

EL DÍA QUE LA GUERRA FRÍA ENTRÓ EN NUESTRO ADN



PINO DÍEZ ÁLVAREZ-BUYLLA
Planificación y ejecución de proyectos.
Mantenimiento - C.N. Cofrentes
IBERDROLA GENERACIÓN NUCLEAR

UNA FECHA ESCONDIDA EN EL ADN

¿Puede una explosión nuclear ocurrida hace más de sesenta años decirnos cuántos años tiene una neurona de nuestro cerebro? La respuesta, sorprendentemente, es sí.

Imagina un átomo de carbono-14 nacido en la atmósfera durante una prueba nuclear. Primero se mezcla con el aire. Después pasa a una planta. Tal vez termina en una espiga de trigo, en una fruta o en la hierba que come un animal. Más tarde llega a nuestra mesa y, finalmente, a nuestro organismo. Si ese átomo acaba formando parte del ADN de una célula, puede permanecer allí durante décadas.

Años después, un científico puede encontrar su rastro y utilizarlo para responder a una pregunta que parece imposible: ¿cuándo nació esa célula?

Esta es la historia de uno de los experimentos involuntarios más fascinantes del siglo XX. Nadie lo diseñó, nadie reclutó voluntarios y nadie imaginó su utilidad futura. Sin embargo,

dejó una marca en prácticamente toda la biosfera. Su nombre científico es *bomb pulse*, el pulso de las bombas, y su protagonista es un átomo diminuto que todos llevamos dentro: el carbono-14.

EL PULSO DE LAS BOMBAS

El carbono está en todas partes en nuestro cuerpo. Forma parte de las proteínas, las grasas, los azúcares y el ADN. La mayor parte es carbono-12, pero existe una proporción diminuta de carbono-14, una variante radiactiva del carbono que se produce de manera natural en la atmósfera por la acción de los rayos cósmicos.

Ese carbono-14 se combina con el oxígeno, forma dióxido de carbono y entra en el ciclo de la vida. Las plantas lo absorben durante la fotosíntesis; los animales comen plantas; nosotros comemos unas y otros. Por eso todos los seres vivos contienen pequeñas cantidades de carbono-14.

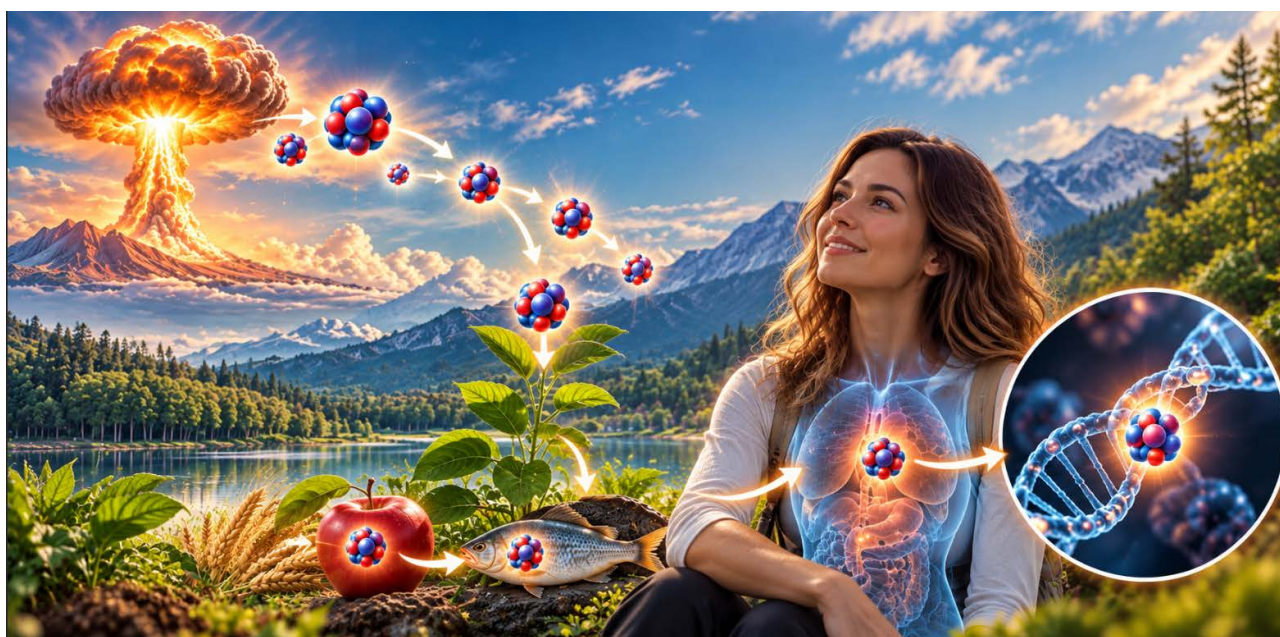


Figura 1. Del cielo al ADN: el carbono-14 producido durante las pruebas atmosféricas se incorporó al CO₂, pasó a plantas y alimentos y terminó formando parte de nuestras moléculas biológicas.

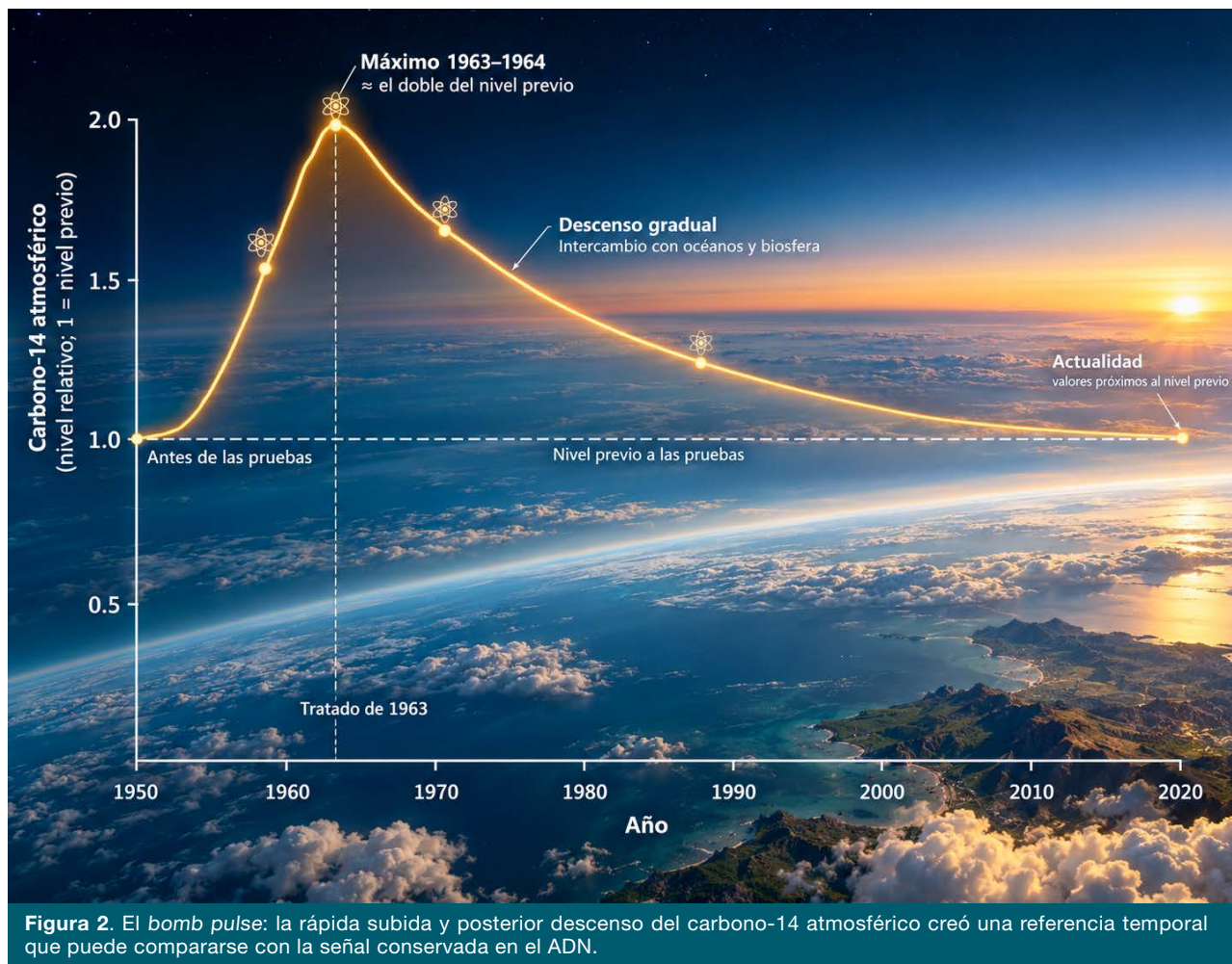


Figura 2. El *bomb pulse*: la rápida subida y posterior descenso del carbono-14 atmosférico creó una referencia temporal que puede compararse con la señal conservada en el ADN.

El carbono-14 tarda unos 5.730 años en reducirse a la mitad. Esa lentitud lo convirtió en la base de la datación por radiocarbono. Pero a mediados del siglo XX ocurrió algo extraordinario.

Durante los años cincuenta y principios de los sesenta se realizaron numerosas pruebas nucleares en la atmósfera. Las explosiones liberaron neutrones que produjeron carbono-14 adicional. En el hemisferio norte, su concentración atmosférica llegó aproximadamente al doble del nivel anterior a las pruebas [1].

Si dibujamos esos valores en una gráfica aparece una montaña muy característica: una subida rápida desde mediados de los años cincuenta, un máximo a comienzos de los sesenta y, después, un descenso progresivo. El Tratado de Prohibición Parcial de Ensayos Nucleares de 1963 marcó un punto de inflexión. Al disminuir drásticamente las grandes pruebas atmosféricas, dejó de añadirse carbono-14 al mismo ritmo.

¿Y por qué descendió la curva si el carbono-14 tarda miles de años en desintegrarse? Porque comenzó a repartirse. Los océanos lo absorbieron. Las plantas lo fijaron. Pasó a los suelos, a los animales y a las personas. La señal creada en la atmósfera empezó a viajar por el planeta.

Sin saberlo, la humanidad había creado una especie de sello temporal mundial.

UN RELOJ DENTRO DE NUESTRAS CÉLULAS

Aquí aparece el giro de la historia.

En 2005, un grupo de investigadores demostró que aquella señal atmosférica podía utilizarse para conocer la edad de células humanas [2]. El principio es sorprendentemente sencillo.

Cuando una célula se divide necesita fabricar una copia nueva de su ADN. Para hacerlo utiliza el carbono disponible en el organismo en ese momento. Una pequeñísima parte es carbono-14. Una vez construido el ADN, esa proporción queda prácticamente fijada.

Por eso, si hoy medimos el carbono-14 presente en el ADN de una célula y lo comparamos con la curva atmosférica del *bomb pulse*, podemos aproximarnos al momento en que se formó. El reto está en leerla. El carbono-14 es extraordinariamente escaso, así que se utiliza una técnica llamada espectrometría de masas con aceleradores, o AMS. No hace falta entender toda la física para apreciar la idea: el equipo separa las distintas versiones del carbono y consigue contar ese carbono-14 rarísimo entre una multitud inmensa de átomos normales.

Gracias a esta estrategia comenzó una auténtica arqueología celular: por primera vez era posible estimar cuándo habían nacido células humanas que no podían seguirse directamente durante décadas.



Figura 3. Arqueología celular: separar las células, extraer su ADN, medir el carbono-14 y compararlo con la curva atmosférica permite estimar cuándo se formaron.

Es como buscar a una persona concreta en una ciudad de cientos de miles de millones de habitantes... y encontrarla.

Antes de medir, además, hay que separar exactamente las células que se quieren estudiar. Un corazón no contiene solo células musculares; un cerebro no contiene solo neuronas. Si mezcláramos células con edades diferentes, perderíamos la información. De ahí que esta técnica una mundos que rara vez imaginamos juntos: física nuclear, biología y medicina.

Y una aclaración importante: que podamos medir este carbono-14 no significa que llevemos una cantidad peligrosa de radiactividad en el cuerpo. El carbono-14 existe de forma natural y las cantidades de las que hablamos son minúsculas. Su valor aquí no está en la dosis que produce, sino en la información que conserva.

UN CUERPO, MUCHAS EDADES

Solemos decir: «Tengo cincuenta años», «tengo sesenta», «tengo treinta». Pero desde el punto de vista de nuestras células la respuesta es mucho más complicada.

«Nuestro cuerpo no tiene una sola edad»

Existe una frase muy repetida según la cual todas nuestras células se renuevan cada siete años. No es cierta. Algunas duran poco tiempo; otras se reemplazan lentamente y algunas pueden acompañarnos casi toda la vida. El *bomb pulse* permitió empezar a poner fechas a ese mosaico.

El cerebro ofreció uno de los resultados más llamativos. En el estudio pionero de 2005, determinadas neuronas de la corteza cerebral tenían una edad compatible con la del propio individuo [2]. Dicho de otro modo: muchas de esas neuronas podían llevar allí desde nuestra infancia.

Pensemos en ello por un momento. Una célula que hoy participa en nuestra forma de ver el mundo quizá ya estaba presente cuando aprendíamos a leer, cuando

conocimos a nuestros primeros amigos o cuando todavía no sabíamos qué queríamos ser de mayores.

Pero el cerebro volvió a sorprender. Estudios posteriores encontraron señales de renovación neuronal en el hipocampo, una zona relacionada con la memoria y el aprendizaje [3]. La magnitud exacta de esa formación de nuevas neuronas en adultos continúa siendo objeto de investigación, pero el carbono-14 proporcionó una manera completamente distinta de acercarse a la pregunta.

El corazón también rompió una idea muy asentada. Durante años se pensó que sus células musculares apenas podían renovarse. La datación con carbono-14 mostró que sí existe recambio, aunque lento. En adultos jóvenes se ha estimado alrededor de un 1 % anual y disminuye con la edad [4]. Puede parecer poco, pero científicamente la diferencia es enorme: no es lo mismo un tejido incapaz de renovarse que uno con una capacidad limitada que quizá podamos comprender mejor y, algún día, estimular.

Las células grasas cuentan otra historia. Aunque el número total de células grasas de un adulto puede permanecer bastante estable, las células individuales se van sustituyendo [5]. Es como una ciudad cuya población apenas cambia, aunque cada año algunos habitantes se marchen y lleguen otros nuevos.

En el cristalino del ojo ocurre casi lo contrario. Algunas de sus proteínas se forman muy pronto y pueden permanecer prácticamente toda la vida [6]. Parte de aquello con lo que vemos el mundo nos acompaña desde que empezamos a verlo.

Y el reloj sigue siendo útil hoy. En 2025, investigadores utilizaron de nuevo el *bomb pulse* para estudiar células T de memoria del sistema inmunitario y comprobaron que su duración cambia según el tejido en el que se encuentren [7]. Más de sesenta años después del gran pico atmosférico, aquella señal todavía ayuda a descubrir cómo envejece nuestro organismo.

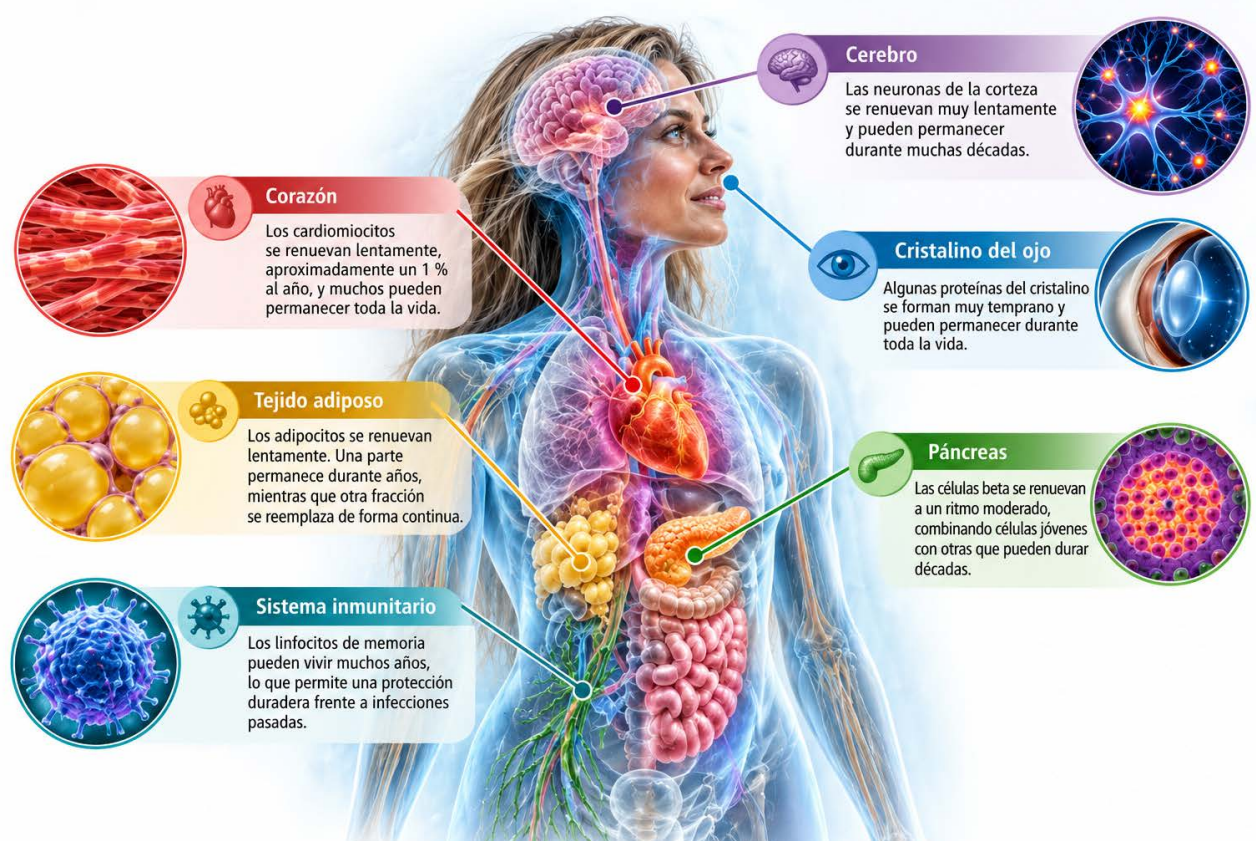


Figura 4. Un cuerpo, muchas edades: en un mismo organismo conviven tejidos con ritmos de renovación muy diferentes.

La utilidad del *bomb pulse* no se limita a la biología y la medicina.

CUANDO UN DIENTE SE CONVIERTE EN TESTIGO

El carbono-14 también puede hablar cuando una persona ya no puede hacerlo.

Imaginemos que aparecen unos restos humanos sin identificar. No hay documentos. No sabemos si pertenecen a una persona desaparecida hace diez años o a alguien que murió hace muchas décadas. Un diente puede ofrecer una pista inesperada.

El esmalte dental se forma en momentos concretos de la infancia y, después, apenas intercambia carbono con el organismo. Es una pequeña cápsula del tiempo. Midiendo su carbono-14 y comparándolo con la curva del *bomb pulse* se puede estimar cuándo se formó el diente y, a partir de ahí, aproximar el año de nacimiento [8].

El hueso funciona de otra manera porque se remodela a lo largo de la vida. Su señal suele reflejar etapas más recientes. Por eso distintos tejidos pueden actuar como páginas diferentes de una biografía: el esmalte habla de la infancia; el hueso, de años posteriores.

La técnica tiene límites. La curva del *bomb pulse* primero sube y luego baja, de modo que un mismo valor puede corresponder a dos fechas. También influyen la dieta y el lugar donde vivió una persona. Por eso el radiocarbono no sustituye al ADN, la odontología o la antropología forense: los complementa.

Aun así, la idea es poderosa. Podemos perder un nombre, un documento o una fotografía. Pero un átomo incorporado a un diente durante la infancia puede seguir conservando una pista décadas después.

UN RELOJ QUE SE ESTÁ APAGANDO

Hay una última paradoja. El *bomb pulse* es útil precisamente porque fue una alteración enorme y rápida, pero esa señal se va borrando poco a poco.

El carbono-14 añadido durante las pruebas se ha ido mezclando con océanos y biosfera. Al mismo tiempo, la quema de combustibles fósiles libera carbono tan antiguo que prácticamente ya no contiene carbono-14, lo que contribuye a diluir la señal atmosférica [10].

Eso significa que este reloj no tendrá siempre la misma precisión. Las personas nacidas durante las décadas en las que la curva subía o bajaba con rapidez dejaron en sus tejidos una firma especialmente clara. Para generaciones más recientes, distinguir un año de otro resulta cada vez más difícil.

Es extraño pensar en una herramienta científica con fecha de caducidad. Normalmente construimos un instrumento y decidimos cuándo utilizarlo. Aquí ocurrió al revés: la humanidad creó accidentalmente el marcador y, décadas después, aprendimos a leerlo.

Conviene, además, no confundir el mensaje. Que la ciencia haya encontrado una utilidad extraordinaria en esta huella no convierte las pruebas nucleares atmosféricas en algo positivo. No fueron un experimento médico ni pueden separarse de sus consecuencias humanas y ambientales. La enseñanza es otra:

la ciencia puede extraer conocimiento de una señal histórica sin justificar el acontecimiento que la produjo.

EL ÁTOMO QUE NO SABE MENTIR

Un átomo de carbono-14 no sabe qué fue la Guerra Fría. No conoce fronteras, tratados ni laboratorios. No distingue entre una explosión nuclear, una espiga de trigo, una neurona o un diente.

Solo obedece las leyes de la física.

Y precisamente por eso se convierte en un testigo excepcional.

Una persona puede olvidar. Un documento puede perderse. Una etiqueta puede falsificarse. El átomo no recuerda nada, pero conserva una señal que nosotros hemos aprendido a interpretar.

La física nuclear trabaja con cosas diminutas: núcleos, neutrones, isótopos. Sin embargo, a veces esas partículas terminan respondiendo preguntas profundamente humanas. ¿Cuánto tiempo lleva una célula en nuestro corazón? ¿Tenemos neuronas tan antiguas como nosotros? ¿Cuándo se formó un diente? ¿Cuánto dura una célula que guarda memoria de una infección?

Hace más de sesenta años, las pruebas nucleares atmosféricas dejaron una marca en el planeta. El carbono pasó del aire a las plantas, de las plantas a los alimentos y de los alimentos a nuestro organismo. Décadas después, cuando la tecnología fue capaz de medirlo, descubrimos que aquella señal podía convertirse en un reloj.

Por eso, cuando alguien nos pregunta nuestra edad, parece suficiente con mirar el DNI.

Pero nuestro cuerpo cuenta una historia mucho más interesante.

No todas nuestras células nacieron con nosotros. No todas envejecen al mismo ritmo. Algunas son sorprendentemente jóvenes; otras llevan acompañándonos casi toda la vida.

Y para saberlo, a veces no basta con mirar un calendario.

Hay que mirar dentro de nuestros átomos.

REFERENCIAS

- [1]. Falso MJS, Buchholz BA. Bomb Pulse Biology. Nucl Instrum Methods Phys Res B. 2013;294:666-670. doi:10.1016/j.nimb.2012.08.045.
- [2]. Spalding KL, Bhardwaj RD, Buchholz BA, Druid H, Frisén J. Retrospective Birth Dating of Cells in Humans. Cell. 2005;122:133-143. doi:10.1016/j.cell.2005.04.028.
- [3]. Spalding KL, Bergmann O, Alkass K, et al. Dynamics of Hippocampal Neurogenesis in Adult Humans. Cell. 2013;153:1219-1227. doi:10.1016/j.cell.2013.05.002.
- [4]. Bergmann O, Bhardwaj RD, Bernard S, et al. Evidence for Cardiomyocyte Renewal in Humans. Science. 2009;324:98-102. doi:10.1126/science.1164680.
- [5]. Spalding KL, Arner E, Westermarck PO, et al. Dynamics of Fat Cell Turnover in Humans. Nature. 2008;453:783-787. doi:10.1038/nature06902.
- [6]. Lynnerup N, Kjeldsen H, Heegaard S, Jacobsen C, Heinemeier J. Radiocarbon Dating of the Human Eye Lens Crystallines Reveal Proteins without Carbon Turnover throughout Life. PLoS One. 2008;3:e1529. doi:10.1371/journal.pone.0001529.
- [7]. Lam N, Angel JC, Buchholz BA, et al. Asynchronous Aging and Turnover of Human Circulating and Tissue-Resident Memory T Cells Across Sites. Immunity. 2025;58:2271-2288.e6. doi:10.1016/j.immuni.2025.07.001.
- [8]. Milani C, Tomassini L, Gambelunghe C, et al. Radiocarbon and Bomb Pulse Dating in the Forensic Context: A Systematic Review. Forensic Sci Int. 2025;367:112367. doi:10.1016/j.forsciint.2025.112367. ■