



Micromamíferos y datación relativa en medios continentales

Small mammals and relative dating in continental environments

Cuenca-Bescós, G. (1)

(1) Aragosaurus-IUCA-Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza.
Calle Pedro Cerbuna, 12, 50009, Zaragoza, España. cuenca@unizar.es

Resumen

En este volumen especial de Cuaternario y Geomorfología, “Métodos de datación en el Cuaternario” organizado por AEQUA, no podía faltar un capítulo dedicado a los micromamíferos. La microfauna, como se conoce popularmente la técnica de datación relativa con micro en medios continentales, o los micromamíferos, en general son las mejores herramientas de datación bioestratigráfica. Los pequeños mamíferos, especialmente los roedores, son muy numerosos en la actualidad y lo fueron durante el Cuaternario. Esta característica hace que produzcan una cantidad notable de microfósiles que nos sirven para hacer dataciones bioestratigráficas, es decir, dataciones relativas basada en la presencia-ausencia y asociaciones coetáneas de especies de micromamíferos. La datación bioestratigráfica de los sedimentos formados en medios continentales tiene especial importancia sobre todo en las cuevas por constituir la mayor parte de los yacimientos arqueológicos y paleontológicos de la Península Ibérica en los que se ha documentado de una manera extraordinaria la evolución humana, como por ejemplo los de Atapuerca, Gibraltar, El Mirón, Aroeira, entre otros.

Palabras clave: bioestratigrafía; roedores; micromamíferos; dentición; morfología; sistemática y evolución.

Abstract

In this special volume of Quaternary and Geomorphology, “Dating methods in the Quaternary” organized by AEQUA, a chapter dedicated to small mammals could not be missing. Microfauna, as the relative dating technique in continental environments is popularly known, or small mammals, are generally the best biostratigraphic dating tools. Small mammals, especially rodents, are very numerous today and were during the Quaternary. This characteristic makes them produce a significant number of microfossils that are useful for biostratigraphic dating, that is, relative dating based on the presence-absence and contemporary associations of small mammal species. The biostratigraphic dating of the sediments formed in continental environments is of special relevance, specifically in caves, since they constitute the majority of the archaeological and paleon-



tological sites of the Iberian Peninsula in which human evolution has been documented in an extraordinary way, such as those of Atapuerca, Gibraltar, El Mirón, Aroeira, among others.

Key words: biostratigraphy; rodents; small mammals; dentition; morphology; systematics and evolution.

1. Introducción

Los micromamíferos son los mamíferos más pequeños de los ecosistemas terrestres. Son las especies con menos de cinco kilogramos de peso. Se agrupan en murciélagos, Orden Chiroptera; musarañas, topos, erizos, Orden Eulipotyphla (=Insectivora); mustélidos como el visón, Orden Carnivora; conejos y liebres, Orden Lagomorpha y hámsteres, topillos, ratones, ardillas, marmotas, ratas, Orden Rodentia. El pequeño tamaño de los huesos de los micromamíferos, generalmente sus únicos vestigios fósiles, implica la utilización de técnicas micropaleontológicas para su recuperación y estudio. Junto con otros grupos como los reptiles, anfibios, aves y peces, constituyen la microfauna fósil de los yacimientos arqueológicos y paleontológicos del Cuaternario. Los roedores son los mamíferos más utilizados por ser más numerosos y tener tasas de evolución y diversificación altas, especialmente los topillos y los ratones. Como dato, diremos que, durante el Cuaternario han aparecido las líneas evolutivas que han dado lugar a las cerca de 750 especies que viven en la actualidad. Estas características son una condición importante en la datación relativa con fósiles, y por ello son la principal herramienta en la bioestratigrafía en medios continentales.

Esto hace que la edad de los yacimientos cuaternarios se establezca mediante el análisis de las asociaciones de las especies de roedores fósiles encontradas en los estratos. Para ello se estudia la sucesión faunística, es decir los conjuntos de especies, en relación con las apariciones y desapariciones locales a lo largo de una secuencia estratigráfica, simplificando, el cambio de la asociación de especies de un estrato o grupo de estratos, en relación a los estratos anterior o inferior y siguiente o superior (Cuenca-Bescós, 2016a, b). Para saber la edad es necesario conocer la primera

y última aparición local o global de una especie. La presencia/ausencia de las especies en las asociaciones nos permitirá establecer una edad relativa, además de saber, por el principio bioestratigráfico de la sucesión faunística, qué estrato (o yacimiento) es más antiguo y cuál es más moderno.

Como los roedores tienen además una distribución geográfica relativamente amplia, al menos si estudiamos el conjunto de yacimientos de Europa occidental, podremos hacer correlaciones bioestratigráficas con yacimientos situados en los países de esta región, España, Portugal, Francia, Italia principalmente. Podemos afirmar que la bioestratigrafía y la biocronología son las herramientas que coordinan paleontología y estratigrafía para establecer la edad relativa de los estratos y/o niveles paleontológicos y arqueológicos. Una opinión personal para distinguir bioestratigrafía de biocronología, a menudo utilizadas como sinónimos, es que la bioestratigrafía estudia el contenido fósil y su organización en la secuencia estratigráfica para que a continuación, la biocronología la divide en biozonas que permiten hacer dataciones relativas y correlaciones entre distintas secuencias (bio)estratigráficas. Si además conocemos la edad relativa por otros métodos, como la cronología isotópica, la magnetoestratigrafía o el registro arqueológico y de grandes vertebrados, podremos elaborar tablas que permiten conocer los eventos ocurridos en los ecosistemas continentales del Cuaternario de la Península Ibérica, donde se concentra el archivo más extraordinario de la historia de la humanidad en Europa, desde los restos humanos de hace cerca de un millón y medio de años de la Sima del Elefante hasta los más recientes de neandertales y humanos modernos del Sidrón, el Mirón, Cueva Negra, entre otros. Sirvan de ejemplo las publicaciones de Carbonell *et al.* (2008); Huguet *et al.* (2017);

Bañuls-Cardona *et al.* (2017), Núñez-Lahuerta *et al.* (2021); Rofes *et al.* (2021) y literatura allí incluida.

En el Cuaternario la datación bioestratigráfica tiene la ventaja de contar con numerosos niveles fosilíferos que por su interés en evolución humana y antropología han sido datados por métodos radiométricos como la datación con Carbono 14, series de Uranio; Resonancia de Spin Electrónico; termoluminiscencia; cosmogénicos; o biológicos como la racemización de aminoácidos, entre otros. Los estudios geológicos, especialmente los estratigráficos y geomorfológicos son exhaustivos en este tipo de niveles con fósiles humanos, por la importante información que proporcionan al conocimiento de la biología de nuestros ancestros. Esto es una ventaja con respecto a edades anteriores puesto que podemos conocer al detalle la geología de una zona, así como en qué momento se producen la primera aparición y desaparición o extinción de las especies.

Por otra parte, el mejor registro paleontológico y arqueológico se encuentra en general en las cavidades kársticas y la geología de nuestra península tiene un extenso registro de cuevas, debido a los extensos afloramientos de calizas, dolomías y otras rocas karstificables. Por esto las cuevas constituyen los yacimientos arqueológicos y paleontológicos más importantes y numerosos en la Península Ibérica, como son los de las cuevas de Atapuerca, las cuevas de Gibraltar, las de la Cornisa Cantábrica, la Meseta, del karst de la Almonda, en Portugal, con el yacimiento de Aroeira, entre otros (Cuenca-Bescós *et al.*, 2010; 2016a; 2016b; 2021; López-García *et al.*, 2011; 2021; Sala *et al.*, *in press*). Desafortunadamente, la mayoría de las síntesis sobre la cronología y bioestratigrafía en medios continentales en España están basadas casi exclusivamente en el registro de grandes vertebrados y/o restos arqueológicos y antropológicos careciendo de información sobre el registro paleontológico y arqueológico de los microvertebrados, mucho más precisos por ser más numerosos, evolucionar más rápido y encontrarse en áreas geográficas relativamente amplias (ver

por ejemplo Silva *et al.*, 2021). Como en el resto de Europa los roedores son los grandes protagonistas de la bioestratigrafía y cro- noestratigrafía en medios continentales, ver entre otros Maul y Markova (2007), Fejfar *et al.*, 2011, Erbajeva y Alexeeva (2013), Lebreton *et al.* (2021), entre otros. Es el objetivo de este trabajo presentar una síntesis sobre la bioestratigrafía en medios continentales de la Península Ibérica con microvertebrados; particularmente basada en el análisis de la evolución de las asociaciones de pequeños mamíferos roedores.

2. Metodología

La identificación de los taxones de los microvertebrados, especialmente los micromamíferos es la herramienta principal de la datación relativa en medios continentales. La técnica consiste en extraer y separar los restos fósiles de los sedimentos por lavado-tamizado y triado posterior. Una vez separados, se estudian los elementos de la anatomía del esqueleto que permiten las diagnósis sistemáticas y taxonómicas, para finalmente clasificar las especies. La taxonomía sigue las reglas de nomenclatura zoológica y paleontológica y requiere utilizar tecnologías innovadoras, así como bibliografía especializada (ver una síntesis en Cuenca-Bescós y Morcillo-Amo, 2022).

2.1. Técnicas de obtención de los micromamíferos fósiles

Los vestigios fósiles de los micromamíferos son, en general, diminutos huesos y dientes aislados. Lo que mejor se conserva del esqueleto de un mamífero es la dentición, debido a la dura capa de esmalte que protege el cemento y la dentina de los agentes tafonómicos causantes de la alteración y pérdida de los restos orgánicos. Incisivos, premolares y molares son los elementos diagnósticos por excelencia en taxonomía y sistemática y son los que permiten clasificar las especies de micromamíferos. Para determinar las especies es necesario trabajar con un número

relativamente alto de especímenes y analizar así los límites de la variación morfológica y biométrica de cada especie. En la mayoría de los casos, mientras más especímenes de una especie tengamos, más estable será la clasificación.

2.1.1. Técnica de lavado-tamizado

Para obtener una buena cantidad de especímenes es preciso concentrar los sedimentos mediante técnicas de lavado y tamizado con agua, o de tamizado o cribado en seco cuando el agua escasea (Cifelli *et al.*, 1996; Cuenca-Bescós y Morcillo-Amo, 2022). Generalmente es necesario extraer desde unos cuantos kilos a toneladas de sedimentos para tener una concentración de microfósiles lo suficientemente representativa de las asociaciones del pasado. Para estudiar el Cuaternario se constituyen proyectos multidisciplinarios, geológicos, arqueológicos y paleontológicos donde el sedimento se extrae de los yacimientos durante las excavaciones. El sedimento se recoge en sacos, generalmente por los mismos excavadores, se etiqueta y guarda para procesarlo posteriormente en el laboratorio que puede ser al aire libre o cerrado. Dependiendo del volumen de material requerido, el procesado se hace durante las campañas de excavación, preparando los fósiles en el campo, o si la cantidad de material extraído es menor, en el laboratorio. Para el procesado del sedimento en campo se necesita una fuente de agua limpia, asequible, donde poder bombearla mediante motobombas de riego, como se puede ver en la Figura 1. Cuando la excavación dura varias semanas es necesario montar un laboratorio de campo donde se preparan adecuadamente los microfósiles para su conservación y posterior estudio.

Los sacos o bolsas, generalmente con más de 15 kilos de sedimentos, los denominamos muestras de microfauna. Deben de estar etiquetados con la fecha de excavación, el nombre del yacimiento, el nivel estratigráfico, la profundidad y el cuadro de excavación, si procede. Una vez concluida la recogida de sedi-

mentos a lo largo de la columna estratigráfica, hay que extraer los microfósiles con técnicas similares a las que se usan para organismos microscópicos. Primero, el sedimento se seca completamente para poder disgregarlo en un recipiente repleto de agua. Luego se lava pasándolo por una pila de tamices superpuestos y ordenados de mayor, el superior, a menor, el inferior, tamaño de luz de malla, con ayuda de agua a presión. Lo habitual es usar el inferior con una luz de malla de medio milímetro, aunque esto puede variar según los fósiles que se busquen. Con ello se obtienen levigados o concentrados consistentes en restos fósiles y fragmentos de rocas insolubles. Los levigados tienen diferentes tamaños de grano, en función de la luz de malla del tamiz en el que se han recogido. Los fósiles concentrados mediante la técnica de lavado-tamizado están limpios de arcillas y limos con lo que pueden ya ser triados y seleccionados para el análisis taxonómico. La riqueza en fósiles de cada estrato o nivel con microfósiles es variable, podemos obtener del orden de uno a 200 microfósiles diagnósticos por cada 15 kilogramos de sedimento sin procesar.

2.1.2. El triado

Para separar los elementos anatómicos diagnósticos en los levigados obtenidos, utilizamos la técnica del triado que consiste en “escanear o barrer” la muestra en bandejas de triado. Recogemos una pequeña porción del concentrado, lo distribuimos uniformemente por la superficie de la bandeja con un espesor nunca superior al del tamaño de grano. Las mejores bandejas son las que están divididas en cm^2 , lo que permite un escaneo metódico del contenido de la bandeja. El “barrido” permite reconocer los fósiles que extraeremos con ayuda de pinzas de disección. Los levigados de los tamaños de grano grueso (mayores de 1cm) pueden hacerse a simple vista. Para los menores se requieren microscopios estereoscópicos o lupas binoculares. Gracias al triado recuperamos los huesos y dientes que pasaremos a la fase de análisis tafonómico y taxonómico.



Figura 1: Técnicas de laboratorio de campo para el lavado y tamizado de grandes cantidades de sedimentos, cerca de una tonelada diaria, para la extracción de microfauna. Caso de estudio: procesando los sedimentos de los yacimientos arqueológicos y paleontológicos de las cuevas de Atapuerca, Burgos, España. Estación AtaRio, Ibeas de Juarros, Burgos. **A**, descarga de los sacos de sedimentos procedentes de las excavaciones para su organización espacial en la carpa de secado de la estación AtaRio en Ibeas de Juarros, cada saco pesa entre 12 y 15 kilogramos; **B**, detalle de la bomba de riego con la que se extrae el agua y distribuidor horizontal soportado por andamios para llevarla a las mangueras que se encuentran encima de cada juego de tamices de lavado-tamizado; **C**, detalle del juego de tamices completo, con el grueso arriba, con luces de malla que pueden variar de 2 a 1 cm, donde se pueden recuperar algunos microfósiles en este tamiz; **D**, detalle de uno de los tamices de lavado, con los tamices de gruesos removidos donde se puede ver el de 0,5mm de luz de malla con el concentrado de los sedimentos más finos; **E**, una vez lavados, los concentrados se pasan a los tamices de secado para su posterior triado y se lavan cuidadosamente los tamices y paredes para evitar contaminaciones; **F**, los concentrados durante el proceso de secado, se observan regularmente por si es necesario relavarlos o por si hay algún fósil que requiere un preparado preliminar antes de llevar los concentrados al laboratorio donde serán triados para extraer todos los microfósiles y algunos restos pequeños de macrofósiles.

*Figure 1: Field laboratory techniques for washing and sieving large amounts of sediment, close to one ton per day, for the extraction of microfauna. Case study, processing sediments from the caves of Atapuerca, Burgos, Spain. AtaRio Station, Ibeas de Juarros, Burgos. **A**, discharge of the sacks of sediment from the excavations for their spatial organization in the drying tent of the AtaRio station in Ibeas de Juarros; each bag weighs between 12 and 15 kilograms; **B**, detail of the irrigation pump with which the water is extracted and the horizontal distributor supported by scaffolding to take it to the hoses that are located above each set of washing-sieving sieves; **C**, detail of the complete set of sieves, with the thickest above, with mesh sizes that can vary from 2 to 1 cm, where some macrofossils can be recovered in this sieve; **D**, detail of one of the washing sieves, with the coarse sieves removed where you can see the 0.5mm mesh size with the finer sediment concentrate; **E**, once washed, the concentrates are passed to the drying sieves for subsequent sorting and the sieves, meshes and walls are carefully washed to avoid contamination; **F**, the concentrates during the drying process, are regularly observed in case it is necessary to rewash them or if there are any fossils that require a preliminary preparation before taking the concentrates to the laboratory where they will be triaged to extract all the microfossils and some small remains of macrofossils.*

2.1.3. Reconocimiento tafonómico

Antes de pasar a la clasificación taxonómica es preciso hacer un reconocimiento tafonómico para analizar el estado de fragmentación y conservación de los restos. Esto permi-

tirá saber si los restos son contemporáneos y coetáneos con la formación del estrato o nivel o son el resultado de la mezcla de distintos niveles (y por tanto edades). Una asociación fósil que represente los ecosistemas del pasado requiere que todos los restos hayan fosilizado

en el mismo estrato simultáneamente en el mismo tiempo geológico. Tras esto, procederemos a la clasificación taxonómica de las especies.

2.2. Taxonomía y Sistemática

Los principios físicos y biológicos para identificar especies fósiles son el estudio de la morfología de los restos óseos, especialmente de la dentición, mediante técnicas microscópicas. Un diente microscópico tiene una morfología que es función de su historia filogenética y evolutiva, así como de la biología, que queda reflejada en las adaptaciones biomecánicas. Con una buena formación en anatomía ósea, del esqueleto completo y de la dentición; en el conocimiento sobre la biomecánica de la mandíbula, en los mecanismos de la implantación y el desgaste dental, un investigador será capaz de clasificar las especies.

2.2.1. La clasificación de las especies por la morfología y la sistemática

La evolución biológica en los mamíferos se refleja en la morfología de los molares, lo cual los convierte en la herramienta más precisa de datación relativa que se conoce en los medios continentales. En sistemática, cada especie tiene una historia evolutiva que generalmente condiciona su nicho ecológico actual. Por tanto, conocer a qué grupo sistemático pertenece una especie nos permitirá conocer datos importantes en bioestratigrafía como la velocidad de especiación; o en paleoecología, como el tipo de hábitat al que pertenece. Las adaptaciones a la dieta se reflejan en los dientes, por lo que podemos conocer el nicho ecológico. De manera muy general, decir que los micromamíferos se clasifican por el tipo de molares, en braquidontos, con la corona baja y con numerosos relieves típicos de animales granívoros y frugívoros; lofodontos e hipsodontos, con la corona alta y con crestas propias de animales folívoros; secodontos, corona con filos cortantes, típicos de animales predadores.

3. Rango temporal de aplicación del método bioestratigráfico

El método bioestratigráfico está basado en la distribución vertical de biozonas, unidades que contienen una asociación contemporánea de especies y cuyos límites son primeras y últimas apariciones y/o la presencia de una o varias especies en asociaciones coetáneas únicas. El que las especies (y las asociaciones) cambien de un estrato a otro y puedan servir para dividir el tiempo en biozonas está basado en cuatro principios básicos:

- 1) Las especies evolucionan irreversiblemente. No puede aparecer en el registro geológico la misma especie dos veces. Una vez que se ha extinguido no vuelve a aparecer jamás.
- 2) La sistemática y la taxonomía nos proporcionan reglas y herramientas que nos permiten clasificar las especies. El principio de clasificación está basado en las reglas de la sistemática biológica.
- 3) El sedimento y el fósil son coetáneos (en tiempo geológico): las especies son seres vivos que cuando mueren pueden fosilizar si las condiciones son adecuadas. Saber cómo y cuándo fosiliza el resto de un ser vivo al morir es el objetivo de la tafonomía. El principio consiste en que cuando un ser vivo muere y las condiciones son las adecuadas, fosiliza dentro del sedimento que luego se convertirá en un estrato.
- 4) Un fósil del que se desconoce su procedencia, carece de valor: hay que saber de dónde provienen los fósiles desde el momento mismo en que se excavan. No es un principio de la bioestratigrafía en sí, pero lo incluyo aquí porque sin una buena técnica y metodología de trabajo de campo la bioestratigrafía no funciona.

El rango temporal de edades de una biozona puede estar basado en la presencia de una especie, dentro de la asociación, que apare-

ce por primera vez en la base de la biozona y desaparece en su límite superior. En micromamíferos la duración media de una especie es de un millón de años. Por lo tanto, el rango temporal de una biozona de este tipo es de un millón de años. Sin embargo, la mayoría son biozonas cuyo límite inferior es la primera aparición de una especie y el superior la aparición de otra especie distinta. A mayor rapidez de especiación, más preciso es el rango temporal (ver Figuras 2, 3 y Tabla 1). Hay, sin embargo, incertidumbres asociadas con la distribución espacial y temporal de una especie que puede encubrir apariciones y extinciones reales. La fuente de la incerti-

dumbre está directamente relacionada con la irregularidad del registro estratigráfico en los medios continentales, donde los sedimentos se pueden depositar en pequeñas cuencas sin conexión entre sí, dificultando seguir niveles estratigráficos en áreas geográficas amplias. Sin embargo, pueden utilizarse cuando disponemos de largas secuencias estratigráficas locales, como la de la Gran Dolina en Atapuerca (ver en la lista de yacimientos con micromamíferos de la tabla de la figura 3), que permiten elaborar biozonaciones locales que sirvan para datar de manera relativa y construir correlaciones a mayor escala geográfica. Las bases para la datación en medios continenta-

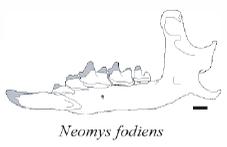
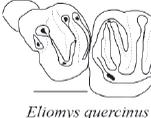
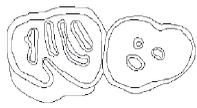
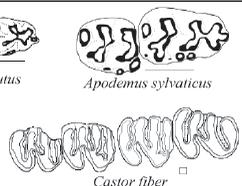
Biozonas Península Ibérica				
<i>Iberomys cabreræ</i> 7-actual	 <i>Neomys fodiens</i>	 <i>Talpa cf. europaea</i>	 <i>Eliomys quercinus</i>	 <i>Apodemus sylvaticus</i>
<i>Iberomys brecciensis</i> 6	 <i>Myotis sp.</i>	 <i>Allocricetus correzensis</i>	 <i>Acanthion vinogradovi</i>	 <i>Apodemus sylvaticus</i>
4-5				
<i>Victoriamys chalinei</i> 2-3	 <i>Dolinasorex glyphodon</i>	 <i>Erinaceus europaeus</i>	 <i>Allocricetus bursae</i>	 <i>Micromys minutus</i>
		 <i>Hystrix refossa</i>	 <i>Marmota sp.</i>	 <i>Castor fiber</i>
<i>Allophaiomys lavocati</i> 1	 <i>Beremendia fissidens</i>	 <i>Asoriculus gibberodon</i>	 <i>Galemys cf. kormosi</i>	 <i>Castillomys rivas</i>
<i>Allophaiomys pliocaenicus</i> 0	 <i>Castillomys crusafonti</i>			

Figura 2: Biozonas en el Cuaternario Ibérico y morfología de los elementos diagnósticos de algunas de las especies de micromamíferos del Cuaternario de la Península Ibérica. La mayoría son molares aislados, sobre todo en el caso de los roedores (*Castillomys*, *Apodemus*, *Marmota*, *Castor*, puercoespines, lirones, hamsters). Aunque también han podido clasificarse utilizando mandíbulas y maxilares, (pequeños predadores como *Beremendia*, *Asoriculus*, *Dolinasorex*, *Neomys*) así como el húmero, en el caso de los topos (*Talpa*). Figura modificada de Cuenca-Bescós et al., 2010.

Figure 2: Biozones of the Quaternary from the Iberian Peninsula and morphology of the diagnostic elements of some of the species of small mammals of the Quaternary of the Iberian Peninsula. Most are isolated molars, especially in the case of rodents (*Castillomys*, *Apodemus*, *Marmota*, *Beaver*, porcupines, dormouse, hamsters). Although they have also been classified using mandibles and maxillae (small predators such as *Beremendia*, *Asoriculus*, *Dolinasorex*, *Neomys*) as well as the humerus in the case of moles (*Talpa*). Modified from Cuenca-Bescós et al., 2010.

Pleistoceno	Biozonas	Millones de años	Especies de roedores																							
			<i>Allophaiomys lavocati</i>	<i>Ungaromys</i>	<i>Victoriomys chalinei</i>	<i>Stenocranius gregaloides</i>	<i>Terricola arvaldens</i>	<i>Microtus seseae</i>	<i>Pliomys episcopalis</i>	<i>Mimomys savini</i>	<i>Iberomys huescarensis</i>	<i>Microtus ratticepoides</i>	<i>Terricola atapuerquensis</i>	<i>Iberomys brecciensis</i>	<i>Alloccricetus correnzensis</i>	<i>Microtus arvalis</i>	<i>Microtus agrestis</i>	<i>Pliomys lenki</i>	<i>Myodes</i>	<i>Microtus oeconomus</i>	<i>Terricola duodecimcostatus</i>	<i>Terricola pyrenaicus</i>	<i>Chionomys nivallis</i>	<i>Iberomys cabrerae</i>	<i>Arvicola sapidus</i>	<i>Arvicola terrestris</i>
s	7	<0,020													X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
medio	6	0.25													X	X	X	X								aff.
		0.3-0.4										X	X	X	X	ja	X	X								aff.
		0.55													X		X									aff.
inferior	5	0.6													X	X	X	X								
		0.78					X	X	X	X	X	X														
		0.85				X	X	X	X	X	X	X														
					X	X	X	X	X	X	X	X														
					X	X	X	X	X	X	X	X														
2	~0.9			X	X	X	X	X	X	X																
1	~1.4-1.2	X	X																							

Figura 3: Presencia-Ausencia de las especies de los roedores más representativos del Cuaternario de la Península Ibérica y Biozonación basada en la misma.

Figure 3: Presence-Absence of the most representative rodent species of the Quaternary of the Iberian Peninsula and Biozones based on it.

les han sido desarrolladas sobre todo por autores centroeuropeos como se puede ver en la recopilación de Fejfar *et al.*, 2011 o Maul y Markova 2007, entre otros.

4. Ejemplos en nuestro territorio

El ejemplo de biozonaciones en el Cuaternario de la Península Ibérica de la figura 2 está basado en las especies de micromamíferos más característicos de cada una de las biozonas. En esta misma figura se pueden ver dibujos, así como fotografías, con los detalles de la anatomía dental, especialmente la superficie oclusal o de masticación de los molares, que permiten identificar y clasificar a los taxones con interés bioestratigráfico. Son una pequeña muestra de la enorme biodiversidad de micromamíferos del Cuaternario ibérico, donde casi 200 especies de micromamíferos han vivido a lo largo del Cuaternario y una pequeña

parte siguen viviendo en la actualidad en la Península Ibérica. Las edades de las biozonaciones del Cuaternario de la Península Ibérica con una selección de roedores pueden verse en la Tabla 1.

La Biozonación de las figuras 2 y 3 se ha realizado utilizando una base de datos creada a partir de las cerca de 800 asociaciones de micromamíferos fósiles estudiados por diferentes autores en la Península Ibérica (Cuenca-Bescós *et al.*, 2010, 2016a, Cuenca-Bescós y Morcillo Amo, 2022). En la tabla 1 se muestra una selección de los yacimientos con micromamíferos de España, la correlación con los pisos del centro y norte de Europa y las edades cronológicas establecidas a partir de la propuesta de la Comisión Internacional de Estratigrafía para el Cuaternario de la Comisión de Estratigrafía y Cronología (SACCOM) que puede encontrarse en su web ([196](http://quater-</p>
</div>
<div data-bbox=)

Tabla 1: Síntesis de los principales yacimientos con micromamíferos de España y correlación con la bioestratigrafía basada fundamentalmente en la secuencia estratigráfica de los yacimientos de Atapuerca (Atapuerca, Ata FU, es la sigla para las unidades faunísticas o biozonas) y con la cronología propuesta para el Cuaternario del norte y centro de Europa. La *Table 1. Synthesis of the main sites with small mammals in Spain and correlation with the biostratigraphy based fundamentally on the stratigraphic sequence of the Atapuerca sites (Atapuerca, Ata FU, label for faunal units or biozones) and with the proposed chronology for the Quaternary of northern and central Europe. The formal division of the Quaternary is based in the IUGS international Commission on Stratigraphy.*

Periodo	Época/Edad	Ma	Edades Mamíferos Europa	Pisos norte centro Europa	Yacimientos con micromamíferos de España	Ata FU	
Cuaternario	Holoceno		0,0117		El Mirón y otros Cantabria, Caldas da Rainha, Castro de Zambujal, Cova de Bolomini 21-12, Colomera Asup., Colomera EE1, Valdavara 1 level H, Cova de les Cendres Holoceno, Cueva de la BuenaPinta H, Cova Fosca N.A., Colomera CE12, 13, 14, Cova Fosca M	8&9	
	Pleistoceno Superior	Stagoc/Piso 4	0,012 -0,13	Toringliense	Saaliense	Portalon, Galeria de las Estatuas, El Mirón, Sidrón y otros Cantabria, Cobrante Tafesa Valle del Jarama, Preresca, Cova de les Cendres III-H, Colomera CE15, Gorham's Cave III, Cova Fosca E., Cova de Bolomini 28-32, Cova de les Cendres XIV-XVI-C, Gorham's Cave IV, Cova de les Malladetes, Gruta da Figueira Brava, Ibex Cave, Gabasa G, D, Aguilón, Cueva de la Carigüela, Abric Romani Nivel D, J, N, O, Cueva de la Buena Pinta, Navalmaillo, Cova del Gegant, Mula, Camino, El Higuérón, Cueva del Agua, Arganda	7
	Pleistoceno Medio	Chibaniense	0,13-0,78		Elsteriense Brunhes Faunas <i>Arvicola</i>	Sima de los Huesos, Sima del Elefante 18,19, Galeria GII, GIII, Gran Dolina 10, 11, Cueva del Agua, Cúllar de Baza, 1, Ambrona, Aridos 1, Cuarterones, Villacastín, Galeria Pesada	6a-c
	Pleistoceno Inferior	Calabriense	0,78-1,80	Elhriense	Cromeriense Brunhes temprano Faunas <i>Miomys</i>	Gran Dolina 8	5b
					Baveliense	Gran Dolina 6, 7	2-4 & 5a
					Eburoniense Waalense	Cueva Victoria 1a,1b,II, Fuente Nueva 3, Barranco León 3, 5, Orce 3, Cortes de Baza, 88, Sima del Elefante 7-14, Bagur 2, Loma Quemada 1, Muntanyeta dels Sants de la Pedra, Venta Micena, Orce 4, 5, 6, 7, Cañada de Murcia 1,2, Quibas, Almenara-Casablanca 3	1
	Gelasiense	1,80-2,59	Villariense Villafraquiense MN17-ANN16	Gelasiense Tigliense Pretigliense	Incarcal, Alquería, Zújar 14, Galera 2, G, H, Tollo de Chidana 10, 10B, Cortes de Baza 01, 41, 3, Orce 2, 7, D, C, Venta Micena, Barranco Conejos, Fonelas P-1, Almenara-Casablanca 1, Islas Medas, Cañada Real, Valdeganga 7(=VL III), 10 Allozaina? Galera 2, Fuente Nueva 1, Fuentecilla 2,5?, Cementerio de Orce B, Cortijo D. Alfonso, Cortijo D. Diego		
Neógeno	Plioceno	Piacenziense		Reuveriense	Tollo de Chidana niveles inferiores a TC10&10B, Zújar, Cañada de Murcia 3		

nary.stratigraphy.org/charts/) así como del trabajo de Silva *et al.* (2021).

5. Resumen y Conclusiones

Los aspectos más notables del método de datación bioestratigráfica en medios continentales con micromamíferos son: la gran riqueza de fósiles de microfauna en yacimientos en cuevas, que constituyen el registro paleontológico del Cuaternario más importante en la Península Ibérica; las altas tasas de evolución y especiación de los micromamíferos en general y particularmente de los roedores; la anatomía esquelética, que permite clasificar con técnicas propias de la taxonomía y de la

sistemática, las especies coetáneas de un estrato.

En la Península Ibérica, el ámbito de aplicación de la datación bioestratigráfica en medios continentales es todo el Cuaternario en medios continentales, valga la redundancia, especialmente en registros sedimentarios en cuevas. Las problemáticas científicas a resolver son la ecología y las tasas de evolución basadas en especies extintas; la sistemática de algunas especies de insectívoros y roedores, la falta de mayores concentraciones de restos fósiles en medios sedimentario abiertos, como pueden ser depósitos fluviales y/o lacustres; la falta de conocimiento de la importancia de la microfauna en yacimientos del

Holoceno, donde el lavado-tamizado de sedimentos para la recuperación de microfósiles es escaso a nulo; la necesaria innovación de las técnicas de lavado-tamizado y triado así como de la transversalidad con otras disciplinas como isótopos estables o el ADN antiguo. Las problemáticas técnicas son la falta de una política y gestión de la investigación básica en España, especialmente en Geología y Ciencias de la Tierra en general.

Agradecimientos

A los equipos de excavaciones arqueológicas y paleontológicas que recuperan sedimentos para la microfauna, especialmente los de Valdavara, El Mirón, El Conde, Atapuerca, varios de Aragón, Guadalajara, Cataluña, Mallorca, Gibraltar, Portugal, etc. José Ignacio Canudo, Juan Rofes, Javier Elez Villar y Pablo G. Silva Barroso, han contribuido a la mejora del manuscrito original con sus sugerencias y correcciones. A los proyectos de investigación que han apoyado los trabajos de investigación conducentes a esta publicación, especialmente Aragosaurus: Recursos Geológicos y Paleoambientes, Grupo de referencia del Gobierno de Aragón (E18_20R) y Geología, geocronología y paleobiología de los yacimientos de la Sierra de Atapuerca VII (PGC2018-093925-B-C33; MCIU/AEI/FEDER, UE. Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades/AEI, Fondo Europeo de Desarrollo Regional).

Bibliografía

- Bañuls-Cardona S Martín Rodríguez P López-García JM Morales JI Cuenca-Bescós G, Vergès JM. 2017. Human impact on small-mammal diversity during the middle- to late-Holocene in Iberia: The case of El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *The Holocene*, 27, 8, 1067-1077. <https://doi.org/10.1177/0959683616683257>
- Carbonell E.; Bermúdez de Castro JM; Parés JM; Pérez-González A; Cuenca-Bescós G; Ollé A; Mosquera M; Huguet R; Made vdJ; Rosas A; Sala R; Vallverdú J; García N; Granger DE; Martínón-Torres M; Rodríguez XP; Stock GM; Vergès JM; Allué E; Burjachs F; Cáceres I; Canals A; Benito A; Díez C; Lozano M; Mateos A; Navazo M; Rodríguez J; Rosell J; Arsuaga JL. (2008). The first hominin of Europe. *Nature London* 452 465-470. <https://doi.org/10.1038/nature06815>
- Cifelli, R. L., S. K. Madsen, and E. M. Larson. (1996). *Screenwashing and Associated Techniques for the Recovery of Microvertebrate Fossils*. In *Techniques for Recovery and Preparation of Microvertebrate Fossils*, edited by Richard L. Cifelli, 96-104 [1-24]. Oklahoma Geological Survey Spec. Norman: University of Oklahoma.
- Cuenca-Bescós, G., Sanz. M., Daura, J., Zilhão, J. (2021). The fossils of *Castor fiber* (Mammalia) in Aroeira and archaeological keys for their survival during the Quaternary in the Almonda, Tagus basin, Portugal. *Quaternaire*. <https://doi.org/10.4000/quaternaire.14975>
- Cuenca-Bescós, G., H.-A. Blain, J. Rofes, J. M. López-García, I. Lozano-Fernández, J. Galán, and C. Núñez-Lahuerta. (2016a). Updated AAtapuerca Biostratigraphy: Small-Mammal Distribution and its Implications for the Biochronology of the Quaternary in Spain. *Comptes Rendus Palevol*, 15 (6): 621-24. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2015.09.006>
- Cuenca-Bescós, G., J. M. López-García, and H.-A. Blain. (2016b). Les Petits Vertébrés et la Biochronologie, la Biostratigraphie et la Paléoécologie du Quaternaire. *Comptes Rendus Palevol*, 15 (6): 615-19. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2016.03.004>
- Cuenca-Bescós, G., J. Rofes, J. M. López-García, H.-A. Blain, R. J. de Marfá, M. A. Galindo-Pellicena, and M. L. Bennásar-Serra. (2010). Biochronology of Spanish Quaternary Small Vertebrate Faunas. *Quaternary International*, 212 (2): 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.06.007>
- Cuenca-Bescós, G., Morcillo-Amo, A. (2022). *Redores, edades y paisajes en el Cuaternario de la Península Ibérica*. Ed. Prames, Zaragoza, 416 pp.
- Cuenca-Bescós, G. (2018). Quaternary Micro-Mammal Zones. En: *The Encyclopedia of Archaeological Sciences* (Sandra L. López Varela, Ed.). John Wiley & Sons. pp. 1-4. <https://doi.org/10.1002/9781119188230.saseas0487>
- Erbajeva, M., and N. Alexeeva. (2013). Late Cenozoic Mammal Faunas of the Baikalian Region Composition, Biochronology, Dispersal, and Correlation with Central Asia. In: *Fossil Mam-*

- mals of Asia. Neogene Biostratigraphy and Chronology (Wang, X., Flynn, L.J. and Fortelius, M., Eds.). Columbia University Press, New York, USA. pp.495-507. . <https://doi.org/10.7312/columbia/9780231150125.003.0021>
- Fejfar, O., W. D. Heinrich, and L. Kordos. (2011). "Microtoid Cricetids and the Early History of Arvicolids (Mammalia, Rodentia). *Palaeontologia Electronica*, 14 (3): 1-38.
- Huguet, R., Vallverdú, J., Rodríguez-Álvarez, X.P., Terradillos-Bernal, M., Bargalló, A., Lombra-Hermida, A., Menéndez, L., Modesto-Mata, M., Van der Made, J., Soto, M., Blain, H.-A., García, N., Cuenca-Bescós, G., Gómez-Merino, G., Pérez-Martínez, R., Expósito, I., Allué, E., Rofes, J., Burjachs, F., Canals, A., Bennàsar, M., Nuñez-Lahuerta, C., Bermúdez de Castro, J.M., Carbonell, E. (2017). Level TE9c of Sima del Elefante (Sierra de Atapuerca, Spain): A comprehensive approach. 2017 *Quaternary International*, 433, 278-295. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.11.030>
- Lebreton, L., Morin, E., Gravina, B., Crevecoeur, I. (2021). The Potential of Micromammals for the Stratigraphy and the Timing of Human Occupations at La Roche-à-Pierrot (Saint-Césaire, France). *Quaternary*, <https://doi.org/10.3390/quat4040033>
- López-García JM, Berto C, Cuenca-Bescós G, Desclaux E. 2021. Rodents as indicators of climatic conditions in which hominins lived during the late Middle Pleistocene in southwestern Mediterranean. *Journal of Human Evolution*, 150, 102911. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2020.102911>
- López-García JM; Cuenca-Bescós G; Finlayson C; Brown K; Giles Pacheco F. (2011). Palaeoenvironmental and palaeoclimatic proxies of the Gorham's cave small mammal sequence Gibraltar southern Iberia. *Quaternary International*, 243 137-142. Q1. IF (JCR): 1,768. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.12.032>
- Maul, L., Markova, A. (2007). Similarity and Regional Differences in Quaternary Arvicolid Evolution in Central and Eastern Europe. *Quaternary International*, 160: 81-99. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2006.09.010>
- Núñez-Lahuerta C, Galán J, Cuenca-Bescós G, Huguet R. (2021). Birds from the Early Pleistocene layers of Sima del Elefante, Atapuerca, Burgos, Spain: Palaeoecological implications in the oldest human bearing levels of the Iberian Peninsula. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, (RIPS), 127(2): 453-484. <https://doi.org/10.13130/2039-4942/16027>
- Rofes J, Ordiales A, Iriarte E, Cuenca-Bescós G, Galindo-Pellicena MA, Pérez-Romero A, Carretero MA, Arsuaga JA. 2021. Human activities, biostratigraphy and past environment revealed by small mammal associations at the Chalcolithic levels of El Portalón de Cueva Mayor (Atapuerca, Spain). *Quaternary*, 4(2), 16. <https://doi.org/10.3390/quat4020016>
- Sala N., Pablos A., Rodríguez-Hidalgo A., Arriola-bengoa M., Alcaraz-Castaño M., Cubas M., Posth C., Nägele K., Pantoja-Pérez A., Arlegi M., Rodríguez-Almagro M., Conde-Valverde M., Cuenca-Bescós G., Arribas A., Gómez-Olivencia A. (2021). Cueva de los Torrejones revisited. New insights on the paleoecology inland Iberia during the Late Pleistocene. *Quaternary Science Reviews*. 253 (1): 106765. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106765>
- Silva, P.G.; Bardají, T.; Baena-Preysler, J.; Giner-Robles, J.L.; Van der Made, J.; Zazo, C.; Rosas, A.; Lario, J. (2021). Tabla cronoestratigráfica del Cuaternario de la península ibérica (v 3.0): Nuevos datos estratigráficos, paleontológicos y arqueológicos. *Cuaternario y Geomorfología*, 35 (3-4), 121-145. <https://doi.org/10.17735/cyg.v35i3-4.89346>

Páginas webs - recursos on-line

- Subcomisión de la estratigrafía del Cuaternario (SQS): <http://quaternary.stratigraphy.org/charts/>; <http://quaternary.stratigraphy.org/>
- Unión internacional de las ciencias geológicas (IUGS): <https://www.iugs.org/>
- Unión internacional de Investigación en el cuaternario (INQUA), y Comisión del INQUA en estratigrafía y cronología (SACCOM): <https://inquasaccomm.org/>
- Revista Cuaternario y Geomorfología. AEQUASEG. <https://recyt.fecyt.es/index.php/CUGEO/index>

Recibido el 17 de mayo de 2022

Aceptado el 14 de septiembre de 2022

