



## Métodos de datación en el Cuaternario: La Cartografía del Cuaternario en España y la controversia del concepto “Datación Absoluta”

### *Quaternary dating methods: Quaternary mapping in Spain and the controversy on the concept of “Absolute Dating”*

Pablo G. Silva

(USAL; Editor Invitado Vol. Esp. Métodos de datación)

El presente volumen de la revista Cuaternario y Geomorfología recoge diecisiete artículos sobre los distintos métodos de datación aplicables al Periodo Cuaternario, es decir los últimos 2,58 Ma.

Durante las dos últimas décadas, el número de dataciones disponibles para los materiales y formas cuaternarias en la Península Ibérica ha crecido de una manera exponencial, pudiéndose asegurar que, hoy en día, se dispondría de una base de datos

de más de 1000 dataciones numéricas para el conjunto de territorios peninsulares e insulares. Aunque las dataciones isotópicas para nuestro territorio comenzaron a publicarse desde mediados de los años 70 y comienzos de los 80 del siglo XX, estas se reducían a un pequeño puñado de dataciones isotópicas  $C^{14}$  o Th/U aplicadas a problemáticas climáticas o neotectónicas muy particulares y específicas que no permitían realizar extrapolaciones regionales, la mayor parte de ellas publicadas por investigadores extranjeros. No es hasta bien entrada la década de 1990 cuando comienzan a aparecer conjuntos de dataciones que permitían analizar la evolución de valles fluviales, sistemas kársticos o sectores litorales desde un punto de vista geocronológico apoyado en fechas numéricas. Hasta esa fecha, las dataciones y correlaciones de materiales, procesos y formas cuaternarias se habían realizado desde un punto de vista cronológico totalmente relativo. Contenidos faunísticos, secuencias edáficas, industria lítica, materiales arqueológicos y, en proporción ya creciente, datos paleomagnéticos habían constituido los geo-relojes disponibles más fiables para cuaternaristas, geomorfólogos, prehistoriadores, paleontólogos y paleoantropólogos en nuestro territorio.

**El presente Volumen Especial sobre métodos de datación en el Periodo Cuaternario es una iniciativa AEQUA y recoge diecisiete artículos específicos sobre el tema.**

***The present Special Volume on dating methods in the Quaternary Period is an initiative of AEQUA and gathers seventeen specific articles on the subject.***

## Geocronología y Estratigrafía del Cuaternario en la Cartografía Geológica en España

Para hacernos una idea, las palabras geocronología, datación radiométrica, isotópica o numérica referida a materiales cuaternarios están completamente ausentes en obras tan emblemáticas como los Mapas de España 1:1.000.000 del Cuaternario (1989); Geomorfológico (1992) o Neotectónico (1994) editados por el IGME. Todo ello, sin contar con el tratamiento que se les da a los materiales cuaternarios en la 1ª y 2ª Serie del Plan MAGNA 1:50.000 en las que, salvo muy pocas honrosas excepciones, las dataciones y el término geocronología están completamente ausentes. En el mejor de los casos se aporta una cronología relativa clasificando los materiales como Pleistoceno inferior, medio, superior y Holoceno basados en un gran esfuerzo de análisis geomorfológicos apoyados en datos faunísticos, líticos y edáficos que se observa en algunas cartografías a partir de la década de 1980. Como no podría ser de otra manera, no puedo evitar nombrar a los doctores *José Luis Goy Goy* (UCM, USAL), *Alfredo Pérez-González* (IGME, UCM, CENIEH), *Caridad Zazo Cardeña* (UCM, CSIC), *Mateo Gutiérrez Elorza* (UNIZAR) y *Ángel Martín-Serrano* (IGME) que son los que lideraron el análisis y representación cartográfica de los depósitos y formas cuaternarias en el Plan MAGNA. Sé que hay muchas otras personas que hicieron muy valiosos méritos en la cartografía de los depósitos cuaternarios en nuestro territorio, que me perdonen, pero no llegan al volumen de trabajo de los que he mencionado y la lista sería algo larga para este breve artículo introductorio. En cualquier caso, a pesar del esfuerzo de todas estas personas y los que les siguieron, muchísimos MAGNAS todavía contienen amplísimas manchas grises con etiquetas tan generalistas como “*Cuaternario indiferenciado*”; “*Terrazas fluviales cuaternarias*”; “*Glacis poligénicos*”, “*Rañas*” o “*Plio-Cuaternario*”. Ni que decir tiene que los términos *Gelasiense*, *Calabriense* o *Chibanniense* también están ausentes de la cartografía geológica oficial de nuestro país, aunque este gran fallo se puede perdonar, ya que la definición de tales pisos cuaternarios y sus correspondientes GSSP han sido definidos muy recientemente, a partir del año 2010 (Gibbard y Head, 2010; Suganuma *et al.*, 2020). Si la estratigrafía del Cuaternario se encuentra menospreciada, no digamos más aún de la más reciente de este Periodo: El Holoceno. Los términos de *Groenlandiense*, *Northgrippiense* y *Meghalayense* (Walker *et al.*, 2018) que definen los diferentes pisos del Holoceno tampoco aparecen, ni siquiera en las cartografías más recientes.

La ausencia del término geocronología o el uso de dataciones numéricas referidas al Cuaternario se repite en grandes obras emblemáticas, como son la monografía de “*Geología de España*” editada por IGME-SGE (1994) y la obra “*Geology of Spain*” editada por la SGL (Gutiérrez-Elorza *et al.*, 2002). Si bien, en esta última obra aparecen ya edades numéricas referidas a sistemas glaciares, terrazas marinas y, fundamentalmente, a yacimientos fósiles con humanos. Todo ello sirva para poner de relieve la nula actualización de la estratigrafía del Cuaternario en las cartografías geológicas oficiales y obras de referencia en uso a día de hoy. Recuerdo que en el año 2004 o 2005 se hizo una exposición celebrando la finalización y completitud de la 2ª Serie del Plan MAGNA. Si bien es cierto que se dispone de la práctica totalidad de los mapas 1:50.000 (aunque faltan nueve por publicar), también es cierto que muchos son anteriores al año 1975, con una cartografía totalmente obsoleta del Cuaternario y también de periodos anteriores como el Plioceno y Mioceno. Algunos mapas del Levante y SE Peninsular son incluso anteriores al descubrimiento de la Crisis de Salinidad Messiniense (Hsü *et al.*, 1973). Dejando claro que la estratigrafía del Cuaternario se encuentra maltratada e incompleta en las cartografías oficiales, hay que decir bien alto que necesitaría de una importante y sustancial actualización para gran parte del territorio peninsular e insular. Un ejemplo sería la 3ª Serie MAGNA realizada para la Región de Murcia, donde aparece una cartografía 1:50.000 de la Geología del Cuaternario, Geomorfológica y Procesos Activos muy actualizada (Fig.1). El Mapa Geológico de España 3ª serie constituye un nuevo producto cartográfico que supone una actualización y mejora de la cartografía geológica de la serie MAGNA y se amplía con nuevas cartografías dirigidas a ser base infraestructural para la ordenación del territorio, como son la cartografía geomorfológica

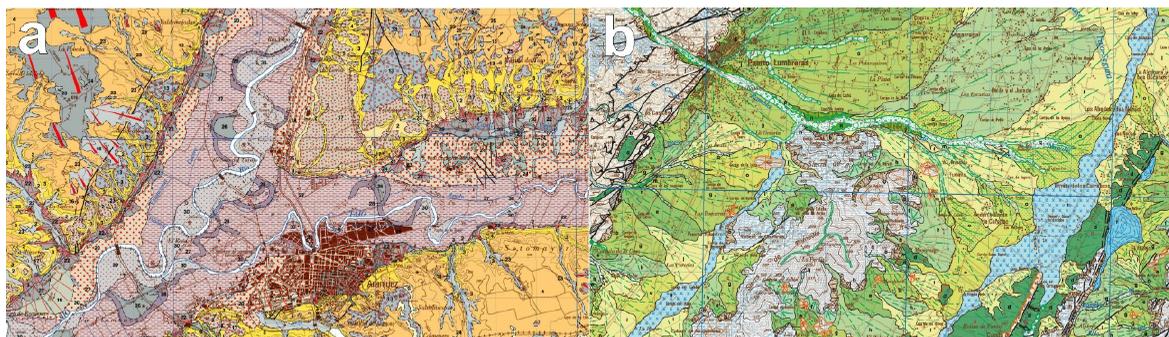


Figura 1. Ejemplos de cartografía geológica y geomorfológica de los últimos mapas editado en formato 3ª Serie Magna del IGME. Izquierda (a): Mapa Geológico mostrando diferentes formaciones cuaternarias asociadas a la confluencia de los valles del Tajo y Jarama (Madrid) donde la morfología de los depósitos Cuaternarios cartografiados (en diversas tonalidades de gris y con diferentes tramas en rojo) tiene valor diagnóstico puesto que su geometría y localización ayudan a identificar las terrazas, la llanura de inundación, los fondos de valles, conos de deyección, glacia, etc. Algo que no ocurre con las formaciones del sustrato Mioceno (colores rojos y anaranjados). Mapa Geológico 1:50.000, Hoja de Aranjuez 605 (Mediavilla y Rubio, 2010). Derecha (b): Mapa Geomorfológico mostrando diferentes formaciones de abanicos aluviales y de centro de cuenca cuaternarios en la Depresión del Guadalentín (Murcia) donde los distintos tonos de verde identifican el sistema morfogenético aluvial, gradándose de más oscuros (más antiguos) a mas claros (más modernos). El sistema morfogenético lacustre (depressiones semiendorreicas y lagunas de fallas) se representa en distintos tonos de azul y el sustrato metamórfico bético en gris claro. Mapa Geomorfológico 1:50.000, Hoja de Puerto Lumbreras 975 (Silva y Bardaji, 2012). Las imágenes extraídas del Portal de Cartografía de libre acceso del Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC): <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/>

*Figure 1. Examples of geological and geomorphological maps published in the format of the 3rd Magna Series (IGME). Left (a): Geological map showing the different Quaternary formations associated with the confluence of the Tago and Jarama valleys (Madrid). There the morphology of the mapped Quaternary deposits (in different grey tones and with different red patterns) has a diagnostic value since their geometry and location help to identify the terrace sequence, flood plains, valley bottoms, alluvial fans, glacia, etc. This is not the case with the formations of the Miocene substratum in red and orange colours. Geological Map 1:50.000, Aranjuez, Sheet 605 (Mediavilla and Rubio, 2010). Right (b): Geomorphological map showing different Quaternary alluvial-fan and basin-center formations in the Guadalentín Depression (Murcia), where the different shades of green identify the alluvial morphogenetic system, grading from darker (older) to lighter tones (more modern). The lacustrine morphogenetic system (semiendorheic depressions and fault sag-ponds) is represented in different blue tonalities and the Betic metamorphic substratum in light grey. Geomorphological map 1:50.000, Puerto-Lumbreras Sheet, 975 (Silva and Bardaji, 2012). Images extracted from the free-access Cartography web-site of the Geological and Mining Institute of Spain (IGME-CSIC): <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/>*

y de procesos activos (Fig. 1). Este tipo de mapas ampliamente basados en la cartografía geológica del Cuaternario, suponen inventarios cartográficos básicos para la realización de mapas de susceptibilidad y peligrosidad, indispensables para la incorporación de los riesgos geológicos y efectos del cambio climático en la planificación territorial del siglo XXI. Esta requerirá de nuevas pautas, nuevas estrategias, nuevas necesidades e incluso de importantes modificaciones en el ordenamiento jurídico medio-ambiental actual ante el tan anunciado “Cambio Climático” (Olcina, 2022) Una reciente revisión sobre la importancia de la cartografía de los materiales cuaternarios en los mapas geológicos puede consultarse en Salazar (2017) y Silva *et al.* (2021).

Esperando que esta reivindicación no caiga en el olvido, pasaremos ahora a una controversia bastante peliaguda y todavía candente en la enseñanza en escuelas, institutos y universidades, pero también entre los docentes, investigadores y profesionales que nos dedicamos al estudio del Cuaternario: el concepto de “*datación absoluta*”.

## El concepto de Datación Absoluta

Actualmente, representa un concepto antiguo, ya casi arcaico. Sin embargo, sigue existiendo en los libros de enseñanza secundaria y universitaria, así como en los escritos, apuntes y artículos científicos de muchos geólogos profesionales. El término absoluto en cuanto a datación se refiere indica una fecha precisa, que se opone a una datación relativa referida a un periodo, época, piso o estadio "*sensu lato*" (*s.l.*) de la escala de tiempos geológicos, o que a lo sumo nos ofrece un abanico de edades entre una más antigua y una más moderna (un más/menos:  $\pm$ ). Si nos referimos a una escala geológica global, el  $\pm$  tiene su importancia relativa en función del periodo geológico al que nos estemos refiriendo. Las dataciones más actuales sobre la edad más antigua de los materiales terrestres determinada mediante el análisis de zircones son de  $4.404 \pm 1\%$  Ma., correspondiente a un zircón detrítico encerrado en un conglomerado de arenisca metamorfozada en la Formación "*Narryer Gneiss Terrane*" de las montañas de Jack Hills en Australia Occidental (Cavosie *et al.*, 2004). Aunque determinaciones más recientes sugieren una edad más algo más antigua para la Tierra de 4.470 Ma con similar indeterminación cronológica (Rudge *et al.*, 2010). Sea como fuera, esa incertidumbre de  $\pm 1\%$  quiere decir que la indeterminación cronológica es de  $\pm 44$  Ma. Esto es una incertidumbre total de 88 Ma, que para los 4.404 o 4.470 Ma que tiene la Tierra es muy aceptable. Si nos vamos a tiempos más recientes, como por ejemplo el Neógeno, esta incertidumbre sería algo completamente inadmisibles, por supuesto. Si nos vamos al Mesozoico, los  $\pm$  correspondientes a los GSSP de los distintos pisos en que se subdividen los periodos Jurásico o Cretácico raramente sobrepasan los  $\pm 5$  Ma, siendo muy comunes los de alrededor de  $\pm 0,5$  a  $\pm 1,0$  Ma. Claro que, si nos movemos al Cuaternario, una indeterminación de  $\pm 1$  Ma nos situaría tanto en el Plioceno como casi en el futuro, dependiendo del piso en que nos encontremos.

Así las cosas, el tamaño sí que importa en la geocronología del Cuaternario y necesitamos que las indeterminaciones sean cada vez de menor rango a medida que nos acercamos al presente. Las dataciones  $C^{14}$  son, con mucho, las más fiables, pero por lo general tienen un "*estándar*" de indeterminación de  $\pm 30$  años al uso en los laboratorios comerciales más conocidos. Esto parece aceptable, pero si lo aplicara a mí mismo que nací en 1962, los  $\pm 30$  años implicarían que podría haber nacido en 1932 antes de la Segunda Guerra Mundial, o en 1992 después de la caída del Muro de Berlín y la descomposición de la URSS. Los  $\pm 30$  años aplicados a la Edad del Bronce o al Mundo Romano parecen aceptables, pero para épocas más modernas resultan cada vez más inaceptables. Lo mismo pasa con los diferentes métodos de datación, todos tienen su particular  $\pm$ , cada vez más amplio a la vez que nos alejamos en el tiempo. Una datación de  $100.000 \pm 30$  años es muy aceptable, a la vez que improbable de obtener con casi cualquier método de datación. Pero lo más normal es obtener dataciones de  $100 \pm 30$  ka, es decir que multiplicamos por mil y tenemos una indeterminación de treinta mil años, por otro lado, comunes en dataciones Th/U y OSL para fechas alrededor del Último Interglaciario. Esta datación nos diría que nos estamos moviendo entre 130 y 70 ka, es decir, nos situaría seguramente en el estadio isotópico MIS 5, dentro del Último Interglaciario, pero también podríamos estar a finales del MIS 6 o muy al principio del MIS 4.

Con todo esto quiero decir que las indeterminaciones son importantes (a veces de miles de años) y que por mucho método de datación que utilicemos, las fechas absolutas "*sensu stricto*" (*s.s.*) no existen y, por lo tanto, las dataciones absolutas tampoco. Por otro lado, existen algunos trabajos (no muchos) que hacen un examen o crítica metodológica a diferentes métodos de datación o de diferentes análisis del mismo método. En ellos se observa que cuantas más muestras se analizan de un mismo sondeo, nivel estratigráfico, niveles contiguos, trinchera de falla, afloramiento o elemento geomorfológico, se obtienen fechas más variopintas y dispares. Al final, los investigadores discriminan las fechas en función de la lógica estratigráfica o geomorfológica del problema que están estudiando. En otras muchas ocasiones, que desconocemos, las fechas inoportunas no llegan a publicarse y quedan en el particular limbo de las bases de datos de los laboratorios de datación.

El problema de las fechas es que muchos investigadores concentrados en la resolución de un problema muy concreto subestiman la lógica estratigráfica o geomorfológica necesaria para resolverlo. Esto es muy común en los trabajos de paleosismología exclusivamente basados en la realización de trincheras de falla, donde la interpretación del log de una de las paredes de las trincheras se convierte en un “*Sancta Sanctorum*” y manda sobre cualquier otro dato geológico o geomorfológico que pueda existir fuera de ellas.

Hay que ser conscientes de que muchos de los métodos de datación que se utilizan en la actualidad, como el  $C^{14}$ , Th/U, OSL, ESR, Radioisótopos (por ejemplo), ofrecen fechas numéricas basadas en diferentes tipos de procesos geoquímicos y/o físicos. Dichas fechas y sus indeterminaciones se obtienen tras unos cálculos matemáticos en los que se realizan sucesivas correcciones y se someten a procesos estadísticos iterativos. La importante obra sobre la datación carbono catorce de Taylor y Bar-Josef (2014) “*Radiocarbon Dating*” define las edades radiométricas como resultado de una “convención matemática” con base química y/o física. Así, los resultados obtenidos por diferentes métodos de datación están lejos de ser considerados “*edades absolutas*”, siendo mucho más apropiado el término “*edad numérica*”.

El problema de lo absoluto arraiga con fuerza cuando a partir de esas edades numéricas se empiezan a calcular tasas de sedimentación, tasas de erosión, tasas de elevación tectónica, tasas de desplazamiento de fallas, etc. Esta reciente “*numerización*” de los procesos geológicos se asume como una cuantificación cierta de los mismos, resultando muy atractiva para investigadores y publicaciones, pero en la mayor parte de los casos de escasa aplicación real. A todo ello se ha llegado como consecuencia de la monitorización de los procesos geológicos que existe en la actualidad mediante dispositivos o métodos geomáticos GPS o GNSS. Estos pueden medir la pérdida de suelo, tasas de erosión, desplazamientos tectónicos y un largo etcétera de procesos geológicos con resoluciones de pocos cm o mm/año. De esta forma, sin darnos apenas cuenta, se ha consumado numéricamente uno de los principios básicos de la Geología: “*El Presente es la Clave del Pasado*”. Esto es, la materialización matemática del principio geológico formulado por James Hutton en 1795 y desarrollado más detalladamente por Charles Lyell en 1830, el “*Uniformitarismo*” o “*Gadualismo*” (Pedrinaci, 1992). La uniformidad de las leyes físicas, químicas, tasas y ritmos que rigen los procesos geológicos hoy son los mismos que los del ayer y los del mañana, y nos hemos empeñado en numerizarlos. Todos sabemos que esto no es cierto y que el nuevo “*Catastrofismo Actualista*” o “*Neocatastrofismo*” (Hsü, 1983) nos indica que los cambios más importantes ocurren a pulsos, durante eventos muy energéticos de baja o muy baja frecuencia, a veces eventos singulares únicos. Nos empeñamos en calcular las tasas de deslizamiento de las fallas en mm/año, cuando todos sabemos que el desplazamiento se produce durante terremotos individuales, terremoto a terremoto. Y el sumatorio a lo largo del tiempo de los desplazamientos finitos que tienen lugar durante cada sismo, lo extrapolamos a tasas de deslizamiento de falla o incluso a tasas de desplazamiento de las placas tectónicas en los mencionados mm/año. Así es; una falla puede estar inmóvil durante cientos o miles de años y deslizarse un metro y medio durante un terremoto individual que apenas dura 30-50 segundos. Con la erosión pasa lo mismo; los picos de erosión y sedimentación tienen lugar durante grandes tormentas e inundaciones. Todo ello aplicable a la práctica totalidad de procesos geológicos externos e internos, incluyendo los volcanes que pueden aparecer y apagarse en pocas semanas, meses o años. Estos pequeños periodos de tiempo son prácticamente despreciables para los millones o cientos de miles de años que normalmente considera la escala de tiempos geológica, y pueden considerarse ciertamente puntuales.

Después de toda esta retahíla de frases en contra de lo absoluto, hay que decir, para ser “honestos”, que los métodos de datación actuales no nos permiten de momento ser absolutistas y seguimos siendo relativistas. Eso sí, relativistas con un apoyo numérico muy importante que, cuando investigamos el Pleistoceno (*s.l.*), nos permite posicionarnos en periodos temporales asimilables a lo abar-

cado por un “estadio isotópico marino” (MIS). Cuando hablamos del Holoceno las fechas  $C^{14}$  nos ofrecen un mayor detalle de pocos cientos o, incluso, pocas decenas de años. Esta recientemente adquirida resolución numérica en las fechas nos permite acotar en el tiempo procesos y formas con un detalle sin precedentes en la historia de la Geología. No obstante, para ser realistas, tendríamos que abandonar el término de datación absoluta y sustituirlo gentilmente por los conceptos de “datación isotópica”, “datación radiométrica” o, para no ser pretenciosos, “datación numérica”.

### Simbología de fechas y uso de las abreviaturas

Con ánimo didáctico para los no especialistas, advertir una serie de formalismos en el uso de las siglas que acompañan a las fechas resultantes de nuestras dataciones:

- a) El uso de la **sigla Ma** para designar “Millones de años” es una reciente convención internacional a utilizar en los trabajos de geología, paleontología y en general de geociencias, recomendada por la IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada) en el año 2011. Proviene del latín “*Mega annum*”. Esta se propone como gráfica estándar internacional para sustituir otras abreviaturas como Myr, My u otras abreviaturas utilizadas en otros idiomas. En España, la RAE recomienda el uso de m.a., aunque la abreviatura Ma es la sigla más utilizada en los trabajos científicos por la comunidad internacional en los últimos años. De la misma manera se recomienda el uso de la **sigla ka (en minúscula)** para la designación de miles de años en detrimento de otras abreviaturas como ky, kyr, Ka, etc.
- b) El uso de la **sigla años BP** (*Before the Present*) solamente puede aplicarse a fechas  $C^{14}$ . En el año 1954, el Servicio de Metrología del U.S. National Bureau of Standards seleccionó el “1 de enero de 1950” como fecha origen de la escala temporal de dataciones por radiocarbono, coincidiendo con la profusión de ensayos nucleares en suelo americano. Por tanto, las siglas BP no pueden utilizarse con otros métodos como el Th/U, OSL, ESR, etc. Además, se desaconseja el uso de la traducción al castellano **años AP** (*Antes del Presente*).
- c) Las fechas resultantes de análisis Th/U, OSL, ESR, etc. son edades numéricas que representan “años de antigüedad” o “años transcurridos” desde que comenzó un proceso geoquímico determinado (desintegración radiactiva, exposición a la luz, racemización de aminoácidos, etc.). Por tanto, no hacen referencia al año 1950 sino al momento en que se realiza el análisis geoquímico, químico-físico o bioquímico relacionado con la datación de un material determinado. Aunque esto no tiene demasiada incidencia para fechas muy antiguas, en la actualidad ya existe una diferencia de unos + 70 años entre edades BP  $C^{14}$  y las proporcionadas por estos otros métodos. Por tanto, este hecho tiene especial incidencia para dataciones dentro del Holoceno, especialmente las más recientes.
- d) La sigla años “**b2k**” fue propuesta en el año 2005 por el Centro para el Hielo y el Clima del Instituto Niels Böhr de la Universidad de Copenhague (Dinamarca) como “años antes del 2000 d. C.”. Se basa en la escala de tiempo de “*Groenlandia Ice Core Chronology*” 2005 (GICC05) propuesta por Svenson *et al.* (2008). Abarca los últimos 60 ka y ha sido calibrada en el sondeo NorthGRIP mediante la combinación de diferentes métodos de datación ( $C^{14}$ , Ar/Ar) y perfiles isotópicos  $\delta O^{18}$ ,  $Be^{10}$  y  $Cl^{36}$ , entre otros.
- e) En Arqueología y Geoarqueología, todavía es muy común el uso de las siglas para años antes (a.C.) y después (d.C.) de Cristo (BC y AC/AD en inglés) aunque la comunidad internacional recomienda el uso de las siglas de años **BCE** (*Before the Common Era*) o años **CE** (*Common Era*) que son numéricamente equivalentes a los años BC y AC o AD (*Annus Domini*) respectivamente. Las siglas BCE y CE se utilizan ampliamente desde finales del pasado siglo dada su neutralidad religiosa. En España, la RAE recomienda el uso de las abreviaturas a.e.c. y e.c. (en minúscula) para

referirse a “antes de la era común” y “era común”, aunque su uso no es muy aconsejable en la literatura científica geológica.

## El Volumen Especial

El presente número especial se centra en la mayoría de los métodos de datación que nos pueden ofrecer fechas numéricas y sus correspondientes errores para los materiales Cuaternarios. Los diferentes artículos recogen las técnicas más novedosas o punteras, aunque las más comúnmente usadas en el estudio del Cuaternario, como el **Paleomagnetismo**, **Potasio-Argón** (K/Ar) o **Carbono 14** ( $C^{14}$ ) no se han incluido. Esto ha sido debido a que los especialistas con los que se había contactado para la redacción de estos artículos desgraciadamente no pudieron concretar su participación por diferentes motivos. En cualquier caso, son de los métodos más antigua y comúnmente usados en el estudio del Cuaternario, y de sobra conocidos por la mayoría de cuaternaristas, existiendo diferentes obras de referencia para los mismos, aunque no sea en castellano.

La presente obra recoge casi una veintena de métodos que, de una u otra forma, nos aportan fechas y edades numéricas con un importante bagaje geocronológico y apoyo isotópico, geoquímico, bio-geoquímico o arqueológico. Partimos de las dataciones epigráficas, cerámicas o numismáticas que nos ofrece la *arqueología* (01. **Campos et al.**) para adentrarnos en los métodos arqueomagnéticos (02. **Carrancho et al.**), *dendrocronológicos* (03. **Génova-Fuster y Díez-Herrero**), *liquenométricos* (04. **Pérez-López**) y de estudio de *sedimentos varvados* (05. **Corella y Martín-Puerta**) que nos permiten fechar materiales, formas, procesos y eventos energéticos históricos, holocenos o de edad post-glaciar. La contribución de (06.) **Cearreta et al.**, nos explica de qué manera el análisis de radionucleidos de vida corta como el Plomo ( $^{210}\text{Pb}$ ), Cesio ( $^{137}\text{Cs}$ ) o Plutonio ( $^{239,240}\text{Pu}$ ) ayuda en la datación de procesos geológicos muy recientes, especialmente aquellos relacionados con procesos de contaminación y/o del estudio del todavía “*nonato*” Antropoceno.

Los dos siguientes artículos nos ofrecen cómo se pueden combinar fechas procedentes de diferentes métodos de datación ( $C^{14}$ , Th/U, TL, OSL, etc.) para el establecimiento de “*modelos cronológicos robustos*” que profundicen en las tasas de sedimentación de zonas lagunares y sus implicaciones paleoclimáticas (07. **Moreno et al.**), o para el establecimiento de cronologías fiables mediante la generación de “*cronofunciones*” (08. **Silva y Roquero**) que relacionen fechas y alturas relativas de terrazas fluviales u otros elementos geomorfológicos, ofreciéndonos marcos geocronológicos regionales “*low-cost*”.

**Bardají y Lario** (09. y 10.) ahondan en los principios de la “*estratigrafía isotópica marina*” (*Marine Isotopic Stages*), mostrándonos las bases y actualizaciones más recientes de tales escalas isotópicas, con especial referencia al último ciclo glaciar (MIS 4 - MIS 1): estadiales e interestadiales de Groenlandia; Eventos Dansgaard-Oeschger y Eventos Heinrich.

Los siguientes artículos se basan en el uso de los estudios micropaleontológicos como herramienta de datación, tanto en estudios de sondeos marinos (11. **Alonso-García et al.**), como en registros continentales lacustres o de rellenos kársticos fundamentalmente (12. **Cuenca-Bescós**). Tanto el estudio de microforaminíferos como de micromamíferos no nos aportan una cronología “*sensu stricto*” por sí mismos, pero su combinación con dataciones o curvas isotópicas relacionadas permiten el establecimiento de marcos cronológicos robustos para sondeos marinos, continentales y secuencias kársticas. Los primeros son muy importantes para el último ciclo interglaciar-glaciar-interglaciar, y las segundas, relevantes en el establecimiento de cronologías alrededor del tránsito Pleistoceno inferior-medio y más antiguas.

El siguiente artículo aborda la *datación isotópica Th/U* (13. **Múñoz-García y Martín-Chivelet**) todo un “tótem” de la geocronología del Cuaternario que se ha aplicado a sistemas kársticos (espeleotemas), terrazas marinas (gasterópodos), corales, calcretas y demás materiales geológicos con un contenido importante y de precipitación primaria de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ . A continuación, se aborda la técnica de datación por “*racemización de aminoácidos*” (14. **Torres et al.**), que analiza la degradación de aminoácidos en elementos de origen biológico muy diversos, como foraminíferos, moluscos, crustáceos, y diferentes tipos de fósiles de mamíferos (huesos y dientes), lo que permite establecer cronologías en secuencias difícilmente datables por otros métodos. Es una técnica no muy utilizada, pero ampliamente aplicada en España debido al trabajo del *Laboratorio de Estratigrafía Biomolecular* de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

La siguiente dupla de artículos se ocupa del análisis de dos de las técnicas de datación más modernamente introducidas en España, y de amplio uso en la actualidad, como son la “*Termoluminiscencia y la Termoluminiscencia Ópticamente Estimulada*”, TL y OSL en sus siglas convencionales (15. **Medialdea-Utande y García-Silva**) y la “*Resonancia Paramagnética Electrónica*”, ESR (16. **Duval**). La versatilidad de estas técnicas de datación al no requerir materiales específicos, sino más bien ampliamente distribuidos sobre la corteza terrestre, como son granos de cuarzo y feldespato, es la que ha hecho que estas sean las herramientas geocronológicas que han multiplicado exponencialmente el número de dataciones disponibles en España. A ello se le une la disponibilidad de análisis en los laboratorios de datación del *Centro Nacional para el Estudio de la Evolución Humana* (CENIEH) al que pertenecen los primeros firmantes de ambos artículos. Un último artículo (17. **Alcalá Reygosa et al.**) nos ilustra en las más modernas aplicaciones de la “*datación por cosmogénicos terrestres de materiales y formas volcánicas recientes*”, comentándonos algunos ejemplos en volcanes monogenéticos holocenos de México. Desafortunadamente, a última hora se nos ha caído del volumen un artículo más amplio dedicado a la técnica de “*datación por isótopos cosmogénicos radiactivos*”, que permite la datación de materiales sedimentarios, pero también de formas erosivas, especialmente en ambientes glaciares.

Todos los artículos poseen un **apartado metodológico** en el que se exponen los principios físicos, químicos, fisicoquímicos o biológicos del método de datación en cuestión, pero también se exponen los métodos y el material de muestreo en campo, así como los materiales geológicos más recomendables para su datación y las limitaciones de estos. Otro apartado genérico que poseen todos los artículos es el de **rango temporal de las dataciones**. Los límites temporales de datación de cada método, es decir el rango cronológico de aplicación se expone claramente y se indican qué resultados más antiguos se han obtenido en nuestro territorio. De la misma forma, este apartado resume las **incertidumbres asociadas** a cada método y fuentes de estas, así como los **límites máximos de edad** que se hayan obtenido dentro del Periodo Cuaternario de forma global. En los métodos que lo han requerido, también se indican los límites mínimos de aplicación de los mismos. En definitiva, es un volumen dirigido no a especialistas sino a aquellas personas que quieran o necesiten hacer dataciones en sus investigaciones y poder saber qué métodos son los más adecuados, así como qué materiales, rutinas y aparatos de muestreo necesitarán para su consecución. Todos los artículos presentan dos o tres ejemplos de aplicación de los métodos en nuestro territorio sobre distintos materiales o ambientes geológicos como, por ejemplo, cuevas, marismas, terrazas fluviales, dunas, superficies glaciadas, materiales volcánicos recientes y un largo etc. En el apartado de resumen y conclusiones, se destacan los aspectos más notables o novedosos del método de datación, su ámbito de aplicación y problemáticas a resolver con temáticas tan diversas como la paleohidrología, evolución humana, paleoclimatología, paleosismología, prehistoria y, en general, la mayor parte de disciplinas involucradas en la investigación de riesgos geológicos y cambio climático.

Asimismo, los diferentes artículos ofrecen una **bibliografía muy actualizada** y diferentes ejemplos de aplicación de los distintos métodos de datación en nuestro territorio. Hemos querido que todo

el volumen discorra en castellano, ya que a pesar de que existen muchos libros, monografías y artículos en inglés sobre estos distintos métodos, la literatura en castellano es realmente escasa. En resumen, puede decirse que hemos tratado de elaborar una guía metodológica en castellano para el uso de diferentes métodos de datación en materiales y formas cuaternarias, así como su viabilidad, eficacia y rentabilidad relativa para el estudio de diferentes materiales, procesos y ambientes sedimentarios durante el Cuaternario, poniendo diferentes ejemplos para ello.

Todos los trabajos han sido revisados por pares, incluyendo un importante elenco de investigadores que han actuado como revisores. Desafortunadamente, esta ha sido una labor, en ocasiones, muy ardua ya que ha habido personas a las que se les ha solicitado la revisión y la han denegado. Otros, desgraciadamente, ni han respondido a las repetidas solicitudes realizadas. Olvidándonos de estos personajes, quiero mostrar mi gratitud al estupendo plantel de revisores que ha colaborado con la edición de este volumen especial que, por orden alfabético son: **Montserrat Alonso-García** (USAL); **Paula Álvarez Iglesias** (UVIGO); **Arantza Aramburu Artano** (UPV-EHU); **Martin Arriolabengoa** (UPV-EHU); **Rafael Baena Escudero** (US); **Juan Ballesteros** (MNCN-CSIC); **Teresa Bardají** (UAH); **Miguel Bartolomé Úcar** (IPE-CSIC); **Elisabet Beamud** (CCiT-UB); **Alfonso Benito** (CENIEH); **José Ignacio Canudo** (UNIZAR); **Jaime Cuevas** (UA); **Javier Elez** (USAL); **José Juan Fernández Caro** (Dip. Sevilla); **Julio Garrote** (UCM); **Penélope González-Sampériz** (IPE-CSIC); **Armand Hernández Hernández** (UDC); **Policarp Hortolà** (URV); **M<sup>a</sup> Jesús Irbaien** (UPV-EHU); **Eneko Iriarte** (UBU); **Montserrat Jiménez** (UNIOVI); **M<sup>a</sup> Pilar Mata** (IGME-CSIC); **Ana Moreno Caballud** (IPE-CSIC); **Belén Oliva Urcia** (UNIZAR); **Marta Pérez-Fidalgo** (USAL); **Raúl Pérez-López** (IGME-CSIC); **Javier Pérez-Tarruella** (USAL); **M<sup>a</sup> Ángeles Perucha** (IGME-CSIC); **Natalia Prado** (UANDES, Colombia); **José Carlos Robredo** (UPM); **Juan Rofes** (UPh; Filipinas); **Elvira Roquero** (UPM); **Isabel Sánchez Ramos** (UCO); **Miren del Val Blanco** (CENIEH); **Cari Zazo** (MNCN-CSIC).

No podría acabar estos agradecimientos sin reconocer la gran disposición de todos los autores y sin mencionar a **Begoña Bautista** (Editorial Manager de la Revista) y **Lourdes Lalana** (Editorial Cometa Gráfica) por la estupenda labor de edición que han realizado.

## Bibliografía relevante citada

- Cavosie, A.J., Wilde, S.A., Liu, D., Weiblen, P.W., Valley, J.W. (2004). Internal zoning and U-Th-Pb chemistry of Jack Hills detrital zircons: a mineral record of early Archean to Mesoproterozoic (4348-1576 Ma) magmatism. *Precambrian Research*, 135, 251–279. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2004.09.0>
- Gibbard, P.L., Head, M.J. (2010). The newly-ratified definition of the Quaternary System/Period and redefinition of the Pleistocene Series/Epoch, and comparison of proposals advanced prior to formal ratification. *Episodes*, 33, 152 - 158. <https://stratigraphy.org/gssps/files/quaternary-pleistocene.pdf>
- Gutiérrez-Elorza, M., García-Ruiz J.M., Goy, J.L., Gracia Prieto, J.F., Gutiérrez-Santolalla, F., Martí, C., Martín-Serrano, A., Pérez-González, A., Zazo, C., Aguirre, E. (2020). The Quaternary. In: Geology of Spain (Gibbons, W. y Moreno, T., Eds). The Geological Society (GSL), London, UK. 336 -366.
- Hsü, K.J. (1983). Actualistic catastrophism. *Sedimentology*, 30, 3-9.
- Hsü, K.J. (1990). Actualistic catastrophism and global change. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 89 (3), 309-313. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(90\)90072-F](https://doi.org/10.1016/0031-0182(90)90072-F)
- Hsü, K.J., Cita, M.B., Ryan, W.B.F. (1973). The origin of the Mediterranean environment. *Initial Report of the Deep Sea Drilling Project*, vol. 13, US Government Print. Office, Washington, pp. 1203–1235.
- Pedrinaci, E. (1992). Catastrofismo Versus Actualismo: Implicaciones Didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), 216-222.
- Olcina, J. (2022). Cambio climático y ordenación del territorio: nuevas pautas para nuevas necesidades. *Foro de la Economía del Agua (Blog)* <https://forodelaeconomiadelagua.org/cambio-climatico-y-ordenacion-del-territorio-nuevas-pautas-para-nuevas-necesidades/> Consultado 02/11/2022.
- Rubio, F.J., Medialdea, R. (2010). Cartografía Geológica 1:50.000 de la Hoja de Aranjuez (nº 605). Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid.

- Rudge, J.F., Kleine, T., Bourdon, B. (2010). Broad bounds on Earth accretion and core formation constrained by geochemical models. *Nature Geoscience*, 3, 439-443. <https://doi.org/10.1038/ngeo872>
- Salazar, A. (2017). El Cuaternario en los mapas geológicos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25 (1), 5-9.
- Suganuma, Y., Okada, M., Head, M.J., Kameo, K. *et al.* (2020). Formal ratification of the Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the Chibanian Stage and Middle Pleistocene Subseries of the Quaternary System: the Chiba Section, Japan. *Episodes*, 1-31. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2020/020080>
- Silva, P.G., Bardají, T., Goy, J.L., Zazo, C. (2012). Cartografía Geomorfológica 1:50.000 de la Hoja de Puerto Lumbreras (nº 975). Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid.
- Silva, P.G., Bardají, T., Baena-Preysler, 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 – 146. <https://doi.org/10.17735/cyg.v35i3-4.89346>
- Svensson, A., Andersen, K. K., Bigler, M., Clausen, H. B., *et al.* (2008). A 60 000 year Greenland stratigraphic ice core chronology. *Climate of the Past*, 4, 47–57. [www.clim-past.net/4/47/2008/](http://www.clim-past.net/4/47/2008/)
- Taylor, R.E. y Bar-Yosef. (2014). Radiocarbon Dating: An Archaeological Perspective. Routledge Press, New York, USA. 404 pp. <https://doi.org/10.4324/9781315421216>
- Walker, M., Head, M.J., Berkelhammer, M. Björck, S. *et al.* (2018): Formal ratification of the subdivision of the Holocene Series/ Epoch (Quaternary System/Period): two new Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs) and three new stages/ subseries. *Episodes* 41 (4), 213-223. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2018/018016>



Figura 2. Portada del Volumen Especial sobre Métodos de datación en el Cuaternario. Revista Cuaternario y Geomorfología, 36 (3-4), diseñada por Pablo G. Silva, 2022.

Figure 2. Cover of the Special Volume on Quaternary Dating Methods. Revista Cuaternario y Geomorfología, 36 (3-4), designed by Pablo G. Silva, 2022.