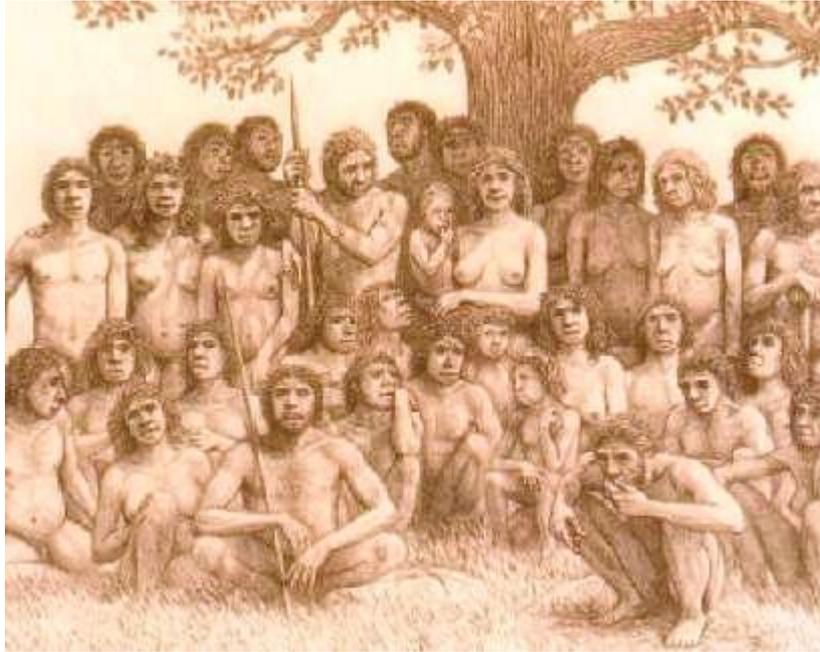


LA ESPECIE ELEGIDA

La larga marcha de la evolución humana

Juan Luis Arsuaga/ Ignacio Martínez
(del Proyecto Atapuerca)



El origen de la humanidad moderna: la evidencia genética

*El valor y la utilidad de un experimento dependen de lo apropiado que sea
el material para el objeto con que se emplea.*

GREGOR MENDEL, Experimentos de hibridación en plantas.

Una Idea Luminosa

Uno de los aspectos más controvertidos en el campo de la paleontología humana ha sido desde siempre el del origen de la humanidad actual. Para un buen número de paleoantropólogos, como Gunter Brierley y Christopher Stringer, los humanos modernos se originaron en África hace entre 300.000 y 100.000 años. A partir de esta *Cuna Africana*, nuestra especie se expandió por el resto del Viejo Mundo y reemplazó a las distintas humanidades (neandertales y *Homo erectus*) que habían aparecido como resultado de evoluciones locales, en condiciones de

aislamiento reproductor, en Europa y Asia. Esta hipótesis ha sido bautizada con el nombre de Out of África en referencia al hermoso libro de Isak Dinesen (traducido al castellano como Memorias de África) en que se basó la película del mismo nombre.

Por otra parte, la idea de que neandertales y humanos modernos no forman una secuencia de tipo antecesor descendiente, sino que pertenecen a dos líneas evolutivas independientes separadas desde muy antiguo, también ha sido defendida por distintos paleoantropólogos, desde que fuera expuesta en 1912. por Pierre Marcelline Boule (1861-1942). Aquí hemos seguido estos planteamientos en cuanto al origen de la humanidad moderna y de sus relaciones evolutivas con los neandertales ya que, en nuestra opinión, la evidencia fósil los confirma plenamente.

Sin embargo, también es cierto que otros paleoantropólogos aprecian, en los mismos fósiles, evidencias de un origen múltiple y muy antiguo de la humanidad moderna. Para estos investigadores, cada una de las distintas poblaciones humanas que ocuparon el Viejo Mundo desde la primera salida de África, hace más de 1 m.a., evolucionaron en cada región geográfica para dar lugar a las poblaciones humanas (las diferentes "razas" en una terminología más clásica) que hoy día pueblan el globo.

En su formulación original, esta hipótesis, defendida por Franz Weidenreich y Carleton Coon (1904-1981) entre otros, contemplaba que cada línea humana había evolucionado independientemente y en paralelo con las otras. Esta visión no es darwinista ya que postula que poblaciones distintas que evolucionan por separado en medios dispares acaban confluyendo en la misma especie. Para salvar este problema, la versión moderna, cuyos principales paladines son Milford Wolpoff y Alan Thorne, propone la existencia de un flujo génico entre todas las poblaciones pleistocenas distribuidas a lo largo de África, Asia y Europa. Este flujo génico habría sido de una magnitud suficiente como para mantener la homogeneidad de la especie humana dispersa por tres continentes, pero no tan intenso como para disipar ciertos rasgos que caracterizan a los humanos de cada región. Esta hipótesis se conoce en la actualidad como hipótesis del origen multirregional.

La causa principal de que puedan mantenerse hipótesis contradictorias referidas al origen de los humanos modernos no es otra que la naturaleza del registro fósil. Los paleontólogos intentan desentrañar un proceso que tuvo lugar a lo largo de centenares de miles de años en tres continentes y que implicó a millares de individuos. Para acometer tamaña tarea no cuentan más que con un puñado de fósiles, a menudo fragmentarios, aislados y dispersos en el tiempo y el espacio. Sin duda, son más vastas las lagunas del

registro que los aspectos conocidos.

El descubrimiento de nuevos fósiles, la datación precisa de éstos y el conocimiento cada vez más profundo de la biología de las especies son las herramientas de las que se valen los paleontólogos para ir contrastando sus hipótesis. Pero este procedimiento es lento y tortuoso y depende en buena medida del azar propio de los hallazgos paleontológicos. Lo ideal sería poder recurrir a datos procedentes de un campo independiente de la paleontología para poner a prueba las hipótesis surgidas del estudio de los fósiles; pero adónde acudir en busca de dichos datos?

El conocimiento que hemos alcanzado a lo largo de este siglo sobre los mecanismos de la herencia genética nos ha permitido plantearnos una manera nueva de enfocar el problema de la historia evolutiva de las especies. La idea es tan simple como luminosa: no importa que haya pocos fósiles de las especies del pasado, puesto que el material genético de las especies vivas contiene las claves de su propia historia evolutiva; sólo es preciso saber dónde mirar.

Ya vimos un ejemplo de este planteamiento en el capítulo dedicado al origen de los homínidos y sus relaciones con gorilas y chimpancés. Pero el problema del origen de la humanidad moderna es diferente porque sólo sobrevive una de las especies involucradas en el proceso y, por tanto, únicamente de ella disponemos de material genético (con una sola excepción). Los estudios genéticos dedicados a esclarecer el origen de la humanidad moderna buscan determinar la estructura genética de la humanidad actual, a partir de la cual es posible realizar inferencias sobre el cómo, el cuándo y el dónde de nuestro origen.

Las moléculas de la herencia

La molécula responsable de la herencia biológica es el ácido desoxirribonucleico (ADN), que lleva codificada en su estructura química la información necesaria para asegurar la continuidad de las especies. El ADN de las células está organizado en unidades discretas llamadas cromosomas, que en el caso de las células de los animales están albergados en el interior del núcleo celular.

Cada especie tiene un número determinado de cromosomas; los humanos tenemos 23 pares distintos de cromosomas homólogos, o sea, 46 cromosomas en total.

Cuando se producen los gametos (óvulos y espermatozoides) tiene lugar un tipo de división celular muy especial conocido como meiosis, como resultado del cual cada gameto sólo recibe una copia de cada cromosoma; es decir, que a diferencia de las demás células del cuerpo, nuestros gametos sólo tienen 23 cromosomas, uno de cada tipo. Este proceso tiene un significado evidente: si los gametos

portaran el mismo número de cromosomas que el resto de las clulas del organismo, la clula huevo, resultante de la fusión de dos gametos, tendría el doble de cromosomas que las clulas de sus progenitores, con lo que el número de cromosomas de una especie no sería constante a lo largo del tiempo sino que se doblaría en cada generación.

Durante la meiosis tiene lugar un fenómeno muy importante llamado recombinación, que consiste en el intercambio de fragmentos de ADN entre los cromosomas homólogos de cada par.

Como resultado se obtienen dos cromosomas recombinantes cuya información genética es una mezcla de la de los cromosomas paterno y materno. El fenómeno de la recombinación es muy valioso en términos evolutivos ya que al mezclar la información procedente de cada progenitor aparecen combinaciones genéticas nuevas. La recombinación es junto a la mutación el principal factor de producción de variabilidad en los organismos, que es la base sobre la que actúa la selección natural.

El par cromosómico 23 es diferente de los demás pares porque está formado por dos cromosomas distintos en el caso de los varones. En este par de cromosomas es donde reside la información genética que determina el sexo de las personas. Los cromosomas del par 23 pueden ser de dos tipos: un cromosoma con forma de 'x', (que recibe ese nombre, cromosoma X) y otro, más pequeño, con forma de "y" (que se denomina cromosoma Y). Las mujeres siempre presentan dos cromosomas X en el par 23, mientras que los varones tienen un cromosoma X y un cromosoma y en dicho par; así, las mujeres son xx y los varones xY.

La Eva Negra

Nuestras células obtienen su energía a través de una serie de reacciones químicas muy complejas, la mayor parte de las cuales, en especial aquellas en las que interviene el oxígeno, tienen lugar en el interior de una serie de pequeños orgánulos llamados mitocondrias. Además de por este importante papel en la vida celular, las mitocondrias son extraordinarias por otra característica: son los únicos orgánulos de la célula animal que poseen su propio material genético.

El ADN de una mitocondria está contenido en un cromosoma circular más pequeño que los cromosomas del núcleo de la clula, y muy parecido al de las bacterias. El ADN mitocondrial es ideal para los estudios evolutivos por dos razones: en primer lugar porque toda su variabilidad se debe en exclusiva a las mutaciones, ya que no sufre el proceso de recombinación; y en segundo término porque los orgánulos de la clula huevo proceden únicamente del óvulo materno y se transmiten de manera matrilineal (en el proceso

de fecundación el espermatozoide sólo aporta sus cromosomas nucleares, por lo que la clula huevo es el propio óvulo más los cromosomas nucleares del espermatozoide).

De este modo, podemos seguir la ascendencia de un cromosoma mitocondrial, de mujer en mujer, a través de las generaciones.

El ADN de las mitocondrias (ADNmt, en lo sucesivo) de cualquiera de nuestras clulas puede identificarse con un único antecesor en cada generación: nuestra madre, nuestra abuela materna, sólo una de nuestras cuatro bisabuelas (la madre de nuestra abuela) y así sucesivamente.

De manera ingenua, se podría suponer que los genéticos analizan la totalidad del ADNmt de cada individuo a la búsqueda de sus peculiaridades para compararlas con las de otras personas, pero lo cierto es que esta tarea requeriría una gran cantidad de tiempo, medios y esfuerzo. En realidad, los estudios sobre la variabilidad del ADNmt se circunscriben a regiones concretas. Las regiones elegidas deben presentar variabilidad, que se manifiesta por la existencia de una serie de tipos diferentes de ADNmt (polimorfismo); las diferentes poblaciones humanas modernas pueden ser caracterizadas por la frecuencia en que se presentan, en cada una de ellas, los correspondientes tipos.

Aunque no fue el primer trabajo publicado sobre la variación del ADNmt en humanos, el artículo aparecido el primer día del año 1987 en la revista Nature y firmado por Rebecca Cann, Mark Stoneking y Allan Wilson supuso una auténtica conmoción en los estudios sobre el origen de la humanidad moderna. En dicho trabajo se presentaban los resultados de un extenso estudio realizado a partir del ADNmt de ciento cuarenta y siete personas procedentes de cinco grandes grupos humanos diferentes (caucásicos, asiáticos, Africanos, aborígenes australianos y aborígenes de Nueva Guinea). La amplitud de la muestra, unida a la gran extensión de la porción del ADNmt estudiada (que representaba alrededor del 9% del total del cromosoma mitocondrial), contribuyeron al gran impacto del artículo.

Los resultados de este trabajo pueden resumirse en dos puntos principales (en los que también coincidían las investigaciones, más limitadas, sobre el ADNmt realizadas por otros autores en años anteriores).

En primer lugar, se apreciaba la existencia de dos grandes grupos en cuanto al parecido de los ADNmt. En uno de ellos se encontraba solamente ADNmt de origen Africano, mientras que en el otro aparecían los ADNmt del resto de las procedencias junto con algunos ADNmt de origen Africano.

El segundo resultado fundamental del estudio se refería a la

variabilidad dentro de cada grupo. Los ADNmt del grupo Africano mostraban más diversidad entre sí que la existente dentro del grupo que incluía al resto de ADNmt. Esta situación fue interpretada como evidencia de que el grupo Africano era el más antiguo de todos. El que la diversidad encontrada entre los ADNmt de un grupo pueda usarse como medida de su antigüedad se basa en la presunción de que cuanto más antiguo sea dicho grupo más tiempo habrá tenido para acumular mutaciones, dando lugar a más tipos diferentes de ADNmt.

Finalmente, los autores del artículo calcularon el tiempo transcurrido desde que se produjo la separación de todas las líneas de ADNmt en alrededor de 200.000 años, momento en el que vivió en África la mujer hasta la que podían remontarse dichas líneas.

Las conclusiones del trabajo de Cann, Stoneking y Wilson saltaron a los medios de comunicación y fueron inmediatamente bautizadas como la hipótesis de la Eva Negra (en alusión al origen Africano de nuestra especie), pero también fueron puestas enseguida en tela de juicio.

Las principales objeciones a la hipótesis de Cann y sus colaboradores se refieren sobre todo a la interpretación que estos autores hicieron de sus resultados y al modo en que estimaron el tiempo.

Respecto de las críticas dirigidas a la interpretación de los resultados, destacan dos argumentos. El primero incide en el hecho de que, por la naturaleza de su transmisión matrilineal, es esperable que se vayan perdiendo líneas de ADNmt lo largo del tiempo debido exclusivamente al azar (por ejemplo, el ADNmt de aquellas mujeres que sólo alumbren varones dejar de estar representando en la población), lo que explicaría, sin más, la poca variabilidad de las poblaciones extra-Africanas.

Otra crítica hace referencia a que los estudios de ADNmt pueden ofrecer una visión sesgada de la historia evolutiva de la humanidad, ya que sólo contemplan la historia de las mujeres, que podría no ser la misma que la del conjunto de la población.

Estas objeciones han tenido sus correspondientes replicas y contrareplicas, involucrando aun elevado número de científicos.

Puesto que todos los argumentos expuestos son razonables, la única manera de resolver el problema es la de buscar nuevas evidencias estudiando el ADN nuclear.

Respecto del cálculo del tiempo transcurrido desde el origen de la humanidad moderna, volveremos sobre este punto más adelante en este mismo capítulo.

Un Adán para Eva

La mejor manera de contrastar los resultados e interpretaciones realizadas a partir del estudio del ADNmt, consiste en estudiar la variabilidad de una parte del ADN nuclear que se transmite por vía paterna y que, como en el caso del cromosoma de la mitocondria, no experimente recombinación. El único cromosoma nuclear que cumple estas características es el cromosoma Y.

Algunos de los polimorfismos detectados en el cromosoma Y tienen la característica de que su variabilidad puede resumirse en unos pocos tipos (o haplotipos) entre los que es posible determinar cuál es el primitivo (por comparación con la condición presente en los antropomorfos). Esta situación supone una valiosa novedad respecto de los trabajos anteriores realizados con el cromosoma mitocondrial, en los que se deducía cuál era el tipo primitivo a partir de la distribución de los distintos tipos de ADNmt entre las poblaciones estudiadas.

Los resultados de distintos análisis sobre diferentes polimorfismos del cromosoma Y apuntan todos en la misma dirección: la humanidad moderna tuvo un antepasado varón que vivió en África hace entre 100.000 y 200.000 años. Los dos estudios más recientes, realizados por los equipos encabezados por Michael Hammer y Peter Underhill, llegan aún más lejos y señalan a los khoisánidos (los bosquimanos) como la población humana con las frecuencias más altas de haplotipos primitivos.

Pero además de estos resultados referidos al origen de nuestra propia especie, los estudios sobre el cromosoma Y nos han aportado información muy valiosa sobre otros aspectos de nuestra historia evolutiva. En primer lugar, que la salida de África no fue en una única "oleada" sino que se produjeron al menos dos en distintas épocas. La primera de ellas tuvo lugar hace más de 50.000 años y colonizó Asia y Australia, mientras que a Europa llegó otra "oleada" posterior. Estos resultados coinciden con los datos de la arqueología que, como ya hemos visto, apuntan a que el poblamiento de Australia por la humanidad moderna fue anterior al de Europa.

Pero el aspecto que quizá resulte más llamativo al comparar los estudios sobre el ADNmt y el cromosoma Y sea que, mientras que las distintas variantes del ADNmt están muy extendidas por todo el mundo, los diferentes tipos del cromosoma Y presentan distribuciones geográficas más limitadas y muchos de ellos aparecen restringidos a grupos locales. Según Luigi Cavalli-Sforza, estos datos admiten una interpretación atrevida: que han sido las mujeres las que han llevado sus genes por todo el mundo, mientras que los varones han permanecido preferentemente en su grupo natal; o sea, sociedades de tipo patrilocal. Cabe recordar la hipótesis de Rob Foley, que ya comentamos en el capítulo dedicado

a la biología social, de que los primeros homínidos formaban, al igual que los chimpancés, sociedades patrilocales de machos emparentados.

Los otros cromosomas

Aunque los análisis realizados sobre el cromosoma mitocondrial y el cromosoma Y y llegan a conclusiones similares, es posible argumentar que estos resultados están basados en estudios limitados a una pequeña parte del ADN de una persona y, además, circunscritos a cromosomas muy especiales, dada su especial vinculación a uno u otro sexo. Legítimamente, cabe preguntarse si la "historia evolutiva" del resto de los cromosomas también apoya el origen Africano o, si por el contrario, mostrar un panorama más diverso.

El investigador James Wainscoat fue uno de los pioneros en el estudio del origen de la humanidad moderna a partir del ADN nuclear. Trabajando sobre la distribución de cinco polimorfismos en la región del gen de la hemoglobina para ocho grupos humanos, Wainscoat y su equipo publicaron en 1986 que todas las poblaciones humanas modernas derivaban de una población ancestral Africana de hace unos 100.000 años, y cuyos efectivos habrían estado en torno a los seiscientos individuos. En esta misma línea se encontraban también las conclusiones que Luigi Cavalli-Sforza y sus colaboradores dieron a conocer en 1988 a partir del análisis de la distribución de 120 marcadores genéticos (proteínas codificadas por el ADN nuclear tales como los grupos sanguíneos) en cuarenta y dos poblaciones humanas. El origen Africano, hace alrededor de 100.000 años, de la humanidad moderna fue corroborado de nuevo en 1991 por un amplio estudio en polimorfismos del ADN nuclear realizado por dos equipos encabezados por Luigi Cavalli-Sforza, y Judith y Kenneth Kidd.

Parque Pleistoceno

El famoso libro de Michael Crichton Parque jurásico, que dio pie a la saga de películas del mismo nombre dirigidas por Steven Spielberg, está basado en la posibilidad de recuperar ADN intacto a partir de restos fósiles. Cuando Crichton escribió su libro se acababan de publicar una serie de artículos científicos que daban cuenta del hallazgo de ADN de dinosaurios a partir de insectos fosilizados en ámbar hace cerca de 100 m.a. Sin embargo, hoy día estos trabajos están completamente desprestigiados y se ha comprobado que el ADN encontrado procedía de contaminación moderna. Más aún, se ha demostrado que no es posible encontrar ADN fósil tan antiguo por la sencilla razón de que esta molécula no se conserva inalterable tanto tiempo; ni siquiera el ámbar puede evitar la oxidación del ADN y su consiguiente deterioro.

El ADN más antiguo que se ha recuperado en fósiles tiene una antigüedad mucho más modesta que la de los dinosaurios de Parque jurásico; se trata de ADNmt de mamuts conservados en los hielos de Siberia entre hace 50.000 y 100.000 años. Las bajas temperaturas parecen haber favorecido la conservación del ADNmt de los mamuts y no se espera hallar nada semejante fuera de ambientes tan especiales como el helado suelo siberiano.

Uno de los principales problemas para los "paleontólogos del ADN" (aparte de la propia existencia de ADN fósil) consiste en evitar la contaminación de ADN moderno debida a la manipulación inherente a la excavación, restauración, estudio y otras labores que se llevan a cabo sobre los fósiles. Un buen ejemplo de esta situación han sido los esfuerzos para aislar ADNmt del popular Hombre del Hielo del Tirol (de hace 5.000 años). Los primeros intentos toparon con la presencia de ADN moderno contaminante, y se hizo preciso refinar las técnicas para encontrar ADNmt que no ofreciera dudas sobre su autenticidad.

Aunque los resultados alcanzados con el estudio sobre el ADNmt del Hombre del Hielo fueron de alcance modesto (se demostró que su ADNmt pertenecía aun tipo característico de las poblaciones centroeuropeas), sí se obtuvieron lecciones muy valiosas sobre las técnicas y controles necesarios para soslayar el problema de la contaminación con ADN humano moderno.

Contando con estos nuevos procedimientos, un equipo internacional (formado por Matthias Krings, Anne Stone, Ralph Schmitz, Heike Krainitzki, Mark Stoneking y Svante Pääbo) decidió abordar la búsqueda de ADNmt en fósiles neandertales. Para ello tomaron muestras en el ejemplar tipo de esta especie: el esqueleto de Neandertal. Su estudio se planeó con mucho cuidado y estuvo precedido de todas las precauciones, tanto para evitar en lo posible la contaminación como para no destruir inútilmente un fragmento de tan valioso fósil. La muestra (de 3,5 g) se tomó de un lugar en teoría inaccesible a la contaminación: la parte interna de uno de los huesos, concretamente del húmero derecho del fósil.

El siguiente paso en el estudio consistió en analizar la estructura de los fragmentos de ADNmt presuntamente neandertales.

La molécula de ADN está formada por la unión de miles de unidades menores conocidas como nucleótidos, de las que en el ADN hay sólo cuatro tipos distintos. La estructura de un fragmento de ADN no es otra cosa que la secuencia de nucleótidos que lo constituyen; de modo que el trabajo en este punto consistió en determinar dicha secuencia en los distintos fragmentos de ADNmt encontrados en la muestra tomada en el fósil.

Muchos de dichos fragmentos presentaban secuencias iguales en

una parte de su longitud, es decir que se solapaban, lo que permitía restablecer la secuencia del segmento original del que procedían. Así, tras tres meses de intenso trabajo, fue posible reconstruir la secuencia de un segmento de 379 nucleótidos a partir de 123 fragmentos diferentes. Esta secuencia correspondía a la región I del segmento de control del ADNmt.

Pues bien, los autores de la investigación compararon la secuencia del ADNmt procedente del fósil con 16 tipos de ADNmt de chimpancé y 986 tipos pertenecientes a distintas poblaciones humanas modernas, obteniendo unos resultados de extraordinario valor. En primer lugar, determinaron que los chimpancés y los humanos difieren, en promedio, en 55 posiciones de la secuencia de bases, mientras que el ADNmt objeto del estudio muestra una diferencia promedio de 27 posiciones con los humanos modernos.

Además, establecieron que en la muestra de humanos modernos la diferencia promedio es sólo de 8 posiciones. Es decir, que el ADNmt del fósil es lo suficientemente parecido a nosotros como para admitir que procede de un ser humano pero tan distinto como para rechazar que pertenezca aun ser humano actual, lo que descarta la posibilidad de la contaminación y confirma su procedencia: un auténtico fragmento de ADNmt de un neandertal.

El hecho de que la diferencia promedio entre el ADNmt neandertal y el de los humanos modernos sea más de tres veces mayor que la diferencia promedio existente en estos últimos (27 posiciones frente a 8), ha llevado a los autores de la investigación a la conclusión de que la separación entre ambos linajes se produjo en un momento muy alejado en el tiempo. Para determinar la antigüedad de dicho suceso, los autores del estudio emplearon una tasa de mutación determinada a partir del promedio de cambios existente entre los humanos modernos y los chimpancés (55), y el tiempo que se supone que ha pasado desde la separación de las dos líneas. Sus cálculos resultaron en una antigüedad de entre 550.000 y 690.000 años para la divergencia neandertales / humanos modernos y de entre 120.000 al 50.000 años para el origen de la diversidad humana actual.

Los resultados sobre la antigüedad de la humanidad reciente concuerdan con aquellos procedentes de los estudios sobre el ADNmt, el cromosoma Y y otros cromosomas nucleares. Como aspecto colateral del análisis, también los ADNmt de humanos actuales de origen Africano aparecen como ancestrales de los del resto de las poblaciones humanas modernas.

Aparte del refuerzo que este estudio supone para el origen único y Africano de la humanidad actual, hay otro aspecto de especial relevancia que merece ser destacado. La divergencia de los neandertales y de los humanos modernos es llevada mucho más

atrás de lo que la mayoría de los autores dedicados al estudio de los fósiles proponían hasta ese momento. Sin embargo, tal antigüedad sí es compatible con los resultados de nuestras investigaciones sobre los fósiles humanos de Atapuerca, tanto de la Sima de los Huesos como del nivel 6 de Gran Dolina. Como ya hemos comentado con anterioridad, los fósiles de Gran Dolina, de una edad próxima a los 800.000 años, representan a la especie antecesora de los linajes de los neandertales y humanos modernos: *Homo antecessor*.

Quizás el descubrimiento del ADNmt fósil de los neandertales d, lugar a una nueva novela dedicada a la clonación de individuos neandertales. Sin embargo, una de las consecuencias que se pueden extraer de nuestro mejor conocimiento sobre el ADN fósil es que no hay posibilidades de encontrar la suficiente cantidad de ADN nuclear que nos permita soñar con la versión pleistocena del libro de Crichton.

Fósiles y moléculas

Con frecuencia, se ha presentado a la opinión pública la idea de que los estudios genéticos han permitido, por sí mismos, descubrir el cómo, cuándo y dónde de nuestro origen. Sin embargo, tal como planteábamos al comienzo de este capítulo, las principales hipótesis referidas al cuándo y al dónde han sido propuestas a partir del estudio de los fósiles y fueron planteadas con anterioridad al comienzo de los estudios genéticos.

En este contexto, los estudios genéticos han reforzado la hipótesis que sostiene el origen Africano de la humanidad moderna (hipótesis "Out of África"). Además, los análisis genéticos también han corroborado la opinión de muchos paleontólogos de que los neandertales no estuvieron, directa o indirectamente, en nuestra ascendencia evolutiva, sino que ambas humanidades compartimos un antepasado común ciertamente lejano en el tiempo.

Un aspecto notable en el que los estudios genéticos sí han arrojado luz por sí mismos se refiere al cómo de nuestro origen. La escasa diversidad genética que se aprecia en las poblaciones humanas extra Africanas nos informa de la existencia de un fenómeno evolutivo conocido como "cuello de botella" en el momento de la salida de África de nuestra especie. Los "cuellos de botella" se producen cuando una población biológica está originada a partir de un número relativamente reducido de individuos que sólo portan una fracción de la diversidad genética de la población matriz. Como consecuencia de ello, la población derivada sólo recibe una parte de dicha diversidad.

Un buen ejemplo de este fenómeno lo podemos encontrar en la población bóer de Sudáfrica, originada en su mayor parte por un

puñado de pioneros holandeses llegados durante el siglo XVII. Hay constancia histórica de que uno de aquellos colonos, llegado en 1688, padecía de una rara enfermedad genética conocida como porfiria; pues bien, hoy día la frecuencia de dicha enfermedad en la población sudafricana de origen bóer es varios cientos de veces superior a la de cualquier otra población humana.

Del mismo modo, la gran homogeneidad genética de las poblaciones no Africanas delata que los grupos humanos modernos que colonizaron Asia y Europa estuvieron formados por una pequeña fracción de la población Africana original.

El número de pioneros también puede establecerse con cierta fiabilidad. Un equipo de genéticos, entre los que se encuentra el investigador de origen español Francisco Ayala, ha analizado la variabilidad existente en la humanidad moderna en los genes responsables del complejo principal de histocompatibilidad o sistema HLA, que participa en la defensa ante las invasiones microbianas gracias a su capacidad para reconocer proteínas extrañas al organismo.

Estos genes se sitúan en el cromosoma G y presentan una extraordinaria variabilidad, que permite que el sistema HLA reconozca como extrañas a un gran número de moléculas. La variación existente en la humanidad actual nos informa que el "cuello de botella" por el que pasaron nuestros antepasados no fue demasiado severo, porque de lo contrario la variabilidad en el sistema HLA sería mucho menor. Según estos investigadores, el número de colonizadores que salieron de África hubo de ser mayor de 500 individuos y muy probablemente en torno a 10.000 personas.

Si bien los estudios genéticos han servido para contrastar las hipótesis paleontológicas referidas al dónde del origen de los humanos modernos y han resultado de especial valía como fuente de información nueva sobre el cómo de dicho origen, no han sido tan elocuentes en la cuestión del cuándo de nuestra aparición.

Respecto de las medidas del tiempo que se efectúan en los estudios genéticos, los llamados "relojes moleculares", sus resultados son siempre problemáticos porque se basan en una serie de asunciones muy discutibles, que ya comentamos en el capítulo dedicado al origen de los homínidos (la presunción de que la tasa de mutación es constante o de que las regiones del ADN estudiadas son neutras respecto de la acción selección natural).

Quizá las críticas más consistentes al establecimiento de los "relojes moleculares" sean las que ponen en duda las tasas de mutación empleadas para realizar los cálculos del momento en que se originó la humanidad moderna. En el propio artículo de Cann,

Stoneking y Wilson se reconoce que no es posible establecer de manera fiable el tiempo transcurrido a partir, exclusivamente, de la variabilidad del propio ADNmt. Estos autores, como todos los demás, ajustan sus "relojes moleculares" empleando el propio registro fósil, por lo que no pueden invocarse sus resultados para contrastar las hipótesis elaboradas a partir de los fósiles. En este aspecto, paleontología y genética no son fuentes independientes. A finales del siglo xx, nuestra visión sobre el origen de la humanidad moderna es mucho más completa de lo que cabía suponer hace apenas veinte años. Nuestra certidumbre sobre el lugar y el momento en que se produjo la génesis de nuestra especie ha aumentado considerablemente y hemos progresado mucho en cuanto al esclarecimiento del modo en que tuvo lugar el proceso.

Contra lo que pensaban algunos, las moléculas no han venido a sustituir a los fósiles en los estudios sobre la evolución de la humanidad. Los distintos enfoques de la paleontología y la genética nos han permitido contemplar los problemas desde diferentes perspectivas, enriqueciendo nuestro conocimiento de la historia evolutiva de la especie *Homo sapiens*.

Patrones de belleza

Hasta aquí hemos hablado del pasado de nuestra especie, pero ¿cual es su futuro? Muchas personas opinan que al depender, gracias a las máquinas, cada vez menos de la fuerza física para ganarnos el sustento y cada vez más de nuestra inteligencia, los órganos correspondientes se verán afectados en el futuro. Así, con frecuencia se representa al humano del mañana con una cabeza muy grande y un cuerpo atrofiado; o mejor sería decir con un cerebro superdesarrollado, porque la cara y los dientes también se pintan reducidos. En resumidas cuentas, un ser muy poco atractivo de acuerdo con los cánones de belleza griegos. No se suele precisar cuándo llegaremos a convertirnos en criaturas tan poco atléticas, aunque, eso sí, muy inteligentes, pero parece que al ritmo que vamos los patrones de belleza tendrán que cambiar con mucha rapidez.

Pero ¿es posible que la selección natural actúe todavía sobre nosotros y pueda determinar el curso futuro de la evolución humana? Que nuestra especie está sometida a selección natural, como todas las demás, es algo fuera de toda duda. Los individuos con graves taras genéticas no llegan a adultos y no se reproducen, y muchos mueren en el útero sin llegar a nacer. Pero tal selección normalizadora, que elimina individuos extremos, no modifica la especie. Para que ésta evolucione en una dirección concreta hace falta mucho tiempo y que los individuos con determinadas características se reproduzcan más que los demás, cosa que en apariencia no se está produciendo, al menos a gran escala. Además,

la tecnología nos permite adaptarnos rápidamente a vivir en toda clase de ambientes, incluyendo la Luna, sin cambiar nuestra morfología. La adaptación por medio de la selección natural es mucho más lenta (y más limitada). Sin ir más lejos, gracias a la escritura primero y la informática ahora, nuestro cerebro ya no tiene que crecer para acumular más información y procesarla. Por otro lado, nuestra especie es ya muy numerosa, con lo que presenta una gran inercia genética o resistencia a los cambios, que se diluyen como gotas de agua en el océano. Se produce, eso sí, un fenómeno interesante que contradice la trayectoria de la humanidad en los últimos miles de años; las poblaciones humanas, que se han ido aislando unas de otras y diferenciando en razas, están empezando a mezclarse entre sí e intercambiar genes, con lo que es seguro que tendrán lugar nuevas combinaciones genéticas, sin que eso quiera decir que la especie vaya a cambiar sustancialmente en el futuro más próximo.

Queda por último por mencionar un factor inquietante. Desde que descubrimos la selección artificial hace 10.000 años con la agricultura y la ganadería, siempre hemos podido modificar a nosotros mismos igual que hemos hecho con las razas de animales. No parece que esto haya ocurrido a una escala importante.

Ahora, sin embargo, con nuestro conocimiento de la genética empezamos a tener la posibilidad real de modificar nuestros propios genes de forma mucho más rápida y radical que con la selección artificial (y mucho más aún de como se hace la selección natural).

La manipulación genética, que puede liberarnos de taras y enfermedades, puede también dirigirse hacia otros objetivos. Pero, en todo caso, éste es un instrumento, como todos los que la ciencia pone a nuestra disposición, que es nuestra responsabilidad controlar.

Los renglones torcidos de la selección natural

Hasta esta noche, pensabas que la vida era absurda.

En lo sucesivo sabrás que es misteriosa.

Eric-Emmanuel Schmitt, *El visitante*

La relación que mantuvieron entre sí los dos descubridores de la selección natural fue ejemplar. Sin embargo, y a pesar de su buena

amistad y consideración mutua, Darwin y Wallace mantuvieron puntos de vista contrapuestos acerca del origen de algunas de las características más relevantes de nuestra especie, tales como la inteligencia y el habla. Mientras Darwin contemplaba dichos rasgos como un resultado más del proceso evolutivo regido por la selección natural, Wallace atribuía su origen a causas sobrenaturales, colocando así el origen del ser humano más allá de la acción de la selección natural.

Uno de los argumentos más profundos empleados por Darwin para probar la existencia del hecho evolutivo fue el de la existencia de "chapuzas" en los seres vivos. Si los organismos fueran el resultado de un acto directo de creación divina, sus distintas partes deberían mostrarse "como recién salidas de fábrica"; es decir, que deben ser diseños específicos para cumplir de manera eficaz una función determinada. Lo que no esperaríamos encontrar desde luego, son órganos que aparezcan como una modificación, más o menos afortunada, de otros que cumplen una función distinta en organismos diferentes. Dicho de otro modo, lo esperable es que cada ser vivo tenga sus propias piezas, perfectamente ajustadas al desempeño de las funciones que tiene encomendadas.

La selección natural no planifica el cambio evolutivo, simplemente elige entre lo que hay. Es decir, que preserva aquellas variaciones de los órganos existentes que confieren alguna ventaja a los individuos. De este modo, un órgano puede verse modificado y acabar desempeñando una función distinta de la que tenía. En este proceso, puede ocurrir que el órgano en cuestión pierda eficacia en el desempeño de la misión original, siempre y cuando esta pérdida se vea compensada por la ventaja conferida por la nueva función.

Pero volvamos al tema de la voz humana. Cuando Wallace y Darwin disputaban sobre la naturaleza de la selección natural y su papel en el origen de los seres humanos, no se conocía la base anatómica ni los mecanismos fisiológicos del habla. Hoy comprendemos que esta cualidad humana está basada en la posición baja de nuestra laringe, que a su vez es debida a una modificación del modelo de vías respiratorias superiores que es común en el resto de los mamíferos. También sabemos que esta peculiar posición de la laringe restringe nuestra capacidad de tragar líquidos y respirar al mismo tiempo, y que es la responsable de un fenómeno tan desagradable, y peligroso, como es el atragantamiento. Sin embargo, estos inconvenientes los consideramos como minucias al lado de la gran ventaja que supone el disponer de un mecanismo que nos permite modular los sonidos que están en la base de nuestro lenguaje; sin duda, el saldo es muy ventajoso. De este modo, en la anatomía de nuestro aparato fonador puede reconocerse la huella de la selección natural y el

rastró de la historia evolutiva de nuestra especie.

Darwin puede descansar tranquilo al lado de Newton; una vez más, tenía razón.

El sentido de la evolución. La moviola de la vida

Para explicar que no somos el resultado necesario de la evolución sino una mera circunstancia, Stephen Jay Gould afirma en su libro *Vida maravillosa* que si la cinta de la vida se rebobinara y se volviera a empezar otra vez desde el principio, el planeta Tierra estaría ahora poblado por una variedad completamente diferente de formas de vida, entre las que no nos encontraríamos nosotros.

Por supuesto que es imposible realizar tal experimento volviendo al principio de la vida. Aunque, en cierto modo, se ha llevado ya a cabo de manera natural. Los monos platirinos, por ejemplo, no han evolucionado en América hacia formas de inteligencia comparable a la nuestra. Se ve que ellos no experimentaban ningún "impulso" que los empujara hacia el "progreso" o la "perfección" (lo mismo se podría decir de los marsupiales en Australia y otros casos similares de evolución en condiciones de aislamiento geográfico).

De todos modos podemos jugar al juego que propone Gould de otra manera. Si suponemos que la evolución se dirige o tiende de forma espontánea hacia formas de vida cada vez más "elevadas" o más complejas, esperaremos que el registro fósil refleje una Historia de la Vida en la que, en razón de su manifiesta superioridad, formas progresivamente más complejas se van imponiendo a las demás hasta la llegada del hombre.

Pero a la hora de realizar semejante análisis surge el problema de cómo medir la complejidad, para establecer así una escala que se pueda aplicar a las especies vivientes o a las fósiles, y poder decir: ,ésta es una especie de grado 3 o de grado 7 de complejidad (tal vez el lector piense que la nuestra ser la única de grado 10). Reconozcamos que se trata de un problema de difícil solución.

George Gaylord Simpson, uno de los más grandes paleontólogos del siglo xx, publicó un libro muy influyente en 1949 titulado *Meaning of Evolution* (El significado de la evolución), en el que concluía que la evolución no tenía propósito. Entre otros temas, Simpson analizaba en un capítulo titulado "El progreso en la evolución" la cuestión de si se había producido en la Historia de la Vida un aumento de la complejidad. Para este sabio estaba claro que, respecto de las primeras formas de vida unicelulares (organismos de una sola célula), se produjo un aumento de la complejidad cuando aparecieron los organismos pluricelulares (constituidos por muchas células). Según Simpson, un segundo paso hacia una mayor complejidad se dio cuando surgieron los

diferentes grandes tipos de seres pluricelulares (Conocidos técnicamente como filum en singular y fila en plural); ahora bien, este progreso se habría producido en múltiples direcciones, y no en una sola línea privilegiada. A partir de este punto, resulta imposible Comparar complejidades dentro de cada una de las líneas.

Simpson, que era especialista en paleontología de vertebrados, escribía que hacía falta mucho valor para tratar de probar que un ser humano es más complejo que un ostracodermo (un tipo de vertebrados acuáticos con forma de pez que aparecieron hace más de 400 m.a.).

A todo esto todavía no hemos definido qué es la complejidad, tarea nada fácil (el lector también puede probar). Una manera moderna de hacerlo sería la de utilizar el concepto de complejidad que se aplica a los sistemas. Un sistema es un conjunto de elementos que interactúan entre sí dando lugar a las propiedades del sistema, y cuantos más elementos distintos tenga más posibilidades diferentes de interacción existirá, con lo que el sistema será más rico en funciones, o más complejo en el sentido de menos previsible, menos rígido, más variable y más adaptable también.

Los organismos pluricelulares son sistemas autorregulados compuestos de células diferenciadas que forman tejidos y órganos; éstos a su vez se organizan en sistemas: respiratorio, digestivo, reproductor, excretor, circulatorio o nervioso. Esta idea de la complejidad de los sistemas puede aplicarse para comparar organismos de grupos muy diferentes, como los mamíferos con las esponjas o las medusas; estas últimas son claramente formas de organización mucho más simple que los mamíferos, con menos elementos diferenciados; podemos considerarlas sistemas biológicos relativamente poco complejos. Sin embargo, ¿quién se atrevería a comparar la complejidad de un murciélago con la de un león?

Incluso si se comparan los organismos por el número de genes que se expresan (es decir, que se traducen en proteínas), nos encontramos con que los protozoos tienen más que las bacterias, los invertebrados más que los protozoos, y los vertebrados más que los invertebrados; sin embargo, dentro de los vertebrados es imposible establecer categorías.

Este de la complejidad es, pues, un auténtico nudo gordiano, y sólo hay una forma de deshacerlo: de un tajo. Podemos partir de la base de que la nuestra es, por definición, la especie más compleja de todas. Ahora bien, si se nos compara con el resto de los primates, o de los mamíferos, ¿dónde reside nuestra superior complejidad? Los humanos sólo podemos considerarnos más complejos en uno de nuestros sistemas, el sistema nervioso central, y tendrá que ser éste

quien nos otorgue finalmente la victoria en la competición por el primer puesto en la escala de la complejidad.

Según este razonamiento, que pone al hombre como medida de todas las cosas, queda claro que cuanto más próxima en la evolución está, una especie al Homo sapiens, cuanto más grande sea su parecido y su parentesco, mayor será su grado de complejidad. De este modo, los mamíferos serían los animales más complejos de la Historia de la Vida, y dentro de los mamíferos, los primates, y entre ellos, los gorilas y chimpancés, de los que sólo nos separa aproximadamente el 1% de nuestros genes.

No vamos a poner aquí en entredicho este sospechoso sistema de medir el grado de complejidad de los seres vivos utilizando a nuestra especie como patrón. Sea, si así lo quiere el lector. Lo que se puede discutir es si esa supuesta mayor complejidad constituye una ventaja evolutiva que conduce hacia el triunfo (progresivo, lineal e inexorable) de los más complejos, que se impondrán siempre en la lucha por la existencia sobre los organismos más sencillos hasta el advenimiento del ser más complejo de todos, el ser humano. Veamos qué dice el registro fósil al respecto.

Los mamíferos son el grupo de vertebrados al que pertenecemos, y en consecuencia es considerado por unanimidad como el más "avanzado" de todos, muy por encima de anfibios, reptiles o aves. Por ello cabría pensar que desde que aparecimos los mamíferos nos impusimos a los demás vertebrados terrestres. Muchas personas tienen la vaga idea de que los mamíferos surgieron en un mundo dominado por los dinosaurios a los que finalmente consiguieron derrotar gracias a su superioridad.

Sin embargo, el registro fósil nos indica todo lo contrario. Los antepasados directos de los mamíferos, unos reptiles llamados terápsidos (tan parecidos ya a los verdaderos mamíferos posteriores que han sido llamados "reptiles mamiferoides"), eran los que dominaban los ecosistemas terrestres a comienzos del Mesozoico (la Era Secundaria). Normal, podría pensarse, eran superiores a los demás reptiles. Sin embargo, en un momento determinado, hace 200 m.a. en números redondos, los terápsidos empezaron a declinar y los ecosistemas terrestres vieron su gradual sustitución por los dinosaurios (más tarde, de un grupo de dinosaurios surgirían las aves, verdaderos "dinosaurios vivos").

Si el término "superior" puede ser aplicado en biología evolutiva a algún grupo, en este caso tendría que ser a los dinosaurios.

Los terápsidos se extinguieron finalmente; y aunque algunos dieron lugar a los primeros mamíferos, éstos no sólo no se impusieron sobre los reptiles, sino que llevaron una existencia muy discreta

durante el resto del Mesozoico (sin excepción, todos los mamíferos eran de pequeño tamaño). Hasta que el impacto de un meteorito, no la superioridad de los mamíferos, acabó con los dinosaurios hace 65 m.a. De no haber sido por ese meteorito "providencial", la evolución de los vertebrados terrestres habría sido sin duda muy diferente (algunos autores opinan que la extinción de los dinosaurios tal vez se debiera a los efectos en la atmósfera de una serie de grandes erupciones volcánicas; para el razonamiento que seguimos aquí lo importante es que los dinosaurios desaparecieron por una causa no biológica, y es irrelevante que ésta sea un meteorito, un fenómeno de volcanismo o cualquier otra catástrofe geológica).

Veamos ahora otro caso sacado de las páginas del registro fósil, esta vez todavía más próximo a nosotros. Como se ha comentado en este libro, dentro de los primates pertenecemos a un grupo, el de los hominoideos, que incluye una serie de especies, los antropomorfos, con los que compartimos muchos rasgos y, a decir verdad, muchos genes. De hecho, también son los primates que tienen un cerebro más desarrollado. Siendo éstos los mamíferos más parecidos a nosotros cabría esperar que su superioridad los hubiera llevado a imponerse al menos sobre los demás monos desde el mismo momento de su aparición. Recordemos que los hominoideos se originaron en África hace al menos 23 m.a. y, a partir del momento en que estos primates pudieron salir de África (hace unos 17 m.a.) para poblar también Europa y Asia, se convirtieron en el grupo de primates con más éxito evolutivo, diversificándose en un gran número de especies que habitaban el ancho cinturón de selvas que se extendía por gran parte del Viejo Mundo. Parece lógico, se trataba de los primates más inteligentes y su éxito anunciaba el glorioso futuro que le esperaba al ser humano.

Una vez más, el registro fósil nos dice todo lo contrario de lo que parece "lógico". Hace entre unos 8 y 7 m.a., los hominoideos dejaron de ser los "reyes de la creación". Un gran cambio ecológico hizo desaparecer su paraíso. Factores astronómicos, movimientos de masas continentales y levantamientos de cadenas montañosas modificaron el clima y la composición de la atmósfera, haciendo que su hábitat se deteriorara en gran parte de su otrora enorme extensión. El bosque dio paso a los ecosistemas más abiertos.

Pero no sólo el cambio en la vegetación redujo su espacio vital, sino que otros primates, los cercopitecoideos, se hicieron más numerosos y variados que ellos. En términos militares, los antropomorfos se baten en retirada. En la actualidad han quedado reducidos a dos especies de chimpancés y al gorila en África, al orangután en Sumatra y Borneo, y los gibones en el sudeste del

Asia continental e insular. No deja de ser significativo que sea el pequeño gibón, el hominoideo más alejado de los humanos, el más afortunado en diversidad y abundancia. Pese a la presión humana, aún sobreviven varios millones de gibones repartidos en nueve especies.

Pero hace unos 5 o 6 m.a., en algún lugar de África, posiblemente en su parte más oriental, empezó a diferenciarse un tipo particular de hominoideo: el primer homínido, nuestro más antiguo antepasado. Al principio no era apenas distinto de los antepasados de los actuales chimpancés y gorilas. Podría ser considerado como la versión Africana oriental del mismo grupo. Más tarde, hace al menos 4 m.a., este tipo de hominoideo presentaba una característica singular, nunca antes vista. No, no era un hominoideo más inteligente que los demás. Era un hominoideo bípedo.

Andando el tiempo, los hominoideos bípedos se fueron adaptando a los ecosistemas cada vez más secos de gran parte de África. Para ello desarrollaron especializaciones en la dentición. Ya vimos en su momento que es difícil medir la inteligencia de las especies fósiles (e incluso de las vivientes), pero utilizando el índice de encefalización es probable que los organismos más encefalizados hace 3 m.a. fueran los delfines, no los homínidos.

Hace unos 2,5 m.a. los homínidos se habían diversificado en dos líneas evolutivas diferentes. Una de ellas, la de los parántropos, se especializó en un aparato masticador hipertrofiado. En la otra estaban los primeros representantes del género Homo, los primeros humanos, con un cerebro algo mayor. Sólo a partir de este momento, los homínidos son únicos entre los seres vivientes por su mayor complejidad cerebral. Estos humanos fabricaron los primeros instrumentos de piedra. Los parántropos se extinguieron después, y los humanos posteriores modificaron su estructura corporal, aumentaron su cerebro y perfeccionaron su tecnología.

Pero ni siquiera desde que apareció la inteligencia en la biosfera la evolución humana ha seguido un camino único, una línea recta que conduce hasta nosotros. Por el contrario, hasta hace pocos miles de años han existido varias especies humanas inteligentes sobre la faz de la Tierra. El que ahora sólo exista la nuestra nos da una falsa perspectiva de que siempre ha sido así, de que nuestros antepasados se han sucedido unos a otros en una secuencia ordenada, en una escalera por la que hemos ido ascendiendo peldaño a peldaño.

En resumen, ni la historia evolutiva de los mamíferos, ni la de los hominoideos, refleja un patrón de aparición y progresivo dominio sobre las demás criaturas gracias a sus superiores características, especialmente su inteligencia. Por el contrario, el registro fósil nos

muestra en ambos casos una historia de aparición y posterior diversificación, seguida de la casi completa extinción y resurgimiento final; en el caso de los mamíferos gracias aun acontecimiento favorable de origen extraplanetario (o a alguna catástrofe geológica), y en el caso de los hominoideos, resurgimiento sólo parcial y debido ala adaptación de una de sus formas, los homínidos, aun modo de vida completamente nuevo para los primates, la vida en los medios abiertos, sin que la complejidad cerebral tenga nada que ver en esta adaptación.

¿Qué quiere decir todo esto? Sencillamente, que si no hubiera sido por una serie de acontecimientos ajenos a la biología, como la llegada a la Tierra de un meteorito, el levantamiento de cadenas montañosas, grandes movimientos de continentes y otros de menor escala, no estaríamos ahora aquí haciendo filosofía.

Dicho de otro modo, un biólogo extraterrestre habría predicho al comienzo del Mesozoico un gran éxito evolutivo para los "reptiles mamiferoides" y sus descendientes, y se habría equivocado (por cierto que en esta oportunidad la derrota de los reptiles mamiferoides se produjo sin necesidad de catástrofe alguna; los dinosaurios "jugaron limpio" y batieron a nuestros antepasados en pura competencia ecológica).

Otro biólogo alienígena que presenciara la vida en la Tierra algunos millones de años después habría pronosticado un gran futuro a los dinosaurios, y se habría equivocado también. Un tercer visitante habría dicho hace diez millones de años que los hominoideos reinarían para siempre en los bosques del Viejo Mundo, errando por completo.

Si la visita se hubiera producido hace seis millones de años el viajero del espacio estaría convencido de que la ruina de todo el grupo de los hominoideos era inminente. ¿Cómo habría podido saber el biólogo extraterrestre, que el cambio ecológico que tanto perjudicaba a los hominoideos iba a propiciar la aparición de un tipo de hominoideo bípedo que más adelante daría lugar a una especie, la nuestra, que poblaría el mundo y terminaría produciendo, también ella, biólogos? Incluso hace tan sólo 60.000 años, cuando los neandertales se extendían por toda Europa, Asia central y Oriente Próximo, ¿quién podría haber pronosticado que los humanos modernos, nuestros antepasados, saldrían del continente Africano y serían la causa de la extinción de los neandertales algunos miles de años después? y ahora que empezamos a saber cómo han ocurrido las cosas en el pasado, ¿quién se atrever a vaticinar el futuro de la biosfera?

Pero lo realmente trascendente no es la posibilidad de anticiparnos al futuro. Esto sólo es una curiosidad, una anécdota. Lo importante es que nuestra capacidad de predicción es la medida de nuestro

conocimiento del funcionamiento del proceso evolutivo. ¿Pero en verdad este conocimiento depende sólo de nosotros?

Si la evolución siguiera unas tendencias o trayectorias a lo largo del tiempo podríamos, prolongándolas hacia el futuro, predecirlo.

Como la única tendencia que parece seguir la evolución es la de adaptarse de muchas maneras diferentes a las cambiantes circunstancias del medio, la pregunta de hacia dónde van las especies quedar necesariamente sin respuesta.

Esta imprevisibilidad de la evolución indica que nada está escrito de antemano, que todo es posible. Muestra que el grupo biológico más floreciente puede extinguirse a causa de cambios en el medio físico o por culpa de la competencia con otros grupos de organismos. Ninguna forma de vida puede considerarse superior a las demás, porque ninguna está a salvo de la hecatombe.

Ahora bien, que la evolución sea imprevisible, ¿quiere decir que está gobernada por el ciego azar, que no hay leyes, que todo es caos, que nada se puede explicar? ¿Es razonable admitir que el desorden (el no-orden) haya producido tanta maravilla biológica? ¿Puede el ruido dar lugar por casualidad a una sinfonía?

En el núcleo mismo de la evolución hay caos puro. La selección natural opera sobre las variantes genéticas que surgen sin relación alguna con las actividades de los organismos o sus necesidades. La mutación, generadora de variación, es un proceso estocástico (regido por el azar). Sin embargo, una vez que una variante se ha producido, que se conserve y difunda o que sea eliminada y desaparezca no depende de la casualidad; en la compleja interrelación que un organismo mantiene con los demás y con el medio físico, determinadas variantes confieren a sus portadores una capacidad mayor para sobrevivir y reproducirse, mientras que otras la reducen, y ser únicamente las primeras las llamadas a perpetuarse. La selección natural es un proceso determinístico.

Pero a más largo plazo, no a la escala individual de los organismos sino a la de las especies y los grupos de especies, ¿hay azar o hay leyes? Para la física tradicional, incluida la de Newton y las más modernas física cuántica y relativista, el conocimiento completo garantiza la certidumbre, y la imprevisibilidad es consecuencia únicamente de nuestra ignorancia. Sin embargo, la moderna teoría del caos predica que puede haber orden, es decir, leyes que podemos conocer, en el interior de un sistema dinámico, y que, sin embargo, su comportamiento futuro puede ser impredecible. Veamos cómo puede entenderse esta aparente paradoja.

Organización y caos

Hoy en día tememos que las actividades agrícolas, ganaderas o industriales de la humanidad puedan destruir el equilibrio

ecológico, generalmente haciendo que desaparezcan especies, por muy bien adaptadas que estén. La introducción de animales, plantas u otros organismos de una región en otra (como los conejos en Australia) también puede tener efectos catastróficos para el equilibrio ecológico. Asimismo, nos preocupan los efectos en la biosfera del cambio climático inducido por la emisión de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, y por la destrucción de la capa de ozono. Todos somos cada vez más conscientes de que los ecosistemas, siempre en frágil equilibrio, se componen de numerosas especies con una larga historia detrás.

Pero, de una manera natural, todas estas cosas que nos preocupan (con razón) han ocurrido muchas veces en el pasado. Los continentes y mares no han tenido siempre la distribución que tienen ahora, y las diferentes regiones donde se desarrolla la vida se han separado y puesto en contacto de muchas formas distintas, dando lugar a numerosos intercambios de especies en los que algunas han resultado favorecidas y otras perjudicadas. Los cambios climáticos han sido frecuentes en la Historia de la Vida y su impacto en los ecosistemas muy fuerte (no hay más que recordar la alternancia entre glaciaciones y períodos interglaciales como el que ahora vivimos, que no durar siempre); también la composición de la atmósfera ha variado.

Finalmente, aunque el medio físico permaneciera inmutable, la aparición por evolución de especies nuevas introduce un factor fundamental de inestabilidad en los ecosistemas, y hace que éstos siempre estén cambiando. Los organismos presentan adaptaciones, conseguidas a lo largo de su evolución, que tienen sentido sólo en relación con los nichos ecológicos que las especies ocupan.

En una comunidad todas las poblaciones están relacionadas entre sí por intrincadas redes a través de las cuales fluye la energía y la materia. En el caso de un primate, por ejemplo, cualquier cambio en los vegetales de los que se alimenta o en los animales que consume, en los depredadores de los que es presa, en los competidores, o en sus parientes, tendrá consecuencias imprevisibles para la supervivencia de la especie, que se verá obligada a evolucionar a su vez, adaptándose a las nuevas circunstancias.

En otras palabras, la biosfera es un macrosistema enormemente complejo, constituido por muchos elementos diferentes que se autoorganizan según una jerarquía de niveles (célula, tejido, órgano, sistema, individuo, grupo familiar, grupo social, población, comunidad, ecosistema), e interaccionan de muchas formas diferentes a todos los niveles. Este tipo de sistemas presenta grandes dificultades para identificar sus leyes básicas de

funcionamiento, incluso cuando los elementos constituyentes son siempre los mismos. Sin embargo, y para complicar más las cosas, la evolución de las especies hace que la biosfera sea un macrosistema inestable, muy alejado del equilibrio, que no ha permanecido estático jamás, y cuya composición (las especies y por ende sus diversas interacciones) ha cambiado a lo largo del tiempo.

De todo esto se desprende que la evolución de las especies está sometida a la influencia de tal cantidad de factores que en la práctica su futuro es imprevisible. Esto no quiere decir que la evolución dependa del puro azar (en el sentido vulgar de caos incomprensible). Por el contrario, se puede entender, aunque eso sí a posteriori, como el tiempo meteorológico. En cierto modo se puede aplicar aquí el conocido ejemplo de la teoría del caos denominado "efecto mariposa": el batir de las alas de una mariposa en Pekín puede hacer que llueva en Nueva York (y no digamos si el delicado movimiento de las alas del insecto se sustituye por un meteorito de varios kilómetros de diámetro viajando hacia la Tierra a toda velocidad).

¿Pero se trata sólo de una cuestión técnica? ¿Nuestra incertidumbre se debe sólo a la complejidad del problema? La teoría del caos llegaría más lejos, hasta afirmar que aunque conociéramos todos esos factores e interacciones al detalle, el futuro no se puede conocer, simplemente porque no está dado. Es el fin de las certidumbres, que son sustituidas por probabilidades.

Cuenta Konrad Lorenz en su libro *Sobre la agresión: el pretendido mal*, que Alfred Kuhn terminó una conferencia citando estas palabras de Goethe: "La mayor dicha del hombre que piensa es haber explorado lo explorable y haber reverenciado tranquilamente lo inexplorable". Al momento estallaron los aplausos del público, y Kuhn alzó su voz para exclamar: "No, señores. Tranquilamente no. Nunca tranquilamente". ¿Debemos nosotros dar por concluidas en este punto las investigaciones sobre la naturaleza de la evolución? ¿Está ya todo dicho?

Nosotros pensamos, por el contrario, que queda mucho trabajo por hacer. La física de Newton nos habla de trayectorias que pueden ser expresadas por medio de ecuaciones. Conocidas las condiciones iniciales, tales trayectorias son predecibles y reversibles, como un péndulo, ahora aquí y luego allí. En esas ecuaciones el tiempo no existe, es sólo una ilusión donde el futuro y el pasado se dan la mano. La física cuántica sólo sustituye las trayectorias por las funciones de onda, pero la simetría con respecto al tiempo no cambia. La evolución biológica por el contrario es un proceso irreversible, que se despliega en el tiempo, que nos sorprende a cada instante, que no sigue trayectorias (tendencias).

¿Cómo hacer conciliables a la física y la biología? Si la teoría del

caos está en lo cierto, hay, como dice Ilya Prigogine (premio Nobel de Química de 1977) en su libro *El fin de las certidumbres*, una estrecha senda entre dos concepciones del mundo igualmente alienantes: la de un mundo determinista regido por leyes inmutables que no dejan ningún resquicio para la novedad (y donde la mayor de todas, la evolución, no sería posible), y la de "un mundo absurdo, sin causas, donde nada puede ser previsto ni descrito en términos generales", sometido al puro azar. Corresponde a los Darwin del presente o del futuro recorrer esa estrecha senda.

La Historia Interminable

Los organismos vivientes has existido sobre la Tierra, sin saber nunca porqué, durante más de tres mil millones de años, Antes de que la verdad, al fin, fuese comprendida por uno de ellos. Por un hombre llamado Charles Darwin.

Richard Dawkins, *el gen egoísta*

Cuenta Fernando Trueba en su Diccionario de cine que el famoso director francés François Truffaut afirmaba que "cuando iba al cine y veía a unos personajes construyendo un túnel durante una hora y media y al final de la película el túnel no servía para nada, creía que debían devolverle el precio de la entrada". Ya que no podemos devolverle lo que ha pagado por el libro, nosotros tampoco queremos dejar al lector con la desagradable impresión de que más de 3.000 millones de años de evolución no han servido para nada, y de que sólo somos una especie cualquiera. Porque además no es cierto.

En su famoso libro, ya comentado, *El significado de la evolución*, George Gaylord Simpson, después de explicar que la evolución no tiene propósito, se rebela contra la afirmación de que por esa razón el hombre es "sólo un animal". De entrada, para él ninguna especie animal es "sólo un animal", porque todas tienen sus propias singularidades que no comparten con ninguna otra especie. Pero la nuestra es excepcional en muchos aspectos muy importantes. Somos la especie más inteligente, que gracias a su inteligencia (se defina como se defina) ha sido capaz de ocupar todas las tierras del globo y desarrollar una tecnología, para lo bueno y para lo malo, para curar y para matar, pero que en todo caso puede modificar drásticamente su entorno y hasta la biosfera entera.

Eors Szathmáry y John Maynard Smith establecen en la *Historia de la Vida* una serie de grandes transiciones. Vale la pena echar

una ojeada a esos momentos estelares de la evolución para valorar la auténtica dimensión de nuestra aparición en la Biosfera. La primera transición consistió en el paso de moléculas libres o "replicantes", capaces de autorreplicarse, a poblaciones de "replicantes" encerrados en un mismo contenedor.

La segunda gran transición consistiría en la asociación de los "replicantes" en cromosomas.

La tercera transición es el cambio en la composición de la molécula de la herencia, que pasa de ser ARN (ácido ribonucleico) a ser ADN (ácido desoxirribonucleico). El ADN contiene la información genética y el ARN funciona como intermediario en la síntesis de proteínas. Con el ADN aparece el código genético que comparten todos los seres vivos (por lo que estos tres pasos son hipotéticos y en realidad pertenecen más bien a la Prehistoria de la Vida tal y como la conocemos hoy).

La cuarta transición llevaría desde los organismos llamados procariontes o procariotas (las bacterias y las algas verde azuladas o cianobacterias) a los primeros organismos eucariontes o eucariotas. • ésta es la categoría a la que pertenecemos nosotros, y se caracteriza porque las células tienen núcleo y una serie de orgánulos como los cloroplastos y las mitocondrias. Muchos autores consideran que los orgánulos son antiguos procariontes que se han integrado en la célula eucarionte; así, las mitocondrias contienen pequeñas moléculas circulares de ADN, semejantes a las de las bacterias.

La quinta gran transición se produjo al pasarse de organismos que se reproducen asexualmente ("autoclonándose") a organismos con reproducción sexual.

La sexta transición, el siguiente paso, condujo desde los organismos del reino de los protistas (todos unicelulares y eucariontes) a los organismos multicelulares, formados por muchas células (también eucariontes); este paso se habría producido al menos tres veces de forma independiente, dando lugar a los reinos Animal y Vegetal y al reino de los hongos (aparte de estos cuatro reinos existe el ya citado reino de los procariontes, que algunos dividen a su vez en otros dos: el de las bacterias "normales" o reino de las eubacterias, y el de unos procariontes que viven en ambientes extremos, que formarían el reino de las arqueobacterias).

Estas seis grandes transiciones se produjeron en diferentes momentos, pero todas hace mucho tiempo, ya que los organismos multicelulares existían hace 680 m.a.

En la séptima transición se pasó de organismos solitarios a organismos coloniales que incluyen categorías de individuos no reproductores, por ejemplo, las sociedades de castas de los insectos.

Muchas de estas transiciones tienen algunos perfiles comunes que son muy interesantes. En esencia, consisten en que elementos que viven y se reproducen aisladamente pierden parte de su independencia y se unen para formar entidades superiores (y ya no pueden reproducirse solos): el replicante se integra en el contenedor primero y luego en el cromosoma; los antiguos procariontes de vida libre se asocian en la clula eucarionte; el protista se convierte en una clula del organismo pluricelular; el individuo sólo puede vivir en la colonia, que es la que asegura la pervivencia de los genes compartidos por los individuos; con la reproducción sexual todo organismo depende de otro para perpetuarse, y por eso necesita pertenecer a una población.

Además, varias de estas transiciones se caracterizan también por la especialización y división del trabajo entre los elementos que se han aliado: los distintos genes codifican para diferentes proteínas; los orgánulos celulares tienen diferentes funciones; las diferentes c,lulas de un organismo multicelular forman tejidos muy diferenciados; cada casta tiene su propia función en la colonia.

Puesto que no pertenecemos a ninguna especie de insecto social podríamos pensar que lo más importante de la evolución que condujo hasta nosotros estaba ya hecho hace al menos 680 m.a., y que desde entonces no ha ocurrido nada realmente importante. Para Eörs Szathmáry y John Maynard Smith no hay nada más lejos de la verdad.

La octava gran transición tuvo lugar hace muy poco tiempo, y consistió en el paso de las sociedades de primates a las sociedades humanas, con la aparición del lenguaje articulado como un sistema único, revolucionario y potentísimo de transmisión de información (que entre otras cosas ha hecho posible escribir este libro con un alfabeto de veintiocho letras). Tanta espera había, después de todo, valido la pena. Aunque en el aspecto gen tico somos unos primates muy próximos a los chimpancés y un producto de la evolución, constituimos un tipo de organismo radicalmente diferente de todos los demás. Somos los únicos seres que se preguntan por el significado de su propia existencia.

Pero no nos dejemos ahora llevar por un exceso de triunfalismo, porque también es cierto que desde los comienzos de las ideas científicas entre los griegos se han hecho muchos esfuerzos por situar a nuestra especie de espaldas a la naturaleza o, peor aún, por encima de ella. De aquí proceden algunos de los grandes problemas que aquejan a la humanidad en el momento presente. Sólo a partir de Darwin se ha comprendido que no somos la especie elegida, sino como dice Robert Foley, una especie única entre otras muchas especies únicas, aunque eso sí, maravillosamente inteligente.

[1] A partir de la muestra del fósil neandertal se obtuvieron una serie de fragmentos de ADNmt que representaban dos clases de secuencias. Una de ellas se atribuyó a ADNmt moderno, debido a contaminación, mientras que la otra se contempló como susceptible de corresponder a auténtico ADNmt del ejemplar fósil. Es destacable que a pesar de todas las precauciones tomadas, que teóricamente hacían imposible la presencia de ADN contaminante, éste aparecía en los análisis. Este hecho nos indica qué difícil es evitar la contaminación en este tipo de trabajos y cuestiona el valor de los resultados de otros estudios menos rigurosos.

[2] No obstante, algunas de las comparaciones entre los ADNmt de humanos modernos arrojaron una diferencia mayor (hasta en 24 posiciones) de las obtenidas entre el ADNmt neandertal y el de ciertos humanos (20 posiciones). De modo que los resultados del trabajo no son tan contundentes como se ha llegado a decir, sino que más bien deben contemplarse como fiables a nivel estadístico.

Texto tomado del libro "La especie elegida" de Juan Luis Arsuaga e Ignacio Martínez

Fuente:

www.solamentecine.com/CAUM/CARPETAS/Talleres/aula_faustino_cordon/lecturasc.htm