

Etapas y causas de la sexta extinción en masa

Eustoquio MOLINA
Área de Paleontología, Departamento de Ciencias de la Tierra
Universidad de Zaragoza.

Resumen

Esta conferencia constituye una síntesis de datos multidisciplinares sobre el evento de la sexta y última gran extinción en masa que se ha iniciado en el Cuaternario. Las extinciones se producen de una forma gradual rápida y se pueden dividir en tres etapas principales. La primera etapa comenzó hace unos 100.000 años con la expansión del *Homo sapiens*. La segunda etapa se inició hace unos 10.000 años con el desarrollo de la agricultura. La tercera etapa se acaba de iniciar con el cambio climático inducido por la revolución industrial y el desarrollo de la sociedad de consumo. La causa desencadenante de este evento de extinción en masa es claramente la enorme proliferación de la especie humana, cuyos efectos destructores se deben principalmente a una serie de causas próximas, tales como la caza y pesca no sostenibles, la introducción de especies exóticas y la destrucción de hábitats naturales.

Introducción

La sexta extinción en masa es uno de los problemas más acuciantes, de mayor actualidad y está siendo objeto de numerosas publicaciones (Leakey y Lewin, 1995; Lister y Sher, 1995; Alroy, 2001; Boulter, 2002; Lyons *et al.*, 2004; entre otras muchas). Una de las cuestiones más debatidas sobre el comienzo de esta extinción en masa ha sido si la extinción de muchas especies de la megafauna pleistocena (animales mayores de 44 kg) fue causada por los humanos o por el cambio climático de las glaciaciones (Martin y Wright, eds. 1967; Martin y Klein, eds. 1984). La duda surgió cuando aún no se conocía bien la correlación entre los últimos cambios de temperatura de las glaciaciones cuaternarias y la expansión de la especie humana. Además, cuando tampoco se conocía bien el alcance destructor de la actividad antrópica.

Por otra parte, para todos los eventos de extinción se suelen buscar evidencias de impactos meteoríticos y se considera la hipótesis de impacto extraterrestre. En este sentido, recientemente se han descubierto algunas evidencias de un posible cometa más grande que el de Tunguska, que se desintegró sobre Canadá hace 12.900 años. La causa desencadenante más probable que se ha venido considerando es la proliferación humana, seguida del cambio climático y en mucha menor medida el impacto meteorítico. Los detalles del mecanismo de extinción se encuentran en los datos paleontológicos del Pleistoceno y Holoceno, así como en los datos actuales de tipo climatológico, ecológico, biológico y arqueológico.

Las glaciaciones del Cuaternario constituyeron cambios climáticos muy relevantes y el factor temperatura suele ser una causa próxima fundamental de las extinciones. En general, los descensos de temperatura son los que normalmente producen mayor número de extinciones y el comienzo de las glaciaciones afectó especialmente a la megafauna pleistocena que muestra una considerable pérdida de diversidad hace aproximadamente un millón de años (Azanza *et al.*, 2000). Ahora bien, este evento de extinción no fue tan relevante como el del límite Eoceno/Oligoceno, hace 34 millones de años, cuando se produjo un gran descenso de la temperatura global, que causó un importante evento de extinción (ver Molina, 2006). La diferencia parece deberse a que a comienzos del Cuaternario la temperatura media de partida no era tan elevada y el enfriamiento fue bastante gradual desde hace 2,6 a 1 millón de años.

Las extinciones acontecidas durante las glaciaciones no suelen considerarse como parte de la sexta extinción en masa y tampoco tuvieron la magnitud suficiente para ser consideradas como un evento de extinción en masa independiente. Transcurrió mucho tiempo hasta que el gran evento de extinción se produce hacia el final de las glaciaciones. Las glaciaciones cuaternarias produjeron principalmente cambios del nivel del mar del orden de aproximadamente 150 metros y provocaron migraciones latitudinales de la fauna y flora para mantener su adaptación al factor temperatura. La gran variabilidad climática durante las glaciaciones dio lugar a una alta diversidad específica en algunos grupos. En las regiones frías evolucionó una fauna de grandes mamíferos peludos, tales como los mamuts, que sobrevivieron a los periodos interglaciares. Hace unos 100.000 años los continentes estaban poblados con más de 150 géneros de megafauna, pero hace unos 10.000 años, al menos 97 de esos géneros se habían extinguido (Barnosky *et al.*, 2004). Como exponemos a continuación,

la causa desencadenante de este último evento de extinción en lugar de climática resulta ser de tipo biológico: la expansión y enorme proliferación de los humanos modernos.

El objetivo de esta conferencia es poner de manifiesto cómo y qué desencadenó la sexta extinción en masa, qué grandes etapas se pueden diferenciar y qué causas próximas están produciendo el mecanismo de extinción de las especies.

Etapas de extinción

Las extinciones en masa pueden ser excepcionalmente súbitas cuando se desencadenan por un impacto extraterrestre, graduales rápidas (menores de 100.000 años) en la mayoría de las asociadas a los eventos geológicos y algunas podrían ser graduales lentas en torno al millón de años (Molina, 2006; 2007). La sexta extinción actual se puede considerar gradual rápida, ya que comenzó hace aproximadamente unos 100.000 años, pero no se consolidó hasta hace unos 10.000 años y se está acelerando en la actualidad.

La sexta gran extinción en masa se puede dividir en tres etapas principales: la primera comenzó cuando los primeros humanos modernos se dispersaron por los distintos continentes, la segunda comenzó con el inicio de la agricultura y la tercera con el cambio climático actual causado por el desarrollo industrial de la sociedad de consumo.

Primera etapa: dispersión del *Homo sapiens*

La primera etapa se inició después de que la especie *Homo sapiens* evolucionara en África y comenzara a dispersarse por todo el mundo. En África y Eurasia los animales y plantas coevolucionaron con los homínidos, por lo que la fauna y la flora ya estaba adaptada a la coexistencia con los homínidos, sufriendo así una extinción menor y acompañada con la evolución de los humanos modernos.

En Australia, las extinciones se produjeron con la llegada del *H. sapiens*. Las extinciones de la megafauna australiana fueron casi simultáneas en todo el continente. Según Roberts *et al.* (2001) los humanos modernos llegaron hace unos 56.000 años y las extinciones se produjeron entre hace 51.000 y 40.000 años. El resultado de la “convivencia” con los humanos supone que finalmente sobrevivieron sólo cuatro especies de canguros de entre las grandes especies de marsupiales, los cuales habían ocupado los nichos ecológicos que en otros continentes habían ocupado los mamíferos placentarios.

Los Neandertales se extinguieron entre hace 33.000 y 24.000 años, unos 10.000 años después de que el *H. sapiens* llegara a Europa. En esta época del último periodo glaciario no hay ningún evento climático extremo que coincida con su extinción (Tzedakis *et al.*, 2007). En consecuencia, muy probablemente la extinción de los Neandertales en la península ibérica fue causada por la competencia ecológica con nuestra propia especie más inteligente, competitiva y mejor adaptada. Sin embargo, el mecanismo detallado de esta extinción aún está poco claro, aunque se ha discutido bastante (Aguirre *et al.* eds. 1987; Arsuaga, 1999; Carbonell, 2000; Bermúdez de Castro, 2002; Estévez, 2005, entre otros).

En la península ibérica, según Cuenca-Bescós (2008) desde hace 16.000 a 8.000 años hubo importantes desapariciones de mamíferos. La pantera desapareció hace 16.000 años, el perro cuon hace 15.000 años, la liebre de las nieves hace 12.000 años, el reno y el bisonte hace 10.000 años, el oso de las cavernas hace 8.700 años y el león hace 8.000 años. Entre los pequeños mamíferos el topillo (*Pliomys lenki*) se extinguió hace 11.000 años.

El factor temperatura no parece ser la causa desencadenante de la extinción de la megafauna (Alroy, 2001). Después del último periodo glaciario hace unos 10.000 años *Mammuthus* y *Megaloceros* desaparecieron de la mayor parte del mundo, pero algunos sobrevivieron aislados hasta su extinción varios miles de años después. El “alce” gigante que desapareció de Irlanda hace 10.600 años persistió en una isla hasta su extinción hace unos 7.000 años. El mamut sobrevivió en la isla de Wangler y se extinguió hace tan sólo unos 4.000 años (Ward, 1997; Stone, 2001; Pastor y Moen, 2004; Foucault, 2005). El aislamiento ha permitido a algunas poblaciones sobrevivir durante algún tiempo, pero el aislamiento produce en los mamíferos un menor tamaño y, tan pronto como a la isla llegan predadores, estas poblaciones que no han desarrollado defensas son exterminadas rápidamente. Estos casos son muy evidentes en el Cuaternario, cuando el hombre ha introducido especies exóticas o ha cazado intensivamente, exterminando especies que estaban aisladas. En consecuencia, el fin de las glaciaciones supuso el declive de los grandes mamíferos peludos, pero su extinción se produjo después, debido seguramente a la acción humana.

Además, muchas otras especies se extinguieron en todo el mundo después de la llegada del *H. sapiens*. Se extinguieron especialmente las de mayor tamaño, es decir, aquellas que fueron cazadas de forma no sostenible y no habían tenido antes un depredador tan inteligente y oportunista. Los datos paleontológicos del registro fósil indican que el *H. sapiens* llegó a Norteamérica hace unos 12.500 años, produciendo la extinción de gran parte

de la fauna pleistocena (mamuts, mastodontes, tigres dientes de sable, etcétera), como se pudo comprobar en Rancho La Brea y otros conocidos yacimientos americanos (Gill y West, 2001). En Sudamérica se extinguieron casi todos los grandes mamíferos, los cuales habían alcanzado un gran desarrollo y una buena adaptación (gliptódontes, megaterios, milodones, toxodones, etcétera).

A pesar de que la principal etapa de extinción coincide con el final de la última glaciación, fue la caza humana intensiva y no sostenible lo que produjo la extinción de los grandes mamíferos, ya que la extinción se inició antes de que finalizarán las glaciaciones y acabó después de este cambio climático. Por tanto, no existe total coincidencia para poder establecer la relación de causa y efecto. Además, el efecto del cambio de temperatura no explica plausiblemente la extinción, ya que la amplitud latitudinal de América es tan grande que los grandes mamíferos podrían haber migrado para mantener su temperatura de supervivencia. Así, se podrían haber concentrado en las zonas más frías y no se habrían extinguido si no fuera por la colonización humana.

En muchas islas americanas, la llegada del *H. sapiens* fue más tardía y también coincidió con la extinción de especies de gran tamaño, como ocurrió en las islas del Caribe hace 8.000 años. Por tanto, en aproximadamente 4.500 años, a medida que avanzaba la colonización humana, se extinguieron casi todos los grandes mamíferos pleistocenos que habían evolucionado aisladamente en América.

En Nueva Zelanda, en ausencia de mamíferos, las aves habían ocupado los nichos que normalmente habían sido ocupados en otras partes de la Tierra por los mamíferos. Una decena de moas (grandes pájaros no voladores) se extinguieron unos cien años después de que los maoríes colonizaran Nueva Zelanda, en una de las extinciones más contundentes, acaecidas hace tan sólo un milenio (Holdaway y Jacomb, 2000). Un caso similar ocurrió en la isla de Madagascar, que también tenía una fauna endémica muy diferenciada del continente africano y donde las extinciones se retrasaron hasta hace unos 2.000 años en que fue colonizada por los humanos. Por tanto, esta primera etapa se prolongó varios miles de años en las islas que fueron colonizadas tardíamente y se solapa con la siguiente etapa.

Segunda etapa: desarrollo de la agricultura

La segunda etapa comenzó hace unos 10.000 años con la invención de la agricultura y se acentuó con el desarrollo de la misma, ya que constituye uno de los cambios ecológico más

relevantes acontecidos en los últimos milenios. Esto ha provocado que el *H. sapiens* haya dejado de vivir dentro de los ecosistemas locales, para dedicarse a labrar la tierra para que produzca una o dos cosechas anuales y fomentar el desarrollo de unas pocas especies de plantas y animales domesticados.

La agricultura y la ganadería permitieron superar el límite natural de los ecosistemas locales, adaptándolo al tamaño de las poblaciones humanas, las cuales han pasado de una población mundial de menos de 10 millones de personas a los 6.000 millones actuales. La explosión demográfica se ha acentuado en los últimos siglos, así de 500 millones que éramos en 1600 pasamos a 1.000 millones en 1800, a 3.000 millones en 1940, y actualmente estamos creciendo a un ritmo de aproximadamente 100 millones por año (Ehrlich y Ehrlich, 1994).

Actualmente, se estima que se extinguen aproximadamente 30.000 especies cada año en toda la Tierra. A diferencia de la etapa anterior, ahora la mayor parte de ellas son de pequeño tamaño, las extinciones se producen en las regiones tropicales que tenían mayor diversidad y su extinción suele pasar desapercibida. Según Sepkoski (1997) se extinguen cerca de 100 especies diarias mientras que la tasa de extinción a lo largo de la historia de la Tierra fue de tan solo 2 o 3 especies diarias.

En la península ibérica la tasa actual de extinción no parece ser muy alta, ya que se trata de una región habitada por el hombre desde hace mucho tiempo, pero son muy conocidos diversos casos de especies o subespecies extintas recientemente y existen muchas especies en peligro de extinción. Uno de los casos más conocidos es el del bucardo, cuyo último ejemplar fue encontrado muerto el día 6 de enero de 2000 en El Parque Nacional de Ordesa. El desarrollo agrícola y ganadero, está provocando la destrucción de muchos ecosistemas y hábitats. Además, los incendios forestales, la contaminación de aguas y suelos, la caza ilegal y la invasión de otras especies son las causas próximas de extinción de mayor incidencia en Aragón (Molina y Lorente, 2000).

La progresiva desaparición de poblaciones es el preludio de la extinción de cada especie y es una indicación muy buena de la pérdida de diversidad. Ceballos y Ehrlich (2007) han comparado las distribuciones históricas y presentes de 173 especies de mamíferos en declive de seis continentes y concluyen que han perdido más de la mitad de su área de distribución histórica, principalmente donde las actividades humanas son intensivas. Esto indica una muy considerable amenaza de extinción para la mayoría de ellas.

La explosión demográfica, causada inicialmente por el desarrollo de la agricultura y finalmente por la revolución industrial, el desarrollo científico y los avances de la medicina, está produciendo la extinción ahora también de especies de tamaño pequeño. La tala de bosques y la desecación de humedales, para dedicar grandes superficies a la agricultura y a la ganadería, está provocando la extinción de muchas especies vegetales y animales de pequeño tamaño, que habían sobrevivido durante muchos millones de años. Por tanto, esta etapa también se solapa con la siguiente, ya que la agricultura no ha cesado de desarrollarse, los grandes mamíferos interfieren en las áreas cultivadas y en la actualidad hay muchas especies que están en peligro de extinción (Eldredge, 2001; Wilson, 2002; Sciana, 2003; entre otros).

Tercera etapa: cambio climático inducido por el hombre

Esta tercera etapa de extinción acaba de comenzar con el cambio climático inducido por la quema de los combustibles fósiles, como consecuencia de la revolución industrial. La enorme proliferación de la especie humana y el modo de vida de la sociedad de consumo, requiere una gran cantidad de energía. Para conseguir la energía el hombre ha ido quemando la madera de los bosques y más recientemente los combustibles fósiles (carbón, gas y petróleo), cuyos gases de efecto invernadero modifican mucho el medio ambiente. El dióxido de carbono y el metano generado por la actividad humana, sobre todo por la quema de los combustibles fósiles, está haciendo subir la temperatura del planeta y cambiando el clima.

En el oeste de Siberia se encuentran los depósitos más grandes del mundo de turba y el suelo está congelado desde hace muchos miles de años. Esta región se ha calentado tres grados en los últimos 40 años y ha comenzado a descongelarse. Si la temperatura continúa subiendo y el permafrost acaba descongelándose, se emitirían a la atmósfera enormes cantidades de gases de efecto invernadero como el metano y el dióxido de carbono, lo que contribuirá notablemente al efecto invernadero y al calentamiento global de la Tierra.

El cambio climático global inducido por efecto de las actividades humanas está siendo evaluado por el IPCC (Panel Internacional sobre Cambio Climático) constituido por unos 2500 científicos, que han dictaminado que ya es evidente la influencia humana sobre el cambio climático global. Según el IPCC, la temperatura de la superficie terrestre ha aumentado aproximadamente 0,6° C en el último siglo y se predice un aumento de 4° C para 2100 (Thuiller, 2007). Esta subida se ha detectado a pesar de que el ciclo solar se encuentra en

una fase de enfriamiento y ya ningún científico riguroso duda de la influencia antrópica en el calentamiento global.

Por toda la Tierra existen multitud de especies muy sensibles al cambio climático que ya han comenzado a extinguirse. En la península ibérica existen muchas especies amenazadas por el cambio climático. Entre las más sensibles se encuentran muchas especies de anfibios. La reducción de las precipitaciones en invierno y primavera puede causar muchas extinciones en los próximos 50 años. Los efectos catastróficos del cambio climático sobre la biodiversidad de la península ibérica está siendo denunciada por algunos científicos (Delibes de Castro, 2001; Pascual Trillo, 2001; Alemañ, 2003; Velázquez de Castro).

El aumento global de temperatura que supone el comienzo de esta tercera etapa de extinción puede ser la más dramática y afectar a la especie humana, ya que ahora existe una superpoblación de muchas áreas costeras, que se inundarán al subir el nivel del mar cuando se derritan los glaciares y gran parte de los casquetes polares. La subida del nivel del mar se debe en menor medida a la dilatación por la subida de la temperatura del mar y sobre todo a la fusión de los glaciares por todo el mundo. Los 150 glaciares de la frontera canadiense se han reducido a 37 y el último puede desaparecer antes de 2050, tal y como está ocurriendo con el glaciar del Kilimanjaro y otros muchos repartidos por toda la Tierra (Matthiessen, 2004). Los datos de los satélites muestran que desde 1990 el nivel del mar ha subido 3,3 mm cada año y aún el deshielo de la Antártida y Groenlandia no ha hecho más que comenzar. La inundación de áreas costeras muy pobladas puede provocar grandes desequilibrios y guerras que pueden llevar a la culminación de la sexta extinción en masa y al colapso de nuestra civilización.

Una parte de la sociedad comienza a ser consciente de una verdad muy incómoda (Gore, 2007) como es la amenaza del cambio climático, pero el clima está en nuestras manos y aún podría haber solución (Flannery, 2006; 2007). Algunos políticos ecologistas y científicos están alertando de la crisis planetaria que provocará el calentamiento global y de cómo afrontarla (Eldredge, 2001; Wilson, 2002; Sciamia, 2003; Rees, 2004; Wilson, 2006). De momento, la mentalización no parece motivar a mucha gente y las medidas que se están tomando para frenar el cambio climático son claramente insuficientes. El modelo de desarrollo de la sociedad de consumo, tan extendido en EE UU y en la Unión Europea, está siendo imitado por las naciones más pobladas como China e India. Este modelo de crecimiento parece claramente insostenible, supone un enorme derroche de materias que no se reciclan y, sobre todo, genera gran cantidad de gases de efecto invernadero. Dada la magnitud

de los cambios geológicos y climáticos, la solución al problema puede resultar muy difícil o imposible si no se toman pronto las medidas necesarias. La analogía con un cáncer resulta muy adecuada: extirpado a tiempo es fácil de curar, pero cuando ha creado metástasis es extremadamente difícil de erradicar.

Causas y efectos

De las grandes extinciones en masa hay dos que tienen una causa desencadenante muy bien documentada y sobre las que existe un alto consenso entre los especialistas: la quinta extinción en masa del límite Cretácico/Terciario que fue desencadenada por el impacto de un enorme meteorito (ver Molina 2006; 2007) y la sexta extinción en el Cuaternario que ha sido desencadenada por la enorme proliferación humana (Kaufman y Mallory eds. 1986, 1993; Leakey y Lewin, 1995; Lister y Sher, 1995; Alroy, 2001; Boulter, 2002; Lyons *et al.*, 2004; entre otros).

Los procesos ecológicos de extinción se puede dividir en múltiples etapas (Simberloff, 1994). En primer lugar hay una causa que desencadena el proceso y que es la principal responsable de la extinción. Además, hay una serie de causas próximas o factores limitantes que van fragmentando los ecosistemas y destruyendo los hábitats. Entre estas el factor temperatura es una de las causas próximas más frecuentes y determinantes en casi todos los eventos de extinción.

Las extinciones de grandes mamíferos del Pleistoceno han sido atribuidas a distintas causas. Principalmente a la caza no sostenible por los humanos modernos (Graham y Lundelius, 1984; Lister y Sher, 1995; Alroy, 2001; Lyons *et al.*, 2004), en menor medida a hiperenfermedad (MacPhee y Marx, 1997) y al efecto combinado de la caza y de los grandes cambios climáticos (Stuart, 1991, 1999), que habrían reducido la distribución geográfica y el número de las poblaciones, haciéndolas así más vulnerables al exterminio por los humanos modernos.

Otra causa desencadenante propuesta muy recientemente, a finales de mayo de 2007, por R. B. Firestone y otros investigadores, que han presentado varias comunicaciones en un congreso de la *American Geophysical Union* celebrado en Acapulco, sería la explosión de un cometa sobre Canadá hace 12.900 años. La evidencia consistiría un nivel carbonoso con iridio que constituiría el eyecta y que parece encontrarse en unos 50 yacimientos de Norteamérica.

La edad parece coincidir con el abrupto inicio del enfriamiento *Younger Dryas*, por lo que suponen que pudo desencadenar este enfriamiento, haber dado lugar a la desaparición de la cultura Clovi y haber contribuido a la extinción de la megafauna norteamericana (mamuts, mastodontes, perezosos gigantes, caballos, camellos, muchos pequeños mamíferos y pájaros). Esta propuesta es muy controvertida, de momento no está bien documentada y no parece nada plausible que desencadenara la sexta extinción en masa, como tampoco la hiperenfermedad que resulta no tener evidencias sólidas.

Respecto a las causas próximas de la extinción de las especies, la acción destructora del *H. sapiens* sobre la naturaleza suele tener tres modalidades: sobreexplotación (caza y pesca), introducción (invasión) de especies exóticas y destrucción de hábitats naturales (Leakey y Lewin, 1995; Vermeij, 2004). La caza por motivos principalmente alimenticios puede ser muy intensiva como ocurrió en Norteamérica de 1870 a 1875 cuando se mataron cerca de 10 millones de búfalos. Otras especies fueron cazadas hasta su extinción, tales como el dodo (*Raphus cucullatus*), pariente de las palomas de un metro de altura que se extinguió en Isla Mauricio hacia 1693 y la gran alca (*Pinguinus impennis*) de 75 cm de altura que se extinguió en la isla Eldey (Islandia) el 3 de julio de 1844 (Gill y West, 2001; Fuller, 2002). Otras veces las causas más próximas de extinción son menos necesarias que las alimenticias, siendo mera diversión o incluso pseudocientíficas, abarcando desde la caza de mariposas por coleccionistas, caza deportiva y hasta la matanza de rinocerontes para pulverizar el cuerno por sus supuestos efectos afrodisíacos. Además de la caza intensiva, últimamente otro problema acuciante es la pesca intensiva no sostenible que está agotando gran parte de los caladeros y provocando desequilibrios en los ecosistemas marinos. Asimismo, los océanos y los caladeros de pesca están siendo afectados por la contaminación (Ríos, 2005) debida a la erosión del suelo y el arrastre de los desechos agrícolas e industriales.

La segunda modalidad destructora del hombre sobre la naturaleza, generadora de causas próximas de extinción, consiste en la introducción de especies foráneas en ecosistemas nuevos para ellas. Las migraciones humanas y los intercambios comerciales han producido la diseminación de especies exóticas que compiten y producen la extinción de especies nativas. Ejemplos muy conocidos de especies exóticas son la introducción de los conejos y de la chumbera en Australia y Nueva Zelanda, así como el cangrejo americano y el mejillón cebra en Europa. El mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*), procedente del Mar Negro está invadiendo toda la Tierra. En el año 2001 apareció en el bajo Ebro y en el año 2007 se

encontró en el pantano de Lareo en Guipúzcoa. Además, de competir y desplazar a otras especies causa grandes pérdidas al obstruir tuberías de bombeo y desagüe. Muchas de las especies invasoras son transportadas por barcos que se desplazan por toda la Tierra como consecuencia de la globalización. El agua de lastre que sirve para nivelar la carga y facilitar la navegación de los grandes barcos es el medio de transporte aprovechado por miles de especies que invaden otros ecosistemas cuando se vacían los tanques. De los cientos de especies introducidas en el Mediterráneo, casi un centenar han sido transportadas por los barcos. Las especies invasoras cuando son más oportunistas que las autóctonas pueden provocar grandes daños, generando la extinción de las autóctonas y disminuyendo grandemente la biodiversidad global.

La tercera modalidad destructora del hombre sobre la naturaleza, que genera una serie de causas próximas de extinción, consiste en la destrucción de los hábitat naturales, debido a la necesidad de alimentar y alojar a tanta población que crece de forma logarítmica, para lo cual se despejan terrenos y se destruyen bosques en los que existía una gran biodiversidad. Las selvas tropicales son los ecosistemas donde existe una mayor biodiversidad, ya que las benignas temperaturas permiten una mayor cantidad de nichos ecológicos. Los árboles se talan y la madera se utiliza para materiales de construcción y combustión. La tala y la quema de estos bosques está produciendo la extinción de muchas especies que viven en estos exuberantes ecosistemas. Una de las características más relevantes de este evento de extinción en masa es la gran cantidad de especies vegetales que están desapareciendo, la vegetación no había sido tan afectada en las anteriores extinciones en masa. Los cambios de temperatura suelen producir migraciones en altura y en latitud de las especies vegetales, lo cual lleva un cierto tiempo, pero en este caso tenemos la acción destructora humana que impide ciertas migraciones y selecciona pocas especies para el cultivo en la agricultura. Las talas en las selvas tropicales están produciendo una fragmentación de los bosques en áreas que al ser de menor tamaño facilitan la extinción, especialmente en los bordes de estas áreas más pequeñas (Skole y Tucker, 1993) que resultan más vulnerables.

Los cambios de temperatura de las glaciaciones provocaron la evolución de unas especies y la extinción de otras, pero en algunos grupos aumentó la diversidad y no puede considerarse que las glaciaciones supusieran un gran evento de extinción. Sin embargo, las poblaciones de ciertas especies adaptadas a climas fríos se redujeron al cesar las glaciaciones y el hombre las ha exterminado allí donde habían quedado aisladas. En este sentido, puede

hablarse de una cierta influencia del fin de las glaciaciones y del aumento de la temperatura, pero fue el hombre quien las exterminó y desencadenó la extinción en masa. El cambio climático actual provocado por el hombre está afectando a muchas especies y es obvio que se trata de una causa próxima de extinción, mientras que la causa desencadenante es la acción humana. Esta extinción puede acabar también con la especie humana, lo cual ha sido considerado como suicida (Wilson, 1993; Valledor de Lozoya, 2000) y nuestra especie habría sido una de las que habría tenido una menor duración en la historia de la Tierra.

Por tanto, la principal causa desencadenante de la extinción Cuaternaria es sin duda de tipo biológico: la extraordinaria proliferación humana. La superpoblación y el modo de vida no sostenible tienen efectos muy destructivos. La actual subida de temperatura producida por la quema de los combustibles fósiles, si no se frena a tiempo puede suponer la aceleración y culminación del evento de extinción en masa. El hombre está alterando el equilibrio de los ecosistemas y provocando la rápida extinción de especies que habían coevolucionado durante mucho tiempo, produciendo cascadas de coextinción. Por ejemplo, cuando una planta se extingue suele acarrear la extinción de animales que han coevolucionado con ella. Las acciones emprendidas para la conservación de la biodiversidad se muestran claramente insuficientes, cada día se extinguen más especies y se intensifica el cambio climático. Por lo tanto, se necesitan acciones más intensas dirigidas a la conservación y reciclado para fomentar un desarrollo sostenible y la preservación de los ecosistemas con las especies que han evolucionado en ellos.

Una de las formas más eficientes para la conservación de las especies consiste en proteger los lugares de mayor biodiversidad, donde concentraciones excepcionales de especies están sufriendo una enorme pérdida de hábitat. Según Myers *et al.* (2000) el 44% de las plantas vasculares y el 35% de todas las especies de cuatro grupos de vertebrados están confinadas en 25 lugares que comprenden sólo el 1,4% de la superficie de la Tierra. Esta concentración facilita una estrategia de conservación que permitiría disminuir el riesgo de extinción para un alto número de especies.

Conclusiones

La sexta extinción en masa en el Cuaternario más reciente ha sido sin duda desencadenada por la enorme proliferación humana. Esta última extinción en masa se puede dividir en tres grandes etapas. La primera comenzó con la dispersión del *H. sapiens* por todo

el mundo hace unos 100.000 años, dando lugar principalmente a la extinción de los grandes mamíferos pleistocenos. La segunda comenzó con el inicio de la agricultura hace unos 10.000 años, se acentuó con el desarrollo de la agricultura por toda la Tierra, y está dando lugar a la extinción de muchas especies de menor tamaño especialmente de vegetales. La tercera se ha iniciado con la revolución industrial y con el cambio climático actual, está afectando a numerosas especies y puede culminar con la extinción de nuestra propia especie.

Existen muchas causas próximas que intervienen en el mecanismo de competición del *H. sapiens* sobre la naturaleza y éstas suelen causar la extinción por medio de tres modalidades principales: sobreexplotación (caza y pesca), introducción (invasión) de especies exóticas y destrucción de hábitat naturales. La quema de los combustibles fósiles está generando demasiados gases de efecto invernadero, causando un aumento de temperatura que está produciendo el deshielo de glaciares y casquetes polares, lo cual provocará una gran subida del nivel del mar. Finalmente, esta subida de temperatura provocará cambios en las corrientes oceánicas y puede acabar liberando los hidratos de metano acumulados en los fondos oceánicos y generando un evento hipertermal, como ocurrió en el límite Paleoceno/Eoceno hace 55 millones de años. La gran subida del nivel del mar producida por el deshielo de los glaciares inundará extensas regiones costeras y muchas islas, generando migraciones y guerras que podrían ocasionar el colapso total de nuestra civilización, si no se toman pronto las medidas necesarias. En este sentido, volviendo a la analogía con el cáncer, habrá que tener en cuenta que no se puede pretender curar a un enfermo de cáncer de pulmón sólo con que deje de fumar.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto Consolider CGL2007-63724/BTE del Ministerio de Ciencia y Tecnología y del grupo consolidado E05 subvencionado por el Gobierno de Aragón.

Bibliografía

- Aguirre, E., Carbonell, E. y Bermúdez de Castro, J.M. eds. 1987. *El hombre fósil de Ibeas y el Pleistoceno de la Sierra de Atapuerca*. Junta de Castilla y León. 439 pp.
- Alemañ, R. 2003. *Ciencia y apocalipsis*. Ediciones Equipo Sirius, Madrid. 344 pp.

- Alroy, J. 2001. A multispecies overkill simulation of the end-Pleistocene megafaunal mass extinction. *Science*. 292, 1893-1896.
- Arsuaga, L. 1999. *El collar del neandertal: en busca de los primeros pensadores*. Ediciones Temas de Hoy, Madrid. 311 pp.
- Azanza, B., Alberdi, M.T. y Prado, J.L. 2000. Large mammal turnover pulses correlated to the latest Neogene glacial trends in Western Europe. En: *Climates: past and present* (M.B. Hart ed.), Geological Society of London, Special Publication, 181, 161-170.
- Barnosky, A.D. Koch, P.L., Feranec, R.S., Wing, S.L. y Shabel, A.B. 2004. Assessing the causes of Late Pleistocene extinctions on the continents. *Science*. 306, 70-75.
- Bermúdez de Castro, J.M. 2002. *El chico de la Gran Dolina: en los orígenes de lo humano*. Editorial Crítica, Barcelona. 293 pp.
- Boulter, M. 2002. *Extinction: evolution and the end of man*. Harper Colling Publishers, London. 210 pp.
- Ceballos, G. y Ehrlich, P.R. 2007. Mammal population losses and extinction crisis. *Science*. 296, 904-907.
- Carbonell, E. 2000. *Planeta humano*. Ediciones Península, Barcelona, 263 pp.
- Cuenca-Bescós, G., G. Straus, L.G, González Morales, M.R, García Pimienta, J.C. 2008. The reconstruction of past environments through small mammals: from the Mousterian to the Bronze Age in El Mirón Cave (Cantabria, Spain). *Journal of Archaeological Science* (en prensa).
- Delibes de Castro, M. 2001. *Vida: la naturaleza en peligro*. Ediciones Temas de Hoy, Madrid. 317 pp.
- Ehrlich, P.R. y Ehrlich, A.H.1994. *La explosión demográfica: el principal problema ecológico*. Salvat Ediciones, Barcelona. 334 pp.
- Eldredge, N. 2001. *La vida en la cuerda floja: la humanidad y la crisis de la biodiversidad*. Tusquets Editores, Barcelona. 277 pp.
- Estévez, J. 2005. *Catástrofes en la prehistoria*. Ediciones Bellaterra, Barcelona, 334 pp.

- Flannery, T. 2006. *La amenaza del cambio climático: historia y futuro*. Santillana Ediciones, Madrid. 393 pp.
- Flannery, T. 2007. *El clima está en nuestras manos: historia del calentamiento global*. Santillana Ediciones, Madrid. 289 pp.
- Foucault, A. 2005. *Des Mammouths et des Hommes: deux expèces face aux variations du climat*. Ed. Vuibert, Paris. 251 pp.
- Fuller, E. 2002. *Dodo: from extinction to icon*. Ed. Harper & Collins, London. 180 pp.
- Gill, A. y West, A. 2001. *Extinct*. Pan Macmillan Ltd. London. 256 pp.
- Gore, A. 2007. *Una verdad incómoda: la crisis planetaria del calentamiento global y cómo afrontarla*. Editorial Gedisa. 328 pp.
- Graham, R.W. y Lundelius, E.L. 1984. Coevolutionary disequilibrium and Pleistocene extinctions. In P.S Martin & R. G. Klein (eds.), *Quaternary Extinctions, a Prehistoric Revolution*. Tucson: University of Arizona Press. 223-249.
- Holdaway, R.N. y Jacomb, C. 2000. Rapid extinction of the moas (Aves: Dinornithiformes): model, text, and implications. *Science*. 287, 2250-2254.
- Kaufman L. y Mallory, K. eds. 1986. *The last extinction*. The Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge, (segunda edición, 1993). 242 pp.
- Leakey, R. y Lewin R. 1995. *The sixth extinction. Patterns of life and the future of humankind*. Doubleday, New York. 271 pp.
- Lister, A.M. y Sher, A.V. 1995. Ice cores and mammoth extinction. *Nature* 378, 23-24.
- Lyons, S.K., Smith, F.A y Brown, J.H. 2004. Of mice, mastodons and men: human-mediated extinctions on four continents. *Evolutionary Ecology Research*. 6, 339-358.
- MacPhee, R.D.E. y Marx, P.A. 1997. The 40,000 year plague; humans, hyperdisease and first contact extinctions. In S.M. Goodman & B.D. Patterson (eds.), *Natural Change and Human Impact in Madagascar*: Washington D.C.: Smithsonian Institution Press. 169-217.
- Martin, P.S. y Klein R.G. eds. 1984. *Quaternary extinctions: a prehistoric revolution*. The University of Arizona Press. 891 pp.

- Martin, P.S. y Wright, H.E. eds. 1967. *Pleistocene extinctions: the search for a cause*. Yale University Press, New Haven y London. 453 pp.
- Matthiessen, P. 2004. *El fin de la Tierra: viajes a la Antártida*. National Geographic Adventure Press, Barcelona. 223 pp.
- Molina, E. 2006. Evidencias y causas de los principales eventos del Paleógeno basadas en los patrones de extinción y supervivencia de los foraminíferos. *Revista Española de Paleontología*, 21(2), 159-173.
- Molina, E. 2007. Causas de los principales eventos de extinción en los últimos 66 millones de años. *Revista de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza*. 62, 37-64
- Molina, E. y Lorente, J.M. 2000. Causas e incidencias de la última extinción en masa en Aragón. *Naturaleza Aragonesa*, 6, 20-25.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B. y Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. 403, 853-858.
- Pascual Trillo, J.A. 2001. *La vida amenazada: cuestiones sobre la biodiversidad*. Ediciones Nivola, Madrid. 169 pp.
- Pastor, J. y Moen, R.A. 2004. Ecology of ice-age extinctions. *Nature*, 431, 639-640.
- Rees, M. 2004. *Nuestra hora final: ¿será el siglo XXI el último de la humanidad?* Editorial Crítica, Barcelona. 222 pp.
- Ríos, M. 2005. *Contaminación: la Tierra agredida*. Ediciones Equipo Sirius, Madrid. 59 pp.
- Roberts, R. G., Flannery, T.F., Ayliffe, L.K., Yoshida, H., Olley, J.M., Prideaux, G.J., Laslett, G.M., Baynes, A., Smith, M.A., Jones, R. y Smith, B.L. 2001. New ages for the last Australian megafauna: continent-wide extinction about 46.000 years ago. *Science*. 292, 1888-1892.
- Sciama, Y. 2003. *Especies amenazadas: ¿hasta cuándo?* Larousse, Spes Editorial, 127 pp.
- Sepkoski, J.J. 1997. Biodiversity: past, present and future. *Journal of Paleontology*, 71(4), 533-539.
- Simberloff, D. (1994). The ecology of extinction. *Acta Paleontologica Polonica*. 38 (3-4), 159-174.

- Skole, D. y Tucker C. 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon. *Science*. 260, 1905-1909.
- Stone R. 2001. *Mammoth: the resurrection of an ice age giant*. Perseus Publishing, Cambridge, Massachusetts. 242 pp.
- Stuart, A.J. 1991. Mammalian extinctions in the late Pleistocene of northern Eurasia and North America. *Biological Reviews*. 66, 453-562.
- Stuart, A.J. 1999. Late Pleistocene megafaunal extinctions; a European perspective. In: R.D.E. MacPhee (ed.), *Extinctions in Near Time; Causes, Contexts and Consequences*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Thuiller, W. 2007. Climate change and the ecologist. *Nature*, 448, 550-552.
- Tzedakis, P.C., Hughen, K.A., Cacho, I. y Harvati, K. 2007. Placing late Neanderthals in a climatic context. *Nature*, 449, 206-208.
- Valledor de Lozoya, A. 2000. *La especie suicida: el peligroso rumbo de la humanidad*. Ediciones Díaz de Santos, Madrid. 223 pp.
- Velázquez de Castro, F. 2005. *25 preguntas sobre el cambio climático*. Ediciones Libertarias, Madrid. 268 pp.
- Vermeij, G.J. 2004. Ecological avalanches and the two kinds of extinctions. *Evolucionary Ecology Research*. 6, 315-337.
- Ward, P.D. 1997. *The call of distant mammoths: why the ice age mammals disappeared*. Springer-Verlag, New York. 241 pp.
- Wignal, P.B. 2004. Causes of mass extinctions. In: Taylor, P.D. ed. *Extinctions in the History of Life*. Cambridge University Press, 119-150.
- Wilson, E.O. 1993. Is humanity suicide? *New York Times Magazine* (23 de mayo de 1993). Pág. 26.
- Wilson, E.O. 2002. *El futuro de la vida*. Galaxia Gutenberg, Círculo de Lectores, Barcelona. 317 pp.
- Wilson, E.O. 2006. *La creación: salvemos la vida en la Tierra*. Katz Editores, Buenos Aires. 252 pp.