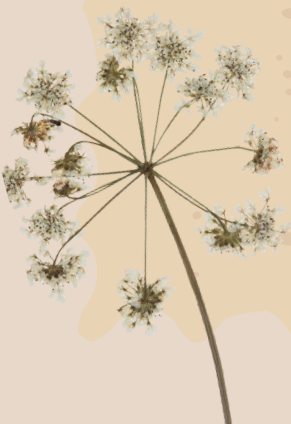


Historia da Terra e da vida

1. O pasado xeolóxico
 - 1.1. O actualismo ou uniformismo
 - 1.2. A xeoloxía moderna
2. O rexistro estratigráfico
 - 2.1. Características dos estratos
 - 2.2. A interpretación do rexistro
3. O tempo xeolóxico: os métodos de datación
 - 3.1. Os métodos de datación relativa
 - 3.2. Os métodos de datación absoluta
4. A división do tempo xeolóxico
 - 4.1. As unidades da escala xeolóxica
 - 4.2. A escala xeolóxica
5. Os fósiles guía
6. Grandes cambios na historia da Terra
 - 6.1. Deriva continental e evolución
 - 6.2. Grandes extincións
 - 6.3. As glaciacións
7. Historia da Terra e da vida
 - 7.1. Os tempos precámbricos
 - 7.2. O Paleozoico
 - 7.3. O Mesozoico
 - 7.4. O Cenozoico



1. O pasado xeolóxico

Debido á gran diferenza entre a escala temporal humana e a xeolóxica, durante moito tempo a Terra foi considerada estática e inalterable.

Esta concepción cambiou no século XVIII, cando unha acabada de nacer xeoloxía puxo a súa mirada nas grandes formacións de rochas pregadas das montañas, cheas de fósiles de seres mariños xa extinguidos. Entón comezouse a considerar que a Terra podía ter cambiado ao longo do tempo e o que no pasado remoto foron fondos oceánicos, formaban as actuais cordilleiras. Para intentar explicar as causas deses innegables cambios na Terra, nesta época apareceron as primeiras teorías xeolóxicas, aínda condicionadas polo creacionismo derivado da relixión, que consideraba que a Terra e todo o que sucedía nela se debía á intervención divina.

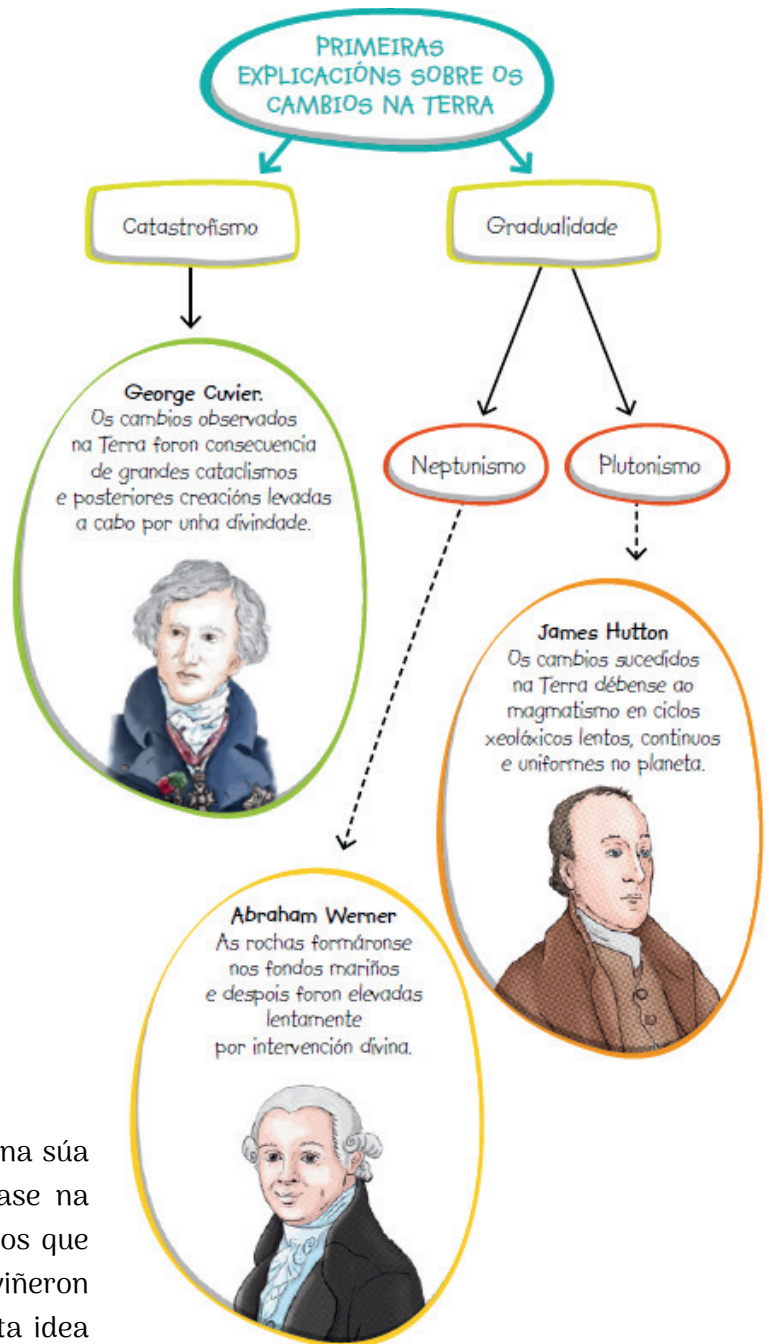
1.1. O actualismo ou uniformismo

Proposto en 1830 polo británico Charles Lyell, na súa obra Principios de xeoloxía, esta teoría baséase na idea fundamental de que os procesos xeolóxicos que teñen lugar actualmente son os mesmos que viñeron actuando na Terra desde a súa formación. Esta idea resúmese así: «O presente é a clave do pasado».

O actualismo defende a uniformidade dos procesos xeolóxicos ao longo do tempo. Os sucesos xeolóxicos pasados pódense interpretar aplicando os procesos que se observan na actualidade.

Así, segundo os actualistas, os relevos terrestres formaríanse dun xeito lento e gradual durante longos períodos, e mediante os mesmos principios físicos e químicos que rexen os procesos xeolóxicos que observamos actualmente.

Ademais, o actualismo de Lyell defendía a existencia dun equilibrio dinámico no noso planeta, entre procesos xeolóxicos de creación e destrución do relevo, o que tamén sentou as bases da xeoloxía moderna.



1.2. A xeoloxía moderna

A xeoloxía actual, baseada nos principios da tectónica global, é uniformista e conserva as teses de Lyell, é dicir, considera que os procesos xeolóxicos que actuaron no pasado eran os mesmos ca os actuais, aínda que cunha intensidade variable no tempo e no espazo. Así, reconece que en momentos puntuais puideron ocorrer eventos catastróficos, mesmo a escala global, como enormes erupcións volcánicas ou impactos de meteoritos, que causaron extincións masivas de seres vivos ou imponentes formacións xeolóxicas, en períodos relativamente curtos.

Na actualidade, tense claro que todos estes eventos do pasado quedaron rexistrados nas rochas e que os procesos actuais seguen deixando esas pegadas. Así, para reconstruír o pasado dos territorios pártese da análise das pegadas que os procesos xeolóxicos e a actividade biolóxica deixaron nas capas de rochas formadas nas concas sedimentarias ao longo do tempo.

2. O rexistro estratigráfico

Chamámoslle rexistro estratigráfico á información contida nos estratos de rochas sedimentarias acerca dos procesos xeolóxicos, do medio ambiente e da actividade biolóxica na historia dunha conca sedimentaria.

2.1. Características dos estratos

Os estratos son capas de rochas que están delimitadas por superficies, xeneralmente planas, chamadas superficies ou planos de estratificación. Cada un deles fórmase polo depósito de certos materiais durante un determinado período de tempo. Un estrato é unha unidade de sedimentación depositada baixo unhas condicións físicas constantes, e cando estas cambian, orixínase outro estrato de diferente composición a continuación do anterior.

Características

- Planos de estratificación. Son as superficies paralelas e planas que separan un estrato doutro. A inferior chámase base ou muro, e a superior, teito.
- Potencia. É o grosor do estrato. É a distancia que hai entre o teito e muro dun estrato.
- Dirección. É o ángulo que forma o estrato con respecto á dirección norte-sur.
- Buzamento. É o ángulo que forma o estrato con respecto ao plano horizontal.
- Facies. É o conxunto de características do estrato que indican as condicións ambientais nas que se depositou. Nestas inclúense:
 - Os compoñentes minerais. Poden ser fragmentos doutras rochas, ordenados ou non por tamaños (granselección), redondeados ou angulosos, etc. Tamén poden ser minerais formados por precipitación química.
 - Os fósiles. Son restos ou pegadas de organismos que viviron no ambiente da conca sedimentaria mentres se depositaron os sedimentos do estrato. Estes restos sofren diaxénese e petrifícanse xunto cos sedimentos, de maneira que quedan incluídos na rocha sedimentaria conservando a súa forma. Os fósiles son indicadores do tempo en xeoloxía e serven para determinar as condicións paleoecolóxicas da rexión onde se produciu a sedimentación (osíxenación, temperatura, etc., da conca sedimentaria)

- Estruturas sedimentarias. Son estruturas que se orixinan á vez ou despois da formación das rochas e que nos permiten orientar un estrato ou unha serie estratigráfica pois utilízanse como criterio de polaridade. Algunhas das estruturas sedimentarias máis características son:
 - Pegadas ou marcas. Son impresións de pisadas de seres vivos (icnitas), de gretas de retracción das arxilas, de pingas de auga ou de marcas de correntes que quedaron impresas e posteriormente fosilizadas no teito dun estrato.
 - Granoselección. Consiste na diminución progresiva do tamaño dos grans de materiais desde o muro ó teito do estrato.
 - Estratificación cruzada. É aquela na que os planos de estratificación se cruzan uns con outros segundo diversos ángulos, debido ó transporte e ó depósito polo vento ou as correntes de auga.

2.2. A interpretación do rexistro

A estratigrafía é a parte da xeoloxía que se encarga do estudo dos estratos das formacións sedimentarias para interpretar a información que conteñen e reconstruír o pasado da Terra. A disposición e características dos estratos permiten deducir as características que reinaban na superficie da Terra no momento no que se depositaron. Ademais, permiten deducir a orde de sucesión e a idade dos acontecementos xeolóxicos e das rochas que o rexistran; é dicir, explicar a historia xeolóxica dunha rexión.

SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS

Unha secuencia estratigráfica é un grupo de estratos separados polos seus planos de estratificación e que teñen unha continuidade temporal.

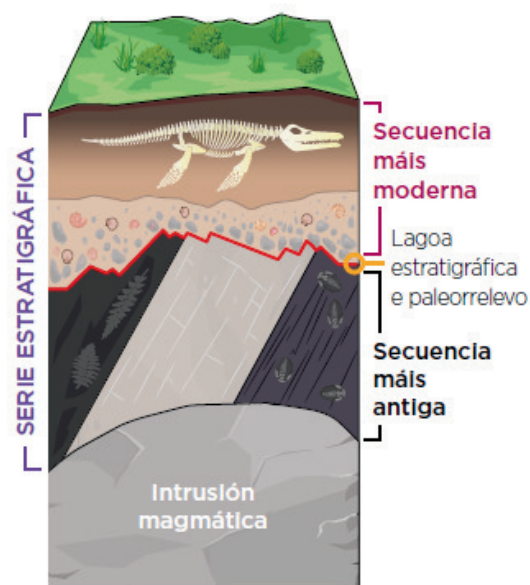
Os estratos dunha secuencia depositáronse nunha mesma conca sedimentaria ao longo dun período e as súas separacións débense, sobre todo, a cambios do tipo de sedimentos.

SERIES ESTRATIGRÁFICAS

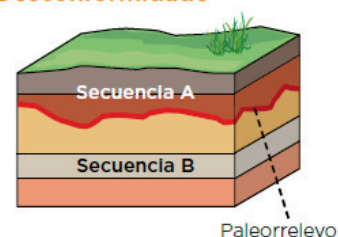
Unha serie estratigráfica está formada por varias secuencias estratigráficas non necesariamente formadas na mesma conca sedimentaria, ordenadas cronoloxicamente e separadas por discontinuidades estratigráficas.

As discontinuidades reflicten interrupcións no proceso de sedimentación na conca, durante as cales poden actuar forzas tectónicas que deformen ou fracturen os estratos ou procesos do modelado do relevo que os erosionen. Dependendo de cales destes sucesos sucedan, orixínanse diferentes tipos de discontinuidade:

- Desconformidades. Aparecen como superficies irregulares entre dúas secuencias estratigráficas con estratos paralelos ao non sufrir deformacións tectónicas. Orixínanse cando unha formación sedimentaria non deformada é erosionada polos procesos exógenos, que orixinan un paleorrelevo, sobre o que se continúa a sedimentación.

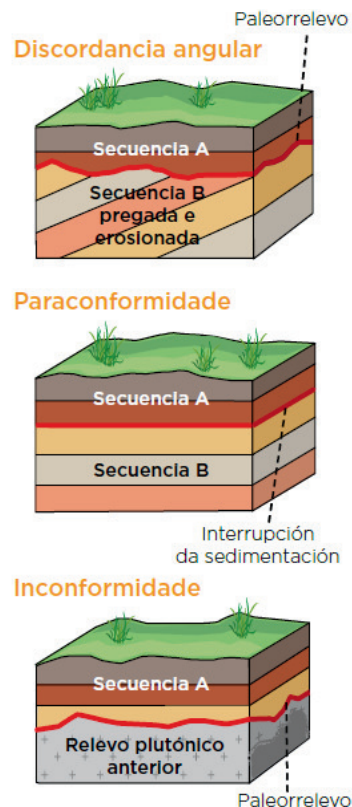


Desconformidade



- Discordancias angulares. Aparecen como o contacto entre dúas secuencias estratigráficas que non gardan paralelismo entre elas. Prodúcese cando unha formación sedimentaria é pregada e despois, sobre ela, fórmase unha nova conca e deposítase a seguinte secuencia.
- Paraconformidades. Só se recoñecen porque, ao datar os estratos das dúas secuencias, detéctanse unha gran separación temporal entre eles ou porque se aprecia un cambio drástico no ambiente sedimentario. Prodúcese por unha interrupción duradeira do proceso sedimentario na conca (por exemplo, por unha regresión mariña) sen que esta experimente procesos erosivos ou deformacións, seguida dunha reactivación posterior da sedimentación por inundación da conca.
- Inconformidades. Aparecen cando unha secuencia estratigráfica se dispón sobre unha base erosionada de rochas ígneas non estratificadas. Son consecuencia da aparición dunha conca sedimentaria sobre un paleorrelevo plutónico anterior.

Figura 1. Representación dos principais tipos de discontinuidades estratigráficas



3. O tempo xeolóxico: os métodos de datación

Para reconstruír a historia da Terra, os xeólogos deben determinar os acontecementos xeolóxicos e biolóxicos que tiveron lugar no pasado, e datalos, é dicir, situalos nun momento da historia da Terra. Cando falamos de tempo xeolóxico necesitamos unha escala temporal que poida abranguer os acontecementos que sucederon durante a longuíssima historia da Terra. A unidade de tempo xeolóxico máis pequena que se utiliza en xeoloxía para medir acontecementos é o cron, que equivale a un millón de anos (m. a.).

3.1. Os métodos de datación relativa

Os métodos de datación relativa baséanse en 6 principios fundamentais:

- Principio de superposición dos estratos. Establece que nunha secuencia non deformada de rochas sedimentarias, cada estrato é máis antigo que o que ten enriba e máis moderno que o que ten debaixo.
- Principio de horizontalidade orixinal. Significa que as capas de sedimento se depositan en xeral nunha posición horizontal. Polo tanto, unha serie de estrato sedimentarios en disposición non horizontal debe terse inclinado despois da súa formación; isto ten lugar mediante a acción das diferentes forzas que operan no dinamismo interno da Terra.

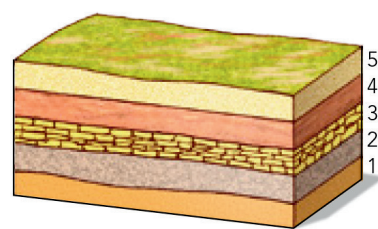


Figura 2. Principio de horizontalidade orixinal e de superposición de estratos.

- Principio de continuidade lateral. Establece que as capas sedimentarias se estenden lateralmente en todas as direccións e teñen a mesma idade ó longo de toda a súa extensión lateral.
- Principio de intersección. Di que todo proceso ou estrutura xeolóxica é máis moderno que as rochas que ou estruturas ás que afecta e máis antigo que as rochas ou estruturas ás que non afecta.
- Principio de inclusión. Sostén que as inclusións ou fragmentos de rochas que quedaron encerradas dentro dunha capa de rochas, son máis antigos que a devandita capa.
- Principio de sucesión faunística e floral. Di que os organismos fósiles sucedéronse uns a outros nunha orde regular e determinada e, polo tanto, calquera período pode recoñecerse polo seu contido fósil.

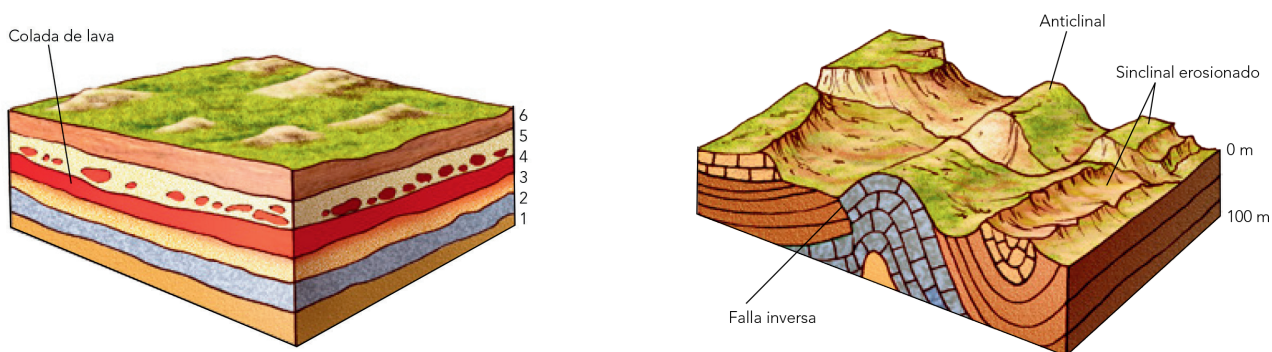
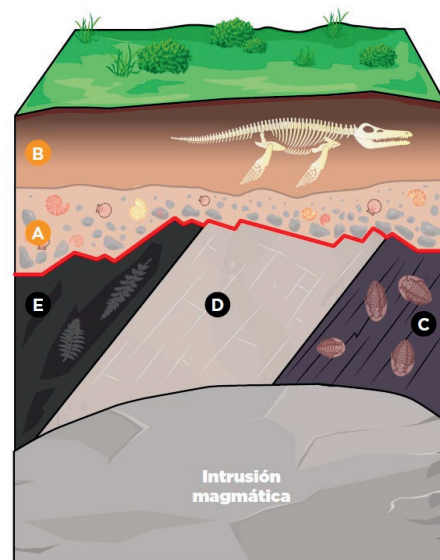


Figura 3. (esquerda) Principio de inclusión. Os fragmentos de rocha volcánica procedentes da coada de lava, son máis antigos que as rochas do estrato 5. **(dereita) Principio de intersección.** A falla é máis moderna que o anticlinal afectado por ela.

Figura 4. Datación relativa dunha serie. Aplicamos os principios básicos da estratigrafía á serie da dereita e a súa cronoloxía relativa sería a seguinte:

1. Depósito da secuencia C D E, nesa orde. Polos fósiles guía, dedúcese que o estrato que contén Trilobites é máis antigo ca o formado por carbón con fentos.
2. Forzas tectónicas pregan a secuencia C D E e, despois, prodúcese a intrusión magmática, xa que a secuencia se ve afectada polo plutón unha vez pregada.
3. Erosión da secuencia C D E. Paleorrelevo.
4. Depósito da secuencia A B nesa orde. O estrato máis profundo é máis antigo.



3.2. Os métodos de datación absoluta

A datación absoluta permite situar un acontecemento nun momento máis ou menos exacto da historia da Terra, en relación cunha escala temporal establecida a partir do momento actual.

ESTUDO DOS RITMOS BIOLÓXICOS

Este método de datación analiza os ciclos biolóxicos de crecemento que presentan algúns organismos, para establecer as épocas durante as que eses seres creceron. Por exemplo:

- Os aneis de crecemento das árbores. O crecemento das árbores reflíctese na aparición de aneis ou capas concéntricas de xilema na madeira. Cada un destes aneis, formado por unha banda clara e outra escura, corresponde a un ano de crecemento da planta, e o seu grosor é maior en anos máis cálidos e húmidos. Contando estes aneis de crecemento pódese determinar a idade da árbore cun ano de precisión. Tamén se poden relacionar bandas moi estreitas en diferentes árbores para situar no tempo secas ou anos moi fríos.
- O crecemento dos corais. Os esqueletos calcáreos dos corais tamén forman aneis de crecemento, de maior grosor en tempadas de augas claras e cálidas e pódense analizar de forma similar aos aneis das árbores.

O ESTUDO DAS VARVAS GLACIARES

As varvas glaciares son pares de estratos sedimentarios que se forman anualmente como resultado da sedimentación nos lagos de fronte glaciar. Constan dun estrato groso de cor clara, formada por areas e limos, que se deposita no verán, e un estrato delgado e escuro de natureza arxilosa, que se deposita no inverno. Cada parella de estratos corresponde a un ano, o que permite determinar a idade deste tipo de sedimentos.

A DATACIÓN RADIOMÉTRICA

É o método de datación absoluta máis utilizado. Baséase na existencia de isótopos radioactivos inestables dalgúns elementos químicos nos minerais que compoñen as rochas. Estes radioisótopos desintégrense espontaneamente, emitindo radiación e transformándose en elementos descendentes estables e máis lixeiros. Por exemplo, o uranio 238 transfórmase en chumbo 206. Cada isótopo ten un período de semidesintegración típico, que é o tempo necesario para que a metade dos átomos radioactivos dunha mostra se desintegren. Medindo a cantidade de radioisótopo presente nunha rocha e a cantidade do elemento estable no que se transformou por desintegración, pódese calcular con moita exactitude o tempo transcorrido desde que se formou a rocha.

- Átomos do elemento pai
- Átomos do elemento fillo

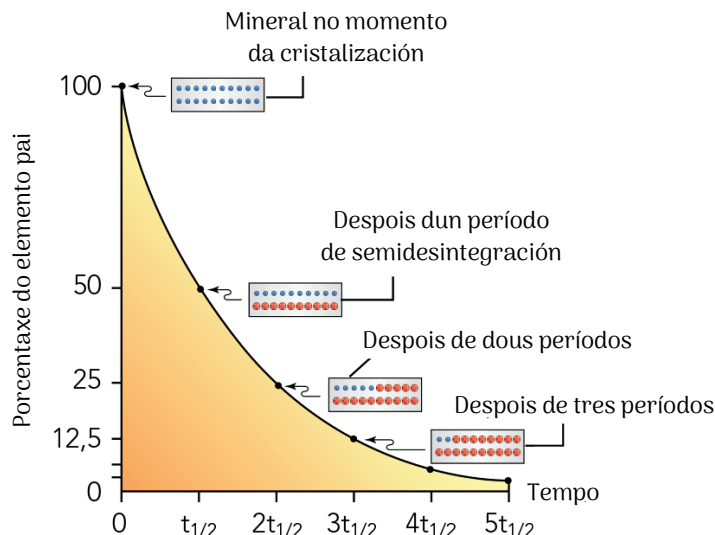


Figura 5. Curva de desintegración radiactiva. A curva descrita pola desintegración dos elementos radioactivos marca unha progresión xeométrica. Con cada período de semidesintegración, a cantidade do elemento 'pai' redúcese á metade, despois do segundo período redúcese á cuarta parte, e así sucesivamente. Como o tempo de semidesintegración é constante para un elemento dado, pode deducirse a idade da rocha medindo a cantidade de elemento pai, ou a do elemento fillo.

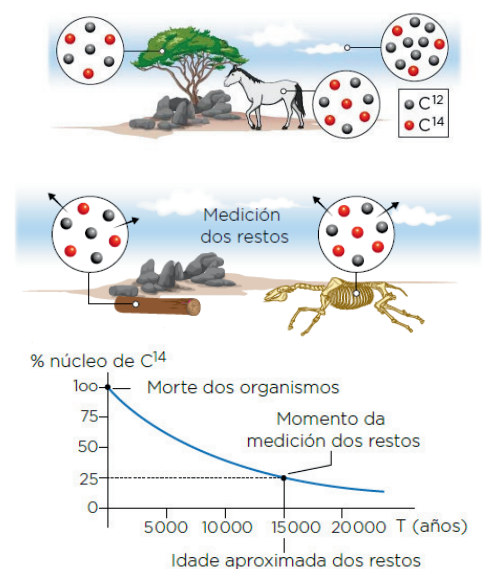
Para que un elemento radioactivo sexa útil para realizar datacións xeolóxicas, debe:

- Ser un elemento común nas rochas.
- Ter unha vida media (tempo medio que o isótopo tarda en sufrir desintegración) adecuada ao intervalo temporal que se pretende medir. Este método permite datar eventos sucedidos hai unhas 10 veces a vida media do isótopo.
- Que o elemento descendente estable sexa diferente aos elementos presentes na rocha no momento da súa formación.

Para realizar a datación radiométrica poden empregarse diversos tipos de elementos radioactivos. Deles, cinco resultaron particularmente útiles na datación de rochas antigas. Na seguinte táboa descríbense as súas características máis importantes.

Átomo pai	Átomo fillo	Período de semidesintegración	Minerais e rochas que poden datarse
Uranio-238	Chumbo-206	4 500 Ma	Zircón, petchblenda, uraninita
Uranio-235	Chumbo-207	704 Ma	Rochas sedimentarias
Torio-232	Chumbo-208	14 000 Ma	Zircón, petchblenda, uraninita
Rubidio-87	Estroncio-87	48 000 Ma	Rochas magmáticas e metamórficas
Potasio-40	Argón-40	1 300 Ma	Glaucionita, moscovita, biotita
Carbono-14	Nitróxeno-14	5 730 anos	Restos orgánicos

Figura 6. O método de datación por carbono 14 Na natureza, o carbono dispoñible está formado por unha mestura característica de isótopos C12 e C14. Desde que un organismo nace, incorpora carbono, que garda esa proporción isotópica. Cando o organismo morre, deixa de incorporar carbono. Co tempo, o C14, que é radioactivo, vaise desintegrando a ritmo constante. Medindo a cantidade de C14 que queda nos restos dun organismo morto pódese saber, con bastante precisión, canto fai que se produciu a súa morte. Debido á curta vida media do C14, este método só permite datar restos biolóxicos que non teñan máis duns 60000 anos.



4. A división do tempo xeolóxico

A historia do tempo xeolóxico está dividida en unidades de diferente magnitude, que no seu conxunto comprenden a escala do tempo xeolóxico. A unidade de tempo xeolóxico é o cron, que se corresponde cun millón de anos.

Para a elaboración da escala do tempo xeolóxico utilízanse diferentes tipos de criterios: criterios xeolóxicos baseados na análise dos minerais das rochas, criterios biolóxicos baseados no estudo dos fósiles e criterios estratigráficos baseados no estudo das rochas sedimentarias, por exemplo, a busca de discordancias.

4.1. As unidades da escala xeolóxica

As unidades que dividen o tempo xeolóxico son de dous tipos: unidades definidas polo seu contido e unidades relacionadas co tempo.

UNIDADES DEFINIDAS POLO SEU CONTIDO

- Unidades litoestratigráficas. Están baseadas na litoloxía da rexión e defínense polas características das rochas. A unidade básica é a formación, que é un volume de rocha recoñecible e diferenciábel doutros próximos polas súas características. Supergrupo e grupo son unidades litoestratigráficas superiores á formación, e membro e capa son unidades inferiores.
- Unidades bioestratigráficas. Son unidades estratigráficas caracterizadas polo seu contido fósil. A unidade bioestratigráfica principal é a biozona, que se corresponde co supergrupo.

UNIDADES RELACIONADAS CO TEMPO XEOLÓXICO

- Unidades cronoestratigráficas ou unidades estratigráficas de tempo. Son unidades de rocha depositadas durante un período de tempo específico. O eonotema é a unidade cronoestratigráfica de maior rango. De rango inferior están o eratema, o sistema, a serie e o piso. O piso é a unidade fundamental en cronoestratigrafía e constitúe a base para as correlacións a nivel mundial. Consiste nun conxunto de rochas estratificadas que se formaron durante un intervalo de tempo determinado.
- Unidades de tempo. Designan intervalos específicos de tempo. De maior a menor rango son: eón, era, período, época e idade. Estas unidades teñen a súa correspondencia coas unidades cronoestratigráficas.

Unidades cronoestratigráficas	Unidades de tempo
Eonotema	Eón
Eratema	Era
Sistema	Período
Serie	Época
Piso	Idade

4.2. A escala do tempo xeolóxico

Para construír a escala do tempo xeolóxico foi necesario encaixar a secuencia construída pola información correspondente a numerosas rochas e fósiles, e posteriormente asignar idades absolutas en anos.

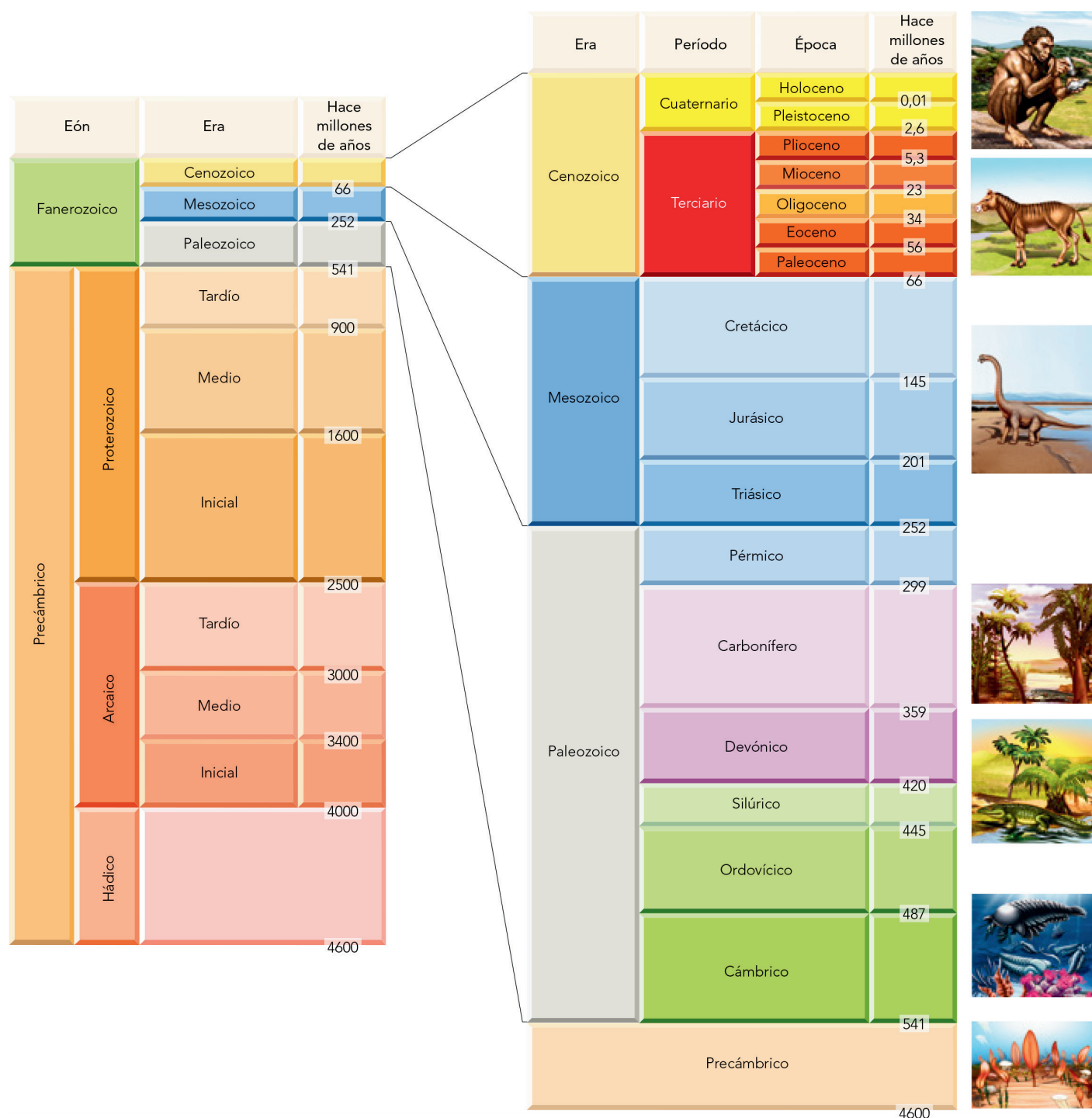


Figura 7. Escala do tempo xeolóxico

5. Os fósiles guía

Os fósiles son moi útiles para a datación porque son restos ou pegadas de organismos que viviron durante un certo período de tempo no pasado xeolóxico. Entre todos eles, os fósiles guía ou fósiles característicos, tamén denominados fósiles índice, son os que teñen maior utilidade.

Para que un fósil sexa considerado fósil guía, debe cumprir tres características:

- Unha ampla distribución xeográfica, de xeito que se poida atopar en áreas moi distantes unhas doutras.
- Unha existencia durante un intervalo de tempo xeolóxico bastante curto.
- Ser relativamente abundantes, é dicir, que non se trate de especies raras ou difíciles de atopar, porque a súa utilidade para correlacionar áreas ou rexións diferentes sería moi limitada.

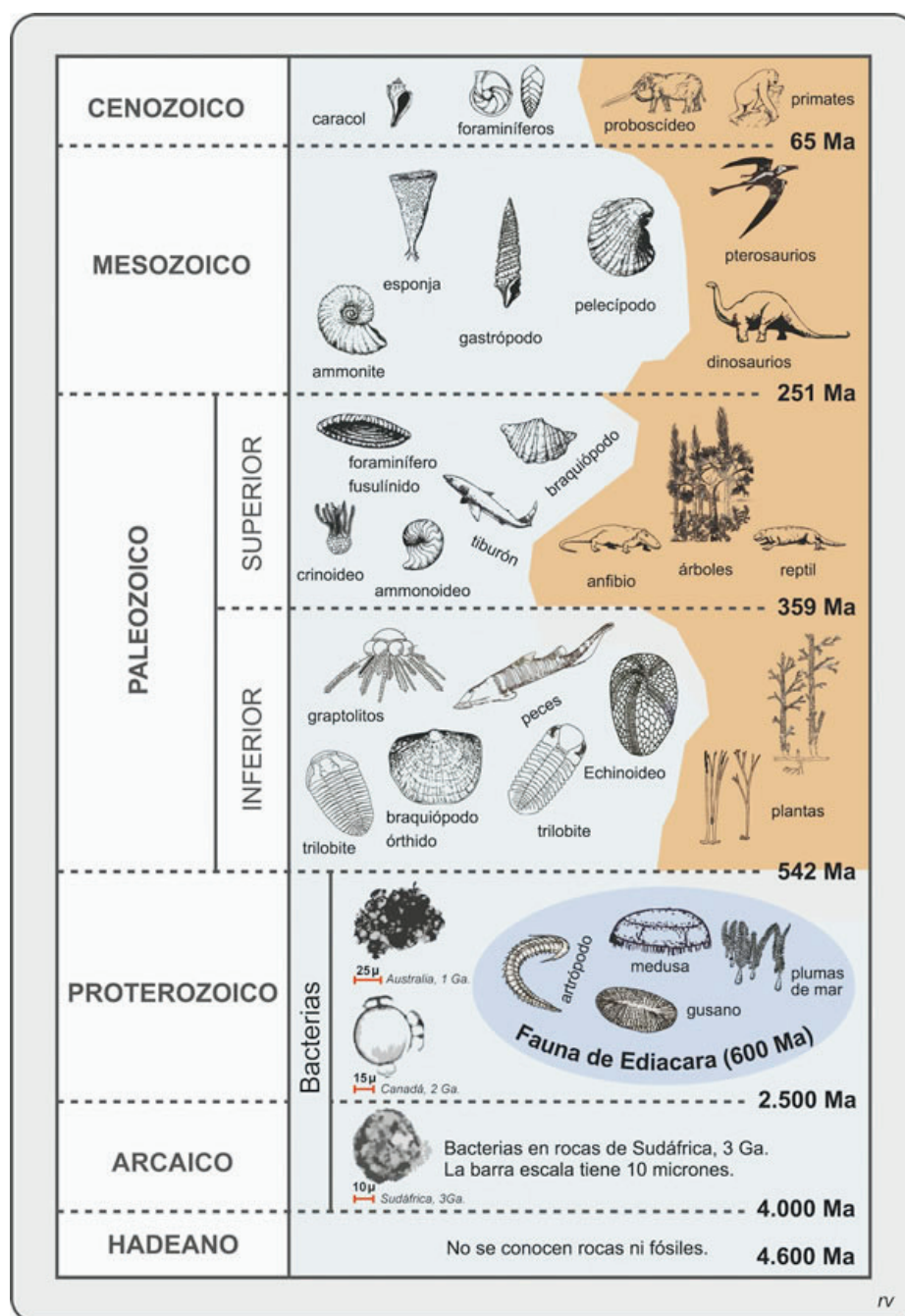


Figura 8. Exemplos de fósiles-guía das diferentes eras da historia da Terra

6. Grandes cambios na Terra

Ao longo da historia da Terra producíronse grandes cambios na litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera, que se manifestaron á súa vez como cambios na evolución e diversidade dos seres vivos ou no clima. Neste apartado veremos algúns deses grandes cambios que merecen especial atención.

6.1. Deriva continental e evolución

A tectónica de placas é a responsable da deriva dos continentes, que afecta á distribución das terras emerxidas e dos océanos. Esta distribución ten unha gran influencia na circulación das correntes oceánicas e na regulación da temperatura e, polo tanto, no clima, que á súa vez inflúe na biodiversidade.

A deriva continental é responsable da evolución de moitos grupos de seres vivos. A separación física que poden sufrir os organismos dunha mesma especie debido á deriva de dúas masas continentais provoca que estes evolucionen por separado, orixinando dúas especies diferentes (especiación alopátrica). A fauna e flora das illas Galápagos é un exemplo de especiación alopátrica debido ao seu illamento xeográfico. Outro exemplo moi claro da influencia da deriva continental na evolución dos seres vivos son os marsupiais de Australia, onde son máis abundantes que en ningún outro lugar. É probable que os marsupiais comezasen a evolucionar en América e chegasen a Australia cando os continentes estaban unidos. Unha vez que os continentes se separaron, os marsupiais diversificáronse porque os mamíferos placentarios australianos supuñan pouca competencia.

Pola contra, cando dúas masas terrestres se unen ou dous mares se comunican, especies antes separadas poden verse obrigadas a competir por un mesmo recurso. Un exemplo disto é o intercambio faunístico que tivo lugar entre América do Norte e América do Sur hai 3 millóns de anos, no Plioceno. O intercambio realizouse a través dunha ponte intercontinental que se formou, o istmo de Panamá, que uniu dúas masas continentais illadas. Desde o norte pasaron cara ao sur, entre outros, cabalos, pumas, tigres de dentes de sabre e osos; e desde o sur migraron cara ao norte preguiceiros e aves. Os mecanismos da evolución fixeron desaparecer algunhas especies e aparecer outras novas.

6.2. Eventos de extinción

Como se desprende da análise do rexistro fósil, a maioría dos organismos que existiron no pasado extinguíronse.

Existen dous tipos de extincións:

- Extincións de linaxe: Producen unha desaparición verdadeira. Ocorren cando unha especie desaparece sen deixar descendencia na súa liña evolutiva.
- Pseudoextincións: Ocorren cando unha especie desaparece pero dá paso a novas especies dentro da súa propia liña evolutiva.

A extinción continua de especies coñécese como extinción de fondo. Esta refírese a extincións locais, de baixa intensidade e continuadas, diferenciándose das extincións masivas, que aluden a fenómenos globais nos que, nun curto período de tempo a escala xeolóxica, se reduce bruscamente a biodiversidade na Terra. Estas extincións masivas afectan a numerosos táxons que non están relacionados entre si, nin sistematicamente nin ecoloxicamente.

Hoxe en día úsase o termo «evento de extinción» para describir estes procesos. Os eventos de extinción clasifícanse en tres modelos principais:

- Extinción catastrófica: Caracterízase pola desaparición súbita dos táxons que se extinguen nun momento determinado.
- Extinción escalonada: Os táxons desaparecen en momentos diferentes ao longo do tempo.
- Extinción gradual: As especies desaparecen e aparecen de forma gradual nun intervalo de tempo prolongado.

As causas que poden provocar a extinción masiva de especies son de diversos tipos. En realidade, nunha extinción conflúen varias causas, aínda que unha delas pode ser o detonante, como o impacto dun asteroide que provoque cambios climáticos e outros fenómenos causantes de extinción. A este fenómeno coñécese como efecto dominó.

Algunhas das causas que os científicos propoñen para tratar de explicar as extincións son:

- Impacto de corpos extraterrestres: Pode alterar as condicións dos ambientes terrestres.
- Cambios no nivel do mar: Redución do hábitat mariño habitable para os organismos.
- Cambios climáticos: Poden orixinar períodos fríos como as glaciacións.
- Períodos de anoxia nos océanos: Momentos nos que a cantidade de osíxeno en océanos e mares é moi baixa.
- Decremento da diversidade biolóxica: Pode deberse á converxencia de placas e á unión de masas continentais, provocando unha maior uniformidade na fauna e flora e unha perda de biodiversidade.
- Actividade volcánica intensa: Provoca cambios atmosféricos e climáticos. As cinzas emitidas durante as erupcións volcánicas aumentan a reflexión da radiación solar na atmosfera, reducindo a temperatura terrestre.
- Investimentos do campo magnético: Os seus efectos aínda non son completamente coñecidos.

A análise do rexistro xeolóxico e os datos achegados polos fósiles, cada vez máis precisos, indican que na Terra se produciron máis de 60 eventos de extinción, que poden clasificarse segundo a súa intensidade ou severidade en cinco categorías, desde A (a máis intensa) ata E (a máis suave). As sete extincións de categoría A tiveron lugar a finais do Precámbrico (1.^a), do Cámbrico (2.^a), do Ordovícico (3.^a), do Devónico (4.^a), do Pérmico (5.^a), do Triásico (6.^a) e do Cretácico (7.^a).

Entre todos os eventos de extinción, ademais das extincións de finais do Precámbrico e do Cámbrico, destacan as cinco grandes extincións masivas, nas que desapareceron ata o 50 % ou máis das especies:

- Extinción do límite Ordovícico/Silúrico: Desapareceron case a metade dos xéneros de animais. Está relacionada con modificacións nas correntes oceánicas e cunha glaciación.
- Extinción do Devónico superior: Extinguíronse os peixes acorazados e gran parte da fauna dos arrecifes. Durou uns 20 millóns de anos.
- Extinción Pérmico/Triásico: Coñecida como a gran extinción, eliminou máis do 50 % das familias e o 95 % das especies.
- Extinción da transición Triásico/Xurásico: Pudo deberse a un gran cambio climático. Desapareceu gran parte dos vertebrados terrestres e peixes.
- Extinción do Cretácico/Terciario (K/T): A máis coñecida, pola desaparición dos dinosauros.

7. Grandes cambios na Terra

Ao longo da historia da Terra producíronse grandes cambios na litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera, que se manifestaron á súa vez como cambios na evolución e diversidade dos seres vivos ou no clima. Neste apartado veremos algúns deses grandes cambios que merecen especial atención.

6.1. Deriva continental e evolución

A tectónica de placas é a responsable da deriva dos continentes, que afecta á distribución das terras emerxidas e dos océanos. Esta distribución ten unha gran influencia na circulación das correntes oceánicas e na regulación da temperatura e, polo tanto, no clima, que á súa vez inflúe na biodiversidade.

A deriva continental é responsable da evolución de moitos grupos de seres vivos. A separación física que poden sufrir os organismos dunha mesma especie debido á deriva de dúas masas continentais provoca que estes evolucionen por separado, orixinando dúas especies diferentes (especiación alopátrica). A fauna e flora das illas Galápagos é un exemplo de especiación alopátrica debido ao seu illamento xeográfico. Outro exemplo moi claro da influencia da deriva continental na evolución dos seres vivos son os marsupiais de Australia, onde son máis abundantes que en ningún outro lugar. É probable que os marsupiais comezasen a evolucionar en América e chegasen a Australia cando os continentes estaban unidos. Unha vez que os continentes se separaron, os marsupiais diversificáronse porque os mamíferos placentarios australianos supuñan pouca competencia.

Pola contra, cando dúas masas terrestres se unen ou dous mares se comunican, especies antes separadas poden verse obrigadas a competir por un mesmo recurso. Un exemplo disto é o intercambio faunístico que tivo lugar entre América do Norte e América do Sur hai 3 millóns de anos, no Plioceno. O intercambio realizouse a través dunha ponte intercontinental que se formou, o istmo de Panamá, que uniu dúas masas continentais illadas. Desde o norte pasaron cara ao sur, entre outros, cabalos, pumas, tigres de dentes de sabre e osos; e desde o sur migraron cara ao norte preguiceiros e aves. Os mecanismos da evolución fixeron desaparecer algunhas especies e aparecer outras novas.

6.2. Eventos de extinción

Como se desprende da análise do rexistro fósil, a maioría dos organismos que existiron no pasado extinguíronse.

Existen dous tipos de extincións:

- Extincións de linaxe: Producen unha desaparición verdadeira. Ocorren cando unha especie desaparece sen deixar descendencia na súa liña evolutiva.
- Pseudoextincións: Ocorren cando unha especie desaparece pero dá paso a novas especies dentro da súa propia liña evolutiva.

A extinción continua de especies coñécese como extinción de fondo. Esta refírese a extincións locais, de baixa intensidade e continuadas, diferenciándose das extincións masivas, que aluden a fenómenos globais nos que, nun curto período de tempo a escala xeolóxica, se reduce bruscamente a biodiversidade na Terra. Estas extincións masivas afectan a numerosos táxons que non están relacionados entre si, nin sistematicamente nin ecoloxicamente.

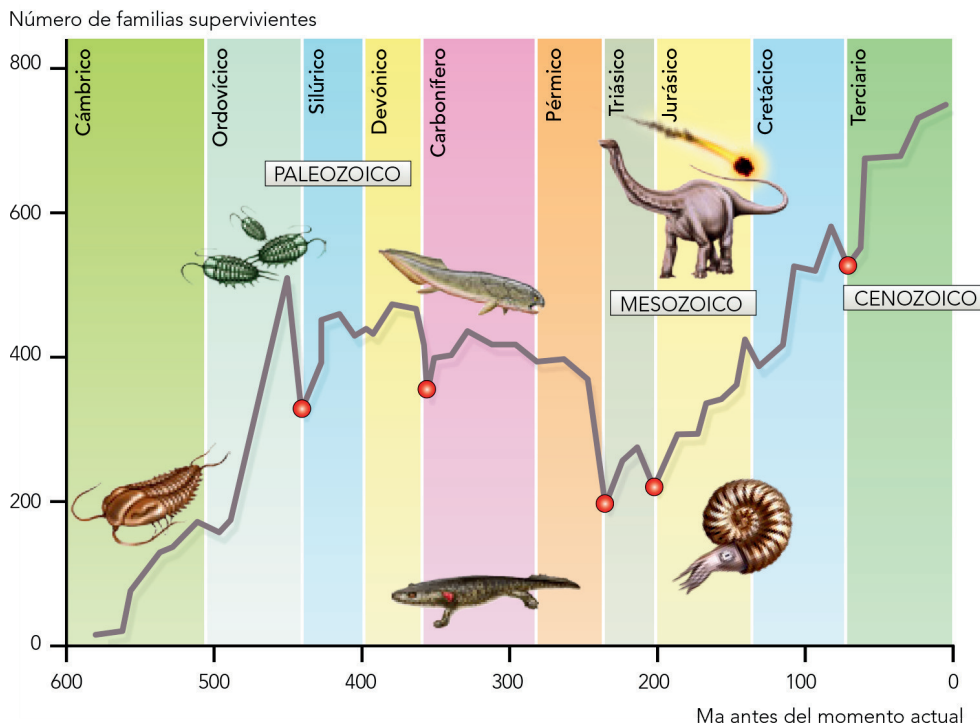


Figura 9. Gráfica coas cinco extincións masivas que representan cinco crises da biosfera, que provocaron máis do 50% de diminución da biodiversidade

6.3. As glaciacións

Unha glaciación é un período de longa duración durante o cal, a baixa temperatura climática global da Terra dá como resultado unha extensión de xeo continental, dos casquetes polares e dos glaciares.

Os modelos sobre a orixe das glaciacións pretenden explicar dous mecanismos de arrefriamento do clima. Un mecanismo é o arrefriamento global, debido a cambios no balance global de radiación entre a enerxía que entra na Terra e a que sae. O outro mecanismo consiste na redistribución da enerxía por toda a Terra, co arrefriamento localizado nas áreas polares.

De todos os xeitos, unha explicación global sobre a orixe dunha glaciación non é tarefa sinxela: probablemente sexa un conxunto de causas o que desencadee unha glaciación. Estas causas pódense agrupar en tres tipos:

- **Causas astronómicas.** A hipótese sobre as causas astronómicas, como xa vimos anteriormente, débese principalmente a Milutin Milankovitch (1879-1958) e coñécese como ciclos de Milankovitch. Segundo esta hipótese, cada certo tempo —aproximadamente uns 100 000 anos— os seguintes factores astronómicos coinciden para producir un período glacial:
 - Excentricidade da órbita da Terra ao redor do Sol (cada 93 000 anos).
 - Oblicuidade ou inclinación do eixo de rotación terrestre respecto ao plano da súa órbita de translación (eclíptica) (cada 41 000 anos).
 - Movemento de precesión do eixo de rotación terrestre (cada 26 000 anos).

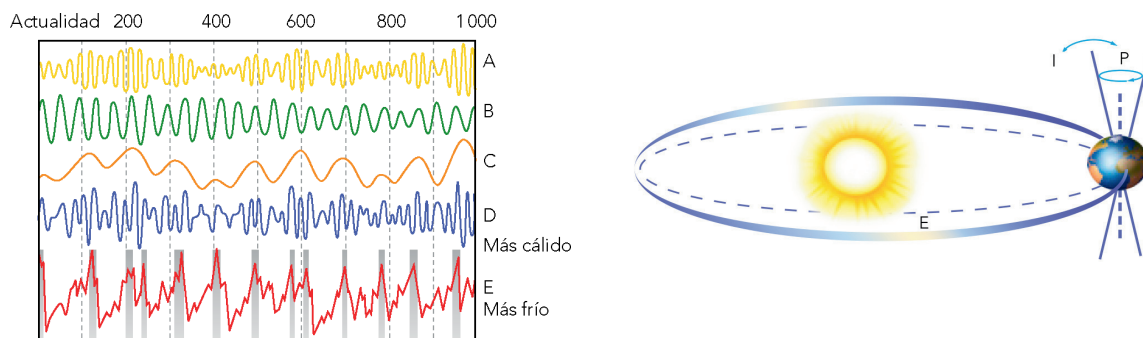


Figura 10. Ciclos de Milankovitch. Cambios na excentricidade da órbita terrestre (E), inclinación do eixe de rotación (I) e movemento de precesión (P) provocan cambios na insolación da superficie terrestre (D na gráfica da esquerda) e nas fases das glaciacións (E na gráfica da esquerda)

- Causas biolóxicas. Estas hipóteses baséanse na intervención dos seres vivos no clima terrestre. Un proceso como a fotosíntese, que consome CO₂, podería ser causa dun efecto antiinvernadoiro e, polo tanto, arrefriar o clima. J. Lovelock, un dos impulsores da hipótese Gaia, argumentou na súa época que a glaciación huroniana, de fai 2300 millóns de anos, se debera ao gran aumento dos organismos fotosintetizadores. Para moitos científicos, a idea ten varios inconvenientes, polo que a intervención dos seres vivos na orixe dunha glaciación presenta moitas dúbidas.
- Causas xeolóxicas. Poderían ser de moitos tipos. A distribución de continentes e mares parece ser unha das causas globais. Para que se desencadene unha glaciación, a presenza de continentes nas zonas polares é moi importante. A maior reflexión da radiación solar e a menor capacidade de distribución de calor dos continentes, entre outros motivos como os cambios nas correntes mariñas, contribúen á maior acumulación de neve e xeo. Se a localización dos continentes bloquea a circulación das correntes mariñas cálidas que flúen desde a zona ecuatorial cara aos polos, favorecese a formación de casquetes glaciares. Estas masas de xeo incrementan a reflexión da radiación solar e reducen a súa absorción. O resultado é un arrefriamento da atmosfera e un maior crecemento dos casquetes polares. Tamén se dan cambios na atmósfera, como por exemplo debido ao intenso vulcanismo. Ao emitir á atmosfera gran cantidade de partículas, bloquease parcialmente a radiación solar e isto pode provocar épocas frías e persistentes. A formación de orógenos pola colisión continental fai que a temperatura descaia coa altitude e ademais poden actuar como barreiras climáticas.

PRINCIPAIS GLACIACIÓNS DA HISTORIA DA TERRA

Durante os tempos precámbricos, existen datos de dúas glaciacións: unha a principios do Proterozoico, fai entre 2400 e 2100 millóns de anos, a glaciación huroniana, e outra ao final do Proterozoico, entre 850 e 650 millóns de anos, o período máis frío da historia da Terra. Durante este tempo, a Terra transformouse nunha inmensa «bola de neve», con xeo incluso en latitudes tropicais e cunha temperatura media quizais de -50 °C.

Durante o eón Fanerozoico producíronse tres glaciacións:

1. Ordovícico-silúrica (450-420 millóns de anos): Afectou principalmente a África e a outros continentes do fragmentado supercontinente de Gondwana.
2. Pérmico-carbonífera (360-260 millóns de anos): Durou case 100 millóns de anos e afectou a África, India, Australia, Suramérica e a Antártida.
3. Neóxena: No Cenozoico alternáronse períodos glaciares, con avance dos xeo cara ao ecuador, e períodos interglaciares. Durante o Cuaternario, sucedéronse varias glaciacións cos seus correspondentes períodos interglaciares. As glaciacións en Europa, de maior a menor antigüidade, son coñecidas cos nomes de Donau, Günz, Mindel, Riss e Würm.

7. A historia da Terra e da vida

A maior parte da historia da Terra (case o 90%), corresponde ó Precámbrico; o resto comprímese no eón Fanerozoico.

7.1. Os tempos precámbricos

PALEOXEOGRAFÍA E PALEOCLIMA

Ao parecer, existiron cinco continentes, que chegaron a colisionar e formar o supercontinente máis antigo, Rodinia. Hai uns 750 millóns de anos, Rodinia comezou a fragmentarse e os continentes viaxaron errantes nun gran océano.

Aínda que non se sabe moito sobre o clima, parece que durante o Proterozoico as temperaturas da Terra aínda non eran constantes e alternáronse épocas cálidas e frías, con momentos de importantes glaciacións. Ao final do Proterozoico, a concentración de dióxido de carbono na atmósfera, extraído polos organismos fotosintetizadores, alcanzou niveis moi baixos. Isto puido causar a diminución do efecto invernadoiro e enfriar notablemente o clima da Terra. Tivo lugar a "Terra de bola de neve", que se mencionou nas glaciacións descritas anteriormente. Esta catástrofe ambiental supuxo un gran estrés ecolóxico para moitos organismos que non se extinguiron, os cales acumularon numerosas mutacións, provocadas polas condicións ambientais extremas, o que xerou gran diversidade xénica.

A VIDA NO PRECÁMBRICO

A vida puido xurdir na Terra hai uns 3800 millóns de anos. A partir de LUCA (o último antepasado común universal), xurdiron os primitivos procariotas dos dominios Bacteria e Archaea: bacterias anaerobias, cianobacterias fotosintéticas e bacterias aerobias. Máis tarde, no Proterozoico, hai uns 1800 millóns de anos, apareceron os primeiros organismos eucariotas, como as algas e os protozoos. A finais do Proterozoico, as condicións extremas da "Terra bola de neve" deron lugar a unha gran crise biolóxica.

A finais do Precámbrico, hai uns 580 millóns de anos, temos constancia dos primitivos animais, representados pola fauna de Ediacara, que son fósiles de animais invertebrados de corpo blando, como *Charniodiscus*, de aspecto frondoso, e *Spriggina*, de corpo aplanado. A maioría destes animais desapareceron coa gran extinción ao final do Precámbrico.

7.2. O Paleozoico

Abarca desde hai 541 ata hai 252 Ma, e comprende os períodos: Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Carbonífero e Pérmico.

No comezo do Cámbrico, hai 541 millóns de anos, tres continentes se separaron de Rodinia: Laurentia e Siberia primeiro, e Báltica despois.

No Cámbrico tivo lugar a denominada explosión cámbrica, pois en tan só uns millóns de anos a fauna sobrevivente do Precámbrico diversificouse súbitamente nos océanos cámbricos ata tal punto que experimentou unha explosión de formas de vida diferentes. A exuberante diversidade biolóxica quedou rexistrada nos fósiles da fauna Burgess, que poñen de manifesto que se desenvolveron todos os planos de

organización anatómica, incluíndo algúns sorprendentes e desaparecidos na actualidade, como *Hallucigenia* e *Opabinia*. Os trilobites foron os reis dos mares cámbricos. Ao final produciuse unha gran extinción.

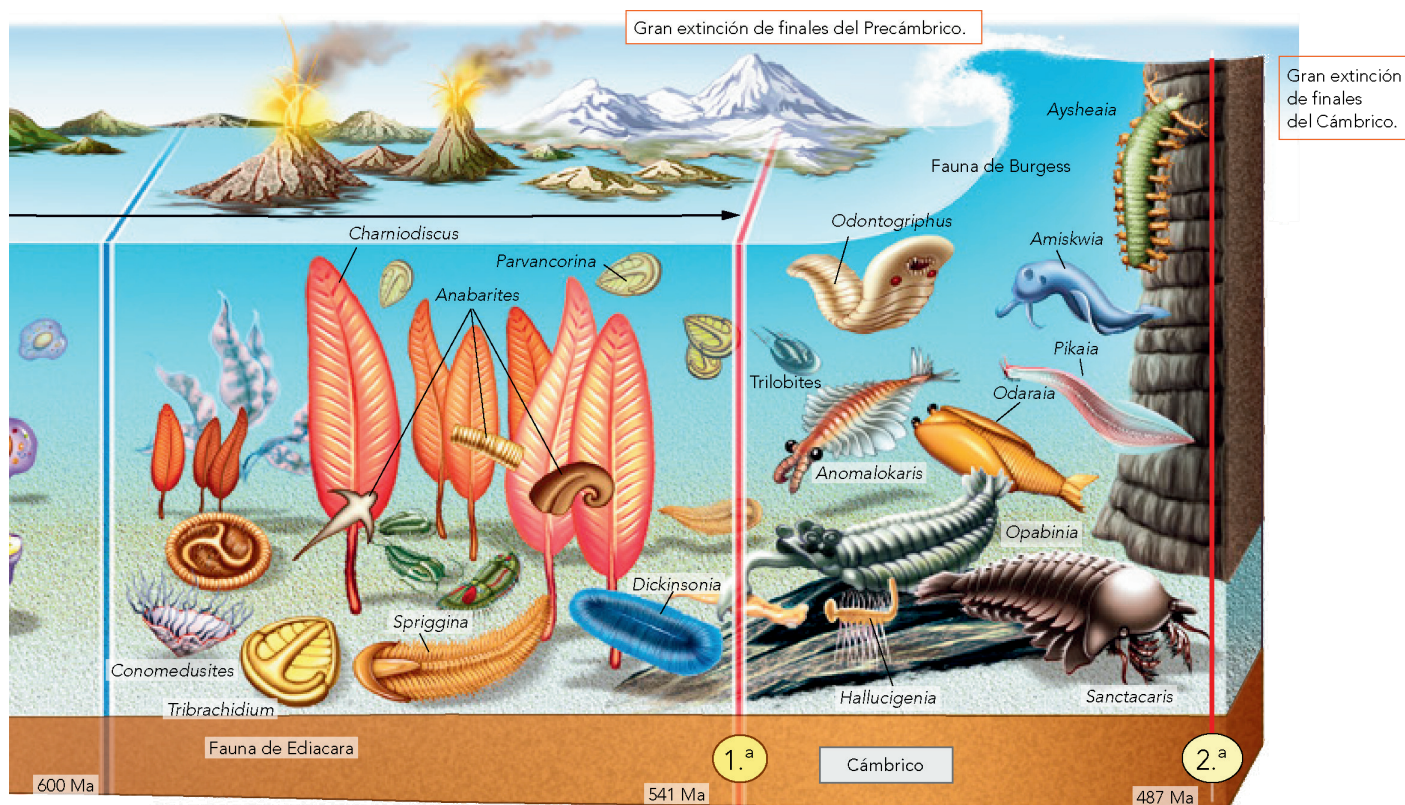


Figura 11. *A biodiversidade no período Cámbrico*

Ao final do Silúrico, Laurentia (América do Norte) colidiu con Báltica (norte de Europa) e Avalonia (Gran Bretaña e Nova Inglaterra) e deu lugar á oroxenia Caledoniana (Cal), unha cordilleira que se estende por Irlanda, Escocia, Terranova, os montes Apalaches, o norte de Escandinavia e Groenlandia.

Durante o Carbonífero, colidiron Laurasia e Gondwana, o que produciu a oroxenia Hercínica (Her) que deu lugar a unha gran cordilleira que se estendeu polo oeste de Europa e noroeste de África. Despois, hai 250 millóns de anos, durante o Pérmico, a colisión de Laurasia e Siberia orixinou a cordilleira dos Urales (Ur). A reunión de todos os continentes formou o supercontinente Pangea (Pangea II), rodeado dun extenso océano: Panthalasa.

O clima paleozoico experimentou importantes oscilacións. Comezou sendo frío, pero nos períodos estables sería un pouco máis cálido que o actual. Nestas épocas, ao producirse o desconxelamento nos polas, o nivel do mar sería alto, invadindo parte das terras emerxidas (transgresións mariñas). Non obstante, houbo épocas de glaciacións, principalmente no Cámbrico, Ordovícico e Devónico.

En canto á vida, no período Ordovícico, os mares contiñan unha gran cantidade de invertebrados, aparecendo os primeiros vertebrados, os peixes ostracodermos sen mandíbula. Xa no Devónico diversificáronse os peixes e apareceron os anfibios; tamén fixeron a súa aparición os primeiros insectos e as plantas vasculares, fetos e equisetos.

No Carbonífero proliferaron os bosques de fetos, equisetos e gimnospermas e apareceron os réptiles, coa innovación do ovo amniota. A finais do Ordovícico e do Pérmico tiveron lugar sendas extincións masivas.

7.3. O Mesozoico

Comprende os períodos Triásico, Xurásico e Cretácico.

Panxea comezou a fragmentarse durante o Xurásico orixinando Laurasia e Gondwana. Comezan a formarse o Atlántico Norte e o océano Índico. A India comeza a desprazarse cara ao norte, onde unha gran zona de subdución pecha o mar de Tethys. Polo sur, Gondwana fragmentase.

Durante o Cretácico e máis tarde no Terciario, a placa africana colidiu co sur de Europa e co subcontinente indio. Tivo lugar a oroxenia Alpina (Alp) que deu lugar aos Alpes e ao Himalaia. Ao mesmo tempo, América do Sur aléixase cara ao noroeste e complétase a apertura do océano Atlántico. Polo sur, a Antártida sepárase de Australia.

A característica principal do clima do Mesozoico foi a súa benignidade, de xeito que en latitudes medias e baixas houbo climas tropicais. Ademais, non se produciron glaciacións.

En canto á vida, produciuse a diversificación dos grandes réptiles, sendo esta a era dos dinosaurios. Diversificáronse os peixes e fixeron a súa aparición os primitivos mamíferos e as aves. Entre os invertebrados destacan algúns moluscos como os Ammonites e os Belemnites. Entre as plantas, desenvolvéronse as coníferas e xurdiron as angiospermas. Ao final do Mesozoico produciuse a extinción masiva máis coñecida, pola desaparición dos dinosaurios.

7.4. O Cenozoico

Tradicionalmente divídese o Cenozoico en dous períodos, Terciario e Cuaternario. Durante a era cenozoica continúa a separación continental que se iniciara na era mesozoica, destacando algúns acontecementos xeolóxicos:

A colisión da placa euroasiática coa africana e indoaustrialiana levanta os oróxeos alpinos, como os Alpes, os Pireneos ou as Béticas. O subcontinente indio remata o seu movemento e orixínase o Himalaia.

Continúa a apertura do Atlántico Norte producíndose a comunicación do océano Atlántico co Ártico e a unión de Norteamérica e Asia polo estreito de Bering.

Formase o mar Vermello e o intento de apertura de África oriental na zona dos Grandes Lagos.

En canto á vida, a desaparición repentina, en termos xeolóxicos, dos dinosaurios deixou libres moitos hábitats que estes ocupaban, o que favoreceu a diversificación das aves e os pequenos mamíferos. Ambos os grupos tiveron unha gran radiación adaptativa.

No Paleoceno aparecen os primeiros grandes carnívoros, os creodontos e os ungulados primitivos. Durante o Eoceno aparecen os carnívoros máis especializados e no Oligoceno ten lugar a aparición dos primeiros proboscídeos, como elefantes e mastodontes. No terciario tamén fixeron a súa aparición os primeiros homínidos. Un cambio climático que ocasionou o retroceso dos bosques fixo que un grupo de primates se tivera que adaptar á sabana africana, o que sería a liña evolutiva da especie humana.

A flora, moito menos afectada pola extinción, continúa a diversificación das angiospermas, que desenvolveron distintas adaptacións a diferentes ambientes. As gimnospermas quedan moito máis restrinxidas na súa distribución xeográfica.