

MESSINIENSE: COMPLEJA Y GRAVE CRISIS ECOLOGICA

E. Aguirre*

RESUMEN

La división final del Mioceno, piso «Messiniense» —entre 6,5/6,6 Ma y 5,3 Ma—, presentó problema para su redefinición y la interpretación de sus secuencias estratigráficas en la década de 1960. Fue objeto de estudios profundos y diversos en el marco de programas de la Comisión Internacional de Estratigrafía (ICS) y del Programa Internacional de Correlación Geológica en las décadas siguientes. Numerosos yacimientos de mamíferos fósiles en España y otras regiones con importantes novedades, entre ellas diversos intercambios intercontinentales, en el mismo intervalo cronológico añaden cuestiones de interés además de obligar a la correlación entre la estratigrafía basada en series marinas y la biostratigrafía continental. A las singularidades de estas series se añade el descubrimiento reciente de homínidos fósiles con indicios de bipedia en edades comprendidas en este intervalo. En el mismo se han datado graves eventos paleogeográficos, geodinámicos, paleoambientales y paleoclimáticos, que empezaron a investigarse hace 40 años como la «Crisis de Salinidad del Mediterráneo», y sobre cuyo desarrollo e interacciones se han publicado diversos modelos más o menos incompletos: aislamiento del mediterráneo, descenso global del nivel del mar, acreción continental y orogenia, glaciación, deterioro de la cubierta vegetal. Una interpretación de la secuencia de eventos en estos diversos campos de estudio de Historia de la Tierra y de la Vida, y sus interacciones, puede trazarse con una calibración del orden de los cien mil años.

Palabras clave: *origen de la bipedia, carbono C3-C4, correlación estratigráfica continental/marina, expansión de mamíferos fósiles, migración de mamíferos fósiles, Mediterráneo, Messiniense, Mioceno terminal.*

ABSTRACT

The «Messinian» is the last stratigraphic stage of the Miocene, lasting between 6.6/6.5 and 5.3 MaBP. Its redefinition and stratotype designation were problematic in the 1960s, in the frame of the IUGS International Commission on Stratigraphy (ICS) revision works and the Project no.25 of the International Geological Correlation Program (IGCP) in the following decades. The interpretation of the regional Mediterranean stratigraphic sequence was debated. Many fossil mammal sites in Spain and other peri-Tethic regions, showing relevant events and intercontinental exchanges within that time span, add pressing questions to the essential need of correlating the continental biostratigraphic divisions to the marine based stratigraphic scale. Recent discovery of fossil hominids with early evidence of bipedal adaptation in East-and Central Africa with referred ages of nearly 6 MaBP, or more, makes the study of that age still more exciting. In the same time span, major palaeogeographic, geodynamic, palaeoclimatic and palaeoenvironmental events have been dated, that started been investigated 40 years ago also in connection to the late Miocene Mediterranean «Salinity Crisis»: isolation from the Atlantic Ocean, global sea level lowering, continental accretion and orogeny, glaciation and vegetal cover deterioration. Several models of sequenced interactions have been proposed. A comprehensive scenario is here attempted of these major events in the History of Earth and History of Life, with a calibration of nearly hundred thousand years.

Key Words: *origin of bipedism, carbon C3-C4, stratigraphic correlation, fossil mammals, expansion/migration, Mediterranean salinity crisis, Messinian events, terminal Miocene.*

* Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

La revisión de las escalas regionales estratigráficas del Neógeno

En 1957 se constituyó el Comité regional de Estratigrafía Neógena Mediterránea (RCMNS), respondiendo a una iniciativa de la Comisión Internacional de Estratigrafía, para ayudar a la Subcomisión del Neógeno (SNS) en la revisión de las definiciones y estratotipos para la escala Estratigráfica Global. El RCMNS (Comité del Neógeno Mediterráneo; más brevemente – CNM) fue inicialmente animado y convocado por Jean Roger, del BRGM de Francia.

La revisión de estratotipos era punto clave de la agenda del CNM. Siendo italianos la casi totalidad de éstos para las divisiones del Neógeno que seguían a la inicial (Burdigaliense), a saber: Serravalliense, Langhiense, Tortoniense, Messiniense, Zanclicense, Astiense, Plasenciense y Calabriense, los especialistas italianos pronto avanzaron en esta labor de revisión. Varios centros e investigadores de Europa central —Austria, Hungría, Eslovaquia, Rumanía, Suiza, Alemania, Francia— emprendieron la labor de revisión de estratigrafía regional en las cuencas del Ródano, el Rin y sobre todo del Danubio, que, en la segunda mitad a lo largo del Mioceno habían pasado en grandes extensiones de mar interior a ser medio salobre y finalmente fluvial con poderosa emersión de corteza continental. Además de las faunas de foraminíferos planctónicos, los comúnmente atendidos en Estratigrafía, era necesario aquí estudiar paleofaunas bentónicas y salobres con moluscos, y las continentales también de mamíferos. En el caso de la Península Ibérica el dominio de lo continental en la estratigrafía miocena era aún más pronunciado y asimismo creciente a lo largo del Plioceno.

El Messiniense: definición y datos debatidos

El I Congreso del CNM se organizó en Viena. En 1959 se planteó la revisión de estratotipos y límites. Se acordó proceder a una clasificación por biozonas de mamíferos y se constituyó un Grupo de trabajo (Mein, 1975). El Mioceno Terminal se cuestionó incluso como piso válido y Raimondo Selli recibió el encargo de revisarlo y redefinirlo. El II Congreso del CNM se celebró en Sabadell y Madrid, en 1961: Selli (1971) ponderó las dificultades del Messiniense de Mayer-Eymar por presentar microfaunas pobres y diastróficas, rechazó los estratotipos y nombres hasta entonces propuestos y no se mostró convencido de otro estratotipo por él estudiado. En esta reunión Jean Roger había sugerido buscar un nuevo estratotipo en el sur de Espa-

ña, en área próxima al Mediterráneo pero abierta al Atlántico donde el medio marino y la microfauna planctónica se pudieran reconocer y estudiar sin los colapsos que dificultaban su estudio en el interior de la cuenca mediterránea. El autor de este repaso se comprometió a ello, y refirió los sondeos estudiados por Enrico Perconig en la provincia de Sevilla. Días después, en Madrid, Perconig presentó una comunicación. En el III Congreso del CNM, Berna 1964, presenté una comunicación acerca del afloramiento de capas marinas regresivas sobre margas tortonienses en el alcor de Carmona, como posible estratotipo nuevo del piso terminal del Mioceno para el que se proponía, de acuerdo con Perconig y Julia Borragán, el nombre de «Andalu-ciense» (Perconig y Granados, 1973; Aguirre y Perconig, 1975).

El interés por no interrumpir la secuencia de estratotipos del Neógeno en la región italiana era explicable. El Messiniense de Mayer-Eymar estaba correctamente definido pero era difícil de correlacionar por el empobrecimiento de indicadores fósiles (Cita, 1973). El mismo problema surgía con los cortes que se estudiaron en el SE de España: las series regresivas estaban afectadas por tectónica local. Más posibilidades tendría de registrar un cambio global una serie del lado atlántico aunque próxima al Mediterráneo. Entre las secuencias estratigráficas que ilustran el Messiniense en el área mediterránea y sus proximidades, entre las épocas transgresivas Tortoniense y Zanclicense, recordemos ante todo la de Sicilia, con el locotipo de la definición de Mayer-Eymar. En ésta, las margas azules marinas, de la biozona de foraminíferos planctónicos N17, son sustituidas por arcillas euxínicas con empobrecimiento en microfaunas marinas, diatomitas y precipitados, y a continuación por evaporitas y depósitos de aguas someras (Van Couvering, *et al.*, 1976). En el suroeste de España, el corte expuesto en los «alcores» de Carmona, las margas gris-azul del Tortoniense pasan a limos más o menos detríticos, terminando por las arenas amarillas del «albero» y por las calcarenitas fosilíferas («caliza tosca») que pueden cambiar lateralmente o alternar en la vertical entre la «cangrejera» de los canteros, menos cementada, y la «maciza»; las margas verde claro del Zanclicense se superponen en discordancia. En la secuencia de la Mesa de Asta la discordancia parece estar atenuada. Se han correlacionado con éstas algunas secuencias en otros mares u océanos, como la del Kapitense, con el tramo superior del Tongapontuense infrayacente y la base del suprayacente Opoitiense de Nueva Zelanda (Van Couvering *et al.*, 1976).

La edad de estas series estratigráficas y los cambios que las distinguen se datan, al final por la

transgresión Zancliense, en 5,3 Ma (ver Berggren *et al.*, 1995). Al comienzo, por las primeras apariciones (FAD) de *Globorotalia conomiozea* y *Ceratolithus tricorniculatus*, que coinciden con el «empobrecimiento» notado en las series de Sicilia y de Carmona, y en el área de Librilla están por encima del volcán de Barqueros datado en 6,9 Ma, lo que permite situarlas entre 6,8 y 6,6 Ma; el dato FAD de *C. tricorniculatus* en el Pacífico ecuatorial se halló también cerca de los 6,6 Ma, por lo que Van Couvering y otros (1976) tomaron este dato como más seguro para el comienzo de la crisis y la edad Mesiniense; Opdyke y otros (1997) lo llevan a 7,2 Ma por correlación paleomagnética.

La Escala Estratigráfica Global (*Global Stratigraphical Scale* de 1989, compilada por J.W. Cowie y M.G. Bassett), databa el límite basal del Mesiniense en 6,5 Ma; su final en la base del Plioceno, hace 5,3 Ma.

La biozona MN13 de mamíferos finimiocenos

Especial interés tienen en esta época regresiva las formaciones continentales con sus fósiles de mamíferos sobre todo. Sólo en España se han estudiado más de diez localidades en un intervalo de tiempo que se superpone, rebasándolo ligeramente, al del Messiniense de la Escala Global. Se trata de la biozona de mamíferos neógenos MN13. El yacimiento de ésta mejor conocido y más referido es el de Venta del Moro (Valencia), después de la tesis doctoral de J. Morales (1984); se halla en capas lignitíferas, en la serie continental de la Cuenca del Júcar (F. Robles en Aguirre *et al.*, 1973) y se le asigna un dato paleomagnético de 5,8 Ma (ver Opdyke *et al.*, 1997), y es el primer sitio en que se identificó un camélido mioceno en el Viejo Mundo (Morales *et al.*, 1980), del género *Paracamelus*, venido de Norteamérica a través de Behring (o del arco de las Aleutianas). Entre otros inmigrantes, venidos de Africa unos y otros de Asia, cuentan en su paleofauna el hipopótamo y un proboscideo del género *Anancus* entre los primeros, los carnívoros *Dinofelis* y *Agriotherium* entre los segundos. En otros casos la migración parece haber seguido la ruta N-S de Europa a Africa, como un *Miotragocerus*; la bifurcación desde el Oeste de Asia al norte y al sur del Mediterráneo es lo más verosímil en este último y en los dos carnívoros aludidos. La aparición más tardía de éstos en Africa puede obedecer a defectos del registro o a nuevos cambios ecológicos: queda en duda, como otros casos de primeras apariciones en esta paleofauna (Morales, 1984). Entre los micromamíferos es llegado de Africa el *Paraethomys miocaenicus*.

Es precisamente el conjunto de micromamíferos el que ha permitido reunir con Venta del Moro en la biozona MN13 los yacimientos de Algora, Valdecebro 3, el Arquillo, Masada del Valle 7, Crevillente 6, sin *Paraethomys*, y ya con este inmigrante Arenas del Rey-La Mina, Salobreña, Librilla, La Alberca, Las Zorreras (Martín-Suárez *et al.*, 2000). Son menos los sitios que comparten con Venta del Moro micromamíferos de su conjunto, autóctonos o inmigrantes. El primer yacimiento en que se detectaron algunos venidos de Africa fue Arenas del Rey (Aguirre, 1963 a,b) en la Cuenca de Granada; pronto siguieron El Arquillo en la de Teruel, y, en la de Murcia, Librilla con *Paracamelus* y el supradato próximo de 6,9 Ma en Barqueros, y La Alberca, una cuña continental con Mesiniense marino infra- y suprayacente (Aguirre, 1974; Aguirre, Morales, 1974; Aguirre, Alberdi, Perconig, 1975).

Esta biozona MN13 se considera comprendida entre datos próximos a 6,6 Ma en lo alto del tramo C3An.2r, y 4,93 MN en estrecha banda C3n.3r de la escala paleomagnética (Opdyke *et al.*, 1997) por el sitio Fuente del Viso, que unos consideran el último de la MN13 y otros incluyen en la MN14.

Otros conjuntos faunísticos de Europa, y también de Asia, se incluyen en esta biozona MN13 (Mein, 1975; Aguirre, 1975; de Bruijn *et al.*, 1992; van der Made, 1999): Lissieu en Francia; Cassino, Gravitelli (ambos con hipopótamo), Baccinello y, correlacionado con Mesiniense marino, Brisighella en Italia; Baltavar y Polgardi en Hungría; Samos 5, Maramena, Monasteri, Ditiko en Grecia y países balcánicos; Tudorovo, Augustovka, Franzovka, Amasya en el este de Europa y oeste de Asia; Taçkinpaça en Turquía además de Çobanpinar con *Paracamelus*, como también lo tienen —trazando su camino de expansión— Jalalabad en Afganistán y Yushe en China (Made *et al.*, 2002). Más difieren las paleofaunas de otras regiones, y la correlación sólo es fiable por datos cronométricos con el Dhok-Patan superior de la India, dudosa en niveles de Langebaanweg en Sudáfrica; cierta en Lothagam I con dato c. 5,5 Ma, y en el sitio también en Africa Oriental de Lukeino, con datos límite de 6,0 y 5,65 Ma que contiene los nuevos fósiles de *Orrorin tugenensis* clasificados como Homínidos bípedos (Pickford y Senut, 2001; Senut *et al.*, 2001). El sitio Toros-Menalla con un nuevo homínido mioceno —*Sahelanthropus tchadensis*— en el centro de Africa, en el borde del Sahara, se data como mesiniense por correlación faunística con Lukeino: quizá se exagera al asignarle una edad próxima a los 7 Ma. Es más probable que no vaya mucho más atrás de los 6 Ma. En ambos sitios se encuentran también los primeros elefantes. Toros-Menalla tiene alguna mayor proximidad que Lukeino con Venta del Moro en taxones afines a

Machairodus (*Amphimachairodus giganteus*) y a *Thalassictis* (*Hyaenictitherium hyaenoides*), sin especular, por falta de observaciones precisas, sobre los *Anancus* y los hipopótamos. Más lejos están las paleofaunas americanas; pero como buscamos un escenario global que ayude a explicar cambios faunísticos importantes, como los que estamos repasando, mencionemos el recuento de 6 inmigraciones hace c.8 Ma, otras 7 hace c. 6,5 Ma, y 10 más hace 5,5 Ma (Webb & Opdyke, 1995), dentro de la biozona Hemphilliense que casi coincide con la europea MN 13. En América Central son los sitios de Yepomero, Rancho Ocote, Tehuichila, Goleta, los que deben ser tomados en consideración, y en Sudamérica los del Huayqueriense, con límites cronológicos muy próximos a los del Hem-philliense y la MN13, de Catamarca, Huayqueria, parte de Entre Ríos (Pascual, 1984). En resumen, los cambios faunísticos que definen la biozona MN13 en su comienzo y final son significativos, no sólo en la fauna típica de Venta del Moro (Morales, 1984) y en las de las cuencas peninsulares del centro (Daams *et al.*, 1998) y levante (Opdyke *et al.*, 1997), sino en Europa, aplicando método estadístico de proximidades (Alberdi *et al.*, 1997; Azanza *et al.*, 1999), y globalmente.

Entre estos datos que incluyen el Messiniense y la MN13, c. 6,6-5,3 Ma y c. 6,8-4,93 respectivamente, otros registros sitúan eventos importantes en la superficie del Planeta Tierra donde interaccionan la litosfera, hidrosfera, atmósfera y biosfera en cambios entre tranquilos y convulsivos.

Otros eventos contemporáneos del Messiniense

Cambios críticos, con notable exceso respecto a las intensidades registradas en sus respectivas curvas de variación antes y después, se han datado independientemente para variaciones del clima y del Nivel Medio del Mar (NMM) en el lapso de tiempo que aquí estudiamos. La exagerada regresión marina entre las transgresiones Tortoniense y el Zancliense se encontraba contemporánea en el Mediterráneo, el Atlántico y al Sur del Pacífico hace más de 5 Ma (Van Couvering *et al.*, 1976; Haq, Hardenbol y Vail, 1988). Con más precisión, Martín-Suárez y otros (2001) correlacionan el episodio faunístico MN13, en el detalle de la fecunda secuencia de Crevillente, con la doble oscilación del NMM (citando a Haq, 1991), esto es, partiendo de un máximo regresivo se asciende hasta un nivel moderadamente alto y tras una nueva, breve y exagerada regresión se asciende de nuevo, rápidamente hasta el máximo Zancliense, al inicio ya del Plioceno.

También Van Couvering *et al.*, (*op. cit.*) recogen el dato próximo a 6 Ma de una anómala glaciación

que hizo crecer el casquete polar Antártico por encima de su actual volumen y extensión, y discuten su posible interacción con la regresión de la Crisis Messiniense. En las cordilleras de Sudamérica se registran glaciares en el mismo tramo de la curva paleoclimática con dos mínimos térmicos, el segundo más exagerado. Se ha valorado el influjo de este evento global por su correlación bien calibrada con las faunas de la zona MN13 (Azanza *et al.*, 1999, y otros muchos).

Los primeros autores que estudiaron la crisis de salinidad en el Messiniense la relacionaron con una compresión y elevación tectónica en el Estrecho de Gibraltar. Si bien no se pueden reducir los tiempos de actividad tectónica global ni regional a datos precisos, dentro de un período orogénico cuyas acciones en el cinturón Rifeñobético-Himalayano se registran ampliamente en torno a 7 Ma, el volcán de Barqueros, cerca de Librilla, con su erupción todavía al final de un tramo marino, poco antes de la emersión orogénica de esa parte de las Béticas, predata este evento en 6,9 Ma (Van Couvering *et al.*, 1976). El influjo de la elevación de los relieves montañosos y de la acreción de la corteza continental en el cambio climático global está fuera de duda.

Un cambio severo en la vegetación del continente africano con retroceso de la selva pluvial se conocía ya en tiempos vallesienses, hace en torno a 10 Ma. La exageración de ese deterioro, con pérdida más acusada de asociaciones de árboles altos y jugosos que son sustituidas por vegetación montana de árboles más chaparros y matorrales leñosos, además de la expansión de gramíneas en estepas y sabanas, se ha explicado por el retroceso de plantas con función fotosintética a cargo de Carbono-3, por las de Carbono-4, relacionando este cambio con la fuerte pérdida de CO₂ atmosférico; estos cambios se han datado al final del Mioceno y se han relacionado con cambios importantes en las faunas de esa edad (Cerling *et al.*, 1997). La estepización registrada bien por fósiles vegetales, o indirectamente por la aparición y expansión de estirpes de micromamíferos hipsodontos, o grandes como la familia de los Elefántidos en África y la extensión de los camellos desde Behring hasta el Sur de la Península Ibérica, corrobora ese grave evento y ayuda a precisar el dato. Obviamente, con ello va unido no sólo el cambio en la variación térmica del clima, sino el régimen de lluvias. En el norte de Marruecos se indica clima semiárido en el Messiniense inferior, cerca de 6,7 Ma (Bachiri *et al.*, 2001).

Hace años vengo relacionando, asociando e identificando este cambio en la cubierta vegetal y el dominio de la vegetación montana —no sólo la estepa—, junto con irregularidades y elevaciones del relieve, ocurridos en la etapa Messiniense y la

MN13, con las presiones ambientales en que tuviera éxito adaptativo la bipedia erguida y por tanto con el tiempo de origen de la familia *Hominidae*, en sentido estricto (Aguirre, 1986; 1996; 1999), aunque no se conocían fósiles de ese intervalo que lo corroborasen. Los descubrimientos recientes de *Orrorin tugenensis*, y su dato cronológico (Pickford y Senut, 2001; Senut *et al.*, 2001) y el de *Sahelanthropus thechadiensis* (Vignaud *et al.*, 2002) han confirmado este evento evolutivo, también inseparable del escenario de la Crisis Messiniense.

Más difícil es deslindar, con calibración cronológica más precisa, ese escenario de cambios críticos en las variaciones geográficas y geodinámicas, del clima, de sus interacciones e influencias en los recursos vegetales, en los ambientes y evolución de la vida animal, que aparecen tan dramáticos en la transición que estudiamos. Han ido evolucionando los modelos interpretativos de la crisis Messiniense, desde los primeros, más simples, a otros más integrados y complejos, como el que explicaba las deposiciones salinas en el fondo y someras del ámbito mediterráneo, distinguiendo dos fases o etapas en la crisis Messiniense. La primera con regresión marina global, iniciada hace más de 7 Ma, se pronuncia con reducción del estrecho de Gibraltar acentuada por tectónica compresiva en la región, precipitación salina local y que alterna con la sedimentación euxínica, empobrecimiento del plancton, enfriamiento del clima y continentalización de áreas litorales, y se marca en dato inferior al volcán de Barqueros, hace cerca o menos de 6,8 Ma, al comienzo del Messiniense. La segunda etapa es de fuerte regresión marina en la etapa final del Messiniense, con aislamiento y desecación del Mediterráneo, depósitos evaporíticos en aguas someras, de facies regresivas calcareníticas en el lado atlántico, que coincide con fuerte glaciación antártica: concluye en corto tiempo con la recuperación de la circulación mediterránea al tiempo de la reanudación transgresiva Zancleana, hace 5,3 Ma (Van Couvering *et al.*, 1976). Para aclarar y precisar más lo ocurrido y los «tempos» de la transición o intermedio entre las dos fases ayudó el estudio de los fósiles terrícolas. Así en el modelo de las tres subdivisiones de la biozona MN13 para la cuenca de Teruel: entre 6,8 y $6,2 \pm 0,1$ Ma; entre el último dato y 5,5 Ma, y de este dato al final (Van Dam, *in* van der Made *et al.*, 2002). A propósito de los camellos, estos últimos autores aseguran que el evento de dispersión de los *Paracamelus* y otros taxones ocurrió en el intervalo entre hace 6,3 y 5,8 Ma, y que fue rápido, pudiendo referirse a una misma unidad de tiempo su presencia en los extremos de Eurasia y en África; Van der Made (1999) veía claro la interacción de tectónica, clima y evolución, y esperaba

que el incremento de estudios sobre estas evidencias acercara el conocimiento más preciso sobre el tiempo, el porqué y la dirección de estos cambios.

En busca de un modelo integrado

La erupción del volcán de Barqueros, submarino, hace 6,9 Ma ocurre en fase ya regresiva fini-Tortonense. Con un NMM muy bajo, entre menos de 6,8 y más de 6,6 Ma, una reactivación tectónica compresiva en el área del estrecho de Tarifa aviva problemas de circulación en aguas mediterráneas y empobrecimiento de sus faunas marinas. Se considera que comienza el piso Messiniense con la aparición de *Globovalva conomiozea*, hace cerca de 6,6 Ma. Por una parte se registra tendencia a recuperar globalmente el nivel del mar, hasta cerca de 5,8 Ma; por otra, la extensión de depósitos detríticos más o menos gruesos parece atestiguar repetición de acciones compresivas que van cediendo, hasta llegar a una multiplicación de cuencas lacustres intramontanas en el cinturón Rifeño-Bético-Alpino-Carpático, y más allá, a partir de menos de 6,2 Ma. Movimientos tectónicos regionales han podido también favorecer la elevación del fondo marino y el paso de grandes mamíferos en Behring y/o el Arco Aleutiano en un intervalo cuyo dato desconozco.

Oscilaciones frías del clima se han registrado hace más de 6 Ma, manteniendo glaciares en el Hemisferio Sur y un Casquete polar en la Antártida, con una extensión máxima superior a la actual hace menos de 6 Ma y próxima a los 5,8 Ma. El recrudecimiento del frío parece coincidir con un deterioro de la vegetación silvática en África, confirmado por la eclosión de linajes de mamíferos con tendencia a la hipsodoncia, de la que hay testimonios hace algo más de 6, cerca de 6,2 Ma. Quizá sea próximo a ese dato el de la gran caída de los niveles de CO₂ en la atmósfera y en el océano, y del cambio de Carbono-3 por Carbono-4 que extendieron la vegetación montana y más aún las sabanas y estepas. Es un dato no muy inferior a 6 Ma, superior a 5,8 Ma el de la rápida dispersión del camello *Paracamelus*, hasta el sur de España a favor de esa estepización, aun cuando hubiera cruzado Behring en tiempo más próximo a 6,5 Ma: el dato preciso de su presencia en Çobanpinar, Turquía, y otros sitios de Asia no es aún conocido. Los fértiles yacimientos en cuencas ligníferas de España y cordilleras europeas, así como la aportación de agua dulce por sus ríos al Mediterráneo que favorece la expansión al Norte de hipopótamos africanos, pueden explicarse con un régimen de lluvias, aunque estacionales, favorecidas en el cinturón de cordilleras y temperaturas no muy bajas en esas latitudes medias al tiempo de la glaciación

Tabla 1.— Intento de secuenciación y correlación de cambios geográficos, climáticos, de vegetación y faunas de mamíferos al final del Mioceno—

Ma	Escala Magnética	Datos de Volcanitas	Estratigrafía Marina	Escala Global	Sitios con mamíferos fósiles - Africa - Europa - Asia - N. A.	Fluctuación del NMN	Cambios Geográficos	CRISIS EN MEDITERRANEO (Global)	MIGRACIONES / otros eventos en FAUNAS DE MAMIFEROS	
4.8	3 n		NN 12/ NN 13	PLIOCENO	<i>Brisighella</i>				MN 14	
4.9	3 r		N18 / N19		Langebaanweg F. del Viso				MN 13	
5.0	C3 n									
5.1	4 r							Circulación abierta		
5.2					Las Zorreras Purcal		Mejoría climática	Transgresión Zancliense		
5.3										
5.4					Crevillente 6			Mediterráneo cerrado	Expansiones Africa — Eurasia	
5.5					Yushe		Deterioro climático	Evaporitas en agua somera	Migraciones Behringia y Eurasia — Africa	
5.6	C3 r	Kaparaina	Diatomitas "Tripoli"	M E S S I N I E N S E				Caliza tosca y albero en Sevilla		
5.7		Rormuch				La Alberca Librilla		Mosaico vegetal	Somerización - <i>Compresión</i>	Diversidad faunística en cuencas peritéticas intramontanas
5.8			NN11 / NN12			Gravitelli, Baltavar		Lagos intramontanos	Reflujo fuerte - <i>Compresión</i>	
5.9				M I O C E N O	Arquillo		Cursos fluvial. Mejor lluvia	Circulación restringida progresivamente	Expansión hipopótamos por aguas mediterráneas más dulces	
6.0	1 n					La Mina, Cassino				
6.1			Faunas mediterráneas			Arquillo 1 Sobanpinar		Casquete polar Antártico	Precipitados siguen a sedimentación euxínica	
6.2	1 n	Kabamet traquitas	empobrecidas		Cofee-Ranch					
6.3	C3 An		<i>C. tricomiculátus</i>		Toros-Menalla		Aumento de savana y chaparral	Puentes intercontinentales	△ Hominidos bípedos	
6.4	2 n		△ <i>G. conomiocera</i>		La Gloria 5		Aridez		Expansiones del camello	
6.5					Mpesida			<i>Orogenia Bético-Rifeña</i>	Migraciones Africa - Eurasia	
6.6					Lothagam 1		Cambio C3-C4		△ Elefantes	
6.7					Crevillente 7, 8		Pérdida CO ₂	Evaporación somera y/o profunda	Migraciones Behringia	
6.8	C3 Ar	Barqueros	Margas azules	TORTONIENSE	Taskinpasa			Reflujo débil en Estrecho Tarifa	MN 13	
6.9					Masada del Valle 7					
7.0	C3 Bn				La Gloria 6			Circulación mediterránea moderadamente abierta	MN 12	
					Masada del Valle 6					
					Crevillente 17					

NN12= Zonas de Nannoplancton; N18= Zonas de Foraminíferos de Blow; MN= Biozonas de mamíferos terrestres de Mein, para el Neógeno; A= FAD (dato de la primera aparición conocida); NMM= Nivel medio del mar.

antártica o poco después: esto es, cerca de 5.8 Ma, coincidiendo con elevación del NMM. Mayor sería el deterioro regional al acercarse los mínimos de NMM de hace c.5,5 Ma; esto y una recuperación de las condiciones climáticas en África a partir de ese dato explicarían la expansión de elementos de esa fauna en el continente africano (Sahabi y Langebanweg) y su decadencia en Europa a partir de hace 5,3 Ma. La alta proporción de taxones de origen africano en los sitios de Arenas del Rey sugiere mayor vecindad del Penibético emergido con tierras de África en la primera crisis. Estudios nuevos sobre secuencias estratigráficas y conjuntos de mamíferos podrán desvelar una historia calibrada de la tectónica regional y la orogenia bética.

Referencias

- Aguirre, E. (1963a). *Hippopotamus crusafonti* n.sp. del Plioceno inferior de Arenas del Rey (Granada). *Notas y Comuns. Inst. Geol. y Minero de España*, 69: 215-230.
- Aguirre, E. (1963b). Situación de las capas con *Hipparion* de Granada en la Serie neógena mediterránea. *Notas y Comuns. Inst. Geol. y Minero de España*, 69: 239-246.
- Aguirre, E. (1969). Evolutionary History of the Elephant. *Science*, 164: 1366-1376.
- Aguirre, E. (1974). Correlación continental-marino en el Neógeno mediterráneo. Datos actuales y problemas. *Estudios Geológicos*, 30: 655-660.
- Aguirre, E. (1975). División estratigráfica del Neógeno continental. *Estudios Geológicos*, 31: 578-595.
- Aguirre, E. (1986). Cambios en la corteza y envolturas terrestres al final del Cenozoico. En: F. López Vera (ed.). *Quaternary climate in Western Mediterranean*: 423-440. Universidad Autónoma de Madrid.
- Aguirre, E. (1996). Antecedentes y contextos del bipedismo vertical. En: A. Viladot (ed.). *Significado de la postura y de la marcha humana*: 51-67. Editorial Complutense, Madrid.
- Aguirre, E. (1999). Nuestros antepasados más antiguos. En: K. Mariezkurrena y C. de la Rúa (eds.). *La humanidad primitiva. El Campo de las Ciencias y las Artes*, 136: 1.1-1.26.
- Aguirre, E. y Morales, J. (eds.) (1974). *Libro-Guía. Coloquio Internacional sobre Biostratigrafía continental del Neógeno superior y Cuaternario inferior*. Instituto Lucas Mallada, CSIC, Madrid.
- Aguirre, E. y Morales, J. (1980). Relations between Neogene mammalian faunas of East Africa and those of the Mediterranean regions. En: R. E. Leakey and B.A. Ogot (eds.). *Proceedings of the 8th PCPQS, Nairobi 5-10 Sept. 1977*: 92-96. ILLMIAP, Nairobi.
- Aguirre, E. y Perconig, E. (1975). The Andalusian as the Terminal Miocene Stage. *VIIth Congress R.C.M.N.S., Bratislava 1975*: 205-207.
- Aguirre, E., Alberdi, M.T. y Perconig, E. (1975). Marine and continental relations in Western Mediterranean Region. *VIIth Congress R.C.M.N.S., Bratislava 1975*: 409-411.
- Aguirre, E., Robles, F., Thaler, L., López, N., Alberdi, M.T. y Fuentes, C. (1973). Venta del Moro, nueva fauna finimiocena de moluscos y vertebrados. *Estudios Geológicos*, 29: 569-578.
- Agustí, J., Moyà-Solà, S. y Martín-Suárez, L. (1989). Review of the late Miocene-early Pliocene mammalian faunas from eastern Spain. *Bolletino della Società Paleontologica italiana*, 28: 155-160.
- Alberdi, M. T., Azanza, B., Cerdeño, E. y Prado, J. L. (1997). Similarity relationship between mammal faunas and biochronology from Latest Miocene to Pleistocene in the Western Mediterranean area. *Eclogae geol. Helvet*, 90: 115-132.
- Azanza, B., Alberdi, M. T. y Prado, J. L. (1999). Large mammal turnover pulses correlated with latest Neogene glacial trends in the northwestern Mediterranean region. En: M. B. Hart (ed.). *Climates: Past and Present*. Geological Society, London, *Special Publications*, 181: 161-170.
- Bachiri Taoufiq, N., Barjoun, N., Suc, J. P., Meon, H., Elaouad, Z. y Benbouziane, A. (2001). Environnement, végétation et climat du Messinien au Maroc. *Paleontología; evolució*, 32-33: 127-138.
- Berggren, W. A., Hilgen, F. J., Langereis, C. G., Kent, D. K., Obradovich, J. D., Raffi, I., Raymo, N. E. y Shackleton, N. J. (1995). Late Neogene chronology: New perspectives in high-resolution stratigraphy. *GSA Bulletin*, 107: 1272-1287.
- Brijn, H. de, Daams, R., Daxner-Höck, G., Fahlbusch, V., Ginsburg, L., Mein, P. y Morales, J. (1992). Report of the RCMNS working group on fossil mammals, Reisenburg 1990. *Newsl. Stratigraphy*, 26(2/3): 65-118.
- Cerling, T. E., Harris, J. M., MacFadden, B. J., Leakey, M. G., Quade, J., Eisenmann, V. y Ehleringer, J. R. (1997). Global vegetation change through the Miocene/Pliocene boundary. *Nature*, 389: 153-158.
- Cita, M. B. (1973). Mediterranean evaporite: paleontological arguments for a deep-basin desiccation model. En: C.W. Drooger (ed.). *Messinian Events in the Mediterranean*: 206-228. North-Holland, Amsterdam.
- Daams, R., Alcalá, L., Alvarez Sierra, M. A., Azanza, B., Van Dam, J. A., Van der Meulen, A. J., Morales, J., Nieto, M., Peláez Campomanes, P. y Soria, D. (1998). A stratigraphical framework for Miocene (MN4-MN13) continental sediments of Central Spain. *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes/Earth Planetary Sciences*, 327: 625-631.
- Haq, B. U., Hardenbol, J. y Vail, P. R. (1988). Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphy and Eustatic Cycles, en: C. K. Wilgus et al., (eds.). *Sea Level changes. An integrated approach. Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Min. Tulsa*, 42: 71-108.
- Heinzl, J. de, El-Arnauti, A. 1982. Stratigraphy and Geological History of the Sahabi and Related Formations. *Garyounis Scientific Bulletin*, 1982: 5-12.
- Made, J. van der, (1999). Intercontinental relationship Europe-Africa and the Indian Subcontinent. En: G. Rössner, K. Heissig (eds.). *The Miocene Land Mammals of Europe*: 457-472. V. Friedrich Pfeil, München.
- Made, J. van der, Morales, J., Sen, S. y Aslan, F. (2002). The first camel from the Upper Miocene of Turkey and the dispersal of the camels into the Old World. *C.R. Palevol.*, 1: 117-122.
- Martín-Suárez, E., Freudenthal, M. y Civis, J. (2001). Rodent palaeoecology for the Continental Upper Miocene

- of Crevillente (Alicante, SE Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 165: 349-356.
- Martín-Suárez, E., Freudenthal, M., Krijgsman, W. y Rutger Fortuin, A. (2000). On the age of the continental deposits of the Zorreras Member (Sorbas Basin, SE Spain). *Geobios*, 33: 505-512.
- Mein, P. (1975). Résultats du Groupe de Travail des Vertébrés. *Report on activity of the R.C.M.N.S. Working Groups*: 78-81. IUGS, Bratislava.
- Morales, J. (1984). *Venta del Moro: su macrofauna de mamíferos y biostratigrafía continental del Mioceno terminal mediterráneo* (tesis doctoral). Editorial de la Universidad Complutense de Madrid.
- Morales, J., Soria, D. y Aguirre, E. (1980). Camélido finimioceno en Venta del Moro. Primera cita para Europa occidental. *Estudios Geológicos*, 36: 139-142.
- Opdyke, N., Mein, P., Lindsay, E., Pérez-González, A., Moissenet, E. y Norton, W. L. (1997). Continental deposits, magnetostratigraphy and vertebrate paleontology, late Neogene of Eastern Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 133: 129-148.
- Pascual, R. (1984). La sucesión de las edades-mamífero, de los climas y del diastrofismo sudamericano durante el Cenozoico: fenómenos concurrentes. *Anal. Acad. Nac. Ciencias Ex., Fis. y Nat.* (Buenos Aires), 36: 15-37.
- Perconig, E. y Granados, L.F. (1973). El estratotipo del Andaluciense. *Guidebook. XIII Coloquio Europeo de Micropaleontología, España, Sept. 1973*: 225-246. CNG Enadimsa, Madrid.
- Pickford, M. y Senut, B. (2001). The geological and faunal context of Late Miocene hominid remains from Lukeino, Kenya. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes*.
- Selli, R. (1971). Messinian. En: G. C. Carloni, P. Marks, R.f. Rutsch, R. Selli (eds.). *Stratotypes of Mediterranean Neogene Stages. Giornale di Geologia*, 37: 121-133.
- Senut, B., Pickford, M., Gommery, D., Mein, P., Chebol, K. y Coppens, Y. (2001). First hominid from the Miocene (Lukeino Formation, Kenya). *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes*.
- Van Couvering, J. A., Berggren, W. A., Drake, R. E., Aguirre, E. y Curtis, G. H. (1976). The terminal Miocene event. *Marine Micropaleontology*, 1: 263-286.
- Vignaud, P., Durringer, P., Mackaye, H.T., y otros 18. (2002). Geology and paleontology of the Upper Miocene Toros-Menalla hominid locality, Chad. *Nature*, 418: 152-155.
- Vrba, E. S., Denton, G. H., Partridge, T. C. y Burcke, L. H. (1996). *Paleoclimate and evolution with emphasis on human origins*. Yale University, Press, New Haven.
- Webb, S. D. y Opdyke, N. D. (1995). Global Climatic Influence on Cenozoic Land Mammals. En: *Effects of Past Global Change on Life*: 184-208. National Academy Press.

Recibido el 13 de febrero de 2003.
Aceptado el 29 de mayo de 2003.