

El concepto de la transformación de una especie en otra fue esbozado por muchos autores pero sus detalles sólo fueron planteados, bien explicados y profusamente ejemplificados por Charles Darwin. Los conceptos introducidos por Darwin revolucionaron la visión sobre la Historia Natural, pero fueron posibles gracias a los conocimientos acumulados por siglos y enriquecidos con posterioridad. La Selección Natural es el más conocido de los conceptos, pero es solo uno de ellos. Las discusiones acerca de las especies, la genética comparada y la clasificación mediante relaciones de sangre o parentesco graficadas en cladogramas permitieron avanzar sobre el conocimiento del arbusto de la vida. Las extinciones en masa son otra fuerza de cambio relevante que afecta en muy poco tiempo a un número importante de especies y crea nuevos hábitats que serán ocupados por otras especies durante la explosión de diversidad que comúnmente sigue a las extinciones.

1 La fuerza de la selección natural y de las extinciones en masa

1. Especies que se transforman

1.1. Antes de Darwin

El laureado historiador Daniel Boorstin denomina a un capítulo de uno de sus libros "La Invención de las Especies". ¿Qué es una especie? la respuesta no es definitiva aún y si no podemos responder a una pregunta tan elemental, ¿cómo podemos pretender reconstruir la evolución de las especies?. Justamente, lo apasionante de esta aventura son las dificultades.

El camino que se sigue para conocer la historia de la vida es lento, con frecuentes retrocesos (a diferencia de la naturaleza que no retrocede jamás), lleno de zonas de sombra y plagado de suposiciones que tal vez puedan confirmarse en el futuro. A pesar de todo esto, las dudas y alternativas le ponen un sabor especial a este relato.

Para clasificar a los grupos de seres vivos, debieron crearse umbrales que muchas veces son arbitrarios. ¿Cuántas son las especies? ¿En cuántos órdenes o familias se las puede agrupar? ¿A qué familia pertenece una especie en particular? O mejor aún: ¿Porqué una familia no es una superfamilia o un orden? Estas preguntas pueden tener diferentes respuestas hoy, diez años atrás o dentro de diez años.

Sin embargo, a pesar de las marchas y contramarchas, el conocimiento científico ha experimentado un avance sustancial, hace 400 o 500 años la situación era más incierta, y en el futuro se podrá decir lo mismo de nuestro conocimiento.

Un nuevo descubrimiento suele llenar un hueco y poner en evidencia otros ocultos. Muchas veces un descubrimiento genera más preguntas que las que responde.

Aristóteles (384-322 AC) describió unas 500 especies animales, agrupándolas en las de sangre roja, que él llamó enaima, y el "resto", que para él no tenían sangre, a los que llamó anaima. A los animales "con sangre" los dividió, según su forma de reproducción, en vivíparos y ovíparos; al resto los separó según su estructura (por ejemplo, caparazón blando o duro). Aristóteles usó el concepto inicial de género (*genus* familia) y de especie (*eidos* forma).

La moderna idea de especie se debe al naturalista inglés John Ray (1627-1705) considerado el padre de la Botánica. Fue uno de los primeros en interesarse por las plantas como entidades vivientes en lugar de hacerlo por sus propiedades medicinales. Clasificó 18.000 plantas aunque con una nomenclatura muy complicada.

¡Orden en la sala! Los intentos de dar un ordenamiento escrito al mundo natural datan, al menos, de los sumerios. Por ejemplo, el rey Samsuiluba (1912-1901 AC), clasificó a los animales en "peces y otros acuáticos", "articulados", "serpientes", "pájaros" y "cuadrúpedos" e hizo una lista de 30 tipos de peces. También agrupó a los vegetales. Los egipcios tenían también un detallado conocimiento de los seres con los que convivían a poca distancia de sus casas (Fig. 1.0).

Los autores de los antiguos herbarios y bestiarios, que describían plantas y animales, ordenaban a los seres vivos en forma alfabética. Esto se modificaba cuando se traducían de un idioma a otro, o cuando se renombraban algunas especies.

Hasta el siglo XVII, las obras sobre animales reunían tanto a los conocidos como a los míticos, lo que dificultaba determinar límites a sus grupos. Konrad von Gessner (1516-1565) en su enciclopedia Historia Animalium de

Pasado vs. presente, dos puntos de partida para la interpretación

En una campaña paleontológica al norte patagónico en 2002, uno de los integrantes de la expedición, el célebre geólogo Renato Rodolfo "Tito" Andreis, debido a un malestar temporal, se desorientó y se extravió. Atravesó los dos kilómetros de estepa hacia el campamento pero equivocó la dirección y siguió de largo.

Lo buscamos con antorchas toda la noche por quebradas y roquedales sin que el geólogo apareciera. Al anochecer del día siguiente, un día de búsqueda en que colaboró la policía, dos paisanos se acercaron a nuestro fogón entre las rocas. —"¿A ustedes se les perdió alguno?"— me preguntó el paisano después de un par de mates y de hablar del tiempo, del calor. Ante mi respuesta afirmativa, "Lencho" Terduño, el paisano de marras, me contó que habían hallado el rastro de un zapato raro y grande (un borceguí) cruzando el alambrado a varios kilómetros de allí, en dirección al pueblo.

Quedamos en encontrarnos a la mañana siguiente para seguir el rastro, huella a huella, hasta dar con su productor. A la vez, la policía buscaría en sentido inverso, partiendo desde el pueblo hacia el campamento, sin seguir huellas.

Mientras seguíamos huella a huella sobre la moto de Marcelo Salinas, los baquianos, Lencho y Miguel cortaban el rastro a caballo avanzando cada tanto un centenar de metros, haciendo "saltos interpretativos".

En cierta forma, nosotros, siguiendo las huellas que él había dejado un día antes, actuábamos como los paleontólogos, tratando de interpretar la historia a partir de unas pocas marcas del pasado. Los policías, partiendo desde el destino, actuaban como los biólogos actualistas, interpretando el pasado desde el presente.

Hacia el mediodía, la policía halló a Tito bajo unos matorrales de jarilla, deshidratado pero bien, media hora después lo alcanzábamos nosotros. Mientras lo acostaban en la camilla de la ambulancia para trasladarlo a la "Salita" del pueblo de Cerro Policía, Tito me chistó y me entregó sonriendo una bolsa con un puñado de rocas, muestras geológicas que había colectado y acarreado por la estepa durante dos días sin agua ni comida.

Al observar el cuentakilómetros de la moto comprobé cuánto había caminado Tito: 50 kilómetros.

Muy distinto, hubiera sido seguir sus huellas en la arena pisoteada de Mar del Plata y con la marea creciendo. Se hubiera asemejado más al trabajo de un paleontólogo. Allí, al no poder seguir una sucesión lineal de huellas, deberíamos tratar de identificarlas, de diferenciarlas de las demás por sus características salientes, aunque en muchos casos solo se tratara de variaciones sutiles con respecto a las demás.

siglo XVII, el naturalista sueco Carl von Linné, en español Carlos Lineo (1707-1778), envió emisarios a todo el mundo a mediados del siglo XVIII. A partir de entonces la asistencia de un naturalista y un pintor en los barcos de exploración se hizo habitual.

Charles Darwin (1809-1882) se convirtió en naturalista de a bordo a los 22 años de edad, al embarcarse en 1831 en el H.M.S. Beagle, al mando del capitán Fitz Roy, en el que realizó un viaje que duró cinco años.

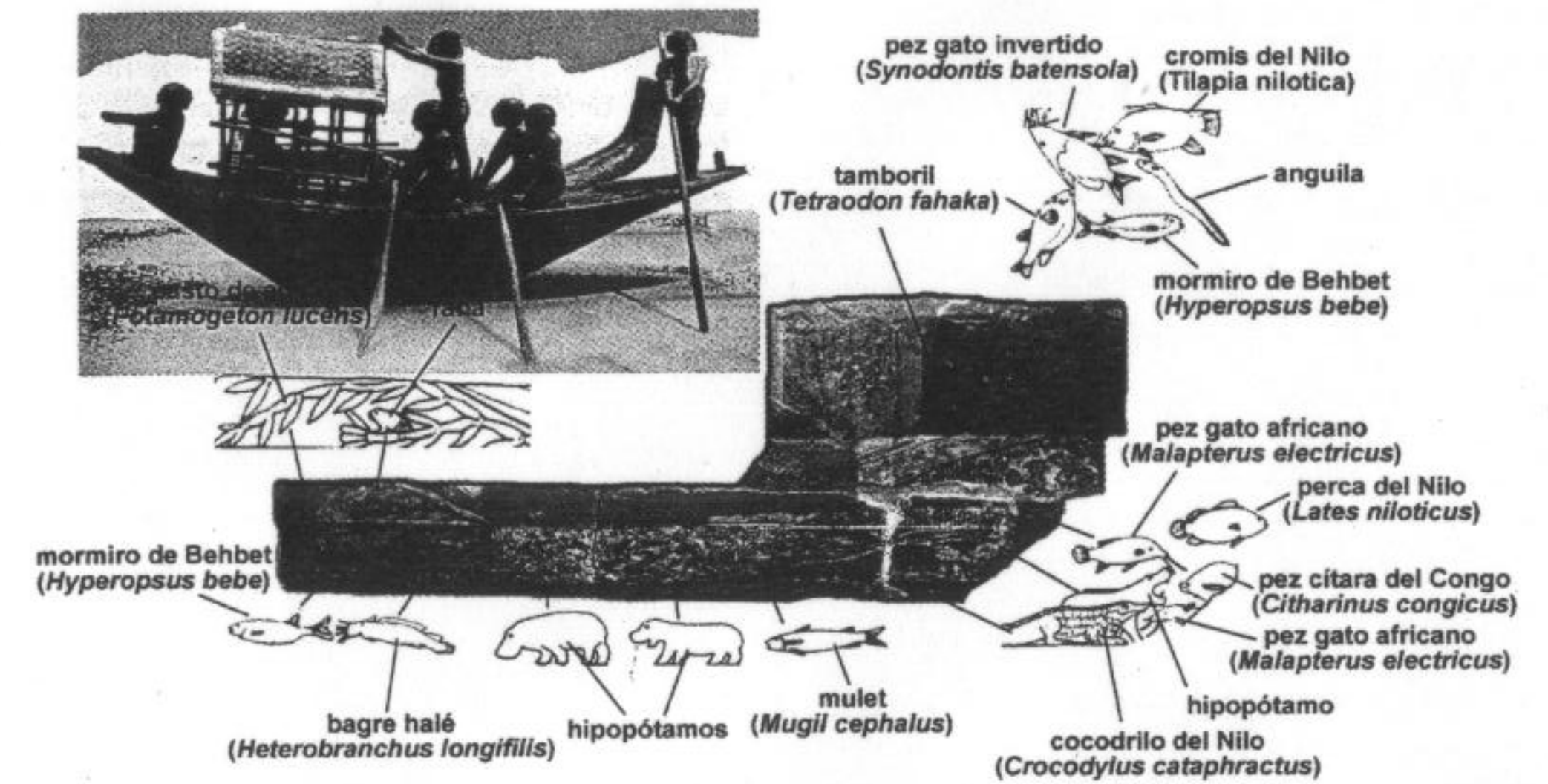
Tanto para Ray como para Lineo, las "especies" eran una muestra de la sabiduría del creador. Para Ray, eran inmutables y no variaban entre generaciones y Lineo afirmaba "...ahora podemos contar tantas especies como se crearon al principio de los tiempos."

Pero Lineo fue más lejos que Ray y extendió el concepto de especie a todos los seres vivos, incluyendo al hombre en su clasificación. Haciéndose eco de la obra *Enrique IV* de William Shakespeare ("Homo es el nombre

4500 páginas en cuatro volúmenes, incluyó seres vivientes y fantásticos con sus nombres en siete idiomas.

Ray, que creía en la existencia de las especies, introdujo la clasificación por "observación directa" de plantas y animales; sostenía que la clasificación debía hacerse agrupando a las especies por su anatomía, reproducción y fisiología respiratoria y cardíaca. Separó taxonómicamente (simultáneamente al italiano Malpighi) murciélagos de aves, y plantas monocotiledóneas de dicotiledóneas. Es recién en ese momento que se adopta la palabra especie, que deriva del latín *specere*, mirar. Para Ray, una especie era "el conjunto de individuos que mediante la reproducción originan a otros individuos similares a sí mismos" y la cantidad de especies era la misma desde la *Creación*, ya que un creador omnipotente no podría haber hecho seres que fueran a extinguirse.

A diferencia de Ray, que observó por sí mismo las especies de Europa durante la segunda mitad del



1.0 Fresco egipcio de las dinastías V a VI, aproximadamente 2300 años AC. Describe una escena de pesca en la que se aprecia el conocimiento que tenían los egipcios de los seres que habitaban el Nilo. Están representados cocodrilos, hipopótamos, una rana, un tipo de planta acuática y muchas especies de peces. Museo del Louvre.

común de todos los hombres"), Lineo denominó *Homo* al género del hombre y definió cinco variedades de *Homo*: salvaje, europeo, americano, asiático y africano.

El naturalista prusiano Hermann Burmeister (1807-1892), primer director del Museo de Ciencias Naturales de Buenos Aires, consideraba, como gran parte de sus contemporáneos, que existía una escala evolutiva direccional entre las distintas variedades humanas o subespecies geográficas, antes conocidas como razas.

Esto queda manifiesto en el último capítulo de su monumental obra "Historia de la Creación" donde muestra un ascenso gradual desde la "raza" negra hasta la blanca. Hoy sabemos que el color original de la piel humana es oscura, por lo que no existe una "raza negra", identificable por su color. Al ser el color original, hay docenas de variedades humanas de piel oscura, no una. Es por ello que existen más diferencias genéticas entre dos individuos cualquiera de piel oscura que entre uno de ellos y un dinamarqués o un chino.

Los grupos que salieron de África presentaban cambios en muchas de sus características, incluido el color de la piel. Dieron origen mediante aislamientos parciales a numerosas subespecies geográficas, muchas de ellas con colores más claros de piel.

Si bien es evidente que existen variedades humanas más emparentadas entre sí que otras, ninguna puede ser considerada como más primitiva o avanzada, ya que el arbusto de la vida no tiene direcciones.

La clave de la clasificación de Lineo fue la sexualidad, que era evidente en los animales pero algo oculta

en las plantas. Para hacerla evidente tomó los estambres y pistilos de las flores como referencia, y utilizó la cantidad y el ordenamiento de los estambres para agrupar las plantas en 24 clases y las clases en órdenes (Fig. 1.1).

Antes de Lineo, los nombres científicos servían para designar y describir, por lo que resultaban extensos y al ser modificados para hacerlos más precisos, se hacían más extensos aun.

Lineo además estandarizó el modo de nombrar con dos palabras (nomenclatura binomial) a los seres vivos, sirviéndose de dos términos: el género (que se escribe con mayúscula inicial) y el epíteto específico (escrito con minúscula inicial), ambos en general de origen latino, o latinizado. El modo binomial es en gran parte intuitivo, ya que incorpora un nombre general y lo asocia a otro más específico que marca la diferencia. Por ejemplo en quechua, el idioma de los incas, el modo de llamar al quebracho es *taku*, y así como el quebracho blanco es *yuraj taku*, el negro es *yana taku*.

Lineo, en una tarea que le demandó sólo un año, utilizando su forma binomial, bautizó a las 5.900 especies de plantas que tenía en su lista. Más tarde hizo lo mismo con los animales. Fue una operación trascendente, que dio un nombre único e inmodificable a todos los seres vivos conocidos. En poco tiempo esta metodología fue aceptada por la comunidad científica y sobrevive después de 250 años. Sin embargo, la tendencia actual, aunque respeta el ordenamiento jerárquico de Linneo, descarta las categorías. Es decir, existirá la familia Felidae, pero no se la considerará "familia" sino sim-

plemente, los Felidae, un grupo natural ligado por lazos de sangre.

Lineo publicó en 1735 su obra *Systema Naturae*, en la que incluyó 9000 especies entre plantas y animales. En esa lista se encontraba poco más del 1% del total de especies de aves conocidas hoy día. Menos de un siglo después, en 1845, la cantidad de especies de aves descritas había subido al 50% del total actual. Hoy se supone clasificado un gran porcentaje de las especies existentes de aves, que asciende a unas 9800. Se supone que nos encontramos cerca de la totalidad porque el incremento anual que se observa es insignificante.

En cambio, en otros grupos como el de los insectos, la cantidad descrita es una fracción muy pequeña frente a la existente, que se incrementa cada año.

Mutatis mutandis

Darwin no fue el primero en sugerir que el mundo natural era dinámico. El jonio Anaximandro de Mileto (610-547 AC), opinaba en su obra *Peri physeos* (acerca de la Naturaleza) que la vida se inició en el fango (origen material) y que el hombre era producto del cambio de otros seres.

También Empédocles de Agragas (483-424 AC) sostenía que los animales de sangre caliente se habían originado en tierra firme y se hicieron acuáticos "para refrigerarse". Aristóteles niega esta idea porque los mamíferos marinos no tienen patas, sino aletas. A la vez, Empédocles sostenía que distintas partes corporales se unían al azar por atracción, generando a veces monstruos inviábiles (como un esbozo de Selección Natural) y a veces cuerpos viables, capaces de sobrevivir y reproducirse (adaptación).

Tal vez uno de los más sorprendentes precursores del transformismo sea Al Jahiz (776-869), naturalista originario de Basora pero que trabajaba en Bagdad para Al Mamún. Él consideraba en su Libro de los Animales (Kitab al-Hayawan) que los animales luchaban por la supervivencia, se transformaban a causa del ambiente, un deseo innato y la ley divina, y esos cambios eran luego heredados. Un cuadrúpedo original (al-miskh) habría originado a todos los cánidos, por ejemplo.

Tanto John Ray como Robert Hooke (1635-1703) consideraban a la transformación de las especies como una posibilidad. Hooke se preguntaba: "Si la naturaleza no hace nada en vano, entonces, ¿donde están los amonites hoy?"

El francés Benoit De Maillet (1656-1738), publicaba en 1748 que la Tierra se hidrató y desecó varias veces y que los hombres habían sido, en su origen, peces, admitiendo así una transformación. De modo semejante, el filósofo y matemático francés Pierre Louis Moreau de

Maupertuis (1698-1759) consideraba que la heterogeneidad de la naturaleza no respondía a un diseño, que la vida había surgido por la combinación azarosa de materia inertes, moléculas o gérmenes que, por mutaciones fortuitas se multiplicaron, sobreviviendo solo las más eficientes.

Uno de los más famosos naturalistas franceses, George-Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788), director del Jardín du Roi, veía a las especies como conjuntos de seres vivos que se cruzan y dan descendencia fértil. Aunque se considera que Buffon era fijista, sí admitía que las especies podían variar por las presiones del ambiente y consideraba que la biota había tenido una distribución distinta en el pasado de acuerdo a climas distintos y a una conformación continental diferente.

Buffon consideraba que todos los seres serían degeneraciones del ideal humano y que la clasificación debía respetar grupos naturales en complejidad creciente, sin saltos. Esta cadena, que llega hasta el hombre, la admitía también el naturalista, filósofo y gramático francés Jean-Baptiste Robinet (1735-1820).

Un caso más atípico, pero ya cruzando a las islas británicas, es el del juez escocés James Burnett o Lord Monboddo (1714-1799), en cuyo libro *The Origin and Progress of Language* supone que la humanidad tuvo originalmente cola y luego la perdió. Su coterráneo Erasme Darwin (1731-1802), abuelo de Charles, veía a la transformación de las especies como una posibilidad aceptable pues los animales cambian como respuesta al medio, su prole hereda esos cambios y las especies tenían vínculos históricos entre ellas.

El naturalista francés Jean-Baptiste P. A. de Monet, caballero de Lamarck (1744-1829) se apartó de la idea que las especies eran inmutables desde la creación e introdujo la teoría de la herencia de los caracteres adquiridos. Según él, el concepto de especie reunía al conjunto de generaciones que se sucedían mientras el animal se adaptaba al entorno. La especie se propagaba a lo largo de las generaciones y llevaba los cambios acumulados.

Lamarck señalaba que las especies podían cambiar (acumulaban los caracteres de generaciones pasadas). Proponía que el ambiente modelaba cambios por uso y desuso de órganos estableciendo una relación entre la estructura, la función y el ambiente. Sin embargo, sus aportes más importantes son, sin duda, el sostener que las especies cambian y un concepto adicional, el de las sucesiones de faunas, que encadena a distintas especies con distintas épocas.

El nefrólogo escocés William Charles Wells (1757-1815), sostuvo que los humanos se habían transformado

por la acción selectiva de la naturaleza. Aunque dio poca difusión a sus ideas, Darwin lo reconoció en la 4ª edición de "El Origen". Asimismo, Karl Friedrich Kielmeyer (1765-1844), maestro de Cuvier, había sido un precursor del evolucionismo.

Otro naturalista francés, Etienne Geoffroy Saint-Hilaire (1772-1844), en línea con las ideas del naturalista dramaturgo y poeta Johann Wolfgang von Goethe, expuso la existencia de un plan general en los seres vivos por el cual no se crean nuevos órganos ya que todos derivan de otro semejante, son *homólogos*, y se mantienen en una posición equivalente. Es decir, hay una equivalencia entre los huesos del ala de un murciélago y los de la mano humana.

Si bien carecía de datos para sostener su postura sobre la formación de los órganos en el embrión, aportó uno de los conceptos evolutivos más importantes: "las aves no tienen alas para volar, sino que vuelan porque tienen alas".

El naturalista francés Georges L. C. F. Dagobert, barón de Cuvier (1769-1832), introdujo el estudio de la anatomía comparada y la paleontología. Fue el primero en clasificar a los animales según su anatomía o morfología.

Trabajando para Napoleón en Egipto comprobó que los ibis que poblaban el valle del Nilo eran idénticos a los que aparecían en los jeroglíficos de las tumbas egipcias de tres mil años de antigüedad. Es decir que desde los albores de la civilización egipcia hasta ese momento, no se habían producido cambios en esa ave.

Incluyendo esas observaciones, Cuvier publica (*Ossements fossiles* de 1812) en el que sostiene la hipótesis de que la Tierra es muy antigua, basándose en que los restos de animales hallados en las distintas capas geológicas del valle de París tenían más diferencias entre sí y con las especies actuales cuanto más profundas eran las capas geológicas. ¿Cómo podía explicarse la presencia de especies distintas a las actuales? ¿Podría Dios haberse arrepentido de su primera creación?

Cuvier propuso que en el pasado habían existido grandes cataclismos destructores (extinciones masivas) y creaciones sucesivas que aportaban nuevas especies. Pero para que esto fuera posible, el mundo debía ser realmente muy antiguo, lo que estaba en conflicto con la antigüedad estimada para la historia de la Creación, que rondaba los 6000 años.

El naturalista escocés Patrick Matthew (1790-1874) propuso un concepto comparable a la Selección Natural 30 años antes que Darwin, basado en la Selección artificial, pues veía que los individuos menos óptimos mueren por causas naturales sin reproducirse. Catastrofista periódico como Cuvier, suponía que las grandes extin-

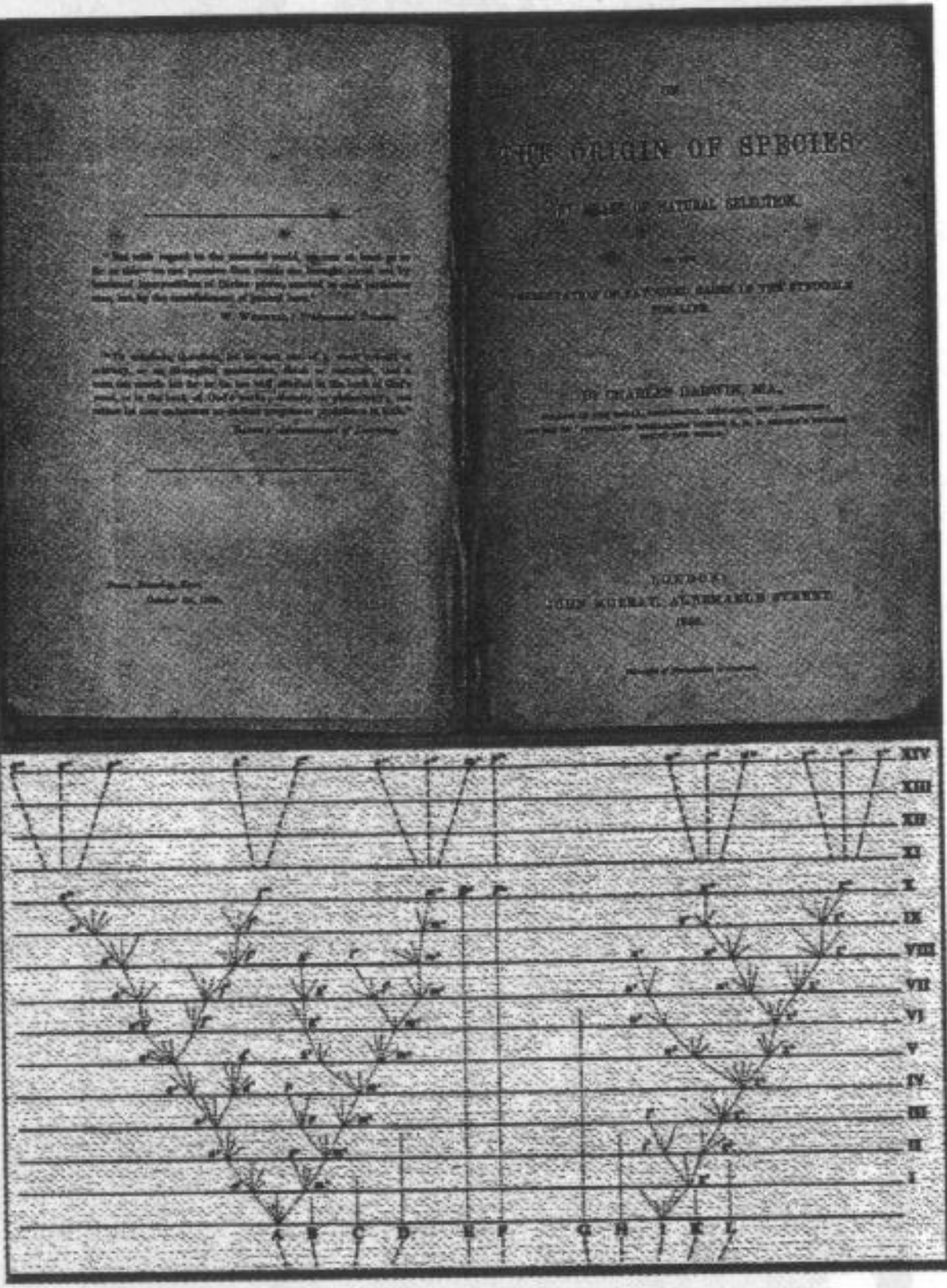


1.1 Una pieza del herbario del Museo de la Universidad de Buenos Aires en la Facultad de Farmacia y Bioquímica. Este herbario guarda las principales colecciones de vegetales de la Argentina.

ciones (no creía en la extinción de fondo) impulsaban el cambio al dejar el campo libre para las nuevas ramificaciones de la vida. En las etapas entre catástrofes, la selección estabilizaría a las especies sin alterarlas.

Tan temprano como 1818, el médico inglés William Wells conjeturaba sobre selección y evolución humana, lo que sería reconocido luego por Charles Darwin.

En 1844, el ensayista inglés Robert Chambers, publicaba *Vestiges of the Natural History of Creation*, proponiendo que las especies evolucionan "hacia" formas "superiores" a lo largo del tiempo, dirigidas por supuesto por la "intervención divina". Si bien fue un libro



1.2. La tapa original del Origen de las Especies de 1859. Abajo, el único gráfico que colocó C. Darwin corresponde al arbusto de la vida.

muy popular, fue considerado herético, y el autor debió mantener en secreto su identidad hasta su muerte.

1.2. El aporte de Darwin

A pesar de que cuando fueron presentadas, los críticos opinaron que del aporte "lo nuevo era erróneo y lo correcto era viejo", las obras simultáneas de Charles Darwin y Alfred Wallace cambiaron sustancialmente el panorama. Wallace llegó a la idea de Selección Natural postulando que el aumento de la población de una especie debería ser geométrico —según el Principio de las poblaciones de 1798 del economista Thomas Malthus— sin embargo observó que en la naturaleza el número de individuos de una especie se mantenía relativamente estable. Intuyó entonces que las pérdidas anuales de individuos se producían sobre los más indefensos. Darwin llegó a la misma conclusión luego de décadas de estudios y recopilación de datos. ¿Por qué Darwin produjo una revolución sin precedentes en la biología?

Según Ernst Mayr, son cinco los grandes conceptos que introduce Darwin (en "On the origin of species by means of natural selection" (24 de Noviembre de

1859, edición de 1000 ejemplares que se agota en el día (Fig. 1.2)) y que arrojaron luz sobre el concepto de especie, su clasificación y su evolución. Se trata de conceptos, no de leyes al estilo de la física.

Una diferencia entre el legado de Darwin y el de Newton es que los conceptos de Darwin no permiten hacer predicciones exactas como las leyes físicas y químicas. La biología evolucionista solo da explicaciones retrospectivas, pero no puede hacer predicciones exactas.

1- El primero de los cinco conceptos es el del transformismo o Evolución. El mundo es dinámico y los organismos se transforman con el tiempo. Si bien no fue Darwin el primero en tener esto en cuenta, fue quien lo sustentó razonablemente por vez primera.

Las condiciones de la naturaleza para modelar la evolución son variadas y sus tiempos también, por lo que algunas actúan durante largos períodos (existen insectos que no han variado sustancialmente su aspecto en millones de años), mientras otras lo hacen en cortos períodos (como las explosiones de diversidad luego de una extinción en masa).

2- El segundo concepto es el de Ascendencia Común. Es un proceso por el cual las especies se ramifican dando origen a un "arbusto de la vida" que muestra que cualquier especie desciende de otra más antigua, según concluyera de sus observaciones de fósiles pampeanos cuyos parientes vivían hoy en las pampas argentinas. Existe una "comunidad de descendencia". Este fue el primero de los conceptos de Darwin en ser aceptado, con una excepción: la ascendencia común de los seres humanos. El intolerable estigma de que "el hombre desciende del mono" resultaba inaceptable para la sociedad de entonces y por ello Darwin fue ridiculizado por décadas. Hoy se sabe que el hombre y los simios son hermanos y que descienden de un ancestro común desconocido, pero más semejante a un simio actual que a un humano.

3- El tercero es el de Gradualismo. La evolución procede en forma gradual y no a saltos. Acumula pequeños cambios paso a paso. Esta apreciación fue puesta en duda aun por los principales sostenedores de Darwin. Hoy el gradualismo, una contribución que Darwin adaptó a la biología a partir del actualismo geológico de Lyell, es materia de discusión.

4- El cuarto se refiere a la Multiplicación de las Especies. Procura explicar la enorme diversidad de especies que se producen mediante la acumulación de diferencias y el aislamiento reproductivo. Se puede asociar a la distribución de especies en distintos hábitats, los endemismos (especies que se las encuentra en un único lugar), etcétera.

5- El quinto es la Selección Natural que define a la supervivencia —siguiendo al economista Thomas Malthus— como el resultado de una intensa competencia para proveerse de alimentos. Quienes superaron la ferocidad de la selección transmitirán a la siguiente generación las características que les permitieron sobrevivir. La siguiente generación estará mejor adaptada a su ambiente. Esta última, tal vez la más importante contribución de Darwin, tardó mucho tiempo en ser aceptada.

Se pueden identificar dos vertientes: la selección basada en la lucha por la supervivencia (mal conocida como: "la supervivencia del más apto") y la selección sexual (la hembra selecciona al macho con mejores caracteres sexuales secundarios para reproducirse).

La selección por supervivencia requiere de la existencia de variaciones dentro de la población, y una poda de ese árbol mediante la pérdida de miembros del grupo. La idea de selección natural basada en la supervivencia implica el aprovechamiento de la oportunidad y actúa sobre el individuo, no sobre grupos. Aunque sobre este punto existen objeciones.

La selección sexual, en cambio, actúa por el aumento en el éxito reproductivo en competencia con otros individuos de la misma especie.

En la primera instancia se trata de la supervivencia básica y en la segunda de quienes presentan caracteres más efectivos de atracción sexual y pueden lograr mayor descendencia.

En la Selección Sexual las hembras tienen un papel primordial y existe una "carrera de armamentos" entre los sexos que lleva a una alta especificidad en los requisitos para la reproducción. El sistema reproductivo favorece el control absoluto de la hembra en organismos tan diversos como aves y angiospermas. Adicionalmente, existen distintas estrategias reproductivas que evitan una cópula no deseada.

1.3. Después de Darwin

Son numerosos los aportes e interpretaciones que se introdujeron luego de la obra de Darwin. Pero aun así, es admirable la perdurabilidad y robustez de aquellas ideas. Esto se debe a que Darwin utilizó el método científico conocido como inductivo. Es decir, que luego de acumular una gran cantidad de datos, propuso una hipótesis explicativa cuya vigencia pone en evidencia su valor. Sin embargo, Darwin no disponía de los elementos para poder comprender el funcionamiento de su propuesta a nivel celular y molecular.

Tras Darwin, mucho se discute. El escritor inglés Robert Chambers (1802-1871) sostiene que la evolución es apoyada por la estadística, el progresismo en fósiles, la generación espontánea, las diferencias sutiles entre

padres e hijos y las modificaciones en la gestación por la luz y el oxígeno. El médico y paleontólogo Hugh Falconer (1808-1865), reconoce grandes periodos de estasis evolutiva entre mamíferos fósiles. El mineralogo y biólogo estadounidense James Dwight Dana (1813-1895), describe la "cefalización" en su "Evolución de la materia viva en una dirección definida". El ingeniero y paleontólogo franco-belga Louis Antoine Marie Joseph Dollo (1857-1931), propone la Ley de la irreversibilidad de la evolución, por la que un organismo es incapaz de retroceder a un estado previo evolutivo ya alcanzado por sus ancestros.

El geólogo y paleontólogo Alexander Keyserling (1815-1891) sostiene que la evolución orgánica ocurriría a partir de moléculas especiales que se dispersaran al modo de las epidemias (1853) y propone mecanismos evolutivos por transferencia de genes.

En 1822, Etienne Geoffroy en *Anatomical Philosophy* discute las similitudes entre estructuras esqueléticas como alas de murciélagos, manos y garras, que apoyan las teorías transformistas. El médico y geólogo evolucionista Joseph Le Conte (1823-1901), apoya junto con James Hall (1851) las políticas sociales evolucionistas que proponían la mejora selectiva de la humanidad (Eugenesia). También sostiene que existe una evolución de la materia viva en una dirección definida: "Era Psicozoica". El paleontólogo ruso Vladimir Onufrievich Kovalevsky (1843-1883), esposo de la matemática Sophia Kovalevsky y amigo de T. H. Huxley, realiza una clasificación evolutiva de los caballos.

En el sur, el paleontólogo ítalo-argentino Florentino Ameghino (1853-1911), introductor del darwinismo en Argentina, sienta las bases de la paleontología de vertebrados con sus veinticuatro obras de 700 a 800 páginas. Una de ellas es *Filogenia, principios de clasificación transformista basados sobre leyes naturales y proporciones matemáticas*. Trabaja también en la evolución del lenguaje y del hombre.

Por otro lado, paleontólogos como el estadounidense Edward Drinker Cope (1840-1897), consideraban solo algunos postulados de la teoría de Darwin, pues insistían en la acción directa del ambiente sobre la estructura orgánica y apoyaban los procesos de aclimatación evolutiva.

No todos abrazaron el transformismo. El geólogo suizo Jean Louis Rodolphe Agassiz (1807-1873), que trabajaba en contacto con Humboldt y Cuvier, publica en 1856 *Essay on Classification* proponiendo múltiples (50 a 80) extinciones y creaciones y contradiciendo tanto la evolución como al arca de Noé pues existían cambios sólo en las direcciones preconcebidas por Dios. Otros famosos creacionistas (que creían en la vida como creación divina e inmutable) fueron Owen y Burmeister. El anatomista inglés Richard Owen (1804-1892) no creía

en una complejidad creciente (progresión discontinua). Reconoció a los Dinosauria como grandes reptiles extintos terrestres y de sangre caliente, que probaban la degeneración de los reptiles modernos. Defiende, sin embargo, la teoría vertebral del cráneo y una anatomía comparada basada en la homología y analogía de órganos. Por otro lado, el naturalista suizo-alemán Hermann K. Burmeister, se quien hablamos en la página 23, publica su famoso "Historia de la Creación".

La genética

Un aporte contemporáneo a Darwin que requirió muchas décadas para ser adoptado, fue la teoría del monje Gregor Mendel (1822-1884) de la herencia genética. Mendel, nacido en la actual República Checa, trabajó con plantas y abejas y describió en 1866, cómo se propaga la información genética entre generaciones, mediante lo que llamó partículas hereditarias. El redescubrimiento de su trabajo, fue realizado por el botánico holandés Hugo Marie de Vries (1848-1935), junto a Carl Correns y Erich von Tschermak hacia principios del siglo XX y valorado en su totalidad a mediados del siglo pasado, cuando Mayr asoció la teoría de la herencia de Mendel a la selección natural de Darwin.

De Vries publica "Pangénesis intracelular" (1889) sobre la hibridación de plantas y plantea que los mismos genes (que él llamó *pangenes*) determinaran caracteres equivalentes en especies emparentadas pero distintas. De Vries da los primeros pasos hacia una explicación de la evolución biológica centrada en la mutación. Luego, otros la mejorarían al estudiar el comportamiento genético de las poblaciones, la evolución por selección y la deriva génica.

Un aporte sustancial a la parte genética de la teoría evolutiva se produjo cuando en la segunda mitad del siglo XX se descubrió la estructura química de la molécula de ADN y se identificaron las secuencias de genes en los animales, incluido el ser humano.

El aporte de la genética está conmocionando nuestro conocimiento del "arbusto de la vida". Es una herramienta poderosísima y controvertida, de la cual se espera mucho en el futuro.

Altruismo y egoísmo

Según Darwin, la Selección Natural actúa sobre los individuos mediante el éxito reproductivo.

Wynne-Edwards (1906-1997) propuso la idea de "selección de grupo", indicando que la selección natural puede actuar sobre grupos enteros y no sólo sobre individuos. Ese punto de vista también cuestionado, es parte de los conceptos que han logrado abrir nuevas líneas de pensamiento mostrando que falta mucho para

comprender los alcances de la Selección Natural a nivel de gen, de individuo y de comunidad.

Otro concepto cuestionado es el de la Sociobiología, propuesto por Edward Wilson en 1975. En ese marco, se propusieron dos teorías que tratan de aclarar situaciones no directamente explicables por la Selección Natural: la existencia de "grupos altruistas" (William Hamilton en 1964) y los "genes egoístas" (Richard Dawkins en 1976). Obviamente, el uso de los términos altruista y egoísta no conlleva exactamente el significado que a estas palabras se les da habitualmente. El altruismo en los grupos o el supuesto egoísmo de los genes no es más que el resultado de mecanismos de optimización de la perpetuación mediante la descendencia.

La Sociobiología y sus hipótesis asociadas establecen analogías entre la vida social de los insectos y la sociedad humana. La teoría de los "grupos altruistas" explica el éxito de comunidades como las de las hormigas, donde los individuos se sacrifican por el bien de la comunidad cuidando de las hijas de la hormiga reina en lugar de tratar de reproducirse. Sugerimos leer el apartado respecto de la evolución de la sociabilidad de las hormigas (capítulo 7).

La teoría del "gen egoísta", en cambio, señala que el individuo es solo el "envase" donde se transportan los genes y ellos están en el centro de la evolución, forzando la aparición de mecanismos de comportamiento que resulten en la transmisión de sí mismos, aunque sea en parte, a la generación siguiente.

Gradualismo vs. saltacionismo (o puntualismo)

La teoría de los Equilibrios Puntuados contradice en parte al gradualismo de Darwin. Fue introducido por Stephen Jay Gould y Niles Eldredge mediante la observación del registro fósil. Según los equilibrios puntuados, existen largos períodos de estabilidad (llamados "de *estasis*") y cortos períodos de cambios abruptos. En el registro fósil se observa que la mayoría de las especies aparecen y desaparecen sin mayores cambios. La aparición "repentina" de una especie nueva y distinta se produce en un período de tiempo muy corto en términos geológicos, aunque muy largo en términos de generaciones (por ejemplo, 1.000 generaciones humanas son nada más que 20.000 años), apenas un instante en una escala en la que todo se mide en millones de años.

En definitiva, la evolución "gradual" y la "saltacionista" son dos extremos con un amplio rango en medio. Según los equilibrios puntuados, los eventos que causan diversidad genética, como las mutaciones y los errores de copia del genoma se acumulan por largo tiempo hasta que se desencadena el cambio (Fig. 1.3).

La especiación sería un cambio relativamente rápido que se produce cuando una parte de la población se aparta, por razones diversas, de la población estable y mayoritaria.

La evolución progresista

En la Naturaleza no existe el progreso o la inevitabilidad, pues la evolución no muestra una dirección coherente.

Pueden existir a lo largo del tiempo, presiones de la Selección Natural en algunos linajes. Por ejemplo, imaginemos que en un ambiente y época determinados se produce un descenso de la temperatura media anual y los inviernos se tornan cada vez más crudos, como ocurrió en la Edad de Hielo. Dentro de una población de elefantes, se van a seleccionar positivamente (es decir, van a sobrevivir y a dejar descendencia) aquellos individuos cuyos genes los han llevado a tener mayor tamaño y más vello, esto no significa que en ese grupo no continúen naciendo también de otro tipo. Cuando pase ese período y la temperatura aumente, los organismos especializados en vivir en ambientes fríos restringirán su distribución a las áreas que conserven aquellas condiciones y hasta probablemente terminen extinguiéndose, como ocurrió con los mamuts.

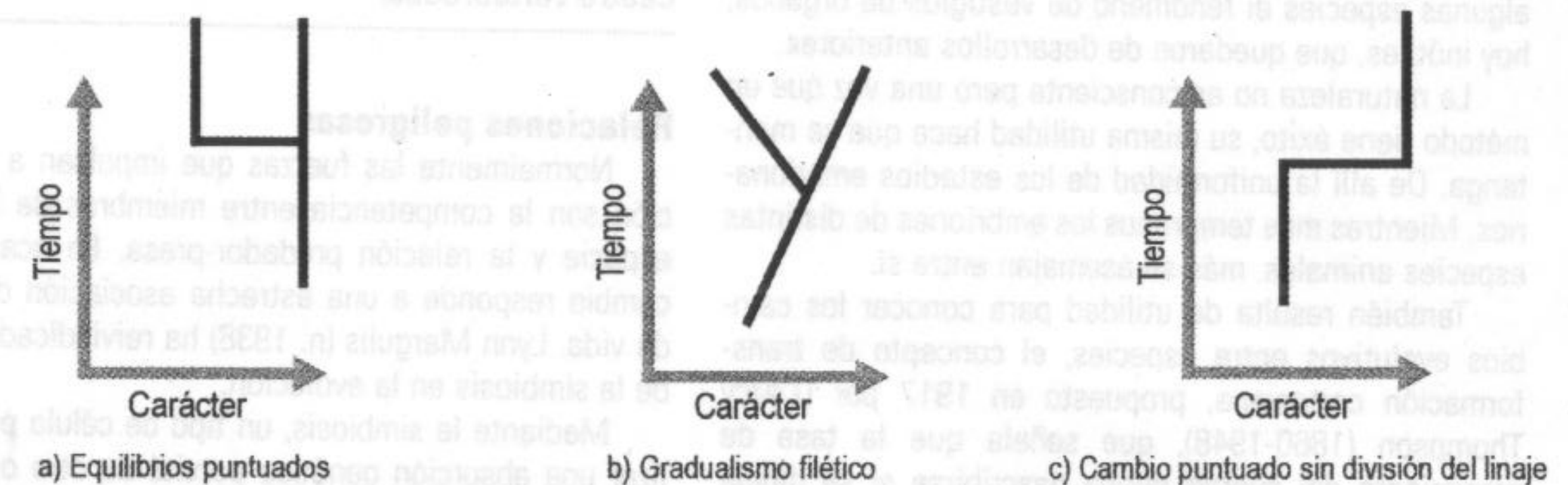
Existe una noción general que muestra que el camino de la evolución lleva a un incremento del tamaño, de la complejidad y de la diversidad. Sin embargo, a lo largo de la historia de la vida, muchos organismos unicelulares continuaron evolucionando fieles a su patrón, mientras que otros, se organizaron y agruparon en conjuntos de células. Entre estos últimos, algunos organismos pluricelulares aumentaron la cantidad y la especialización de sus células en determinadas funciones, aumentando su complejidad.

Existen dos propuestas para explicar los grandes cambios en los organismos que evolucionan, una es la pasiva (aleatoria) y la otra es la activa (no-aleatoria). La propuesta pasiva observa que la vida se diferencia sin una orientación determinada y el resultado es una diversidad en todas las direcciones, a partir de la cual la selección natural se encarga permanentemente de podar las ramas, ya que el ambiente está en cambio continuo. En ella la vida no tiene un plan a largo plazo, cambia a una velocidad muy lenta, casi imperceptible. Desde este punto de vista, la vida es derrochadora y ciega. Indiferente a un concepto de justicia, crea todo lo que será eliminado.

Las nuevas especies no son sino errores de copia de las anteriores. El concepto recuerda vagamente al de los ideales de Platón, para quien había un individuo ideal para cada cosa o especie, el "tipo", del que todos somos copias cada vez más defectuosas. En realidad, esta explicación tiene bastante sentido hoy, en que sabemos que las copias genéticas tienen tantos errores.

La propuesta activa, no aleatoria, supone un progresismo y señala que pueden existir ventajas en la complejidad creciente. Por ejemplo, el aumento de tamaño tendría ventajas por el incremento del cerebro, la longevidad, la facilidad para evadir predadores, etc. Estas ventajas motorizarían a la evolución de la vida "hacia" un sentido determinado. De todos modos, para ambos modelos existe una imposibilidad: la dirección es irreversible.

El concepto de irreversibilidad es posterior a Darwin, pero coherente con sus ideas. Indica que no puede volverse atrás en la evolución. Sin embargo, pueden existir casos engañosos. Por ejemplo, si hay un gen que inhibe el desarrollo de las patas en un reptil ápodo (como una serpiente) al mutar o desaparecer ese gen las patas se



1.3. Esquemas mostrando las diferencias en los modos de origen de nuevas especies en relación al carácter (cambio morfológico) y el tiempo. Se muestra el modelo de aparición repentina y estasis (a), la diferenciación por cambio continuo y progresivo (b) y la modificación profunda sin diferenciación del linaje (c).

desarrollarían nuevamente. Además, aunque no exista una regresión real a etapas anteriores sí hay alteraciones, que causan aceleraciones o desaceleraciones en el tiempo de desarrollo de un organismo (heterocronías). Esto hace que un ajolote mejicano nunca llegue a ser totalmente adulto, aunque pueda reproducirse.

La Paleogénesis

Un concepto de gran utilidad cuando se desea conocer los caminos que ha utilizado la evolución es la Ley Biogenética (Fig. 1.4). Dice que el desarrollo embrionario reproduce ciertas estructuras de los embriones de sus antepasados.

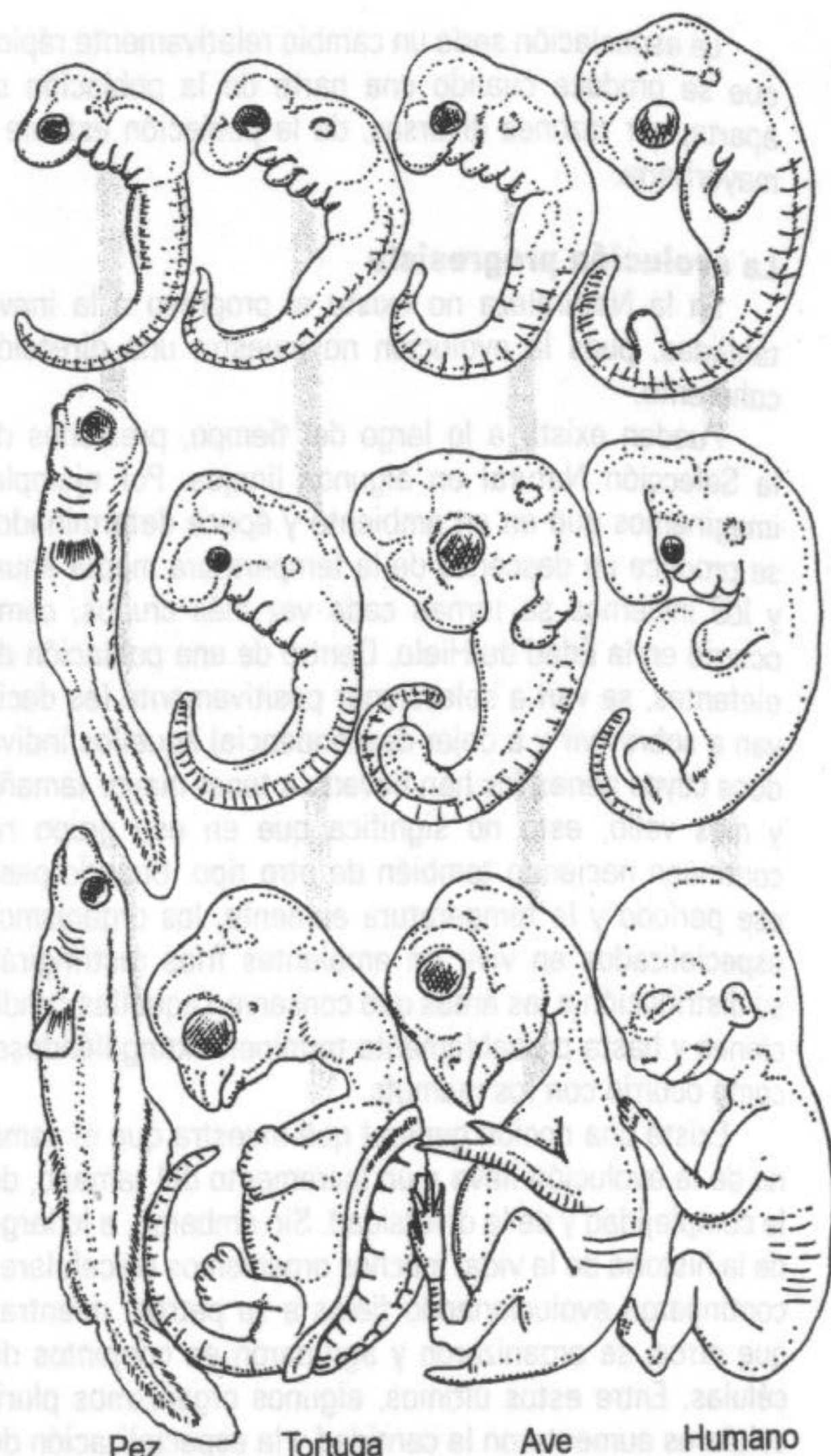
Por la Ley Biogenética Fundamental de Haeckel, sabemos que las características de los ancestros se conservan en los cambios de forma de cada individuo que se desarrolla.

Según este concepto existen *homologías* (partes o estructuras que tienen un origen común pero pueden usarse para distintas funciones) en diferentes especies. Por ejemplo, el ala del ave y la pata anterior del caballo han evolucionado a partir de los brazos de los primeros tetrápodos, pero el uso es claramente diferente. Las hormonas del sistema endócrino son otro ejemplo, tienen un origen en común pero aplicaciones diferentes en distintos linajes animales. Las zonas glandulares que secretan esas hormonas no son otra cosa que las antiguas cavidades donde se alojaban las branquias o bolsillos branquiales de nuestros ancestros acuáticos, que degeneraron y adquirieron nuevas funciones.

Una forma de hacer este concepto evidente es decir que "la ontogenia recapitula la filogenia". En palabras más simples, el "desarrollo del individuo" (que es la ontogenia) en el embrión recapitula el "desarrollo evolutivo" (que es la filogenia) de la especie. Algunos han llamado a esto, paleogénesis. Por ello es que se observa en algunas especies el fenómeno de vestigios de órganos, hoy inútiles, que quedaron de desarrollos anteriores.

La naturaleza no es consciente pero una vez que un método tiene éxito, su misma utilidad hace que se mantenga. De allí la uniformidad de los estadios embrionarios. Mientras más tempranos los embriones de distintas especies animales, más se asemejan entre sí.

También resulta de utilidad para conocer los cambios evolutivos entre especies, el concepto de transformación cartesiana, propuesto en 1917 por D'Arcy Thompson (1860-1948), que señala que la tasa de crecimiento del cuerpo puede describirse si se dibuja sobre un par de ejes cartesianos. Algunas partes crecen más rápidamente que otras mediante diferencias de desarrollo (alometrías) positivas o negativas pudiendo ser graficadas como curvaturas en los ejes (Fig. 1.5).



1.4. La "ley biogenética" dice que el desarrollo del embrión recapitula el desarrollo evolutivo de la especie. Se muestran tres etapas en el desarrollo de cuatro vertebrados.

Relaciones peligrosas

Normalmente las fuerzas que impulsan a la evolución son la competencia entre miembros de la misma especie y la relación predador-presa. En ocasiones el cambio responde a una estrecha asociación de formas de vida. Lynn Margulis (n. 1938) ha reivindicado el valor de la simbiosis en la evolución.

Mediante la simbiosis, un tipo de célula puede realizar una absorción genética parcial de otro organismo, lo que queda en evidencia en la evolución de las células eucariotas. La Teoría Endosimbionte Seriada propone que los eucariotas podrían considerarse como resultado de la simbiosis entre un organismo unicelular (semejante a

las arqueas) que alojó a otros unicelulares, uno poseedor de un flagelo y otro capaz de procesar el oxígeno, como las mitocondrias. En los eucariotas que luego formaron los vegetales, además de mitocondrias, las absorbidas fueron los precursores de los cloroplastos que permiten la fotosíntesis. Este no es un concepto menor. Indica que cada una de las células de nuestro cuerpo es, en realidad, resultado de la fusión de los cuerpos y el ADN de varias especies distintas, lo que asesta un fuerte golpe a nuestro concepto de lo que es un individuo. Peor aún, tanto los eucariotas como las arqueas y bacterias habrían obtenido su ADN por interacción con antiguos ADN-virus.

James Lovelock y Margulis han propuesto además el concepto de *Gaia*, una controvertida teoría que propone que la vida regula las variables físicas de la biosfera. Ellos sostienen que la Tierra es como un organismo viviente y nosotros vivimos en simbiosis con ella. Por ello, si la dañamos, nos autodestruimos. De todos modos, la alegoría no es exacta, ya que la biosfera en su conjunto recicla sus desechos, cosa que ningún organismo viviente está en capacidad de hacer (ver capítulo 4).

2. El arbusto de la vida

¿Qué es la vida?

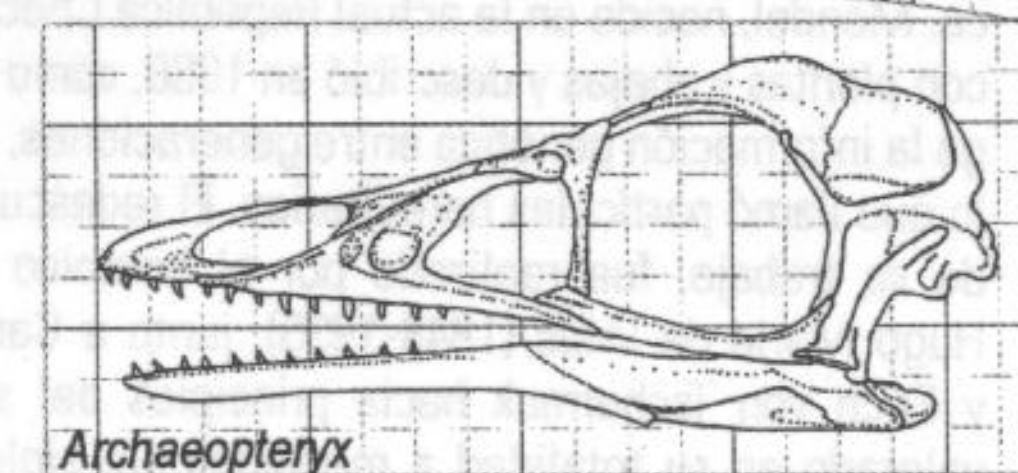
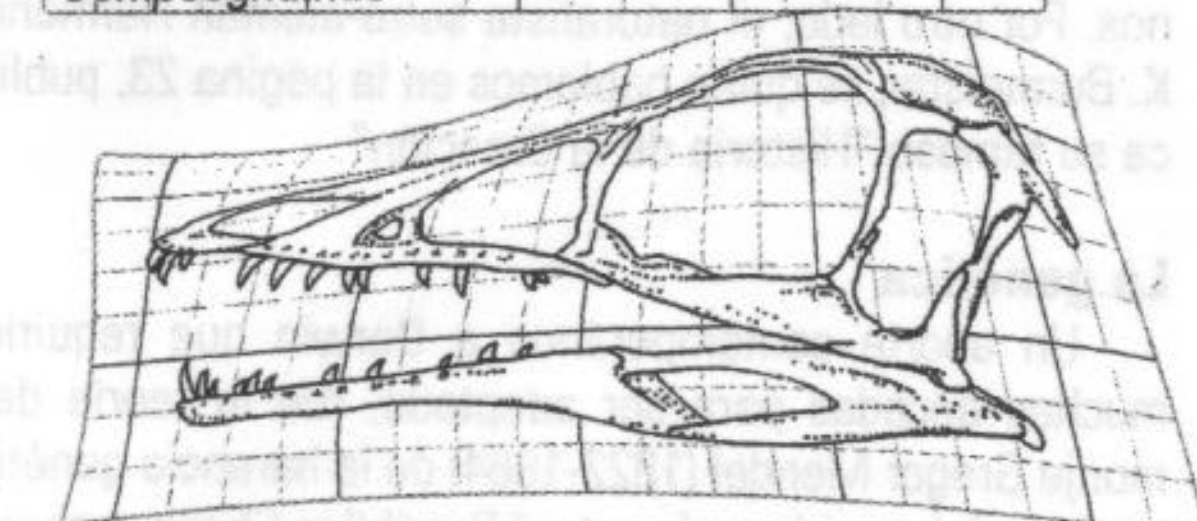
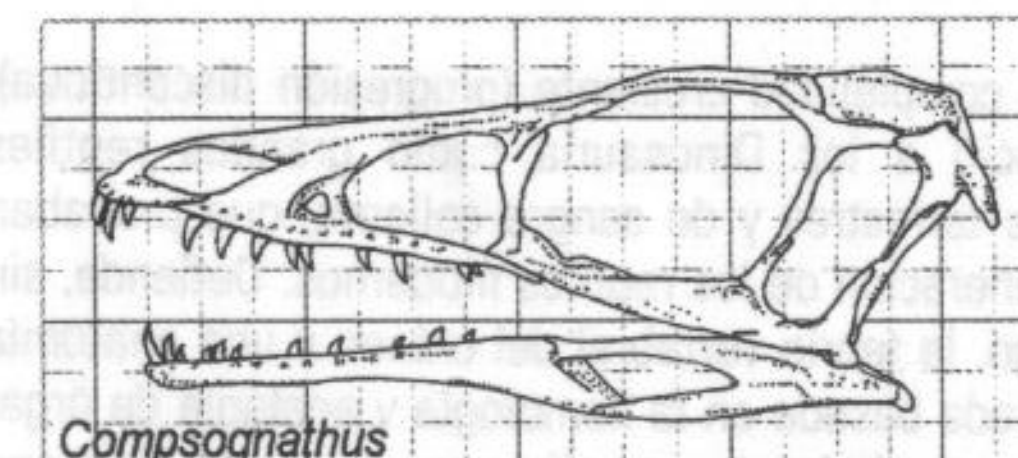
En el capítulo 4 discutiremos mejor este concepto. Una definición actualizada diría que la vida supone una estructura molecular que, sin intervención externa, sea capaz de intercambiar materiales y energía con el medio a lo largo de un tiempo mediante un equilibrio dinámico (homeostasis) termodinámicamente estable y minimizando la tendencia al desorden (entropía) del sistema. Se encuentra compartimentada en sistemas discretos que llamamos organismos. Los seres vivos u organismos integran varios sistemas mediante los cuales aprovechan ahorrativamente un recurso y eliminan un desecho.

Los organismos, a su vez, se hallan autocompartimentados en celdillas o células, multiplicables por división de otras precedentes. Además, son capaces de transferir una información hereditaria codificada para repetir sus sistemas logrando la autopropagación. Los errores en la transferencia de esa información producen diversidad y la selección diferencial de esos errores, evolución.

2.1. Las especies

¿Qué es una especie? ¿Existen?

El reconocimiento de una entidad definida e infértil que hoy conocemos como especie fue reconocido



1.5. El concepto de transformación cartesiana aplicado sobre el cráneo de *Compsognathus* (arriba y en el medio) y *Archaeopteryx*. El desarrollo diferencial de partes del cráneo es un indicador de que caracteres tuvieron un mayor desarrollo en la evolución de este grupo (más cerebro y menos mandíbula).

tempranamente. Aristóteles reconocía entidades que comparten propiedades (esenciales o accidentales).

Sin embargo, aunque el reconocimiento de las especies como entidades sería adoptado por los naturalistas, no todos pensaban que realmente existían en la naturaleza. Para algunos, llamados nominalistas, eran solo agrupamientos artificiales para quienes lo que conocemos como especie eran solo discontinuidades dentro de conjuntos de individuos generalmente asociados por su distribución geográfica. Los organismos se diferenciaban unos de otros de un modo continuo y su agrupamiento era un concepto artificial.

Entre los nominalistas se destacaron los grandes naturalistas franceses, tanto Buffon como Lamarck. Por otro lado, quienes pensaban originalmente que las especies eran reales, como Cuvier, lo hacían influenciados por la idea de que eran creaciones divinas y, por ende, únicas e individualizables.

La concepción no religiosa de que las especies podían ser entidades reales tomó fuerza a principios del siglo XX, con el concepto genético de que una

especie respondía a un genotipo reconocible, o el ecológico, para el que una especie era una población natural separada permanentemente de otra por diversas discontinuidades.

Hacia 1930 se empezaron a utilizar tres criterios bien diferenciados para identificar a las especies: la ascendencia común (se debe poder rastrear la ascendencia hasta un ancestro común); ser el grupo más pequeño distinguible y pertenecer a una comunidad reproductora (lo que excluye a los miembros de otras especies).

Estos criterios dieron lugar al Concepto Biológico de Especie, propuesto por Ernst Mayr y definido como: "una comunidad reproductora de poblaciones (aisladas de otras desde el punto de vista reproductivo) que ocupa un nicho específico en la naturaleza (tienen propiedades ecológicas en común)". En este caso no interesan los caracteres específicos del organismo, sino las propiedades reproductoras de la población.

Esta definición es criticada porque no toma en cuenta que una especie ocupa un espacio (tiene un rango geográfico) y un tiempo (tiene una duración limitada). Esto es un problema para determinar los límites entre especies. Una población aislada en la periferia del ecosistema es potencialmente una nueva especie.

¿Cuándo una especie actual se separó de su antecesora? Un fósil con 10 Ma (millones de años) de antigüedad, ¿podría ser parte de la misma especie que un ejemplar actual? ¿cómo saber si entre ellos podrían haber sido interfértiles, es decir, que pudieran haber tenido descendencia? Por otro lado, los organismos que se reproducen en forma asexual, ¿son especies? y, ¿qué ocurre con los híbridos?

En 1976, Van Valen propuso un Concepto Ecológico asociado a un importante trasfondo evolutivo. Definió a las especies como "un linaje que evoluciona independientemente de otros de otras áreas y que ocupa una zona adaptativa diferente". Wiley (1978) propone entonces el Concepto Evolutivo de especie, donde una especie se define como "un único linaje de poblaciones ancestro-descendiente que mantiene su identidad frente a otros linajes y que posee su propia tendencia evolutiva". Es decir una línea individual en el denso arbusto de la vida.

Como se puede ver, más importante que la respuesta a la pregunta ¿Qué es una especie?, es comprender las limitaciones de cada definición al centrarse en aspectos de difícil comprobación (el espacio donde viven y el tiempo en las diferentes etapas de la evolución de la especie). Pero, una vez reconocida esta dificultad es necesario avanzar sobre la organización de las especies.

La clasificación de las especies

Una de las actividades más importantes para el conocimiento científico es la clasificación, es decir, la agrupación utilizando características comunes.

El naturalista árabe Al Jahiz, realizó una clasificación y agrupación por similitudes y una subdivisión hasta una unidad equivalente a la especie.

Konrad von Gessner estableció las bases del concepto de género y especie utilizando en sus caracterizaciones de vegetales atributos provenientes de las flores y las semillas.

Antes de Darwin se consideraba a las especies como inmutables, con características fijas que eran la esencia del grupo. Estas características estaban generalmente ligadas a la forma y al color, eran "morfológicas".

Por ello, el concepto morfológico de especie definía un "ejemplar tipo" u holotipo, adecuadamente descrito, nombrado, comparado, ilustrado, publicado, y depositado en un museo o repositorio apto para representar la morfología ideal de la especie, un concepto que aun utilizamos (Fig. 1.6).

Las limitaciones de definir una especie a partir de un ejemplar tipo, son evidentes. Se llama *holotipo* al ejemplar seleccionado por el autor entre la población coleccionada, como miembro más representativo de la especie. Si existe un fuerte dimorfismo sexual se selecciona un *alotipo* del otro sexo. El resto de individuos que quedan en la serie típica se denominan *paratipos*. Si el autor no ha discriminado un holotipo y alotipo, todos los individuos se llaman *sintipos*. Si una comisión u otro autor seleccionan otro tipo, se denomina *lectotipo*. Si un elemento de la colección se destruye, debe ser reemplazado por otro, que se llama *neotipo*.

En nuestros días el avance de la genética puede ayudar en la definición de una especie sumando la información brindada por el genoma. En un proceso de colaboración internacional se está formando un vasto banco de ADN, con ejemplares que se seleccionan a tal efecto.

Los sistemas de clasificación de los seres vivos son importantes debido a que como existen millones de miembros y centenares de idiomas, la clasificación determina nombres únicos para cada especie. También, el agrupamiento facilita la memorización de los nombres, permite tener una idea general sobre la estructura física y el comportamiento y además agrupar formas y conductas comunes. Por ello, la clasificación es una herramienta imprescindible como predictor.

Lineo clasificó a los seres vivos según sus formas, estableciendo el actual sistema de nomenclatura. Como la obra de Lineo se llamó *Sistema Naturae*, al proceso de clasificación se lo denomina Sistemática.



1.6. Arriba, una colección de "pieles" de aves en el Museo de Ciencias Naturales y debajo, algunas aves que aportaron material para armar el banco genético de especies (tomadas en el MACN).

Todo grupo de organismos tratados como una unidad se lo llama taxón, de allí que la Taxonomía sea la teoría y práctica de clasificar organismos.

Darwin entendió que las especies cambian y que una especie se origina de otras. Por este motivo el agrupamiento de especies debe estar inmerso en una lógica evolutiva; debe representar las relaciones de parentesco entre los organismos. La relación entre estos se puede representar gráficamente mediante modelos ramificados. Los diagramas más antiguos recordaban a

un tronco del cual salían ramas más finas. En la parte alta del árbol se situaba un individuo de nuestra especie *Homo sapiens*. Además, se creía que la evolución tendía hacia la perfección, obviamente hacia el hombre. Hoy día, estos árboles se parecen más a arbustos. No hay especies más evolucionadas que otras; simplemente, sus estrategias de supervivencia son diferentes. La más humilde bacteria y nosotros hemos recorrido el mismo camino para llegar hasta donde estamos. Ni un Millón de años más o ni uno menos.

El concepto de clasificación utilizado en esta obra es el de la Filogenia, que se define como la historia o crónica evolutiva de las especies. El uso de la filogenia como criterio de clasificación data al menos de tiempos del médico, anatomista y botánico suizo Gaspard Bauhin (1560-1624), que clasificó al reino vegetal según grupos naturales y usando una nomenclatura de dos palabras (binomial) para describir hasta 6000 especies. Bauhin aceptaba que las especies podían transmutar gradualmente.

Luego, el médico John Ray consideró también en 1662 la clasificación por grupos naturales usando caracteres de anatomía interna y fisiología respiratoria y cardíaca.

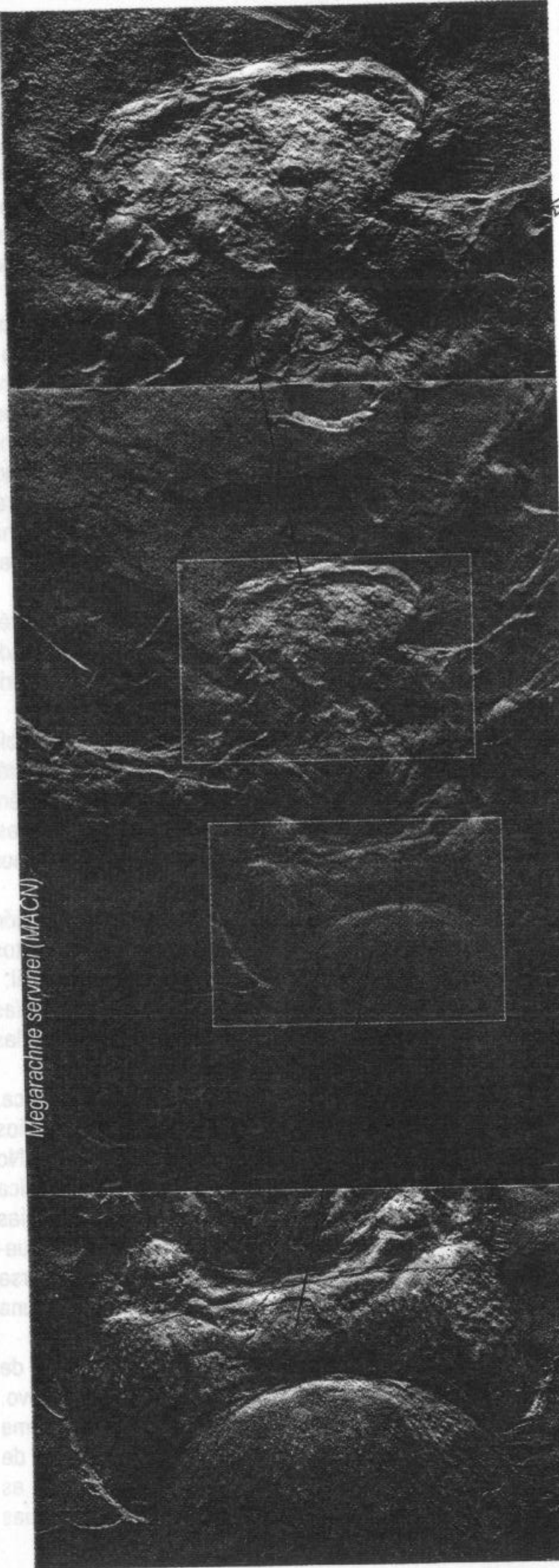
Aunque Lineo consideraba que la clasificación debía ser por grupos naturales, lo consideraba una idea utópica y prefirió utilizar una clasificación artificial, valiéndose de las estructuras reproductivas de las plantas, en especial la disposición y estructura de los órganos reproductores, carpelos y estambres.

El conde de Buffon también defendía la clasificación por grupos naturales y a las especies como conjuntos de seres vivos que se cruzan y dan descendencia fértil.

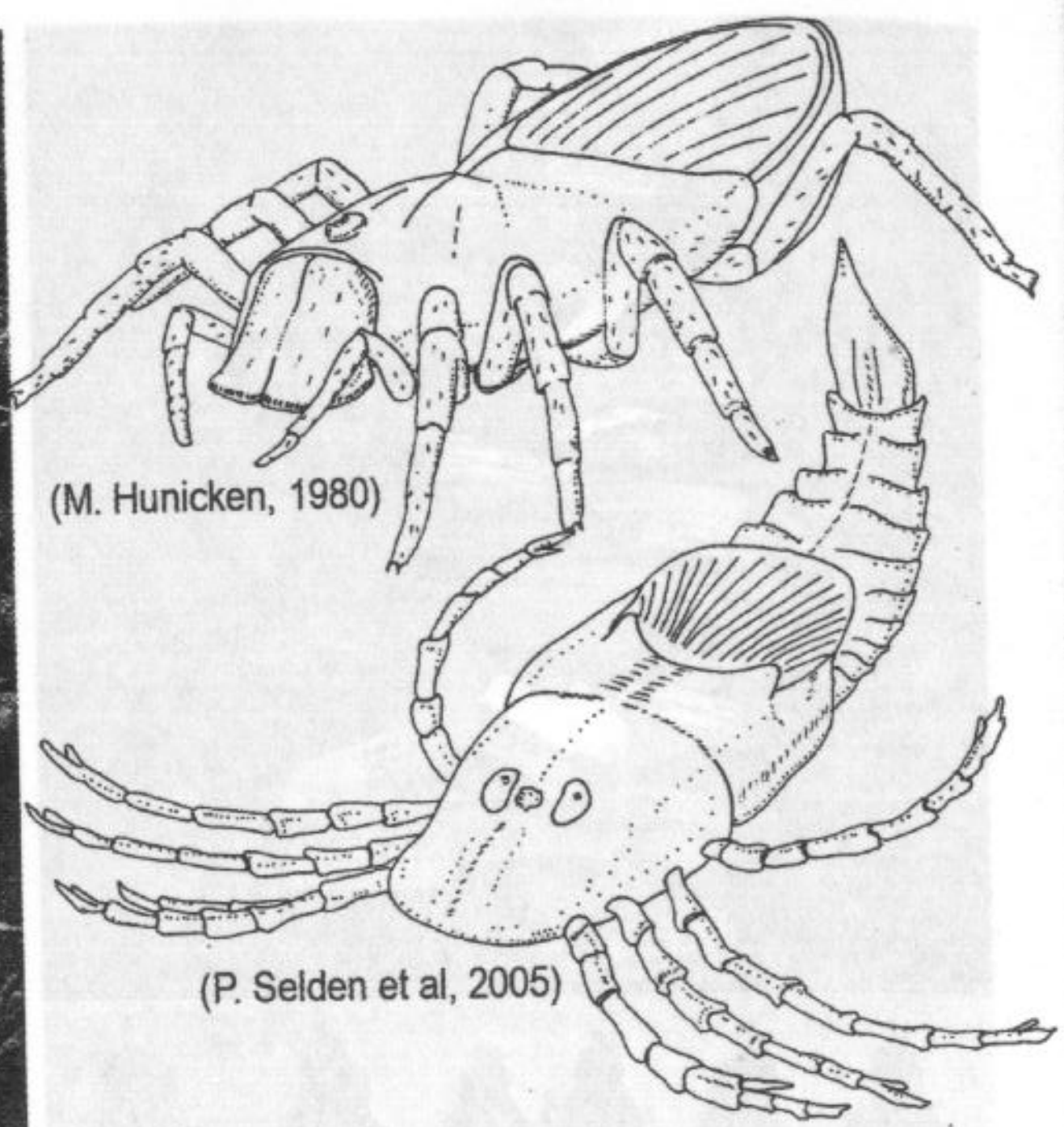
En principio, la filogenia no reconoce categorías como los órdenes y familias. Su misión es conocer las relaciones evolutivas entre los grupos de especies.

Por ello es que la filogenia debería ser única, aunque nuestra interpretación de ella sufre cambios frecuentes debido al ingreso de nuevas evidencias. No existe más que un arbusto de la vida porque es la única historia ocurrida. El problema es que las evidencias para reconstruir ese árbol son escasas y no todas pueden recuperar. A partir de Darwin comenzó a utilizarse con más confianza el enlace de las especies en una historia común.

La filogenia muestra una perspectiva histórica, de manera que su aporte es, hasta cierto punto, predictivo. Es muy importante tener en cuenta que el diagrama o arbusto filogenético obtenido como resultado de la investigación no deja de ser una hipótesis, que es refutable con la incorporación de nuevas evidencias (Fig. 1.7).



Megarachne servinei (MACN)



(M. Hunicken, 1980)

(P. Selden et al, 2005)

1.7. El método científico no se basa en verdades absolutas. Se basa en hipótesis que se consideran auténticas hasta que nuevos datos ponen en evidencia su error. El reconocimiento de errores es parte del avance del conocimiento. Los errores en la ciencia pueden corregirse con nuevas investigaciones e información. Tal el caso de *Megarachne servinei*. Este invertebrado de 300 Ma fue encontrado en San Luis, Argentina. Desde su descubrimiento en 1980, fue descrito como la mayor araña encontrada (con 34 cm de cuerpo). Sin embargo, nuevos hallazgos de fósiles y estudios basados en rayos X publicados en 2005, llevaron a la conclusión que se trata de un escorpión de mar, por lo que sería un quelicerado, no un arácnido (capítulo 7). Cuando se habla del tamaño de un invertebrado, debe cuidarse la forma de medida (el cuerpo o con las extremidades incluidas). Debido a la fisiología interna de los invertebrados, su tamaño máximo está limitado. Aun con la ventaja de niveles de oxígeno elevados y la falta de predadores ágiles durante el Carbonífero, el gigantismo de los invertebrados terrestres se limitó a cuerpos del tamaño de un gran balón de fútbol.

2.2. Hacer y leer un cladograma

La cladística (del griego *klados*, rama) es un método de análisis riguroso que genera un árbol filogenético. Representa una herramienta muy poderosa en el análisis de la filogenia de las especies. Willi Hennig (1913-1976) es reconocido como el fundador de la cladística.

Caos y fractalidad en la Naturaleza

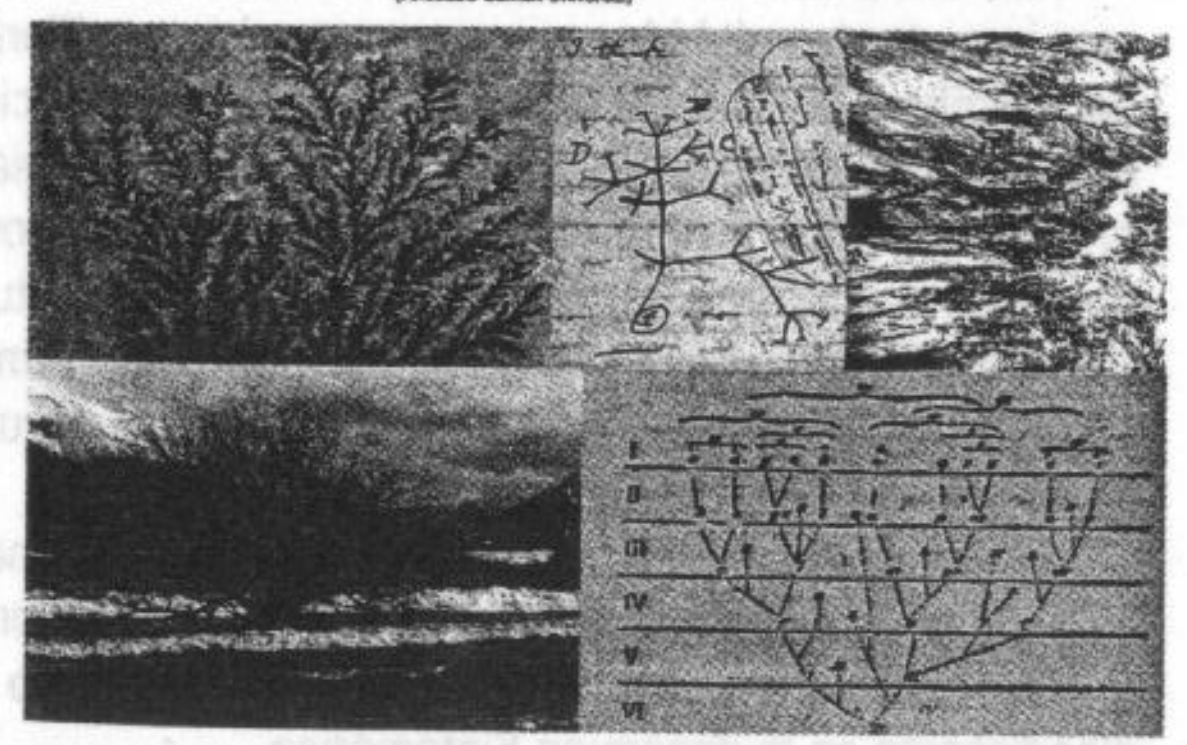
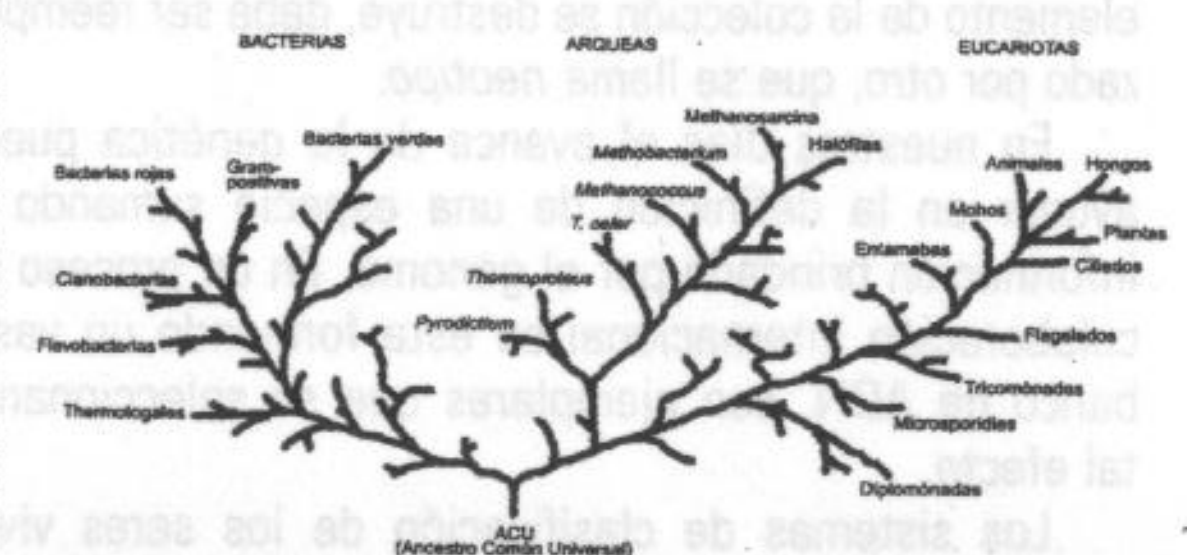
Sesenta años antes de la era cristiana el naturalista romano Lucrecio reconoció que las partículas de polvo suspendidas en el aire de una habitación e iluminadas por el sol se movían de un modo particular y caprichoso, comparable al del polen en una gota de agua o al polvo de carbón en alcohol. La irregularidad y el aparente caos tienen causas concretas que pueden ser estudiadas y cuantificadas. El extraño movimiento aleatorio ocurre porque las partículas reciben un bombardeo heterogéneo de moléculas del fluido alteradas por la temperatura. Esa irregularidad explica también los fenómenos aparentemente aleatorios de difusión y ósmosis. Descrito por Ingenhousz (1785), Brown (1827) y matemáticamente por Einstein (1905), se conoce a dicho fenómeno como movimiento browniano.

Muchos de los sistemas biológicos complejos, como la red de venas y arterias, o la bronquial en la respiración, la distribución glandular y linfática, la red neuronal misma, o el entramado de pequeñísimas arrugas sobre la piel de una mano, son de una trama difícil de describir y parecen fruto del azar. En el primer caso, un vaso sanguíneo se ramifica dando lugar a otros vasos menores y de estos, otros aún menores y finalmente los vasos más pequeños: los capilares. Estos sistemas donde la repetición de la forma pequeña termina formando una estructura

semejante a la original pero a otra escala (autosimilitud), se conoce como fractal (del Latín *fractus*, fracturado). A partir de una estructura simple se genera una compleja. La estructura fractal fue descrita por el matemático Benoît Mandelbrot (1975), pero el estudio de las reglas de la formación fractal fue encabezado por Michael Barnsley. Se enmarca en el sistema dinámico de la Teoría del Caos y su información puede usarse para componer música, procesar imágenes digitales, prevenir accidentes, predecir sismos y estudiar el desarrollo y propagación de grietas.

Este patrón se repite innumerables veces en la naturaleza, no solo en lo biológico. La geología, la geomorfología y la astronomía abundan en ejemplos de estructuras fractales. Podemos reconocerlo en la escorrentía del agua que baja de una montaña a un valle, en la compleja geografía de un delta, en las marcas de la erosión, o en cristales de manganeso que crecen en el interior de una grieta, formando entre sus planos un patrón conocido como dendritas de manganeso (Fig. 1.8). Otros fractales naturales son la forma de muchos árboles, las hojuelas (pinnas y pínulas que forman las frondes de los helechos, pero también las nubes, las montañas, las líneas costeras o los copos de nieve. Sin embargo, estos fractales son no-exactos, ya que los fractales ideales son infinitos. En general, en los fractales naturales o aleatorios, la autosimilitud no es exacta ni aproximada, sino más bien estadística. Es decir, que las medidas del fractal se preservan a pesar del cambio de escala.

Las figuras geométricas que forman a los fractales se ven con frecuencia en la naturaleza, pero no pueden representarse como esferas o cubos de la



1. 8. Arriba, arbusto de la vida según lo conocemos hoy, con sus tres ramificaciones principales. Nótese que todos los animales, tanto un caracol como nosotros, estamos contenidos en un nombrecito a la derecha. En el centro, a la izquierda, dendrita de manganeso (mineral); al centro, el arbusto de la vida dibujado por Darwin en *El Origen de las Especies*; a la derecha, imagen satelital de escorrentía y erosión sobre rocas sedimentarias en la Patagonia. Abajo, a la izquierda, árbol de estructura dendrítica en el lago Huechulafquen, Neuquén; a la derecha, diagrama de la filogenia según Florentino Ameghino (1884).

geometría clásica y su dimensión no es entera sino fraccionaria, por lo que su estructura se describe como semi-geométrica, fragmentada o irregular. De hecho son tan irregulares que requieren ser descritos bajo las reglas geométricas particulares y pueden ser definidas mediante un algoritmo.

Entre los procesos de formación de fractales no aleatorios destaca el de Agregación por difusión limitada (ADL), que consiste en la aglomeración de partículas que se mueven brownianamente por difusión. Es muy común en depósitos minerales espontáneos o inducidos por electricidad y, definitivamente, forman bellas estructuras que se conocen justamente como árboles brownianos, típicas estructuras fractales. Bellos ejemplos son las dendritas de manganeso.

Sin embargo, hay otra estructura de dimensión fractal comúnmente ignorada, que es el árbol de la vida, que por su fuerte ramificación desde la base misma, hemos llamado aquí más apropiadamente "arbusto de la vida", en consonancia con su falta de tronco principal o direcciones preferidas, una estructura fractal muy semejante a la de las dendritas de manganeso.

¿Significa esto que el árbol de la vida sigue en su desarrollo una estructura fractal? ¿Es una prueba más de que lo inorgánico y lo orgánico se rigen bajo los mismos principios?

Los árboles brownianos obtenidos por simulación solo pueden llegar hasta un cierto tamaño crítico, tras el cual colapsan naturalmente. ¿Ocurrirá lo mismo algún día con el arbusto de la vida?

El cladograma es un diagrama en forma de árbol donde en cada nodo se abren dos ramas. Para hacer un cladograma se forma una tabla que contiene los taxones (especies, géneros o familias) a incluir y las características a comparar (Fig. 1.9).

Para formar un cladograma se incluirá en una matriz la información morfológica, genética, fisiológica, bioquímica y toda aquella que resulte importante. Estos análisis de "evidencia total" contienen cientos o miles de caracteres y precisan equipos modernos para la búsqueda de resultados óptimos, es decir, aquellos que lleguen a un resultado en el menor número de pasos. Para su asociación se recurre al Principio de Parsimonia, proveniente de la simplicidad o la alegoría de la navaja de Guillem d'Okham (1295-1349) que establece que ante dos hipótesis evolutivas la más probable será aquella que requiera menos pasos.

Agrupando las especies mediante estas características se arriba a una hipótesis para determinar el grado de cercanía o familiaridad entre especies. Cuantas más novedades evolutivas o caracteres derivados compartan, más cercanas son ambas especies (Fig. 1.9).

En el ejemplo anexo (Fig. 1.10) se muestra un cladograma típico, como los que se presentan a lo largo de esta obra. Las primeras reglas de lectura de este tipo de diagrama son las siguientes. El diagrama se estructura de izquierda a derecha y desde arriba hacia abajo. Cada rama se abre en dos ramas hermanas cuyo nexo, el nodo, representa el punto de origen de ambos grupos, es decir, la cladogénesis. La diferencia entre una rama y la hermana es "mínima" (vista como sumatoria de diferencias y basados en la parsimonia). En los cladogramas calibrados, puede agregarse sobre

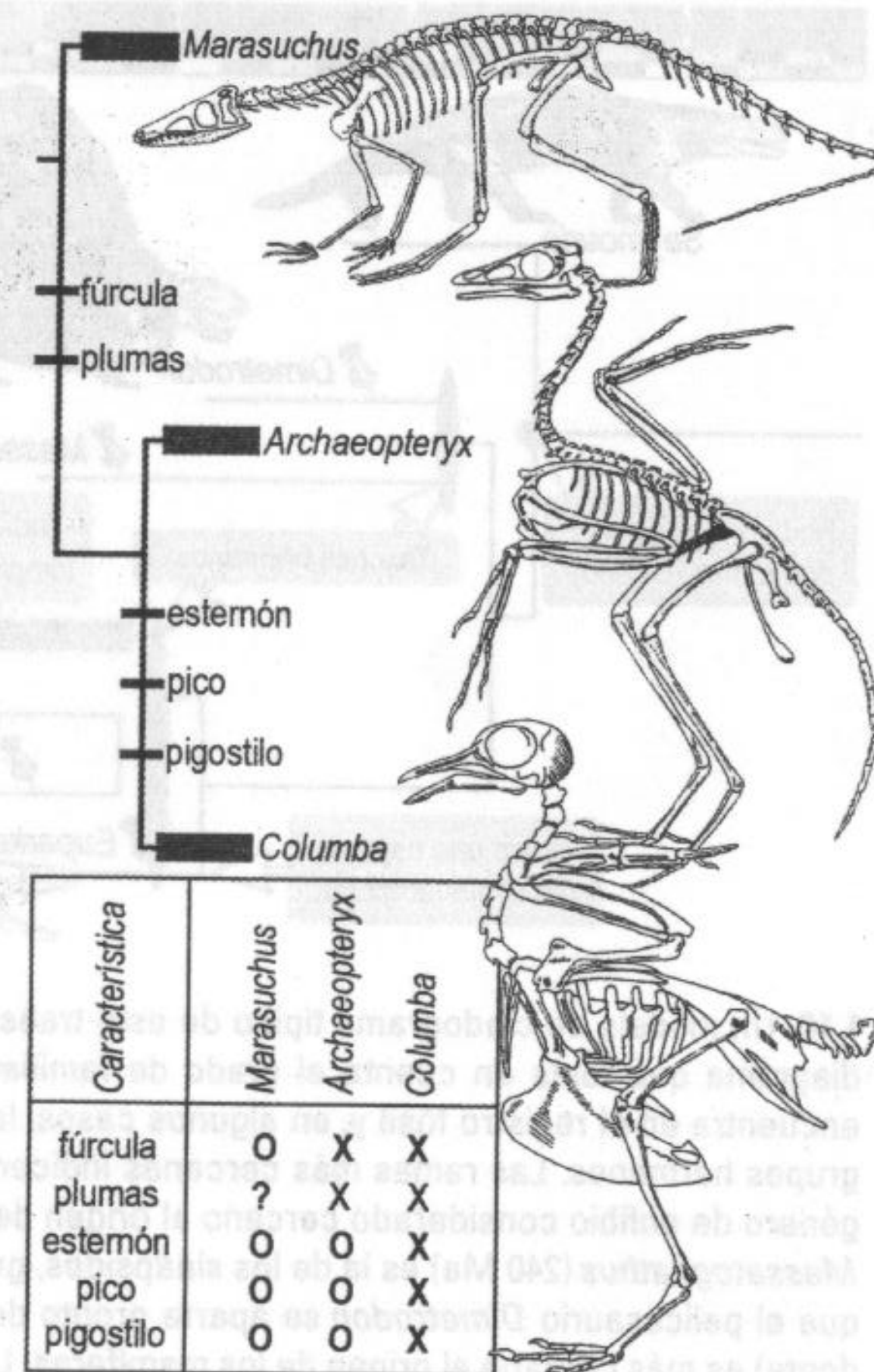
un eje el transcurso del tiempo en escala de períodos geológicos.

El registro fósil es caprichoso. Se calcula que solo uno de cada millón de individuos puede preservarse como fósil, y este conteo puede subir hasta uno en 30 millones. Por ello, el hallazgo de un determinado fósil en una capa determinada no implica que no hubiera vivido desde mucho tiempo antes. Apenas significa que recién en ese momento se dieron las condiciones apropiadas para que se lograra su preservación. Por ello es que un "individuo relacionado al antecesor puede ser más joven que un individuo relacionado al descendiente", logrando fósiles de edad muy posterior a la verdadera apertura de las ramas (linajes fantasma).

La idea de hallar un "eslabón perdido" queda también desintegrada con la baja probabilidad de preservación de los fósiles. Es virtualmente imposible el hallazgo de la especie exacta que originó a un grupo posterior conocido. Además, en el caso de hallarla, muy difícilmente podríamos reconocerla. Por ello, no se puede hablar de haber hallado al "eslabón perdido" o al "ancestro de..." sino al "grupo hermano de..." o a una especie muy cercanamente emparentada.

En el mismo diagrama pueden convivir especies, géneros (*Herrerasaurus*) o grupos mayores (la clase pterosaurios). Una especie pudo vivir por algunos millones de años, mientras que un grupo por decenas de millones. El único requisito es que se trate de "grupos naturales" o "monofiléticos", cuyas relaciones sean lazos de sangre o parentesco. Además, todos los grupos deberán ser inclusivos, es decir, contener a todos sus descendientes, no importa lo que haya ocurrido con ellos ni cuánto se hayan diferenciado. El concepto es "¡Lo primero es la familia!"

1.9. Para construir un cladograma se buscan las características a ser comparadas y se indica la presencia o no de dicho carácter. En un ejemplo simple seleccionamos tres especies, dos extintas y una viviente. *Marasuchus* se encuentra como grupo hermano a todos los dinosaurios y tiene 240 Ma de antigüedad. *Archaeopteryx* es considerado la primera ave y tiene 150 Ma. *Columba livia* es la paloma actual. Las características seleccionadas para compararlas son: la existencia de un pico o una mandíbula con dientes; la existencia de plumas (aunque realmente desconocemos si *Marasuchus* las tenía o no); la fúrcula (ambas clavículas fusionadas); el esternón en el pecho (que de soporte a los músculos de vuelo) y el largo de la cola (el pigostilo en las aves modernas). La tabla resume la existencia o no de estas características en cada especie. El diagrama es una representación del grado de familiaridad a partir de estos caracteres. Basados en esta tabla, podemos concluir que *Archaeopteryx* está más relacionado con *Columba* que con *Marasuchus*. Los cladogramas que se usan en la investigación sistemática pueden incluir decenas de especies y centenares de características. Así, las relaciones sólo pueden ser resueltas mediante programas de computadora.



En síntesis, un grupo monofilético, el único válido para la clasificación actual, es aquel que comprende a una especie ancestral y a todos sus descendientes. Un grupo parafilético es aquel que comprende a una especie ancestral pero no a todos sus descendientes. Si nos paramos en una rama cualquiera del diagrama y abarcamos a todos los descendientes hacia la derecha, a esto se lo llama clado.

Para clarificar veamos algunos ejemplos. Al describir a *Archaeopteryx lithographica*, la primer ave, Thomas H. Huxley (1825-1895), principal discípulo de Darwin, había establecido ya que derivaba de un tipo de reptil, específicamente un dinosaurio carnívoro (terópodo). Sin embargo, al considerar categorías de máxima inclusividad, si esa especie es descendiente de un reptil, ES un reptil.

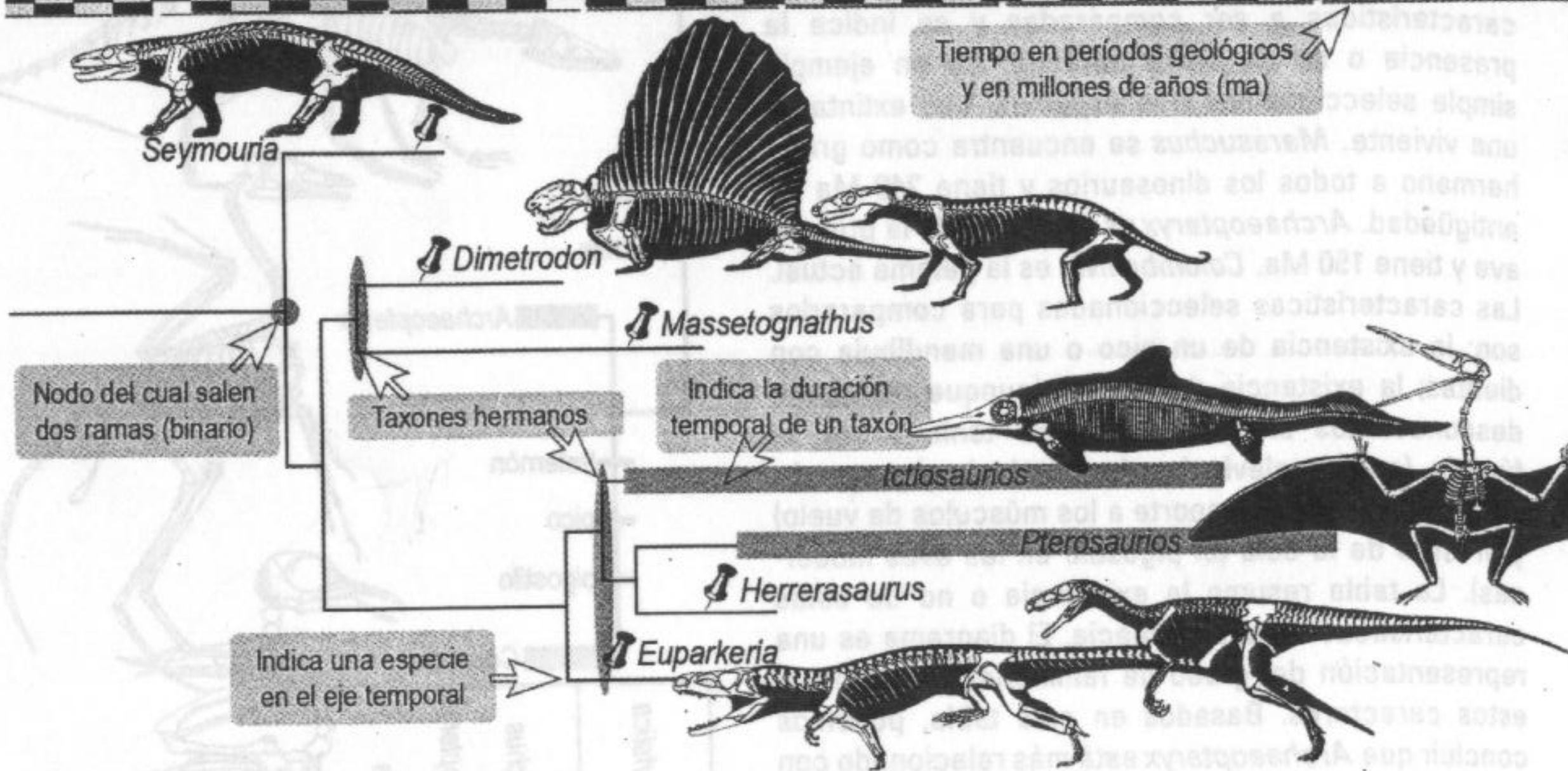
Por ejemplo, para una persona de apellido González toda su descendencia lo seguirá siendo, no importa que sepa su apellido o no, o si por ser mujer haya usado el apellido de su marido. Igual seguirá siendo González. Si no incluyéramos a las aves, hablar de reptiles no tendría sentido, sería un grupo parafilético y, por ello, no válido en la clasificación moderna.

Del mismo modo los anfibios ya no son un grupo válido pues no pueden incluir a los reptiles, que provienen de un grupo de anfibios. Los peces tampoco son un grupo válido ya que deberían incluir a los peces de aletas

lobuladas (sarcopterigios), entre los que nos hallamos los vertebrados terrestres (tetrápodos), y tampoco los invertebrados son válidos ya que de un grupo de ellos surgen los vertebrados. En cambio, sí son válidos los subgrupos de ellos que no incluyen grandes categorías incompatibles, como por ejemplo los tiburones, rayas y holocéfalos (condrictios) dentro de los peces.

Otro ejemplo. Nosotros somos homínidos, pero también somos primates, y también arcontos y placentarios y mamíferos, y de hecho sinápsidos y amniotas y tetrápodos y vertebrados. Asimismo, somos animales y, por supuesto, seres vivos. Esto es así porque todas esas categorías son máximamente inclusivas y no admiten que ninguno de sus descendientes quede afuera, no importa qué tan diferentes hayan llegado a ser a lo largo de los millones de años de evolución que llevan en sus genes.

En el caso de las aves, todas ellas forman el grupo Avialae, que a la vez constituye un subconjunto de dinosaurios terópodos, y arcosaurios, diápsidos, reptiles y, como nosotros, amniotas, tetrápodos y vertebrados. Así, el concepto de reptiles se ha redefinido en los últimos treinta años incluyendo a las aves y excluyendo a los



1.10. Un modelo de cladograma típico de este trabajo. Muestra la evolución de especies y grupos en un mismo diagrama que toma en cuenta el grado de familiaridad, el momento de separación, el tiempo en que se encuentra en el registro fósil y, en algunos casos, la abundancia. Cada rama al llegar a un nodo se abre en dos grupos hermanos. Las ramas más cercanas indican un mayor grado de parentesco. *Seymouria* (300 Ma) es un género de anfibio considerado cercano al origen de los reptiles. La línea que incluye a *Dimetrodon* (290 Ma) y a *Massetognathus* (240 Ma) es la de los sinápsidos, grupo al que pertenecemos nosotros, los mamíferos. Mientras que el pelicosaurio *Dimetrodon* se aparta pronto de nuestro linaje, el traversodonte *Massetognathus* (un cinodonte) es más cercano al origen de los mamíferos. Los mamíferos no se han incluido en el cladograma ya que no necesitan estar todas las especies, sino las que nos interesa evaluar. El grupo sobre la línea inferior representa a los reptiles, de los que se muestra a los arcosaurios. *Euparkeria* (245 Ma) es una forma temprana de esa línea de reptiles, así como lo son los ictiosaurios (reptiles marinos). Junto a estos últimos, los pterosaurios (reptiles voladores) permanecen por casi todo el Mesozoico. *Herrerasaurus* (230 Ma) es considerado uno de los primeros dinosaurios terópodos.

primeros sinápsidos (los mal llamados reptiles mamíferos), entre los que nos hallamos los mamíferos. Así, el grupo Reptilia sigue siendo válido y monofilético.

Algunos investigadores no dan importancia a que cada especie es apenas un punto emergente de una larga línea y trabajan apenas con la última capa de una inmensa torta de hojaldre geológico como una "fotografía" de las especies actuales. Entonces, las agrupan en la forma tradicional utilizando las categorías creadas por Lineo: clase-orden-familia-género.

Sin embargo, describir las relaciones de parentesco entre las especies observando sólo a las actuales supone hablar de las características de una torta de casamiento con sólo observar el milímetro de cobertura de chocolate

que la cubre, o describir el interior del Palacio de Versalles espiando por la cerradura de la puerta de entrada.

En cambio, si se aplica una visión de toda la evolución es posible agruparlas de otra forma. Muchos de los defensores radicales del cladismo sugieren abandonar las categorías de Lineo mediante una nueva nomenclatura taxonómica filogenética y considerar a los agrupamientos, sin importar las categorías, como grupos monofiléticos (clados), sin importar si hablamos de una especie o de cientos de ellas.

Sin embargo, la cladística no está exceptuada de adversidades. Algunos argumentos que la comprometen se exponen en el apartado "Problemas con el cladograma".

Problemas con el Cladograma

Para interpretar las relaciones de parentesco entre los organismos se utilizan métodos que impliquen el menor grado de subjetividad posible de parte del investigador. Entre éstos destaca la cladística, que evalúa las relaciones filogenéticas de acuerdo a características morfológicas o moleculares. Los resultados se grafican en un árbol dicotómico conocido como "cladograma".

Los cladogramas representan gráficamente el conocimiento que poseemos de la Historia Natural. Como hipótesis, los árboles resultantes de un análisis son relativamente inestables. Nuevos estudios generan nuevas evidencias, nuevas hipótesis y quizás muchos cladogramas. Los datos provenientes de los estudios de ADN están modificando las ideas que se tienen sobre la evolución de varios grupos de seres vivos. Los análisis morfológicos (base de la clasificación tradicional) y los moleculares (los nuevos estudios del ADN) deberán utilizarse de forma complementaria como evidencia total.

Un tema de conflicto es el de las características que han aparecido y desaparecido (reversiones). En esos casos debe analizarse la información conflictiva con algún método que nos permita decidir. El más usado es el principio de Parsimonia. Por ejemplo, *Patagopteryx* fue un ave del Cretácico de Argentina que no podía volar, pero evolucionó a partir de aves que volaban, que a su vez evolucionaron de dinosaurios que presuntamente no podían volar (aunque es muy posible que dinosaurios relacionados a las aves hayan adquirido independientemente el vuelo). El principio de parsimonia, aplicado a esta característica, podría sugerir que *Patagopteryx* evolucionó de un dinosaurio no aviano en línea directa sin compartir un ancestro común con las demás aves. Sin embargo, con respecto a la posición filogenética de *Patagopteryx deferraris*, Luis Chiappe y otros investigadores afirman, de acuerdo los análisis de varios cientos de caracteres, que *Patagopteryx* comparte una historia común con otras aves, lo que es un claro ejemplo de las ventajas de aplicar el cladismo.

¿Por qué es obligatorio el modo más parsimonioso? La naturaleza puede seguir caminos que no involucran el menor número de pasos. Las herramientas para formar cladogramas son importadas de los modelos matemáticos realizados para

minimizar la cantidad de cables en las redes telefónicas. En esa actividad la economía de caminos es importante, se traduce en dinero. Pero la evolución no está obligada a seguir el camino más económico, no sabe con anticipación cual es el camino, porque no tiene un fin determinado. Se rige por el azar, la contingencia y la selección natural de acuerdo a un momento, lugar y ambiente puntual. Sin embargo, sin el uso de la parsimonia a nosotros no nos sería posible distinguir entre varios caminos alternativos.

Otro concepto en conflicto es el mismo diagrama de árbol ya que de cada nodo surgen dos ramas y está prohibido el cruzamiento entre ramas. En la evolución podrían existir puntos de cruzamiento, por ejemplo, en las plantas con flor. El diagrama de árbol también ignora la evolución dentro de una misma especie, la generación permanente de diversidad que constituye el motor de la evolución; si no aparece otra especie distinta no queda indicada en el diagrama.

La concepción dicotómica de la división de las ramas es también un requisito para el cladismo. Sin embargo, la naturaleza puede funcionar de otro modo. Una misma población puede escindirse en más de dos especies en las diferentes áreas que abarca su distribución original.

El momento temporal de la cladogénesis, es decir, la posición de un nodo y la apertura en dos ramas es relativamente arbitraria y se estima de acuerdo a diferentes aproximaciones, ya que el proceso es un casi-continuo, generación tras generación. Nuevos avances en estudio incorporan la posibilidad de árboles con reticulación con el fin de evaluar esas posibilidades.

La introducción de datos de la biología molecular incluye un gran número de caracteres que a veces superan a los de la observación directa del organismo.

Considerando que la tasa de cambios molecular es constante, el diagrama de árbol puede graficarse sobre un eje temporal brindando aproximaciones para los momentos de cladogénesis.

Este trabajo, utiliza el diagrama de árbol, la cladística y el reloj molecular.

En síntesis, la cladística parte de varios supuestos que, aunque pueden no ser necesariamente reales en la naturaleza, son imprescindibles para que el

método funcione. Los más importantes a los fines de este comentario son:

- División dicotómica de las ramas.
- Principio de Parsimonia.
- Los ancestros siempre se considerarán hipotéticos por la escasez del registro fósil.

- La debilidad del método parte de la subjetividad del investigador al estudiar con más detalle taxones particulares o segmentos anatómicos determinados y en la decisión de utilizar o no caracteres en una secuencia evolutiva supuesta por el investigador.



Anexo: La evolución en acción

Las extinciones en masa

A1. Una fuerza evolutiva trascendental

Se ha calculado que desde la aparición de la vida sobre la Tierra han existido cerca de 30.000 millones de especies. Una especie tiene un período de vida promedio de unos 4 Ma. Si hoy día existen unos 30 millones, significa que 99,9% de especies han desaparecido. Lo que motivó el comentario: "en una primera aproximación estadística todas las especies han desaparecido".

Visto de esta forma la extinción es un hecho más común y normal de lo que la intuición nos indica. Desde el punto de vista del biólogo conservacionista la extinción es una catástrofe, pero desde la perspectiva de la evolución es una oportunidad para nuevas especies. La selección natural es un mecanismo por el cual se produce el exterminio de individuos dentro de las especies. Esto redundaría en una selección dentro de un hábitat que se manifiesta en especies beneficiadas, que se

propagarán y diversificarán, y otras perjudicadas que se extinguirán.

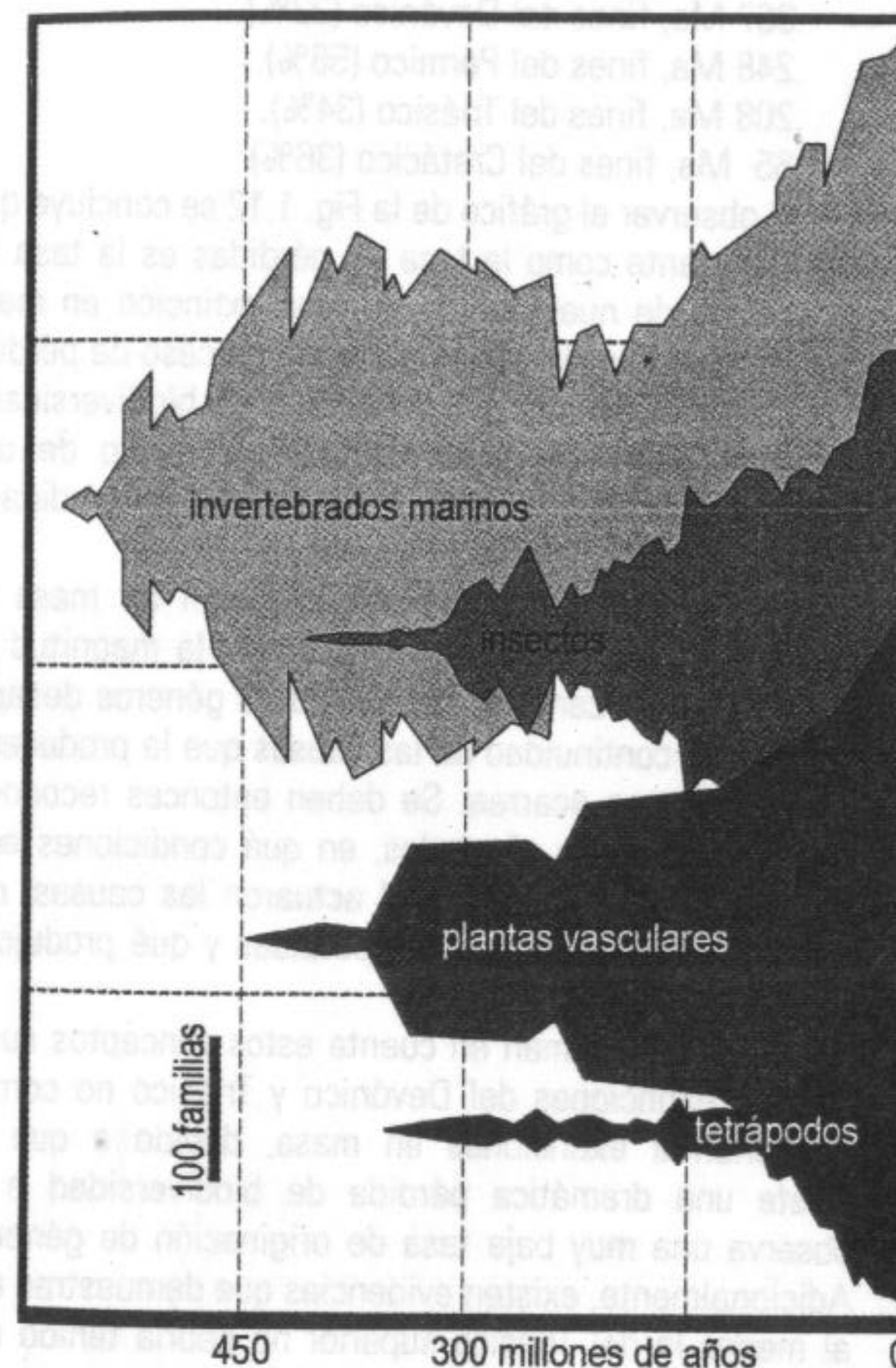
Este efecto a lo largo del tiempo, se presenta como una tasa de "extinciones básicas" dirigida por la selección natural y los cambios ambientales. Es lo que conocemos como "extinción de fondo". Si además tenemos en cuenta la aparición de nuevas especies, se obtendrá un diagrama de la cantidad de especies en un momento determinado de la historia, algo semejante a una tasa de mortalidad y natalidad pero aplicada a especies.

El problema es que, aunque podamos decir cuántas especies se extinguen por hora, no sabemos cuántas se originan, por lo desconocemos cuándo la situación se torna crítica.

Cuando se observa un gráfico del número de especies, géneros o familias a lo largo del tiempo, se alcanzan a distinguir momentos de "extinciones en masa". Se trata de episodios puntuales que producen un incremento abrupto en la tasa de extinción de las especies. Las variaciones del número de especies se muestran como períodos de extinción y generación básica, con breves interrupciones gobernados por una extinción en masa y seguidos de una explosión en la diversidad de géneros, correspondiente a radiaciones adaptativas (Fig. 1.11).

Se han identificado cinco grandes eventos de extinciones en masa. El más conocido ocurrió hace 65 Ma (es el límite entre los períodos Cretácico y Paleógeno en el Cenozoico, conocido como "límite KP"). Pero, el más profundo ocurrió hace unos 251 Ma, marcando el límite entre los períodos Pérmico-Triásico. Cerca del 85% de las especies se extinguieron en los océanos de ese momento, también el 70% de los vertebrados terrestres y además se produjo una reducción significativa en las plantas e insectos.

Las extinciones en masa y los períodos de recuperación juegan un rol fundamental en la diversidad y, consecuentemente, en la evolución, comparable en



1.11. Gráfico que incluye la cantidad de familias de organismos pluricelulares según los distintos grupos vivientes. Comparados sobre una misma escala se puede apreciar el momento de aparición y su historia evolutiva. Los invertebrados marinos son los más antiguos y numerosos. Sin embargo, el gráfico está sesgado hacia quienes mejor se preservan en el registro fósil.

importancia a la selección natural. Se ha dicho que durante las extinciones masivas el mecanismo de selección natural... queda interrumpido hasta nuevo aviso!

Las extinciones en masa no hacen distinción entre especies bien o mal adaptadas a un ambiente determinado, o entre especialistas y generalistas. No son los mejor adaptados (llamados los "dominantes") los que emergen del evento. Puede que en algunos casos la supervivencia a la extinción tenga que ver con ser generalista, es decir, con tener pocas pretensiones climáticas, alimentarias, etc., pero en general, el factor decisivo es el azar.

De acuerdo a la propuesta de Eldredge y Gould (1977), las extinciones en masa podrían desempeñar un papel importante en la evolución, como disparadores de nuevas radiaciones adaptativas. De estos grandes cambios surgirían en el largo plazo, a lo largo del Triásico, los lepidosaurios, que incluyen a los lagartos, serpientes y tuataras, y también a los mamíferos, los dinosaurios y las tortugas.

La extinción generó una reorganización masiva del ecosistema completo. Tras la extinción del Pérmico, los reptiles se diversificaron fuertemente y diferenciaron en nuevas líneas (cocodrilos, dinosaurios, pterosaurios, etc.). Tras la extinción del Cretácico, los dinosaurios (con la excepción de las aves) son los que se extinguieron y los mamíferos aprovecharon las zonas adaptativas vacías.

Las extinciones en masa no vuelven a cero el reloj de la historia evolutiva. Las cosas no empiezan de nuevo. De hecho, si durante una extinción masiva desaparece un gran grupo o filo (del latín *phylum*) como los artrópodos o los vertebrados, ya no surgirá de nuevo. De hecho, los mecanismos evolutivos actuarán sobre los sobrevivientes, un grupo limitado de filos (o *phyla*). Así, durante la primera gran radiación de la vida pluricelular en el período Cámbrico se originaron numerosos filos. Tras las numerosas extinciones ocurridas en la historia de la vida, solo quedamos unos pocos compañeros de viaje en el mundo. ¿Es entonces nuestro mundo más diverso ahora que en el Cámbrico?

Por ejemplo, salvo en el período Cámbrico, nunca en el futuro aparecieron nuevos filos (como los artrópodos y vertebrados) en el reino animal. Analizamos este interesante tema junto con la evolución temprana de los animales en el capítulo 6.

El rol creativo de la extinción en masa se muestra en la diversificación exuberante que ocurre al desaparecer las causas que la motivaron. Por ejemplo, durante el Pérmico los mares someros estaban mayormente dominados por animales inmóviles que se fijaban al fondo (eran filtradores o esperaban a las presas). Los

animales activos fueron los grandes beneficiados por el exterminio en masa. Esta transformación ecológica constituye una línea divisoria entre la era Paleozoica y la Mesozoica.

A2. Las 5 grandes extinciones

Desde los años 80 se ha generado una base de datos suficientemente importante como para medir la tasa de extinción y generación de géneros con intervalos pequeños, por ejemplo de 5 Ma. Disponer de "grandes números" es lo que permite el estudio estadístico confiable.

Por ejemplo, si al inicio del período (cinco primeros millones de años) se han contabilizado 500 géneros y al final 600, la ganancia neta es del 20%. En cambio, si cae de 600 a 500 la pérdida es de -16,7%. Se ha definido el "umbral arbitrario" (solo para mantener los nombres históricos) de -13% por debajo del cual se dice que se trata del rango de extinción "normal" o "de fondo". Quedan entonces fuera de este umbral las cinco extinciones en masa. La fecha y la proporción de pérdida de géneros es la siguiente:

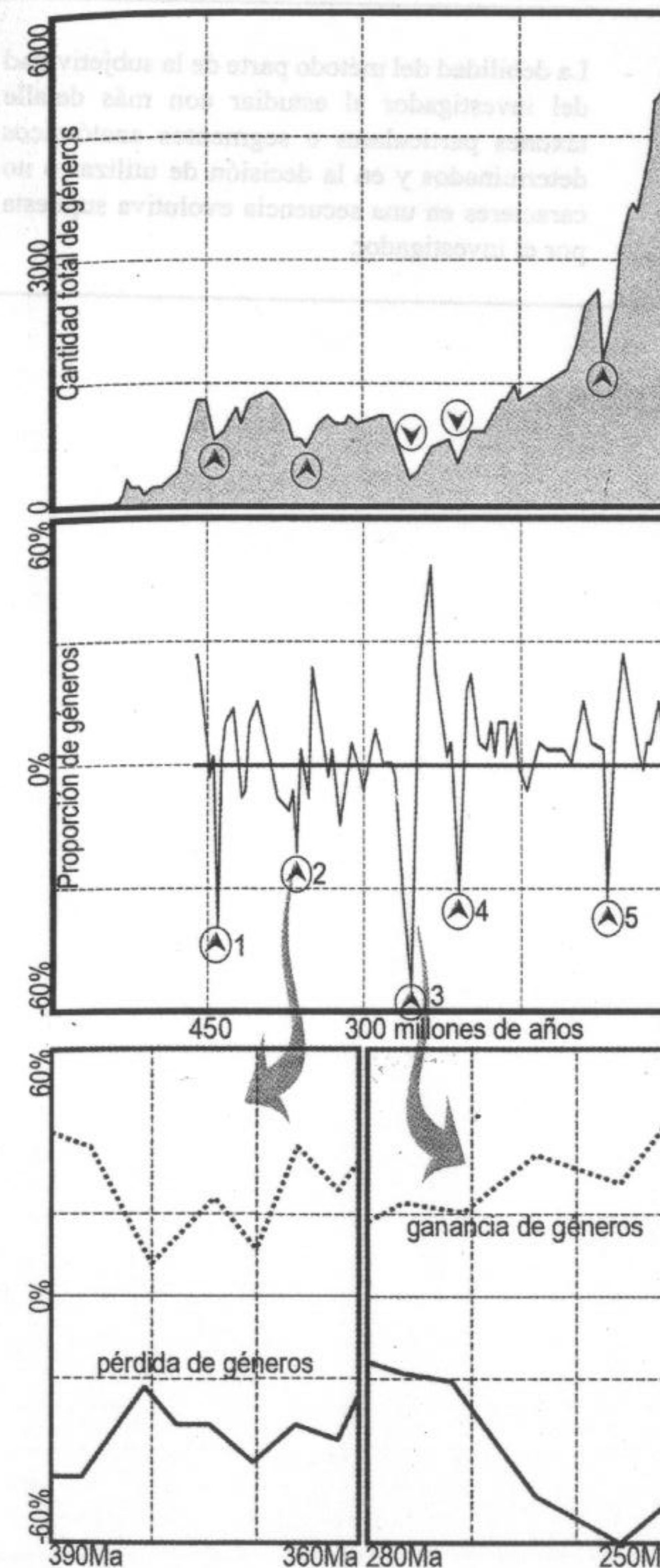
- .438 Ma, fines del Ordovícico (42%).
- .367 Ma, fines del Devónico (22%).
- .248 Ma, fines del Pérmico (58%).
- .208 Ma, fines del Triásico (34%).
- .65 Ma, fines del Cretácico (36%).

Al observar el gráfico de la Fig. 1.12 se concluye que tan importante como la tasa de pérdidas es la tasa de generación de nueva vida. Así, una extinción en masa pudo haber ocurrido por un profundo proceso de pérdida o por una inadecuada recuperación de la biodiversidad.

¿Qué diferencia a la extinción de fondo de una extinción en masa, además de la cantidad de pérdidas?: la calidad de las pérdidas.

Para poder identificar una extinción en masa se deben tener en cuenta tres conceptos: la magnitud de la extinción (la cantidad de familias o géneros desaparecidos); la continuidad de las causas que la producen y los efectos que acarrea. Se deben entonces reconocer qué grupos fueron afectados, en qué condiciones ecológicas, con qué selectividad actuaron las causas, con qué intensidad se dieron las pérdidas y qué produjo la recuperación.

Cuando se toman en cuenta estos conceptos surge que las extinciones del Devónico y Triásico no corresponderían a extinciones en masa, debido a que no existe una dramática pérdida de biodiversidad o se observa una muy baja tasa de originación de géneros. Adicionalmente, existen evidencias que demuestran que al menos la del Triásico superior no habría tenido una distribución global.



Teniendo en cuenta que la tasa de ganancia y pérdida de géneros es diferente en cada extinción en masa, es razonable pensar que las causas fueron diferentes. Una sola causa no es suficiente y se requiere la combinación de varias para explicar las extinciones en masa.

Las causas incluyen variantes y combinaciones de las siguientes catástrofes: un cuerpo extraterrestre que

1.12. El valor acumulado de cantidad de géneros de animales a lo largo de la historia (gráfico superior) muestra una tendencia casi constante (con fuertes fluctuaciones) durante un largo período. En el Cenozoico la diversidad se incrementa rápidamente. Debajo, se muestra la relación entre la ganancia y pérdida del número de géneros en períodos de 5 Ma. Se distinguen 5 grandes momentos donde las pérdidas superaron ampliamente a las ganancias. Una ampliación en los eventos (2) y (3) con un entorno de 30 Ma permite observar que ocurre en una extinción en masa. Una hipótesis indica que las extinciones tienen una periodicidad de 26 Ma. La hipótesis de Némesis propone la existencia de una estrella gemela a nuestro sol, que se acercaría al Sistema Solar cada 26 Ma causando desequilibrios y extinciones masivas.

chocó con la Tierra; cambios climáticos (nivel de oxígeno, dióxido de carbono, temperatura global o glaciaciones); alteraciones y cambios en la circulación de los océanos y la atmósfera debido a la agregación y dispersión de los continentes; erupciones volcánicas a gran escala; propagación de enfermedades o la aparición en gran número de especies competidoras, entre otras posibles.

La interrelación entre causas es poco conocida, pero queda claro que en un sistema relativamente cerrado como la Tierra, si el carbono es retenido por los organismos, habrá menos en el aire, lo que reducirá el "efecto invernadero" y enfriará al planeta. Todo se interrelaciona.

Las extinciones masivas son de corta duración. Parece ser que el período de decadencia es corto y la recuperación lenta, aunque también debe considerarse el margen de error en la medida del tiempo geológico, que a veces implica cientos de miles de años.

Entre todas las extinciones masivas, destacan la del límite Permo-Triásico (251 Ma) y la del límite Cretácico-Paleógeno (65 Ma).

La extinción del Pérmico (251 Ma)

Al final del Pérmico se produjo la más importante pérdida de organismos vivos de la Historia Natural. Desaparecieron cerca del 13% de las clases, 17% de los órdenes, 50% de familias, 60% de géneros y entre 80 y 95% de especies. Casi 90% de especies marinas con concha, 78% de reptiles y 70% de anfibios. La gran proporción de extinciones entre organismos con conchas de calcio indica que no se trata de una extinción de tipo aleatoria.

En el Pérmico se extinguieron los organismos mari-

nos fijos y se expandieron luego los móviles. También la fauna de insectos se vio afectada (30% de los órdenes se extinguieron). Es la única extinción que afectó seriamente a los insectos, quizás por el gran efecto que tuvo sobre las plantas terrestres. Los insectos, debido a su corto período de vida, pueden reponerse rápidamente de pérdidas y extinciones.

Asimismo, la extinción constituyó un evento disparador de nuevas formas. Éstas, desarrolladas a partir de un stock de sobrevivientes, radiaron ocupando gran parte de las zonas adaptativas que aprovecharan previamente otras especies. Luego de esta extinción se produjo una recuperación entre dos grupos muy importantes de vertebrados, los arcosaurios, de entre quienes surgieron luego dinosaurios y los sinápsidos, de entre quienes surgirán los mamíferos. Esta historia duró 30 Ma y está reflejada en las rocas de la Formación Ischigualasto. Veremos esto en el capítulo 9.

Las explicaciones ampliamente difundidas sobre la extinción del Permo-triásico involucran meteoritos, descenso del nivel del mar y extensivos eventos volcánicos en Siberia.

Hacia mediados del Pérmico, la tectónica de los continentes condujo a la formación de un supercontinente único: Pangea (ver capítulo 2). La enorme masa interrumpía y modificaba la circulación oceánica y atmosférica global y los vientos costeros cargados de humedad se iban hacia los polos, dejando al interior bajo el reinado de los desiertos y sus temperaturas extremas (entre los -50°C y los 50°C).

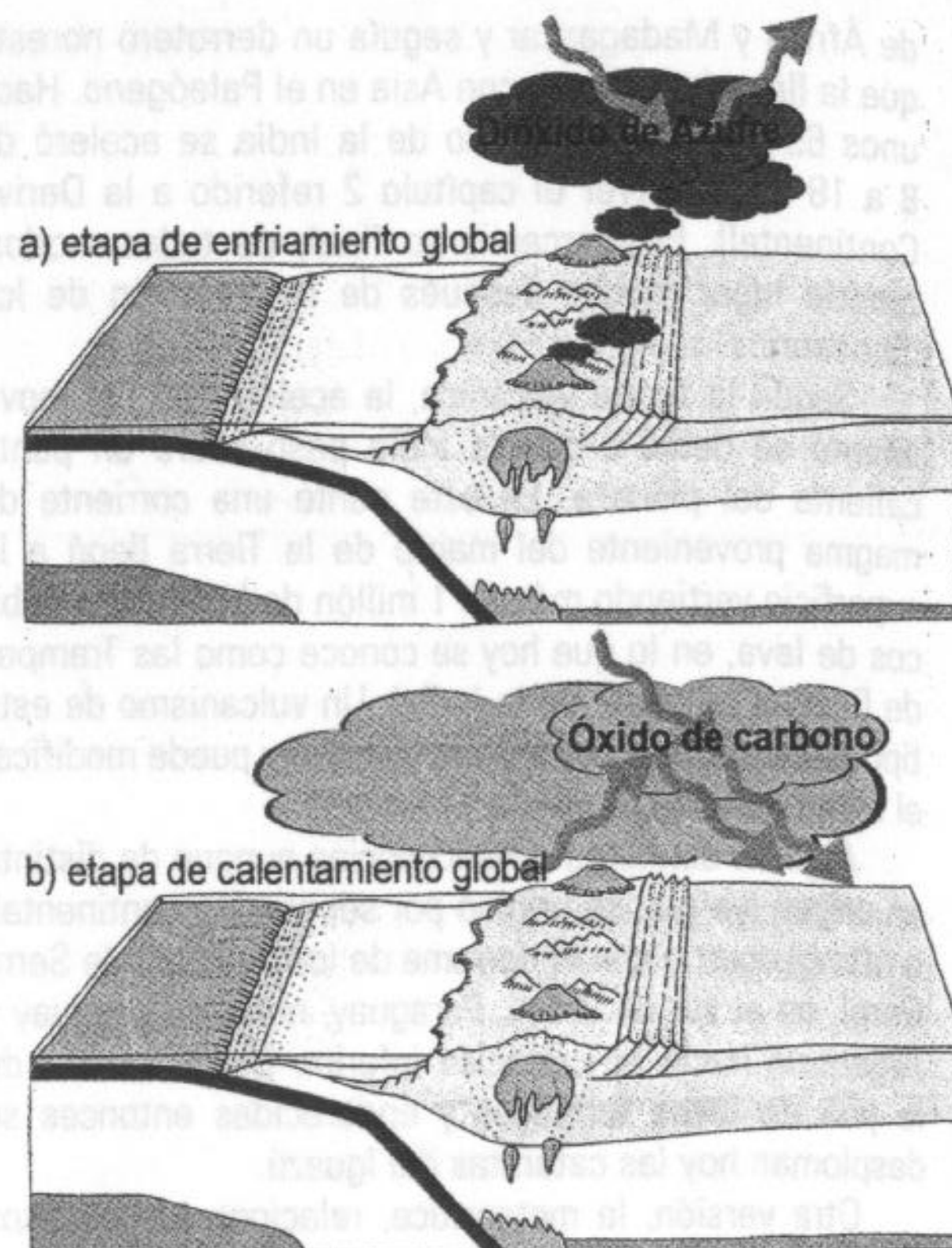
Las zonas polares, que recibían los vientos húmedos a una temperatura baja, comenzaron a helarse y las evidencias de aquella glaciación se ven en Sudáfrica y en Australia.

El período glaciario generó un marcado descenso del nivel de los océanos, que aumentaron su salinidad y disminuyeron el nivel de oxígeno (un fenómeno llamado anoxia). El ciclo del carbono en la atmósfera y los océanos habría sufrido entonces un profundo cambio.

La erosión aumentó y también la oxidación de la materia orgánica expuesta en los fondos bajos, reduciendo el oxígeno disponible y aumentando el dióxido de carbono en la atmósfera, lo que conduciría pronto a aumentar el efecto invernadero. Esta fue una primera ola de catástrofes.

Con el nuevo calentamiento, llegó el deshielo. Cuando el mar volvió a subir debido a la pérdida de los glaciares, inundó las comunidades costeras y produjo una segunda fase de exterminio.

Simultáneamente tenía lugar una época de gran actividad volcánica relacionada a la reunión de continentes, por lo que un descomunal volumen de lava se volcó



1.13. El efecto del vulcanismo sobre la atmósfera como posible causa de las extinciones en masa. Las erupciones tienen un efecto amplio sobre el clima, donde el primero es el enfriamiento y más tarde el calentamiento global. Inicialmente, el polvo y el azufre (en forma de dióxido de azufre) eyectados en la alta atmósfera rechazan la radiación solar y contribuyen al enfriamiento por algunos años de la superficie terrestre. Luego, el dióxido de azufre en suspensión se combina con el agua y se precipita como una lluvia ácida, que afecta a la vida. Se incrementan los incendios, lo que atentan contra la capa de ozono y disminuye la protección contra los rayos ultravioleta UV. A mayor largo plazo, el azufre sedimenta en tierra pero el dióxido de azufre emitido por el vulcanismo permanece, contribuyendo al efecto invernadero y el calentamiento global.

sobre lo que hoy es Siberia (Fig. 1.13). En la Argentina, la etapa volcánica tuvo un importantísimo capítulo: el evento conocido como Choiyoi, extendido entre fines del Pérmico y con una continuación austral incluso en el Jurásico (Chon Aike).

Este evento tuvo consecuencias catastróficas para la biota diezmando especies y probablemente extendiendo sus consecuencias a escala planetaria. El evento Choiyoi

habría sido parcialmente responsable de la serie de extinciones que acaecieron entonces.

De todos modos, la hipótesis más probable que justifica la extinción del Pérmico es una combinación de factores convergentes. En la extinción del Pérmico no se encuentran niveles altos de concentración de Iridio, como en el caso del Cretácico. Esto excluye la hipótesis del choque de un meteorito, aunque recientemente se ha detectado una anomalía de cromio que hizo resurgir la idea.

La extinción del Pérmico sería entonces resultado de tres acontecimientos: el descenso del nivel del mar primero, luego las erupciones volcánicas de Siberia y finalmente el aumento del nivel del mar. Estos cambios sucesivos en un corto período de tiempo exterminaron a diferentes comunidades vivientes en etapas muy próximas entre sí.

Los problemas interpretativos de este escenario son diversos. Se ha sugerido la existencia de un período de anoxia en los océanos, pero la evidencia es limitada. Se ha planteado también que el vulcanismo en Siberia podría haber descargado una gran cantidad de aerosoles de azufre que inició un período de calentamiento global. Lo que resulta extraño para algunos es que este tipo de acontecimientos, que probablemente ocurrió en forma frecuente a lo largo de la historia, no llevara a extinciones en masa en forma más frecuente.

Para determinar lo abrupto de una extinción en masa se requiere de un cuidadoso conocimiento del funcionamiento de los actuales ecosistemas y un detallado análisis de los fósiles (que describen la magnitud de la extinción) y de la estratigrafía (que mide la velocidad de lo ocurrido). Como la acumulación de materiales no es lineal en la historia, conocer los intervalos estratigráficos de corta duración es muy difícil.

Por ejemplo, cuando se utilizó la técnica de datación radiométrica o por desintegración atómica en estratos en Meishan (China), se encontró que el límite superior del Pérmico, coincidente con el momento de la extinción, está registrado en un espesor de 4 cm, lo que corresponde en tiempo a menos de 100.000 años. Este corto período es similar al observado en la extinción del Cretácico (65 Ma). La tasa estimada para la recuperación de esta catástrofe fue cercana a 5 Ma en ambos casos. Así que esta recuperación lenta sugiere que el medio ambiente quedó perturbado por un largo período de tiempo luego de una interrupción abrupta de las relaciones tróficas, es decir, alimentarias, entre los distintos organismos. Adicionalmente, se registra allí un pico fúngico. Es decir, que una enorme cantidad de hongos se aprovecharon de una descomunal cantidad de materia orgánica muerta.

La extinción de Cretácico (65 Ma)

Este acontecimiento es el más famoso de los eventos de extinción debido a que produjo el exterminio de los dinosaurios no avianos y por participar del evento la caída de un meteorito en Yucatán, México. Pero, como veremos, aun se tienen algunas dudas sobre si fue la única causa.

Existe una disyuntiva entre quienes suponen una extinción abrupta y otra gradual. La hipótesis de la extinción abrupta propone el impacto de un asteroide como inicio de una cadena de acontecimientos que llevó a la extinción en masa, en cambio la de la extinción gradual, supone que otras causas fueron las primordiales, a las que se sumó al impacto del meteorito produciendo la extinción en un período de tiempo mayor al estimado.

La hipótesis del meteorito fue propuesta en 1980 por Luís Álvarez. Existe un indicio geológico formado por una capa de iridio distribuida en todo el planeta. Fue encontrada por vez primera en las arcillas cretácicas de Gubbio, Italia, y demuestra que hace 65 Ma tuvo lugar el impacto de un asteroide (Fig. 1.14).

El iridio es muy raro en la superficie de la Tierra (más raro que el oro) debido a que durante la formación del planeta, este metal pesado fue a dar a las capas profundas. Sin embargo, en una delgada capa ubicada al final del Cretácico, su concentración es centenares o miles de veces mayor. El iridio está presente en mayor abundancia en los meteoritos, ya que estos no han tenido una etapa fluida ni actividad tectónica que lleve el iridio a profundidad. Por ello, se supone que la capa de iridio en la Tierra se habría producido por el impacto de uno de ellos.

Conducido por evidencias indirectas, como microfósiles de roca fundida y restos dejados por grandes marejadas en el sur de EEUU, Luis Álvarez y su equipo fueron cerrando el círculo en una minuciosa investigación en América Central. En los años 90 se encontró un cráter con un diámetro de 180 km y 2 km de profundidad situado al norte en la península de Yucatán (Chicxulub, México). En aquel momento esa área era un mar tropical de poca profundidad.

El cráter no es evidente hoy día (se ubica entre 1 y 2 km bajo el nivel del terreno) y se lo puede medir sólo mediante las anomalías magnéticas y gravitatorias que produce. El choque de meteoritos es frecuente en la Tierra. Pero, en tanto en la Luna las marcas se conservan por falta de atmósfera, en la Tierra fueron borradas gradualmente por la meteorización (lluvia y viento).

El choque habría producido inicialmente un incendio y luego un invierno a escala planetaria. Los incendios liberaron monóxido y dióxido de carbono en una cantidad

equivalente a 3.000 años del consumo de combustibles fósiles por los humanos. El invierno posterior fue producido por la nube de partículas contaminantes de azufre originadas por la vaporización de las rocas. Se ha estimado que por esta causa se produjo una reducción de la luz solar del 90% y una importante baja de temperatura. Es un caso similar al vulcanismo.

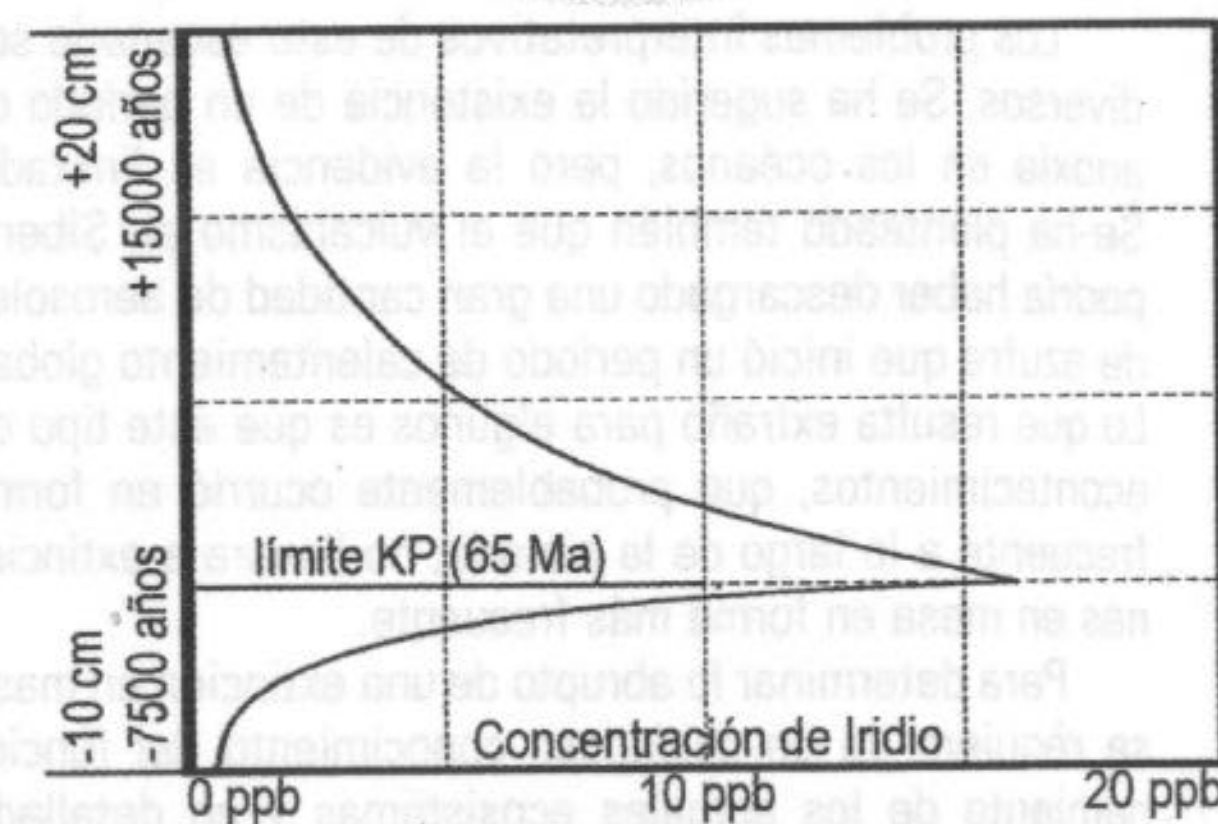
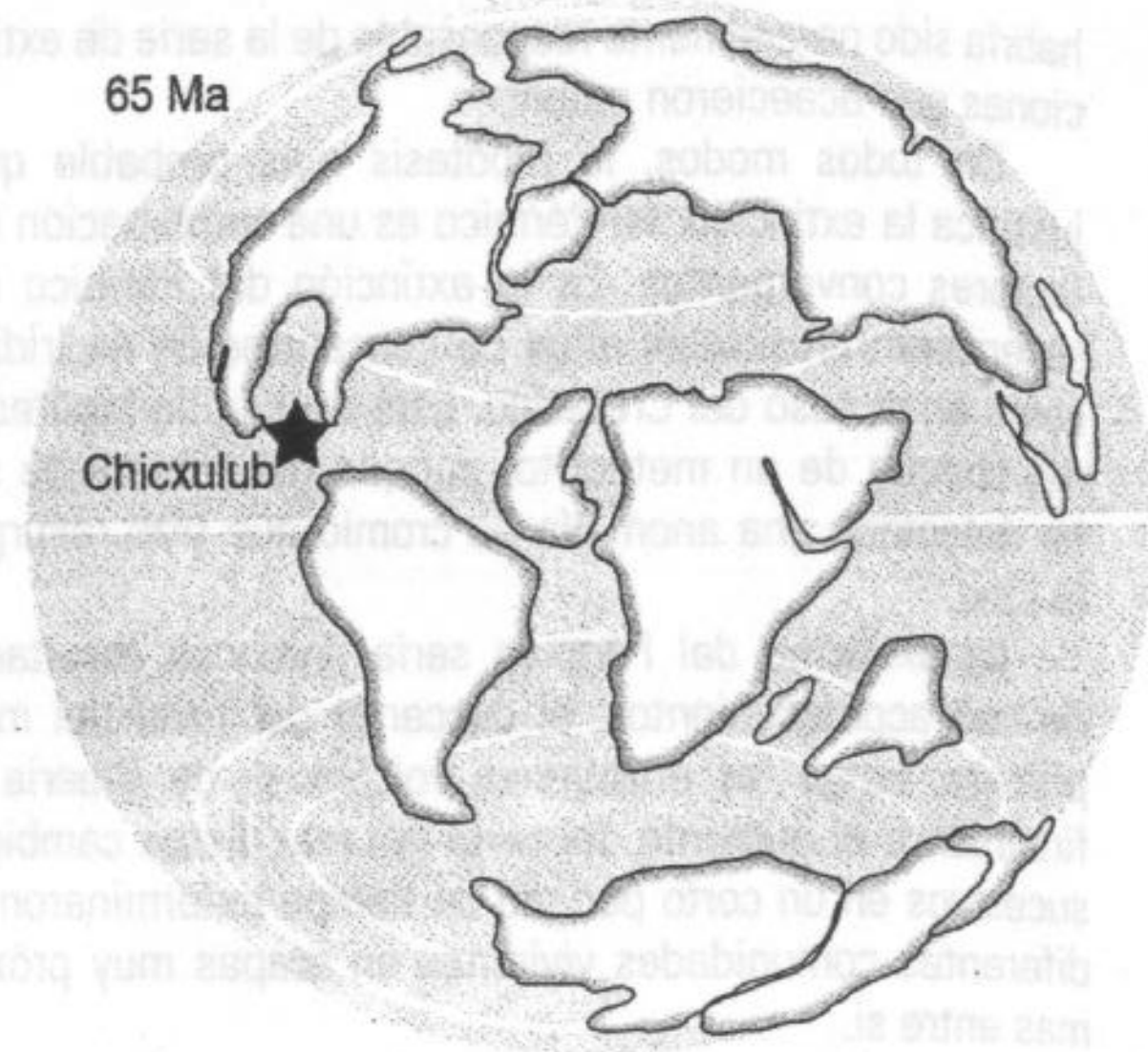
Por ejemplo, cuando se estudiaron sedimentos del antiguo Mar de Tethys en la actual Túnez se hallaron evidencias del descenso de la temperatura con el auxilio de una especie de amebas microscópicas, los foraminíferos, que secretan una conchilla en forma de caracol (*Cibicides*). Las espirales de estos organismos en aguas frías se dirigen a la izquierda y en aguas cálidas a la derecha. Luego del límite KP, comienza a aparecer un incremento de espirales izquierdas, lo que sugiere un rápido enfriamiento del mar cálido.

El estudio de microfósiles como los foraminíferos, entrega abundante información y no solo mediante la forma de la conchilla en espiral. La temperatura del océano se puede estimar también a partir de la proporción de las distintas formas o isótopos del oxígeno O-16 y O-18 en el carbonato de calcio. El O-18 se encuentra en proporción más elevada cuando el océano es frío. De forma que el cociente entre la proporción de ambos isótopos es un indicador de la temperatura global.

Sin embargo, existen aún dudas acerca de que el cráter de Yucatán sea el único responsable de la extinción en masa de hace 65 Ma. Para muchos, el cráter de impacto es muy pequeño, por lo que hay quienes propusieron que debe haber habido un impacto mayor, tal vez en otro lado, o tal vez todo el Golfo de México sea un monstruoso cráter de impacto. Recientemente, se publicó evidencia que señala que el cráter de Yucatán se formó 300.000 años antes de que desaparecieran los dinosaurios, por lo que un impacto mayor habría ocurrido casi medio millón de años después.

Además, muchas especies del plancton comenzaron a desaparecer antes del impacto, en tanto que los dinosaurios podrían hallarse ya en declinación por otras causas. De esta forma se abona la teoría gradualista de la extinción, donde el impacto del meteorito participa, pero no es la única causa.

Por ejemplo, se ha reportado el caso de una abeja tropical (*Cretotrigona prisca*) conservada en ámbar de fines de Cretácico. Este género logró superar la barrera del límite KP y son casi idénticas a las abejas modernas (*Dactylurina*). Esto es imposible en un ambiente de oscuridad y frío. Las abejas necesitan un rango de temperatura entre 31 y 34° C. Un descenso de temperatura de 2 a 7° C habría eliminado a las abejas. Sin embargo,



1.14. El lugar del impacto del meteorito que produjo la catástrofe hace 65 Ma en el actual México, correspondía a un mar tropical de escasa profundidad. La prueba de este impacto coincide con la concentración de iridio de rocas marinas en Gubbio (centro de Italia). Obsérvese que la concentración se encuentra en pocos centímetros de roca (menos de 25 cm) y corresponde a algunos miles de años en torno al límite KP (Cretácico-Paleógeno).

se estima que el impacto del meteorito habría producido un descenso de entre 7 y 12° C. ¿Cómo sería esto posible?

El infierno de Shiva

Entre las posibles causas que se han propuesto para sumar al meteorito se añade una intensa actividad volcánica de consecuencias globales que ocurrió en la región del Deccan (al oeste de la India).

Para aquella época la India se había separado ya

de África y Madagascar y seguía un derrotero noreste que la llevaría a chocar con Asia en el Paleógeno. Hace unos 69 Ma el movimiento de la India se aceleró de 8 a 18 cm/año (ver el capítulo 2 referido a la Deriva Continental). El acercamiento final, de todos modos, tendría lugar mucho después de la extinción de los dinosaurios.

Según la teoría volcánica, la aceleración del movimiento se debió a que la India pasó sobre un punto caliente del planeta. En este punto una corriente de magma proveniente del manto de la Tierra llegó a la superficie vertiendo más de 1 millón de kilómetros cúbicos de lava, en lo que hoy se conoce como las Trampas de Deccan (al oeste de la India). Un vulcanismo de este tipo emite dióxido de carbono y azufre y puede modificar el clima mundial.

Algo de similares consecuencias aunque de distinto origen (ya que se originó por separación continental, o rifting) ocurrió con el derrame de los basaltos de Serra Geral, en el sur de Brasil, Paraguay, norte de Uruguay y Argentina hacia el Cretácico inferior. Desde lo alto de la pila de lavas formadas y endurecidas entonces se desploman hoy las cataratas del Iguazú.

Otra versión, la meteorítica, relaciona los basaltos del Deccan con el impacto de un asteroide, mediante dos posibilidades. La primera es la que sostiene que, como consecuencia del impacto de Chicxulub, ondas sísmicas conocidas como de tipo P, (que se desplazan bajo la superficie del planeta sin ingresar a las capas más internas) haciendo carambola en los puntos que tocaron, convergieron en las antípodas (por donde en ese momento pasaba la India) provocando un punto caliente. Sin embargo, la mayor parte de los investigadores coinciden en que el vulcanismo de la India comenzó mucho antes de la caída del asteroide.

La otra versión dice que allí, al oeste de la India, habría caído un segundo asteroide, relacionado con el primero, ya que viajarían en convoy, como ocurre con asteroides vistos recientemente.

En los primeros años del siglo XXI se han realizado diferentes aportes (principalmente del análisis genético) que apuntan a demostrar que no existió un exterminio abrupto de los dinosaurios, ni que las aves y mamíferos radiaron luego en forma explosiva. Según nuevas evidencias, los dinosaurios venían languideciendo antes del límite KP y los mamíferos y aves actuales tuvieron su gran radiación adaptativa desde mucho antes, superando el límite de exterminio con pocas pérdidas.

El árbol genealógico muestra que los mamíferos con placenta y las aves actuales ya se habían dividido en muchos de los órdenes actuales en el período 100-

65 Ma. Estas evidencias apuntan a un mayor gradualismo en el recambio de la vida a fines del Cretácico.

Sin embargo, dado que estas evidencias se basan mayormente en estudios genéticos, es posible que muchas de las diferencias genéticas acumuladas no fueran acompañadas de un gran cambio en el tamaño o la forma, y que recién se manifestaran cuando la selección natural no incluyera a grandes predadores terrestres como los dinosaurios terópodos. Sobre las posibles causas de la extinción de los dinosaurios sugerimos leer el capítulo 12.

"La sexta extinción en masa"

Las extinciones en masa han sido recurrentes, pero solo cinco se han clasificado como tal por su magnitud. Es aceptado que nos encontramos en un período donde la pérdida creciente de especies puede llevar a una extinción en masa de características similares a las anteriores. Edward Wilson estimó que se están perdiendo cerca de 30.000 especies por año, sobre un total de 30 millones.

Pero el actual proceso de pérdida de especies se diferencia en las causas, las anteriores parecen haber sido físicas (meteoritos, vulcanismo, deriva continental), mientras que las presentes son causadas por los humanos, son bióticas.

Entre las causas actuales se encuentran la transformación del paisaje (mediante la agricultura y las construcciones), la sobreexplotación de pocas especies (como los monocultivos), la contaminación (por el uso de combustibles naturales y fósiles) y la introducción de especies exóticas. Todos esos factores son comparables a un intenso vulcanismo, que produce contaminación, transforma el paisaje, y provoca una reducción de los hábitats.

Los humanos afectaron al planeta en dos olas. La primera fue entre 100.000 y 10.000 años atrás con el exterminio de grandes especies, mientras se propagaban como cazadores-recolectores, la segunda se inició hace 10.000 años cuando aparecen la agricultura y las ciudades.

La agricultura es quizás el cambio ecológico más importante en la historia de la vida. Los espacios naturales se redujeron a favor de la superficie cultivable. Gracias a la agricultura los humanos se independizaron de la vida silvestre para sobrevivir y pudieron utilizar a otras especies para su provecho, primero mediante una selección artificial y actualmente mediante la manipulación genética.

De esta forma dejaron de estar limitados por la "capacidad de carga" que tienen los ecosistemas y pudieron sobrepoblar el ambiente. La revolución agrícola

es una declaración hostil a los ecosistemas forzándolos a un desbalance en el cual se producen monocultivos con muy limitada diversidad.

Desde nuestro punto de vista la Humanidad enfrenta dos alternativas. La primera se sustenta en las medidas de conservación de la vida natural, el fomento del desarrollo sostenible, la estabilización de la población humana y la adaptación de los patrones de consumo. Estas medidas pueden limitar el daño y quizás impedir que la Sexta Extinción se desarrolle hasta el punto de una extinción en masa.

La segunda es la continuación del actual camino,

que podría terminar con una extinción en masa de muchas especies silvestres y muy probablemente con la especie humana incluida.

Pero la vida ha demostrado que es increíblemente resiliente, después de la catástrofe humana la biodiversidad se recuperará lentamente en algunos millones de años.

Serán otros los actores, y distintos los ambientes. De entre los sobrevivientes la selección natural elegirá al nuevo elenco para la nueva obra de la vida. Esta es la enseñanza que nos deja el conocimiento de lo que ocurrió en las extinciones en masa del pasado.

Mas acá de Lamarck y la deriva continental

¡Lamarckianos modernos, os espera el Averno!

A pesar de que ningún biólogo o paleontólogo actual serio duda de la evolución, muchos se distraen al explicarla y bajo una delgada pátina de evolucionismo, emerge triunfante la figura de Jean Baptiste, caballero de Lamarck que, si bien fue un científico genial que defendió con ahínco la idea de que las especies se transformaban, equivocó cómo lo hacían. Muchos aún explican que: como empezó a hacer frío, el elefante se hizo peludo "para" mantenerse calentito; que como el Sahara se hizo desierto, al camello le salieron dos jorobas "para" almacenar agua y como en el Devónico hubo sequías, a los peces les salieron patas y pudieron moverse en tierra firme.

Uno de los ejemplos clásicos de la teoría de Lamarck y de cómo **no** funcionan las cosas es el de la jirafa. Lamarck buscaba entender qué hacía cambiar a las especies. En aquellos días, pocos aceptaban que las especies se transformaran, así que nada era fácil. Él propuso que existía una fuerza, una voluntad, que impulsaba al cambio. Mucho tiempo después, Wallace y Darwin generaron una explicación mucho más elaborada y convincente. Lo importante es entender que aunque la jirafa estire el cuello, o las jóvenes de las tribus Karen o Pudaung del norte de Tailandia se pongan múltiples anillas en el cuello, nunca, ni en cien generaciones, se les hará más largo.

Los cambios suceden de un modo muy distinto: usted y yo somos distintos ¿porque?, justamente, porque la especie tiene diversidad de formas. Lo que a la vez implica que hay una diversidad genética, que nuestro manual de instrucciones no es igual, ya que cada uno de nosotros es el resultado de millones de años de evolución a través de los cuales el azar, el aislamiento y la exposición a la radiación, han introducido cambios, mutaciones y errores al copiar el manual de los padres al de los hijos. Esos cambios en las instrucciones hacen que la nueva generación sea distinta y esas diferencias no son solo las visibles. Aunque la mayor parte de las diferencias no afectan a la vida y nunca son percibidas, otras son importantes.

Por ejemplo, si antes de la última glaciación la población mundial de elefantes era de un millón, y

de ellos 500.000 nacieron normales, 200.000 nacieron color rosado, 200.000 nacieron con un manojito de pelos en la punta de la cola, 99.000 nacieron con buena contención de la respiración bajo el agua (pero solo se sienten a gusto en agua tibia) y apenas 1.000 nacieron con exceso de pelo. ¿Quiénes serán los elefantes de mayor distribución sólo diez generaciones después? Es fácil, la glaciación respetará a los últimos y borrará a todos los demás. Así funciona, no es que el elefante quiera tener pelos; los tuvo por accidente, y por suerte para él, le vinieron "al pelo".

La nariz está específica y perfectamente diseñada... para llevar lentes

Realicemos un pequeño auto-test:

El dinosaurio carnívoro *Carnotaurus* tenía una cola larga y un torso y una cabeza con cuernos que constituían un conjunto pesado, aunque sin duda, quedaban balanceados. Entonces ¿Cuál es la forma correcta de decir esto?:

a "*Carnotaurus* tenía una larga cola para balancear el peso de la cabeza"

b "*Carnotaurus* tenía una larga cola que balanceaba el peso de la cabeza"

La diferencia es sutil, pero el concepto de fondo es crucial. La correcta es la "b" porque **nada es para nada en la naturaleza**. Todo se usa porque es útil usarlo en ese momento y lugar, pero aún las estructuras naturales más adaptadas, no surgieron **para** hacer eso, lo hacen **porque** son útiles para eso.

Darwin lo dijo muy claramente: "Primero surge el carácter y luego actúa la selección natural aceptando lo útil y desechando o ignorando lo inútil".

En palabras muy claras del naturalista francés Etienne Geoffroy Saint-Hilaire: "las aves no tienen alas para volar, sino que vuelan porque tienen alas". Saint-Hilaire aportó este concepto en el contexto de que no se crean nuevos órganos, ya que todos derivan de otro semejante, son homólogos, y se mantienen en una posición equivalente.

Cartas mezcladas

Nosotros somos, en cierta forma, organismos mezcla. Para empezar, cada una de nuestras células contiene a otros organismos viviendo en su interior, como las mitocondrias y otros menos fáciles de iden-



tificar. Sin embargo, dos especies bien delimitadas o mas aun grandes linajes ya separados en el tiempo, no pueden juntarse si no es para vivir en simbiosis. Así, los estudios filogenéticos nos demuestran que los amniotas se han escindido hace mas de 300 Ma en dos grandes linajes: el de los SINÁPSIDOS (al que pertenecemos el viejo *Dimetrodon*, *Cynognathus* y nosotros los mamíferos) y el de los REPTILES (al que pertenecen los lagartos, serpientes, esfenodontes, tortugas, cocodrilos, pterosaurios y dinosaurios, incluyendo a las aves).

Es por eso que las aves son un grupo de dinosaurios, y por ello, son reptiles. Y es por eso también que nuestros antepasados jamás fueron reptiles.

Los mamíferos no descendemos de ningún reptil, nos originamos a partir de la otra rama: la de los sinápsidos. Por lo que debe descartarse el término de "reptil mamiferoide" de cualquier explicación. Es dañino a nivel explicativo y confunde a quien no ha oído antes hablar de ellos.

La deriva continental, con magnesio o con sial, pero poco, porque hace mal

Alfred Wegener murió antes de ver la difusión de su teoría, pero si viviera hoy, a casi cien años de su muerte, la seguiría escuchando en boca de muchos comunicadores, que no se han percatado de que la canción cambió. Hoy no es la "Deriva continental" la explicación aceptada del porqué se mueven los continentes, así como no es el lamarckismo la explicación de porque la naturaleza tiene tantas formas de vida.

La teoría actual es la "tectónica de placas", que no es lo mismo que la "deriva continental". Esta sostenía que los continentes (sial, sílice y aluminio) flotaban sobre un material fluido (sima, con magnesio) y se desplazaban merced a los movimientos de ese fluido. La tectónica de placas, en cambio, explica que la corteza terrestre está dividida en placas que se originan en una dorsal oceánica y, al encontrarse con otra placa, oceánica o continental, una debe, si o si, quedar por debajo, para ser derretida y reciclada.

¿El hombre en la punta?

Otro mito erróneo es considerar que los humanos estamos en la cumbre de la evolución. Nadie va a negar que por más que Lassie fuera muy inteligente

no podía leer el diario, ni que un chimpancé pueda atarse los cordones, pero es porque nosotros para compararnos ponemos **nuestros** parámetros. Sino, comprobemos que tan bien nadamos, o escalamos, o volamos, o la carga que podemos llevar sin usar el cerebro.

Cada organismo está en condiciones óptimas de vivir en su medio. Si no se hallara en buenas condiciones para su tiempo y entorno, no existiría, y eso es así, porque la Selección Natural es intransigente.

Sin embargo, esto no implica una verdadera perfección, sino apenas las características que le permiten sobrevivir. Es por eso que cuando la situación ambiental se desbalancea, los organismos se extinguen.

Además, no hay un organismo mas evolucionado que otro. Si estamos acá es porque todos hemos andado por este mundo exactamente la misma cantidad de tiempo, ni un minuto menos. Los humanos estamos tan en la punta del árbol de la evolución como un paramecio o una marabunta.

Hay linajes que superficialmente presentan menos modificaciones, pero la selección natural corrió para ellos cada día como para nuestro linaje, ni un día de regalo. Tampoco, hay un organismo "mas evolucionado que", ni otro "mas primitivos que". Todos somos un conjunto de características que surgieron en distintos momentos de la evolución.

¿Nuestro mundo vive hoy su máximo en diversidad y complejidad?

Como bien probara Stephen Jay Gould, hubo una mayor complejidad de planes estructurales en los seres vivos del Cámbrico de los que hay hoy día. Además, todas las épocas tuvieron su increíble cantidad de seres excepcionales, la mayor parte de los cuales nunca se fosilizaron. Por ejemplo, baste citar a uno de los mejores paleontólogos que existieron, con mas de 850 publicaciones en su haber, que desafió: "Buen anatomista será quien intente probar que el humano moderno es mas complejo que un pez ostracodermo del Devónico" (Simpson 1949, p. 252).

Probablemente ni sea hoy el momento de mayor diversidad planetaria, ni seamos nosotros mas o menos complejos que las asombrosas anatomías que pasearon sus cuerpos en otros tiempos y otras tierras o mares.