleomagnéticos, e as incongruencias xurdidas entre os datos obtidos soluciónanse cando se supoñen os continentes ensamblados. Paralelamente, investigadores como M. Ewing e B. Heezen (1962) recoñecen

que as dorsais mesoceánicas percorren todo o planeta.

A principios dos anos sesenta, Harry Hess (1962) e Robert Dietz (1961) reformulan a Wegener e Holmes na *Historia das cuncas oceánicas* e a *Teoría do espallamento do fondo oceánico* respectivamente. Hess, un recoñecido xeólogo da Universidade de Princeton, foi un dos impulsores do Proxecto Mohole, o encargado da perforación oceánica para a exploración da capa do manto terrestre. A súa gran contribución foi a integración dun certo número de feitos dispares: a aparente xuventude do fondo oceánico, o peculiar sistema que ofrecen as illas en forma de arco que circundan o océano Pacífico e o seu elevado número de volcáns, sismos, grandes fosas, etc. Propuxo que o fondo mariño se creou nas grandes dorsais medio-oceánicas, e logo esparéxese ata consumirse nas fosas e introducirse no manto terrestre. O seu modelo foi relacionado co da deriva dos continentes e suxírese que estes foron transportados ó longo do proceso polo efecto das correntes de convección que se xeran dentro do manto. Explicábase así a orixe das montañas e terremotos por forzas de tensión e de compresión. Agora si, a suma dos novos datos abría as portas á 'Revolución Wegeneriana'. Vine (1969) e Vine e Matthews (1963) explicaron o carácter simétrico das franxas magnéticas dos basaltos, contiguas ás dorsais mesoceánicas, como produto das inversións periódicas do campo magnético. Excitante hipótese esta última, que supón ter algo así

como unha 'gravadora natural' do campo magnético, que permitiu determina-la velocidade do transporte oceánico.

#### TECTÓNICA DE PLACAS: UNHA TEORÍA UNIFICADORA

Tan recentemente como en 1965, o xeofísico canadense Tuzo Wilson especula sobre a natureza das grandes fracturas na codia oceánica, que denomina fallas de transformación, e propón que todo o noso planeta se move en placas, creándose materia nas dorsais e consumíndose nas fosas oceánicas. A superficie terrestre estaría así dividida en diversas grandes placas ríxidas. Estas ideas expostas nos traballos de Wilson, constitúen o xerme da inicialmente denominada como 'nova tectónica global' por B. Isacks, J. Oliver e R. Sykes en 1968, para agrupa-los conceptos de 'deriva continental', 'esparexemento do fondo oceánico' e 'fallas de transformación', hoxe coñecida como Teoría da tectónica de placas.

Posteriormente, Morgan (1968) divide a superficie terrestre en vinte placas que poden ter límites de tres tipos: diverxentes, onde nace codia oceánica; converxentes, onde a codia oceánica se destrúe; e transformantes, onde non se crea nin se destrúe codia. Adoptouse a suposición de que as placas varían a súa espesura, acadando ata os 250 quilómetros naquelas compostas por manto superior e codia continental, mentres que aquelas outras do manto superior e codia oceánica chegan ata os 100 quilómetros e constitúen o que se denomina litosfera.

A litosfera repousa sobre a astenosfera, capa plástica na que o movemento resultante dalgún tipo de sistema de transferencia de calor dentro dela causa o desprazamento das placas.

Esta nova visión da superficie terrestre estimulou a recompilación de datos sobre zonas de fractura e anomalías magnéticas en todo o globo. O modelo agora obtido polo francés Le Pichon (1968) foi aínda máis simple có de Morgan: só seis placas maiores, denominadas Americana, Euroasiática, Africana, India, Pacífica e Antártida.

A maior parte dos xeólogos aceptan a teoría da tectónica de placas como a única que pode unificar e explicar numerosos fenómenos xeolóxicos. En consecuencia, moitos dos procesos xeolóxicos son vistos agora desde esta perspectiva. Aínda máis, debido a que tódolos denominados planetas terrestres tiveron unha orixe similar, pregúntase se esta teoría é única para a Terra ou pola contra opera do mesmo xeito nos outros planetas terrestres.

#### OS LÍMITES DE PLACAS

As placas teñen un movemento relativo dunha respecto a outra de xeito que os seus límites poden ser caracterizados como: *a)* diverxentes, *b)* converxentes, e *c)* transformantes. A interacción de placas e os seus límites forman a maior parte da orixe da actividade sísmica e volcánica da Terra así como da orixe dos sistemas de montañas.

a) As placas son diverxentes (fig. 2) cando se separan e se forma unha nova litosfera oceánica. Os límites diverxentes son lugares onde a codia se expande, se adelgaza e se fractura na medida en que o magma, derivado da fusión parcial do manto, alcanza a superficie. As sucesivas inxeccións de magma, ó arrefriarse, dan lugar á nova codia oceánica á vez que rexistran a intensidade e a orientación do campo magnético terrestre. A pesar de que este tipo de límites está moi ligado á formación das cristas oceánicas tal como a Dorsal Medio-Oceánica, tamén ocorren durante os estadios iniciais da fractura continental: o magma ascende por baixo do continente, a codia inicialmente elévase, expándese e adelgaza. Os vales do leste de África constitúen un magnífico exemplo deste estadio de ruptura continental. A continuidade do proceso conduce á separación en dous bloques continentais, tal como sucede no Mar Vermello separando a Península de Arabia de África e no Golfo de California que separa a Baixa California de México. Na medida en que estes mares estreitos recentemente creados continúan ampliándose, eventualmente poden chegar a ser unha extensa cunca oceánica tal como a Atlántica, que separa as Américas de Europa e África por miles de quilómetros. A Dorsal Medio-Oceánica constitúe o límite entre esas dúas placas diverxentes; mentres a Americana se despraza cara ó oeste, a Euroasiática e Africana móvese en dereitura ó leste.



b) As placas converxentes supoñen a colisión entre elas e, polo tanto, o lugar de destrución e reciclaxe da vella litosfera que progresivamente se forma nos límites das placas diverxentes. Doutra forma teríamos unha Terra en expansión. No límite converxente, unha das placas descende por debaixo da outra por subducción. As zonas de

subducción constitúen algo así como un plano inclinado no que se localizan os focos sísmicos, coñecido como plano de Benioff. A maior parte destes planos inclínanse cara a abaixo a partir das fosas oceánicas xeradas nos arcos illas ou continentes adxacentes, marcando o límite de escorregamento entre placas converxentes. Na medida en que a

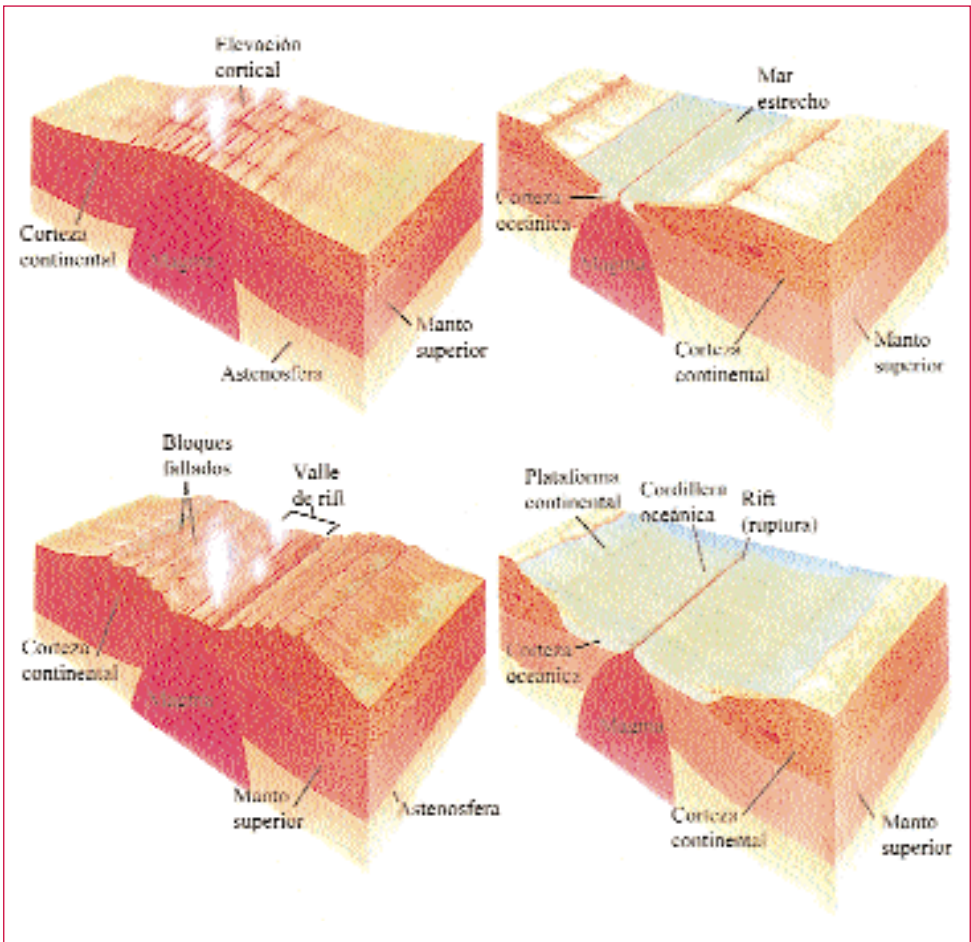


Figura 2. Evolución dun límite diverxente de placas. (Modificado de Monroe e Wicander, 1992).

placa subducente se introduce na astenosfera, quece e eventualmente incorpórase ó manto. Sen embargo, a subducción non ocorre cando ámbalas placas converxentes son continentais xa que a codia continental non ten a densidade necesaria para ser subducida dentro do manto.

Os límites converxentes caracterízanse por deformación, vulcanismo, formación oroxénica, sismicidade e importantes depósitos minerais. A partir das ideas de Tuzo Wilson chégase a recoñecer tres tipos de límites de placas converxentes: oceánica-oceánica, oceánica-continental e continental-continental.

Cando dúas placas oceánicas converxen, unha delas é subducida por debaixo da outra ó longo do límite de placa oceánica-oceánica (fig.3). A placa subducente dóbrase contra abaixo cun ángulo entre  $5^\circ$  e  $10^\circ$  para formar unha depresión oceánica seguida dun complexo, en forma de cuña, de sedimentos mariños pregados e fallados e litosfera

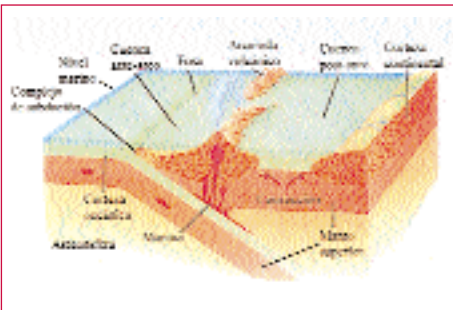


Figura 3. Evolución dun límite diverxente de placas. (Modificado de Monroe e Wicander, 1992).

oceánica arrincada da placa descendente. Na medida en que a placa descendente se introduce na astenosfera, afúndese parcialmente xerando un magma menos denso cás rochas adxacentes, polo que ascende á superficie formando unha cadea curvada (como resultado da intersección dun plano cunha esfera) de volcáns, que se denominan arcos-illa. A ámbolos lados destes arcos-illas xéranse dúas cuncas: a cunca ante-arco tende a somerizarse por recheo de sedimentos procedentes da erosión dos volcáns, mentres que na cunca tras-arco pode producirse un adelgazamento da súa codia litosférica, como consecuencia dun alto grao de subducción, ata o punto que chega a iniciarse unha expansión se o magma chega a rompe-la delgada codia, iniciándose unha nova codia oceánica. Un bo exemplo constitúeo o Mar de Xapón entre o continente Asiático e as illas de Xapón.

Cando se trata da converxencia dunha placa oceánica e outra continental, a primeira, debido á súa maior densidade, é subducida por debaixo da continental ó longo do límite de placa oceánica-continental (fig. 4). A placa oceánica descendente dá lugar a unha fosa, seguida dun complexo de subducción consistente en capas de rochas falladas en forma de cuña, que marcan o límite externo da cunca ante-arco. Na medida en que a placa oceánica descende dentro da astenosfera, fúndese e xérase magma. Este magma ascende entre a corteza continental, irrompe na superficie orixinando volcáns, tamén

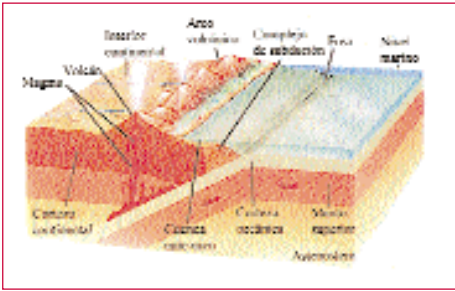


Figura 4. Límite entre placas oceánica-continental. (Modificado de Monroe e Wicander, 1992).

chamados arcos volcánicos, ou intrúese na marxe continental como plutóns, particularmente batolitos. Un excelente exemplo deste tipo constitúeo a costa do Pacífico de América do Sur, onde a placa Nazca está sendo continuamente subducida por Sudamérica: a fosa de Chile-Perú é o lugar de subducción e a Cordilleira dos Andes é a resultante cadea volcánica.

Finalmente, cando dúas placas converxen a través dun límite de placa continental con outra continental (fig. 5), unha placa pode esvarar sobre a outra, pero nunca subducida debido á súa baixa e igual densidade e grande espesura. Inicialmente, eses continen-

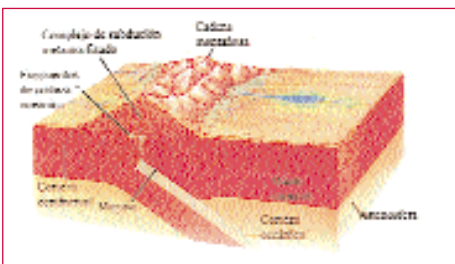


Figura 5. Límite entre placa continental-continental. (Modificado de Monroe e Wicander, 1992).

tes encontrábanse separados por codia oceánica ata que foi subducida por un dos continentes, que presentará as características dun límite de placa oceánica-continental. Se a codia oceánica é totalmente consumida, os dous continentes colisionan formando unha nova cordilleira de montañas. A cordilleira do Himalaia é o resultado da colisión entre a India e Asia que comezou aproximadamente hai corenta ou cincuenta millóns de anos e aínda continúa. A súa grande altura resulta da grosa acumulación de litosfera continental e a elevación producida como consecuencia do forzado e parcial escorregamento da placa india baixo a placa asiática durante a colisión.

c) Os movementos horizontais entre placas teñen lugar ó longo de fallas de transformación, onde as placas esvaran lateralmente de forma case paralela á dirección do movemento da placa. Non se destrúe nin se crea litosfera ó longo do límite transformante. As de transformación son unha clase particular de fallas que 'transforman' ou cambian un tipo de movemento entre placas noutro tipo diferente. A maioría das fallas de transformación conectan dous segmentos de dorsal oceánica, pero tamén poden conectar dorsais con fosas e fosas con fosas (fig. 6). Unha das fallas de transformación mellor coñecidas é a de San Andrés en California, que separa a placa do Pacífico da de Norteamérica.

A teoría da tectónica de placas, froito da hipótese da deriva continental, mostrouse capaz de integrar

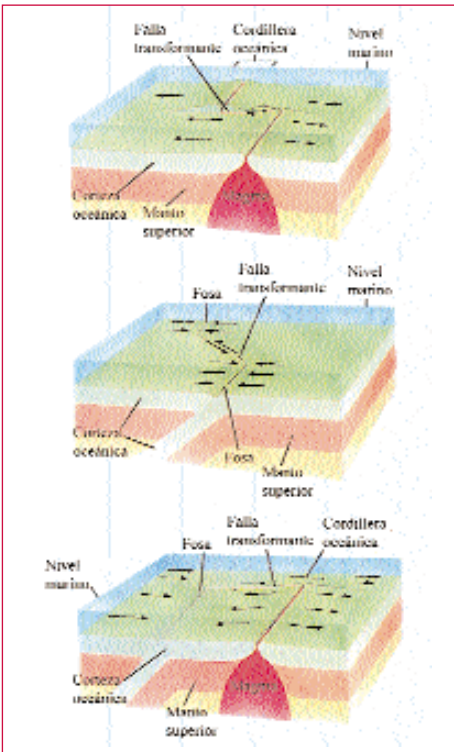


Figura 6. Movimientos horizontais entre placas por fallas transformantes. (Modificado de Monroe e Wicander, 1992).

diversos fenómenos xeolóxicos e contribuíu a obter unha imaxe máis coherente e intelixible da evolución da Terra. O maior obstáculo para aceptala foi a carencia dun mecanismo que explicase o movemento continental. Cando se soubo que os continentes e os fondos oceánicos se moven xuntos e non separados e que se forma codia nas dorsais por ascenso de magma, a maior parte dos xeólogos aceptaron a existencia dalgún tipo de sistema convectivo

de calor como proceso responsable para o movemento das placas, pero aínda quedan algúns interrogantes sen resolver, tales como ¿cal é o tipo de sistema convectivo de calor?, ¿son as placas participantes activas ou simplemente pasivas pasaxeiras? Ó remate do século aínda non se desenvolveu unha teoría comprensiva sobre o mecanismo conductor das placas. Non obstante, a teoría da tectónica de placas constitúe o maior avance das ciencias da Terra des de que, a principios do século XIX, a aceptación dos paradigmas do uniformitarismo e a correlación estratigráfica de fósiles lle outorgou á Xeoloxía o rango dunha verdadeira ciencia. Por ser Alfred Wegener o científico que realmente iniciou ese camiño, merece o recoñecemento debido a un dos innovadores máis importantes do século.

## O IMPACTO KT

*Pero era demasiado tarde. En aquel momento la roca se estremeció y tembló bajo sus pies. El gran ruido retumbante, más fuerte que antes, vibró en el suelo y reverberó en las montañas. Después, con la precipitación de un cauterio, llegó un gran destello rojo. Mucho más allá de las montañas orientales saltó hacia el cielo y salpicó de carmín las nubes que lo encapotaban. En aquel valle de sombra y luz fría y cadavérica, parecía algo insoportablemente violento y furioso. Picos de piedra y colinas como cuchillos mellados estallaban en un negro llamativo contra las llamas que se elevaban en Golgoroth. Después llegó el gran estallido de un trueno.*

J. R. R. Tolkien, *El señor de los anillos*

## INTRODUCCIÓN

Se a vida evolucionase en continentes que por momentos estaban unidos e por veces illados, tal como expuxo Wegener, e por iso dentro dun proceso de cambios graduais e uniformes, xorde a inmediata pregunta de cómo sucederon as bruscas interrupcións na evolución biolóxica e, sen lugar a dúbidas, tamén cómo e cándo se creou a vida.

En 1954 foron recoñecidos os estromatolitos como as primeiras formas viventes (arrecifes de algas supostamente semellantes ás actuais bacterias, e algas verdeazuladas fosilizadas) do Precámbrico do Gunflint Chert, Ontario, Canadá. Posteriormente, acháronse outros tipos de fósiles primixenios: filamentos ramificados semellantes a fungos, algas unicelulares, arranxos tetraédricos de células semellantes a esporas ou células espiñentas (Schopf, 1979); pero a pregunta era cómo xurdiran estas formas de vida que hoxe coñecemos polos fósiles.

Xa en 1929, J. B. S. Haldane propuxo un 'caldo quente e diluído' (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> e NH<sub>3</sub>) que nunha atmosfera reductora (sen osíxeno) permitise que os raios ultravioletas proporcionaran a enerxía necesaria para a vida. En 1952, Harold Urey retomou as ideas de Oparin e Haldane, e a través de chispas eléctricas en mesturas de hidróxeno, metano, amoníaco e auga obtivo aldehidos, ácidos orgánicos e aminoácidos. Esta teoría da 'sopa quente' está aproximadamente vixente con relación

á particular historia de arrefriamento e diferenciación xeoquímica do noso planeta respecto doutros. O individuo primixenio non só debeu reproducirse senón que, ademais, dependeu de fontes de alimentación, un eficiente mecanismo químico interno e de certa capacidade para ambientarse aínda en condicións de crises ambientais (Soffen, 1982). As 500.000 especies subseguintes, que posuían a mesma composición bioquímica (carbono, hidróxeno, osíxeno, nitróxeno, CHON), códigos xenéticos e ata a asimetría nas moléculas de aminoácidos, confirmaban unha única orixe para a vida que hoxe coñecemos. A definición de 'vida' pode tomarse como a capacidade de reproducirse, ou a capacidade de evolucionar por selección natural. Os biólogos S. Body e M. Harrington indicaron en 1979 que os aminoácidos dominantes con asimetría cara á esquerda son selectivamente absorvidos polas arxilas bentónicas. E pensouse que na capacidade das arxilas de transmitir cargas eléctricas se produciu a enerxía que tería orixinado o 'individuo primixenio'.

Estas teorías foron usadas para avalia-la posibilidade de vida en Marte durante a misión espacial do Viking (1976-1979). O solo de Marte foi analizado mediante tres experimentos: pirólise (absorción ou redución de óxidos de C<sub>14</sub> en presenza ou ausencia de luz), intercambio radiactivo (alimentación de probables microbios cunha 'sopa bioquímica' marcada radioactivamente) e intercambio gasoso

(humedecemento do solo marciano con vapor de auga, con 'sopa' nutritiva). Só os dous primeiros experimentos deron débiles respostas, que foron explicadas por fenómenos de oxidación dun composto tipo peróxido ou superóxido de ferro. De tódalas maneiras, especúlase que os polos de Marte poden preservar mellor as moléculas orgánicas cá regolita (solo oxidado) da que trouxo mostras a nave espacial Viking (Soffen, 1982).

### O LÍMITE CRETÁCEO-TERCIARIO

O límite Cretáceo-Terciario sinala unha das grandes discontinuidades da historia da Terra, e por iso se emprega como liña divisoria que separa eras fundamentais na evolución da vida: o Mesozoico e o Cenozoico.

Tódalas teorías que trataron de explica-la orixe da vida desde o rexistro xeolóxico consideraron o sistema terrestre como pechado. Hoxe en día coñécese que a extinción dos dinosauros e outros organismos hai sesenta e cinco millóns de anos se debeu ó impacto dun corpo celeste (asteroide ou cometa) que orixinou unha nube de po que cubriu significativamente a atmosfera. O amortecemento da luz orixinou un drástico arrefriamento do clima durante un tempo abondo como para altera-las cadeas tróficas dos organismos máis especializados; e os dinosauros extinguíronse.

A proposta foi formulada por Luis e Walter Álvarez (pai e fillo), da Universidade de California, Berkeley.

Físico e xeólogo recoñeceron en Gubbio (Italia) unha capa de arxila de só un centímetro significativamente rica en iridio, un elemento particularmente característico dos meteoritos do tipo 'chondrites' (Álvarez *et al.*, 1980). Esta capa de arxila está situada exactamente no límite do tránsito do Cretáceo ó Terciario, polo que se denominou como límite KT. Esta anomalía de iridio non se encontraba noutros niveis estratigráficos, o que descartaba a posibilidade dalgunha causa terrestre común, como o vulcanismo. Por outra parte, o iridio é un dos seis elementos do grupo do platino, que están concentrados no núcleo terrestre e está ausente da superficie. Todos eles poden ser liberados na Terra por un impacto de asteroides e cometas. A anomalía KT presenta eses elementos nas mesmas proporcións ca nos meteoritos. Deste modo aparece un claro sinal que asocia a anomalía de iridio a un obxecto extraterrestre e non a unha erupción volcánica —como tamén se postulara— onde as proporcións entre elementos do platino son distintas.

Malia as numerosas dúbidas, máis ben paleontolóxicas ca estratigráficas, que existían inicialmente, a anomalía de iridio en KT convenceu de que pagaba a pena buscar un cráter de impacto xigante daquela época. A primeira pregunta evidente era ónde tivo lugar o impacto: ¿continente ou océano? As primeiras indagacións, baseadas en criterios xeoquímicos, apuntaban o océano, se ben semellaba imposible que un cráter estimado en

150 a 200 quilómetros de diámetro non fora detectado polos barcos oceanográficos. A este respecto, a teoría da tectónica de placas proporcionaba un bo argumento xa que unha quinta parte da codia oceánica que existía na época do límite Cretáceo-Terciario sufriu subducción desde entón; se o cráter buscado se atopaba nesa codia, estaría totalmente destruído. Outras pistas contradictorias apuntaban un impacto continental, fóra do alcance da codia oceánica. Ó longo da década de 1980, na medida en que se ían descubrindo cada vez máis evidencias que apoiaban a idea do impacto para a extinción producida no KT, recoñeceu-se en diferentes afloramentos rochosos e nos fondos mariños próximos á península de Yucatán a evidencia dun gran tsunami, unicamente explicables por un grande impacto. Este produciuse no continente pero o suficientemente preto do océano como para que se xerara un tsunami. A estrutura circular de anomalías gravitatorias en Yucatán suxería a existencia dun cráter, hoxe enterrado e invisible desde a superficie, na área de Chicxulub. Inicialmente confundido cun volcán polos xeólogos da petrolera PEMEX de México, o cráter Chicxulub era meirande ca calquera cráter de impacto coñecido na Terra.

O grupo de Berkeley dos Álvarez presentou unha descrición moi convincente de cómo tivera lugar a grande extinción. Tituláranos humoristicamente “Darkness at noon”, título dunha coñecida obra de A. Koestler que en España se traduciu por *El cero y el*

*infinito*, e que literalmente significa ‘escuridade ó mediodía’. Suxerían que, se un meteorito de dez quilómetros de diámetro batese contra a Terra hai sesenta e cinco millóns de anos, enormes cantidades de restos de rochas pulverizadas pola explosión e o impacto se inxectarían na estratosfera e axiña se distribuirían por todo o globo, diminuíndo a luz que normalmente chega á superficie da Terra.

Na conseguinte escuridade, a fotosíntese interromperíase e a ruptura da cadea de alimentos produciría unhas pautas de extinción que son observables nos datos paleontolóxicos. A capa de arxila en que se encontrara a anomalía de iridio de Italia tiña que ser —supoñían— o po que nos anos seguintes ó impacto se fora depositando gradualmente sobre a superficie da Terra. Deste modo naceu unha das máis sorprendentes hipóteses da ciencia moderna. O equipo Álvarez publicou o seu primeiro informe na revista *Science*, o 6 de xuño de 1980, baixo o título “Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction” (“Causa extraterrestre para a extinción do Cretáceo -Terciario”).

A ‘Grande Extinción’ que ocorreu hai sesenta e cinco millóns de anos debido a unha catástrofe cósmica e as súas implicacións na teoría da evolución foi obxecto de numerosas críticas xurdidas desde diversos ámbitos científicos. A Conferencia de Snowbird celebrada en Utha (EUA), en 1981, que se titulou “Impactos de corpos grandes e evolución terrestre: implicacións

xeolóxicas, climatolóxicas e biolóxicas”, puxo de relevo a intensa investigación que se realizaba, tanto sobre aspectos derivados de factores astronómicos, como a chuvia de cometas que periodicamente visitan a Terra, ata escenarios dun posible ‘inverno nuclear’, etc.

Son numerosas as preguntas que a ciencia pode facerse ante un feito de tal magnitude e tanta transcendencia. Unha delas é considerar se logo dunha guerra nuclear a especie coñecida como *Homo sapiens* se vería condenada á extinción; a resposta é si. ¿Sería posible que o impacto de finais do Cretáceo destruíse de xeito similar o medio natural, condenando os superviventes á extinción incluso durante un período de tempo despois do Holocausto? En xullo de 1994 os grandes telescopios apuntaron a Xúpiter para observar o impacto do cometa Shoemaker-Levy 9, que fora captado por ese planeta. Cando o cometa se afundi na atmosfera de Xúpiter, grandes penachos de material despedido polo choque eleváronse por riba do planeta e despois, como consecuencia da enorme gravidade de Xúpiter, esboroáronse sobre a súa superficie xerando intensas emisións de calor que puideron verse como radiación infravermella desde os telescopios da Terra. A natureza estaba ofrecendo, a unha distancia segura, un experimento que era a proba de que os grandes impactos non son só algo que puido suceder no pasado.

Os Álvarez analizaron catro ‘mecanismos causantes de morte’,

provocados polo impacto KT, que poderían ter contribuído á extinción. En primeiro lugar estaba a escuridade global de tres a seis meses de duración que detivo a fotosíntese. Un segundo mecanismo era o efecto invernadoiro, é dicir, a introducción na atmosfera dunha enorme cantidade de vapor, consecuencia do impacto no océano, que actuou como unha pantalla na Terra apresando a calor; en poucos meses as temperaturas globais sufrirían un significativo incremento, o suficiente para causa-la morte a moitos animais. Un terceiro mecanismo podería ter producido efectos catastróficos debido a un fenómeno inverso, un arrefriamento global: mentres persistiu o período de escuridade, as temperaturas globais puideron baixar 18°, e durante un tempo suficiente como para acabar coa maior parte dos animais incapaces de hibernar. Un cuarto mecanismo de morte baseábase na posibilidade de chuvias ácidas mortais en todo o mundo, derivado do impacto e a conseguinte transformación do nitróxeno atmosférico en óxidos de nitróxeno.

As conflictivas interpretacións dos acontecementos que levaron á desaparición dos dinosauros e causaron a extinción masiva do Cretáceo-Terciario, poida que non se logre coñecerlas por agora, pero é evidente que unha ‘revolución’ varreu o mundo contra finais do Cretáceo e trouxo un mundo novo. Un mundo que entraba no período Terciario sen dinosauros e outras especies de organismos.



Axiña se recoñeceron máis evidencias deste impacto Cretáceo-Terciario (anomalías xeoquímicas e evidencias físicas nos cristais de cuarzo) ó tempo que se encontraban pistas de impactos similares doutras idades (extincións do Titoniano, Hauteriviano, Cenomaniano e Eoceno Tardío; Torbett, 1989). Non é doado atopar evidencias de impactos no rexistro xeolóxico. Un grande impacto como o acontecemento do límite do KT, o suficientemente grande como para causar unha extinción en masa, pode localizarse no rexistro xeolóxico, porque os fósiles son distintos por encima e por debaixo do nivel de impacto. Buscar impactos máis pequenos que non deixen efectos sobre os seres vivos é moi difícil, e probablemente os seus depósitos só se achen casualmente. Non obstante, a lista de evidencias de impactos é cada vez máis numerosa; algúns están asociados a extincións en masa e outros poida que non teñan máis que efectos biolóxicos locais. No rexistro estratigráfico, a constatación de impactos vai desde idades moi antigas (leitos de esférulas e exectos de idade precámbrica) ata outras máis recentes (exectos procedentes do Plioceno), ou ata na actualidade se dan fenómenos similares aínda que menores, como o ocorrido o 30 de xuño de 1908 en Tunguska, Siberia.

O detallado rexistro fósil dos últimos 570 millóns de anos desde o final do Precámbrico proporciona a evidencia de cinco grandes extincións en masa e doutras cinco máis pequenas. O

límite KT é a máis recente das cinco grandes extincións e proporcionou moita máis información cás máis.

As influencias de impactos celestes no rexistro xeolóxico resultaron sumamente importantes xa que cambiaron varias veces o rumbo da evolución biolóxica (Hallam, 1984). Do estudo da sucesión de cráteres producidos polo impacto de meteoritos esbozouse unha secuencia de eventos cunha periodicidade de vinteito millóns de anos. ¿A que se debe esta periodicidade? Hai varias hipóteses astronómicas en relación cos eventos de extincións provocadas polos impactos de cometas; unha atribuída á presenza dunha pequena estrela, compañeira do Sol, Némesis, que orbitara arredor del cada vinteiseis millóns de anos. A. Muller (1985) razoou que posto que a maior parte das estrelas se presentan emparelladas, unha orbitando arredor da outra, o Sol podería ter unha compañeira aínda non descuberta, probablemente unha estrela anana dun a dez con relación á masa do Sol. Ó principio pensou que, cada vinteiseis millóns de anos, a estrela compañeira podería estar preto do Sol, o suficiente como para altera-las órbitas dos asteroides da rexión comprendida entre Xúpiter e Marte. Biet Hut, experto en dinámica orbital, suxeriu en 1983 a idea de que a estrela compañeira do Sol afectase a nube de refugallos interestelares situados alén de Plutón e que se supón son os que dan orixe ós cometas. Unha última hipótese propón a idea dun planeta X, aínda por descubrir, que na súa

viaxe orbital arredor do Sol puido producir perturbacións causantes das chuvas periódicas de cometas destructores (Torbett e Smoluchoski, 1984). Desde puntos de vista distintos, as tres chegan a conclusións similares. Incluso os astrónomos norteamericanos M. Rampino, R. Schwart e P. James, propoñentes da primeira hipótese, chegan a deducir unha ciclicidade de chuvas de cometas pola repercusión que o Sol, ó cruza-lo plano da nosa galaxia, exerce sobre a nube de cometas de Oort que está próxima ó dito plano. As extincións periódicas poderían así ser explicadas, calculándose períodos de tempo duns trinta e tres millóns de anos.

Parece sorprendente a asimetría entre a revolución da tectónica de placas e o cambio do punto de vista que requiría a hipótese do impacto KT: mentres que a tectónica de placas foi uniformitaria en concepto, pero cambiou de forma espectacular a visión tradicional da Xeoloxía, a aceptación da hipótese dos impactos, aínda que catastróficos en concepto, están a ter un efecto máis gradual.

O novo enfoque do interese nas extincións, inspirado en boa parte pola hipótese dos Álvarez, está a producir unha transformación non só no pensamento sobre a natureza da evolución, senón tamén no do uniformitarismo incondicional. O punto de vista tradicional darwinista inclúe esa competencia entre as especies como un impulso na historia da vida, con cambios no medio físico como un asunto de impor-

tancia secundaria. No novo punto de vista, a evolución parece ter un componente substancialmente oportunista. Podía haber longos períodos nos cales a vida evolucionaba gradualmente debido á competencia entre as especies, pero eran interrompidos por episodios de extremos cambios ambientais que alteraban o curso da historia da vida. A loita primaria é a que se leva a cabo co clima, a xeoloxía e tal vez contra asaltos ou agresións extraterrestres. Os perdedores extínguense adoito en grandes vagas de morte. Os superviventes ocupan os hábitats que quedaron baleiros e desenvólvense con medios que non tiveron ó seu alcance antes da extinción masiva. En conxunto, unhas cousas e outras, trátase dun período de morte e creación. As extincións non só alteran o reloxo do cambio evolutivo, senón que controlan a vida en direccións completamente novas. É posible que os paleontólogos, axudados polos Álvarez e os astrofísicos, acaben por descubrir que a historia da vida está conformada nos seus camiños decisivos por forzas celestes.

A hipótese do impacto KT dos Álvarez foi máis aló do que eles imaxinaron. O impulso que recibiu o estudio dos asteroides levou a recoñecer aqueles ricos en gases volátiles (chondrites carbonáticos; Chapman, 1982). E actualmente especúlase se cometas ou asteroides puideran axudar na orixe da vida transportando moléculas complexas cara á Terra. Deste modo, a vida non sería autóctona senón que podería ter sido transportada desde

un corpo celeste cunha diferenciación xeoquímica semellante á nosa. As atmosferas dos nosos veciños, Venus e Marte, indicannos hoxe a probable evolución do noso planeta (prexudiciais ambas para o noso *modus vivendi*), unha de gasificación (efecto invernadoiro) e outra contraria, de degasificación da nosa atmosfera.

## COROLARIO

A ciencia xeolóxica neste século, a pesar dos prexuízos conservadores e as modas intelectuais, permítenos destacar en primeiro lugar unha nova visión sobre o funcionamento da Terra, que se inicia coa deriva continental e culmina coa tectónica de placas, e, segundo, unha ruptura no eterno enfrontamento entre gradualistas e catastrofistas, á vez que reformula a nosa posición actual no planeta. A recente aceptación da hipótese do impacto KT, ademais da nova perspectiva que ofrece ó conducirnos incluso alén do sistema solar, leva tamén a un gran número de reflexións de evidente actualidade:

1. A nosa orixe está vinculada a unha evolución xeolóxica, química e biolóxica, particularmente sementada de accidentes e catástrofes dun planeta menor que viaxa arredor dunha estrela menor nunha de tantas galaxias do universo.

2. A nosa fin tamén pode depender dos mesmos mecanismos azarosos: ó analiza-lo tráxico destino dos grandes dinosauros, o fenómeno que fixo

posible a evolución dos mamíferos e, en consecuencia, a nosa propia evolución, desde o *Homo sapiens* hai 500.000 anos, ata o desenvolvemento dunha esencialísima característica como é a conciencia, fai que nos formulemos preguntas verbo do noso pasado e do noso futuro. Só os seres humanos se interrogan sobre as súas orixes e se preocupan polo futuro. Esta autoconciencia é a fonte da relixión e a xustiza, das artes e das ciencias, é a nosa propia humanidade. Na opinión da maior parte dos científicos, Gould (1984) dixo: “La conciencia es un caprichoso accidente de la evolución, un producto de un linaje peculiar que desarrolló la mayor parte de los componentes de la inteligencia para otros procesos evolutivos”.

3. De tódalas especies existentes, ou que existiron no pasado, só nós conseguimos chegar a dispoñer de poder abondo para provoca-la nosa propia extinción e a conciencia suficiente para decatármonos de que estamos condenados a sufrilo noso propio medo. Podemos mira-lo futuro e contempla-la nosa morte, como especie, en circunstancias non moi distintas daquelas que se precipitaron sobre os poboadores do período Cretáceo. A única diferenza é que os dinosauros deberían culpar da súa extinción a elementos procedentes das estrelas, mentres que nós non poderíamos culpar a ninguén máis ca a nós mesmos.

Luis Álvarez deuse conta do paralelismo existente entre a hipotética catástrofe que condenou os dinosauros

e unha guerra nuclear, comparación que nos fai dubidar das esperanzas de que se poida sobrevivir a semellante circunstancia: o mundo quedaría novamente sumido na escuridade de ferruxe durante semanas e reduciríase a luz necesaria para o desenvolvemento das plantas. Ó mesmo tempo, produciría unha onda de frío implacable por tódalas partes. O resultado podería ser a desaparición da especie humana.

4. Afortunadamente, a ciencia permítenos, coñecendo estas circunstancias, poder prever, mitigar e ata alterar los ciclos bioxeoquímicos: é posible que nunca cheguemos a saber con certeza qué lles ocorreu ós dinosauros, pero o certo é que sabemos bastante como para preguntarnos se iso mesmo podería ocorrer nos a nós. Se o que lles afectou foi unha catástrofe repentina, pensemos nunha guerra nuclear e sentiremos calafríos. Se a súa desaparición se produciu gradualmente, debido a unha acumulación de causas que alteraron o medio ambiente, non temos máis remedio que pensar nos efectos do exceso de poboación, a deforestación, os venenos químicos e a polución cada vez maior sobre a habitabilidade da Terra. Mesmo se dun modo ou outro se logra evita-la guerra nuclear, o mundo segue enfrontado á inmediata perspectiva de extincións que podería rivalizar, e incluso superar, a que tivo lugar a finais do Cretáceo.

5. Ende mal, o desenvolvemento non foi coherente co coñecemento e estes ciclos bioxeoquímicos están sendo alterados prexudicialmente

pola nosa propia actividade. Dous investigadores, Paul Ehrlich e Daniel Simberloff, preveñen de que a poboación humana está medrando de modo tan explosivo e está modificando o medio natural de xeito tan drástico que outras especies están perecendo a un ritmo alarmante, tanto é así, que podería acadar as proporcións dunha extinción masiva nos próximos douscentos anos. “Por primeira vez en la historia geológica —dixo Ehrlich— un episodio de gran importancia será puesto en acción por el exceso de capacidad de una especie, el Homo sapiens”.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, L. W., W. Álvarez, F. Asaro, e H. V. Michel, “Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction”, *Science*, 208, 1980, 1095-1108.
- Bentor, Y. K., “Geological Events in the Bible”, *Terra Nova*, 1, 326-338.
- Beveridge, W. I. B., *The art of scientific investigations*, Londres, Heinemann, 1950.
- Burnet, T., *Telluris Theoria Sacra*, Londres, 1680-1689.
- Chapman, C. R., “Asteroids”, en J. K. Beatty, B. O’Leary, e A. Chaikin, *The new Solar System*, Cambridge, Mass., Cambridge Univ. Press e Sky Publ. Co., 1982, 97-104.
- Dietz, R., “Continent and ocean basin evolution by spreading of the sea

- floor", *Nature*, Londres, 190, 1961, 854-7.
- Du Toit, A. L., *A geological comparison of South America with South Africa*. Carnegie Inst. Wash. Publ. 381, 1927, 1-157.
- Fenton, C. L., e M. A. Fenton, *Giants of Geology*, Garden City, N. Y.: Doubleday, 1952.
- Gould, S. J., "Making These Bones Live", *New York Times*, 9 de dezembro, 1979.
- Hallam, A., *De la Deriva de los Continentes a la Tectónica de Placas*, Barcelona, Ed. Labor, 1976.
- "The causes of Mass Extinctions", *Nature*, 308, 1984.
- Great Geological Controversies*, Oxford University Press, 2ª edición, 1989.
- Heezen, B., "The sea floor", en S. K. Runcorn (ed), *Continental drift*, Nova York, Academic Press, 1962.
- Hess, H., *History of ocean basins*, en: A. E. J. Engel et al. (ed.), *Petrologic studies*, Boulder, Colorado, Geological Society of America, 1962.
- Holmes, A., *Radioactivity and earth movements*, Glasgow, Trans. Geol. Soc. 18, 1929, 559-606.
- Hsü, K. J., *La Gran Extinción: catástrofe cósmica, dinosaurios y la teoría de la evolución*, Barcelona, Antoni Bosch, editor, 1986.
- Hutton, J., *Theory of the Earth with proofs and illustrations*, 2 vols., Edimburgo, 1975.
- Irving, S., *Paleomagnetism and its application to geological and geophysical problems*, Nova York, J. Willey, 1964.
- Le Pichon, X., "Sea floor spreading and continental drift", *J. Geophys. Res.* 73, 1968, 3661-97.
- Monroe, J. S., e R. Wicander, *Physical Geology*, West Publ. Co., 1992.
- Morgan, W., "Rises, trenches, great faults and crustal blocks", *J. Geophys. Res.* 73, 1968, 1959-82.
- Muller, R. A., "An adventure in Science", *New York Times*, 24 de marzo, 1985.
- Runcorn, S. K., "Paleomagnetic evidence for continental drift and its geophysical cause", en S. K. Runcorn (ed.), *Continental drift*, Nova York, Academic Press, 1962.
- Schopf, J. W., "La evolución de las células primitivas", en: *Evolución*, Serie Investigación y Ciencia, Barcelona, Ed. Labor S. A., 1979, 51-67.
- Soffen, G. A., "Life on Mars?", en: Beatty, J. K., B. O'Leary, e A. Chaikin. *The new Solar System*, Cambridge, Cambridge Univ. Press e Sky Publ. Co., Mass., 1982, 93-96.
- Suess, E., *The face of the Earth* (5 vols.), Oxford, Clarendon Press, 1904-9.

- Taylor, F. B., *Bearing of the tertiary mountain belt on the origin of the Earth's plan*, Bull. Geol. Soc. Amer., 21, 1910, 179-226.
- Torbett, M. V., e R. Smoluchowski, "Orbital Stability of the unseen Solar Companion Linked to Periodic Extinction Events", *Nature*, 311, 1984.
- Torbett, M. V., "Solar system and galactic influences on the stability of the Earth", *Global and Planetary Change*, 75, 1-2, 333, 1989.
- Vilas, F., "Las cuatro revoluciones científicas al Génesis", Lección Maxistral de Apertura de curso, Universidade de Vigo, 1996.
- Vine, F., "Spreading of the sea floor: new evidence", *Science* 154, 1966, 1045-15.
- Vine, F., e D. H. Matthews, "Magnetic anomalies over oceanic ridges", *Nature*, 199, 1963, 479.
- Wegener, A., *Die Entstehung der Kontinent*, Petermanns Mitteilungen, 1925, 185-95, 253-6, 305-9.
- *The origin of continents and oceans*. Translated from the 4th revised German edition of 1929 by J. Biram, with an introduction by B.C. King, Londres, Methuen, 1966.
- Wilson, T., "A new class of faults and their bearing on continental drift", *Nature*, 207, 1965, 343-7.

