

I. Martínez^{1*}, G. Cuenca-Bescós^{2*}

¹Departamento de Ciencias de la Vida, Área de Antropología Física, Universidad de Alcalá

²Departamento de Ciencias de la Tierra, Grupo Aragosaurus-IUCA, Área de Paleontología, Universidad de Zaragoza

*Correo electrónico: ignacio.martinezm@uah.es

+Correo electrónico: cuencag@unizar.es

1

Adaptación, vulnerabilidad e impacto en la evolución humana

Resultados clave

- Las modificaciones en la vegetación debidas a un cambio climático que comenzó hace 2'8 millones de años en el este de África fueron determinantes en la aparición del género *Homo*.
- Los datos sobre la diversidad relativa de las comunidades de micromamíferos en el yacimiento de Gran Dolina (Sierra de Atapuerca) señalan un periodo de despoblamiento de Europa, ligado a un cambio climático, hace entre 0'7 y 0'6 millones de años.
- La extinción de los neandertales estuvo estrechamente relacionada con las rápidas fluctuaciones climáticas sufridas en Europa a finales del Pleistoceno superior.
- El cambio de economía y de mentalidad debidos a la revolución neolítica son las causas fundamentales del profundo impacto de las actividades humanas en los ecosistemas de todo el mundo desde hace alrededor de 10.000 años.

Contexto

Desde su origen, hace alrededor de 3.600 millones de años (Ma) los seres vivos se han visto afectados por las variaciones climáticas que se han sucedido a lo largo de la historia de la Tierra. Los factores climáticos son determinantes en los parámetros físico-químicos (como son la temperatura ambiente, el grado de radiación solar, o la acidez y composición del agua) y también en las variables de naturaleza biológica (como son el tipo de vegetación y de fauna) de las que dependen la vida o la muerte de los organismos. Por ello, los seres vivos están sujetos a un incesante proceso evolutivo cuyo resultado es su adaptación a los distintos climas

de cada momento. En este sentido, se podría describir la Vida como un sistema experto que convierte la energía en información, a través de un proceso de generación aleatoria de variabilidad y selección de las variantes más favorables para la supervivencia de los individuos en las condiciones ambientales de cada momento.

Nuestro linaje no ha sido inmune a esta circunstancia y durante la historia evolutiva de nuestro grupo zoológico los seres humanos, y sus antepasados, han sido afectados por las variaciones acaecidas en el clima (Finlayson 2010). Nuestra vulnerabilidad a los eventos de cambio climático han determinado la extinción de algunas especies de nuestra familia evolutiva y también han condicionado nuestra historia biogeográfica, especialmente en lo referido al poblamiento de las tierras del Viejo Mundo. Por otra parte, los cambios en el clima también han sido determinantes en la aparición de adaptaciones específicas y en la aparición de nuevas especies y, muy significativamente, jugaron un papel crucial en el surgimiento del propio género *Homo*.

La evolución biológica de nuestra especie desembocó en un fenómeno novedoso en la historia de la Vida: la evolución cultural, fruto de la cual los seres humanos consiguieron una independencia creciente de los factores climáticos. Finalmente, en el último tramo de nuestra historia evolutiva la humanidad se ha convertido en un factor cada vez más influyente en el clima, primero a escalas locales y, recientemente, a escala planetaria.

El establecimiento de las variaciones climáticas del pasado y de su influencia en las comunidades biológicas en general, y de la evolución humana en particular, es un problema que puede ser abordado a partir del registro geológico y también desde el registro fósil. En esta línea, el estudio de los granos de polen fosilizados proporciona una información de gran importancia pues

nos permite aproximarnos al conocimiento de variables tan dependientes de los factores climáticos como son el tipo de flora y las proporciones entre vegetación arbórea, arbustiva y herbácea. Desafortunadamente, las condiciones de fosilización presentes en muchos yacimientos con presencia humana, especialmente en cuevas, no favorecen la conservación del polen y hacen que el registro polínico en dichos yacimientos esté a veces ausente o sea muy discontinuo. Una vía complementaria de aproximación al problema la constituye el estudio de la fauna acompañante en dichos yacimientos.

Los restos de grandes mamíferos son muy abundantes en los yacimientos arqueológicos pero su valor en la reconstrucción paleoambiental está muy menguado por dos circunstancias. En primer lugar, el área de vida de dichos animales suele abarcar una gran extensión y su asociación a ambientes concretos resulta laxa en la mayoría de las especies presentes en los yacimientos. Así, es frecuente encontrar asociados en los yacimientos fósiles de equinos, habitualmente relacionados con ambientes abiertos, con otros de cérvidos, considerados como habitantes de medios más arbolados. Por otra parte, los restos de los grandes mamíferos llegaron a los yacimientos arqueológicos debido a su consumo por parte de los humanos y fueron sus preferencias cinegéticas, por encima otros factores medioambientales, las que determinaron la presencia de unas u otras especies.

Sin embargo, estos problemas pueden soslayarse si se emplean los fósiles de micromamíferos. La corta vida de los individuos, su reducida área de vida y la estrecha adaptación a ambientes muy concretos de muchas de sus especies, convierte a estos pequeños habitantes de los bosques, riberas y praderas en excelentes indicadores medioambientales. Además, los micromamíferos no eran presas de los humanos del pasado, por lo que su presencia en los yacimientos no responde a las actividades humanas y no muestra, por tanto, el sesgo antrópico (Cuenca-Bescós et al. 2012). En la mayoría de los casos, los restos de los micromamíferos llegaron a los yacimientos en el seno de egagrópilas de aves de presa, especialmente de lechuzas. Estas aves son depredadores generalistas que realizan un muestreo no sesgado de las especies de micromamíferos. Los paleontólogos han aprendido a distinguir las huellas de la digestión de estas aves en los huesos de sus víctimas y pueden así seleccionar los casos en los que la acumulación de restos fósiles de micromamíferos es razonablemente representativa de los ecosistemas del pasado. Entre las distintas aproximaciones realizadas a partir del estudio de los fósiles de micromamíferos, el análisis de la diversidad relativa de las comunidades de micromamíferos del pasado está ofreciendo resultados de gran interés y se ha revelado en los últimos años como una excelente herramienta en la reconstrucción paleoambiental en los yacimientos arqueológicos.

En esta línea, es interesante destacar que un mejor conocimiento de la estructura de las actuales comunidades de micromamíferos en los diferentes ambientes nos permitirá realizar reconstrucciones paleoambientales más precisas y fidedignas. Por ello, uno de los campos de investigación paleoecológica de mayor interés en la actualidad consiste en la recopilación y análisis de estos datos, a partir del estudio de egagrópilas, en los diferentes biotopos ibéricos.

■ Adaptación en la evolución humana: el origen del género *Homo*

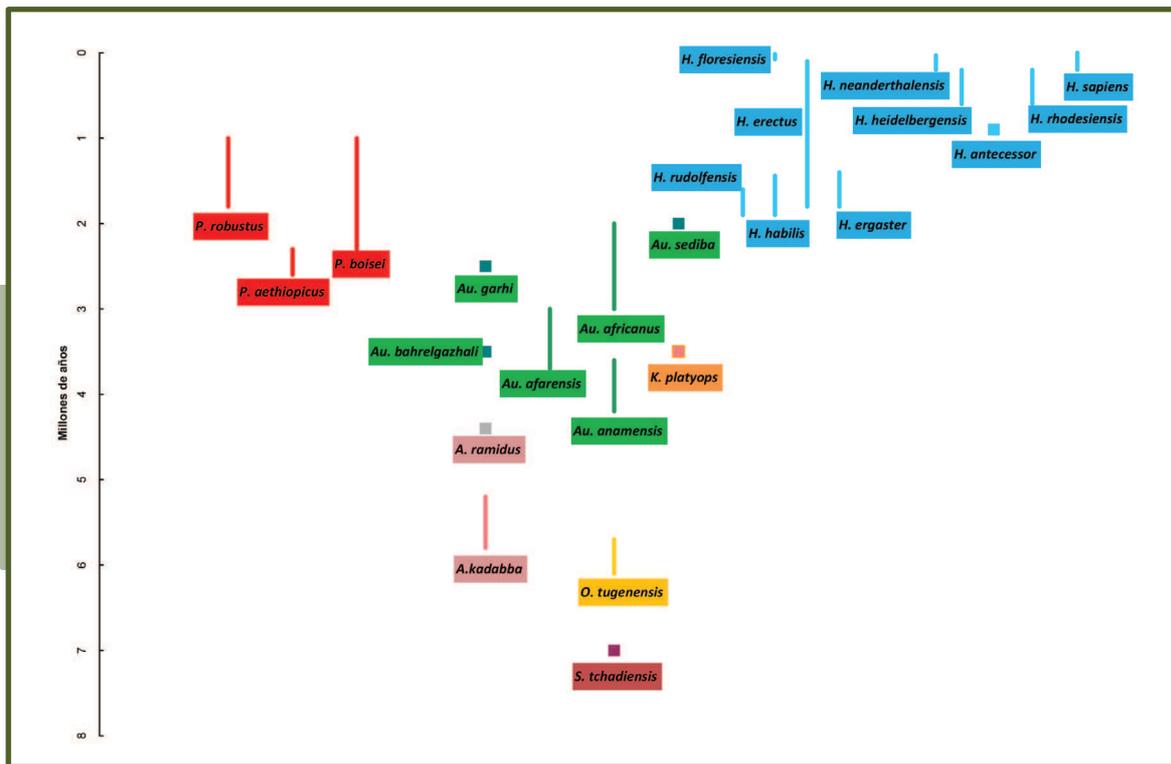
Aunque el registro fósil es muy fragmentario, parece claro que los primeros representantes de nuestro linaje vivieron entre hace 4 y 6 Ma (Martínez 2012) (Figura 1). Les conocemos por un puñado de fósiles que proceden de una extensa región del continente africano que se extiende entre la actual República de Chad, Etiopía y Kenia. La especie de la que tenemos más datos es *Ardipithecus ramidus* que vivió hace alrededor de 4,4 Ma. Se trataba de primates cuya existencia transcurría en el seno del bosque tropical y cuyo tipo de vida y de alimentación no diferirían de las de los actuales chimpancés. Aunque su tipo de locomoción era fundamentalmente arborícola, eran bípedos facultativos que se erguían sobre sus extremidades posteriores para desplazarse por el suelo del bosque tropical.

Hace entre 35 y 2,5 Ma nuestra familia biológica gozaba de un cierto esplendor en cuanto al número de especies, de las que la mejor conocida es *Australopithecus afarensis*. En general, se trataba de formas plenamente adaptadas a la locomoción bípeda, aunque aún conservaban importantes capacidades arborícolas. La anatomía craneal, mandibular y, muy especialmente, de la dentición apuntan a que estos homínidos habían cambiado la dieta de sus antepasados para hacerla más variada, incluyendo productos vegetales que requerían una masticación algo más intensa. Aunque su vida seguía vinculada a los ambientes forestales, eran capaces de vivir y medrar en las lindes de los bosques y en las praderas arboladas.

Esta relativa diversidad comenzó a menguar como consecuencia de un cambio climático que comenzó hace unos 2,8 Ma y que afectó profundamente a la vegetación de los ecosistemas en los que vivían los homínidos. En esa época, comenzaron a producirse en nuestro planeta marcadas oscilaciones climáticas, asociadas a la extensión de los mantos de hielo en el hemisferio norte durante las épocas frías, determinando un cambio en el régimen de lluvias que se fueron haciendo paulatinamente más escasas en la región oriental de África. Como consecuencia, los bosques fueron reduciéndose, mientras que las praderas y sabanas se extendieron por amplias regiones. En los yacimientos de esa época se registra el reemplazamiento de faunas (especialmente de micromamíferos y antílopes) asociadas a medios arbolados y ricos en agua por otras más características de praderas herbáceas (Bobe et al. 2002). Esta crisis climática y ecológica influyó decisivamente en la historia evolutiva de los homínidos, contribuyendo a la desaparición de todos los representantes del género *Australopithecus* y propiciando la selección de nuevas formas mejor adaptadas a los medios más abiertos: los primeros representantes de los géneros *Paranthropus* (los parántropos) y *Homo* (los humanos).

Los parántropos medraron a lo largo de una amplia zona geográfica que abarcaba desde las riberas del Mar Rojo (en la actual Etiopía) hasta el extremo meridional del continente (en la actual Sudáfrica). Se trataba de homínidos con un gran desarrollo del aparato masticador que estaban especializados en el consumo del tipo de plantas, más duras y fibrosas, que crecen en las praderas y sabanas africanas (Ungar & Sponheimer 2011). La especie *Paranthropus boisei*, que vivió en la

■ Figura 1



▲ Figura 1. Distribución temporal de los homínidos.

Fuente: Elaboración propia.

tierras orientales de África entre hace 2,3 y 1 Ma, fue la que llevó al extremo esta especialización y se ha determinado que las plantas de tipo C4 (características de los medios abiertos) constituirían hasta el 80% de su dieta (Cerling et al. 2011). A pesar de su especial adaptación a los nuevos ambientes abiertos, los parántropos se extinguieron finalmente hace alrededor de un millón de años. Solo nuestro género fue capaz de sobrevivir en un mundo desarbolado, merced a un revolucionario cambio que le permitió para ocupar un nicho ecológico inédito en la historia de los primates: el consumo habitual de carne. El primer fósil atribuible a nuestro género es un resto de hueso maxilar y tiene una antigüedad cercana a los 2,5 Ma, aunque no es hasta hace 1,9 Ma que los fósiles son lo suficientemente abundantes y significativos. A la primera especie humana se le denomina *Homo habilis* y presenta como principal rasgo anatómico un cerebro netamente mayor que el de sus antepasados no humanos (Arsuaga & Martínez 1998).

La clave de la supervivencia de los primeros humanos no estuvo en un cambio anatómico que le facultara para cambiar su dieta. Se trató de un invento, el primero de nuestra historia, al que conocemos genéricamente como talla de la piedra. Fue la obtención de lascas con aristas, quebrando los cantos, lo que permitió a los primeros humanos para rasgar la gruesa piel de los grandes ungulados y para cortar los músculos y tendones de las carcasas de los animales muertos. La talla de la piedra propició el cambio de nicho ecológico que permitió la supervivencia de nuestro linaje e inició la evolución cultural de la Humanidad. Se trata de un fenómeno exclusivo de nuestra estirpe, que ha ido ganando importancia frente a la evolución biológica, y es el que ha permitido a los seres humanos habitar con éxito en todos los ecosistemas terrestres del planeta.

■ Vulnerabilidad en la evolución humana: crisis en el poblamiento de Europa

Hasta los descubrimientos realizados en la Sierra de Atapuerca, a mediados de los años 90 del pasado siglo XX (Martínez 2012), parecía firmemente establecido que la humanidad no había arribado a nuestro continente hasta el filo del medio millón de años. Los resultados de más de un siglo de excavaciones en decenas de yacimientos arqueológicos así lo atestiguaban. Sin embargo, el descubrimiento de fósiles humanos e industria lítica asociada en Atapuerca ha demostrado que los humanos llegaron a Europa hace al menos 1,2 Ma. La vanguardia de los debates sobre el poblamiento de nuestro continente se centra ahora en determinar si dicho poblamiento fue continuo en el tiempo o si se interrumpió en ocasiones.

En los yacimientos europeos comprendidos entre hace cerca de 1,2 Ma y alrededor de 0,2 Ma pueden distinguirse dos fases, caracterizadas cada una por una manera diferente de producir la industria lítica o Modo tecnológico. El Modo 1 representa la forma más sencilla de tallar la piedra y apareció en África hace más de 2 Ma. Por su parte, el Modo 2 es más elaborado y se originó, también en el continente africano, hace algo menos de 2 Ma (Ambrose 2001).

El problema radica en que el Modo 2 aparece súbitamente en Europa hace alrededor de 500.000 años, asociado a la presencia de *Homo heidelbergensis*, mientras que los yacimientos más antiguos presentan útiles del Modo 1 y están asociados a *Homo antecessor*. Existe pues, un amplio desfase entre la llegada de ambos modos tecnológicos a Europa. Además, entre los últimos yacimientos con Modo 1, hace alrededor de 800.000 años, y los primeros con Modo 2, sobre los 500.000

años, hay un intervalo de casi 300.000 años sin registro de ocupación humana en Europa.

Una posible explicación para esta situación es admitir que hubo dos episodios diferentes de poblamiento de Europa. El primero protagonizado por *H. antecessor*, que traía consigo el Modo 1, y el segundo llevado a cabo por *H. heidelbergensis*, con el Modo 2. El amplio intervalo temporal sin apenas yacimientos con presencia humana, existente entre ambos episodios, correspondería a un momento de despoblamiento de Europa.

Sin embargo, existe otro punto de vista según el cual *H. heidelbergensis* no sería una especie inmigrante, sino que se habría originado por evolución local desde las poblaciones de *H. antecessor*. La súbita aparición del Modo 2 en Europa, hace medio millón de años es difícil de explicar desde esta hipótesis y habría que admitir un doble origen independiente (en África hace cerca de 2 Ma y en Europa hace 0,5 Ma) para esta manera de tallar la piedra. Para los partidarios de esta segunda explicación la ausencia de registro arqueológico y paleontológico de la humanidad en Europa entre hace 0,8 y 0,5 Ma no indicaría el despoblamiento del continente sino que se debería, sencillamente, a un sesgo de muestreo de dichos registros.

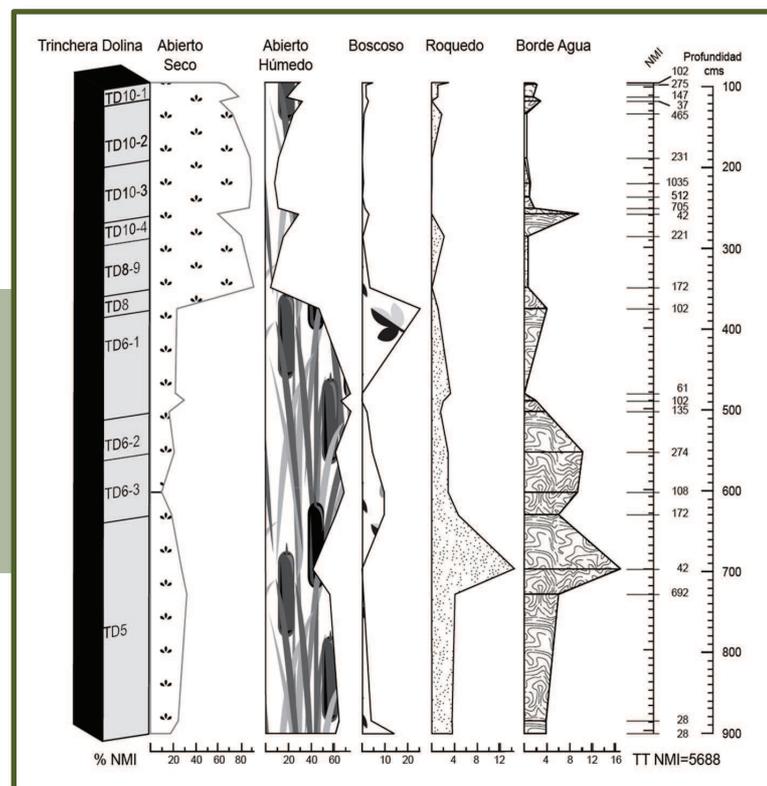
En este contexto, el yacimiento de Gran Dolina, en la Sierra de Atapuerca, ofrece una excelente oportunidad para contrastar ambas opiniones. Este yacimiento constituye un caso excepcional en Europa pues contiene un registro estratigráfico muy completo, que abarca desde hace cerca de 1 Ma hasta hace alrededor de 120.000 años, e incluye niveles con ocupación humana con el Modo 1 y niveles de ocupación con el Modo 2. Pues bien, en los niveles intermedios, correspondientes

a la época en la que los humanos parecen evaporarse del resto del continente, tampoco hay presencia humana registrada en Gran Dolina. De hecho, son los únicos niveles del yacimiento sin evidencias de dicha presencia. Este hecho concuerda con la idea de que en esa época los humanos habían desaparecido del continente europeo. Aunque también podría ocurrir que justo entonces, la cueva no fuera accesible para los humanos y que por eso sean los únicos niveles sin ocupación humana de Gran Dolina.

En este contexto, es muy interesante destacar que aunque no haya registro de ocupación humana de la cueva en dichos niveles, ni apenas restos de macromamíferos, sus sedimentos son ricos en fósiles de micromamíferos. Las investigaciones realizadas muestran que justo en esos niveles sin ocupación humana se refleja un importante cambio en la estructura de las comunidades de micromamíferos, que se hacen algo menos diversas y pasan de estar dominadas por especies típicas de medios abiertos y húmedos a predominar otras características de medios también abiertos pero más secos (Cuenca-Bescós et al. 2005, 2011) (Figura 2). Es muy sugestivo pensar que este cambio en las condiciones ambientales bien pudo estar relacionado con la desaparición de *H. antecessor* de Europa y su posterior sustitución por *H. heidelbergensis*.

Pero esta crisis no fue la única que hubieron de afrontar las poblaciones humanas europeas a lo largo del Pleistoceno. Hace unos 30.000 años comenzó en el hemisferio norte la fase más fría de la última glaciación. Durante esta época, las estepas invadieron las tierras de la mayor parte de Europa, que sufrieron importantes cambios ecológicos. Durante ese periodo se extinguieron los neandertales y el *Homo sapiens* se enseñoreó de las tierras de Europa.

■ **Figura 2**



▲ **Figura 2.** Riqueza relativa de especies de micromamíferos en el yacimiento de Gran Dolina (Sierra de Atapuerca, Burgos). NMI: Número Mínimo de Individuos.

Fuente: Elaborado a partir de Cuenca-Bescós et al. (2005).

Clásicamente, la desaparición de los neandertales se ha atribuido a una supuesta inferioridad mental y social frente a las poblaciones de *H. sapiens* que procedían de África y ante las que no pudieron competir. Sin embargo, esta idea se ha visto desafiada en los últimos años por un nuevo punto de vista que sostiene que las capacidades mentales de los neandertales no fueron muy diferentes de las de los actuales humanos, y que fueron factores ecológicos, determinados por cambios climáticos rápidos e intensos, los que ocasionaron el declive y desaparición de los neandertales (Finlayson y Carrión 2007). Otros autores, aún reconociendo la importancia de los factores climáticos y ecológicos en el proceso de extinción de los neandertales, siguen reservando un papel protagonista a la competencia con los humanos modernos, pues opinan que sin la presión de éstos los neandertales habrían sobrevivido a las crisis ambientales de la última glaciación (Banks et al. 2008).

En cualquier caso, sea con el concurso del *H. sapiens* o sin él, nadie duda en la actualidad de que fueron las extremas y rápidas fluctuaciones climáticas de finales del Pleistoceno superior la causa principal de la desaparición de las poblaciones neandertales.

■ Impacto en la evolución humana: la revolución neolítica

H. sapiens es, quizá, la más peculiar de todas las especies humanas. Comparada con las demás, destaca por tener el cuerpo más estrecho, el cráneo más esférico y sobre todo, la cara más pequeña y apenas sobresaliente. Nuestro comportamiento también presenta aspectos tan novedosos como son el arte y una gran versatilidad tecnológica, que incluye la invención de armas de largo alcance, como los propulsores y los arcos. Además, nuestra organización social es seguramente también mucho más compleja que la del resto de especies humanas. Todo ello nos ha facultado para poblar, en menos de cincuenta mil años, todos los ecosistemas del planeta (Finlayson 2010). Esta gran versatilidad ecológica indica una relativa liberación de la influencia de las condiciones ambientales. Por primera vez en la historia de la Vida, una especie se extiende con éxito desde los bosques del ecuador hasta el Ártico.

- Hace alrededor de diez mil años, coincidiendo con el final de la última glaciación, los humanos realizaron la mayor revolución de su historia desde la invención de la talla de la piedra. Se trata del comienzo de la agricultura y de la ganadería, que supuso el inicio de la economía de producción y el final de la economía basada en la caza y la recolección. A este momento de la historia de la humanidad lo llamamos Neolítico. En la revolución neolítica se encuentran el comienzo de la sedentarización y el origen de las ciudades, y se inició entonces la extraordinaria expansión demográfica que continúa en nuestros días.

- El nuevo tipo de economía determinó que los humanos comenzáramos a explotar sistemáticamente los territorios, modificándolos drásticamente para ponerlos a nuestro servicio. El fuego para aclarar los bosques, las obras hidráulicas para domar las aguas de los ríos, la creciente acumulación de desechos, la extinción selectiva de especies competidoras y el favorecimiento de otras consideradas útiles fueron, y son, algunas de las

herramientas con las que los humanos hemos alterado drásticamente los ecosistemas del planeta. Pero, quizá, el cambio más importante no fuera de índole económico. Se produjo otra transformación más profunda, que ha tenido gravísimas consecuencias para el resto de criaturas del planeta. Con la revolución neolítica dejamos de vernos como hijos de la Tierra y pasamos a considerarnos sus propietarios... Creced y multiplicaros.

- Nuestra especie, descendiente de un largo linaje cuya historia estuvo determinada por las condiciones medioambientales, se considera hoy al margen de la Naturaleza y ha pasado a engrosar la magra lista de especies capaces de producir un impacto ecológico global sobre el planeta. Incluso de modificar la composición de su atmósfera, tal como hicieron en los albores de nuestro mundo las cianobacterias. Pero hay algo, fruto de nuestra historia evolutiva, que nunca había estado al alcance de ningún otro organismo en la historia de la Vida. Somos la única criatura con la capacidad, y la responsabilidad, de elegir. En nuestra mano está decidir que nuestro futuro, el de nuestras hijas e hijos y el de nuestro mundo, sea mejor que el pasado.

■ Referencias bibliográficas

Arsuaga JL, Martínez I (1998) La especie elegida. Temas de hoy, Madrid.

Ambrose SH (2001) Paleolithic Technology and Human Evolution. *Science* 291:1748-1753

Banks WE, d'Errico F, Peterson AT, Kageyama M, Sima A, Sánchez-Goñi MF (2008) Neanderthal Extinction by Competitive Exclusion. *PLoS ONE* 3:e3972

Bobbe R, Behrensmeier AK, Chapman RE (2002) Faunal change, environmental variability and late Pliocene hominin evolution. *Journal of Human Evolution* 42: 475-497

Cerling TE, Mbuu E, Kirera FM, Manthi FK, Grine FE, Leakey MG, Sponheimer M, Uno KT (2011) Diet of *Paranthropus boisei* in the early Pleistocene of East Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA* 108:9337-9341

Cuenca-Bescós G, Marín-Arroyo AB, Martínez I, González Morales MR, Straus LG (2012). Relationship between Magdalenian subsistence and environmental change: The mammalian evidence from El Mirón (Spain). *Quaternary International* 272-273:125-137

Cuenca-Bescós G, Melero-Rubio M, Rofes J, Martínez I, Arsuaga JL, Blain HA, López-García JM, Carbonell E, Bermudez de Castro JM (2011) The Early-Middle Pleistocene environmental and climatic change and the human expansion in Western Europe: A case study with small vertebrates (Gran Dolina, Atapuerca, Spain). *Journal of Human Evolution* 60:481-491

Cuenca-Bescós G, Rofes J, Garcia-Pimienta J (2005) Environmental change across the early-middle Pleistocene transition: small mammalian evidence

from the Trinchera Dolina cave, Atapuerca, Spain.
En: Head MJ, Gibbard PL, editores. *Early-Middle
Pleistocene Transitions: The Land-Ocean Evi-
dence*. Geological Society of London, Special
Publication 247, Londres. pp. 277-286

Finlayson C (2010) *El sueño del neandertal. Por qué se
extinguieron los neandertales y nosotros sobrevivimos*. Editorial Crítica, Barcelona

Finlayson C, Carrión JS (2007) Rapid ecological turn-
over and its impact on Neanderthal and other hu-
man populations. *Trends in Ecology and Evolution*
22:213-222

Martínez I (2012) *El primate que quería volar*. Espasa,
Madrid

Ungar, PS, Sponheimer M (2011) The Diets of Early
Hominins. *Science* 334:190-193