

## El método del fluor para fechar la edad de un fósil óseo

MIGUEL MONTEOLIVA HERNANDEZ

### I

Fue en 1803 cuando se identificó por primera vez el fluor en el reino animal, y precisamente se realizó esta investigación, por MORICHINI <sup>31</sup> en dientes fósiles de Mamut exhumados en la campiña romana.

Posteriormente, MIDDLETON en 1845 <sup>1</sup> y CARNOT <sup>2</sup> encuentran que hay una marcada diferencia entre el contenido de fluor en los huesos de animales actuales frente a los huesos fósiles. Es más, admiten que la relación F/P aumenta con la antigüedad del fósil y puede servir para calcular esta.

Ya en aquella época el método de análisis de CARNOT fue sometido a severa crítica por Gabriel <sup>3</sup> quien encontraba que las cifras dadas por este autor eran excesivamente elevadas.

El mismo CARNOT <sup>4</sup> hace la observación de que el método no es general y sólo aplicable a nuestras procedentes del mismo lugar.

En 1935 KLEMENT <sup>5</sup> determina el fluor en diversos restos óseos humanos y animales, prehistóricos, encontrando números que para los huesos animales son francamente elevados, mientras que en los humanos son más bajos.

BAYLE y col. <sup>6</sup> estudian sistemáticamente huesos humanos encontrados en épocas históricas y prehistóricas y deducen que no

---

(Este trabajo ha sido objeto de una comunicación al V CONGRESO INTERNACIONAL DE INQUA. Madrid-Barcelona, 1957).

hay una relación clara entre contenido en fluor y antigüedad del enterramiento, considerando que es más exacto para este mismo propósito calcular la relación carbonato de cal / materia orgánica.

A pesar de ello, OAKLEY y HOSKINS <sup>7</sup> y luego WEINER y col. <sup>8</sup> aplican el método a los restos de PILTDOWN, con números que resultan ser diferentes para las dos series de determinaciones efectuadas.

SERGI, en 1955 <sup>9</sup> aplica el método a la mandíbula «Circeo III B» encontrando números ligeramente superiores a los normales actuales pero que admite no son concluyentes.

En 1955 fuimos requeridos por J. C. Spahni para que determinásemos el fluor contenido en huesos fósiles extraídos de Piñar (Granada) y cuyos resultados, aun no publicados, pero que se incluyen resumidos en las tablas que siguen, demuestran claramente que ni aun en el mismo yacimiento es aplicable el método para datar un hueso fósil.

Interesados en el tema, hemos investigado en la literatura sobre el fluor con objeto de averiguar porqué se obtienen números altos en huesos fósiles y la variabilidad de la concentración del fluor en los huesos tanto fósiles como recientes.

## II

La estructura del hueso en cuanto a sus componentes inorgánicos está formada (WHITE y cols. 1954) <sup>10</sup> por cristales del grupo de los hidroxapatitos.



mientras que el resto de los iones inorgánicos no incluidos en la fórmula se pueden encontrar, bien en el interior del cristal formando parte de este, bien adsorbidos en su superficie.

GEROULD <sup>11</sup> estudiando, mediante el microscopio electrónico, la formación del diente indica que cuando el fluor penetra en éste en período de formación se dispersa en los apatitos dentales mientras que si se trata de un diente ya formado, se deposita en la superficie en forma de fluoruro ácido de calcio.

MACCANN <sup>12</sup> por otra parte, indica que la formación de fluoruro

cálcico o de fluoapatito depende de la concentración mayor o menor del fluor aportado al diente.

En cuanto al contenido en fluor de los huesos y dientes recientes y normales es muy variable, como se puede observar en las tablas I, II, III y IV confeccionadas con los datos recogidos en la literatura consultada.

TABLA I  
CONTENIDO EN FLUOR DE DIENTES HUMANOS  
RECIENTES Y NORMALES

DENOMINACION	MGR. F %		AUTOR
Diente humano	30	C	Klement 1935 (5)
Idem	19 - 30	MS	Chang y col. 1934 (13)
Molares	71 - 81	C	Monteoliva
Caninos	68 - 71	C	idem
Incisivos	75 - 82	C	idem
Dentina	36 - 31	MS	Chang y col. 1934 (13)
Idem	16,5	MS	Waldo y Zipf 1952 (14)
Idem	44	C	Muñoz 1936 (15)
Esmalte	33	C	idem 1936 (15)
Idem	11,2	MS	Waldo y Zipf 1952 (14)
Idem	4,4 - 5,7	MS	Chang y col. 1934 (13)
Superficie del esmalte	55 - 180	C	lenkins, Speirs 1953 (16)
Interior del esmalte	8 - 27	C	idem 1953 (16)

(En estas tablas, así como en las restantes, se expresa el fluor en miligramos de éste por 100 gramos de cenizas (C) o de sustancia seca (MS) de hueso o diente.)

TABLA II  
CONTENIDO EN FLUOR DE HUESOS HUMANOS  
RECIENTES Y NORMALES

DENOMINACION	MGR. F. %		AUTOR
Diáfasis de fémur	170	C	Carnot 1892 (?)
Epífisis de fémur	180	C	idem
Diáfasis de fémur	92,9	C	Gautier, Clausmann 1913 (17)
Epífisis de fémur	52,4	C	idem
Hueso de cráneo	37	C	Klement 1935 (5)
Fémur	70	C	idem
Cresta de ileon	21,6	MS	Waldo, Zipf 1952 (14)
Maxilar	51-83	C	Monteoliva
Fémur	142	C	idem
Costillas	48-210	MS	Chang y col. 1934 (13)
Enterrados siglo XX	30-73	C	Bayle y col. 1939 (6)

cálcico o de fluoapatito depende de la concentración mayor o menor del fluor aportado al diente.

En cuanto al contenido en fluor de los huesos y dientes recientes y normales es muy variable, como se puede observar en las tablas I, II, III y IV confeccionadas con los datos recogidos en la literatura consultada.

**TABLA I**  
**CONTENIDO EN FLUOR DE DIENTES HUMANOS**  
**RECIENTES Y NORMALES**

DENOMINACION	MGR. F. %		AUTOR
Diente humano	30	C	Klement 1935 (5)
Idem	19 - 30	MS	Chang y col. 1934 (13)
Molares	71 - 81	C	Monteoliva
Caninos	68 - 71	C	idem
Incisivos	75 - 82	C	idem
Dentina	30 31	MS	Chang y col. 1934 (13)
Idem	16,5	MS	Waldo y Zipf 1952 (14)
Idem	44	C	Muñoz 1936 (15)
Esmalte	33	C	idem 1936 (15)
Idem	11,2	MS	Waldo y Zipf 1952 (14)
Idem	4,4 - 5,7	MS	Chang y col. 1934 (13)
Superficie del esmalte	55 - 180	C	lenkins, Speirs 1953 (16)
Interior del esmalte	8 - 27	C	idem 1953 (16)

(En estas tablas, así como en las restantes, se expresa el fluor en miligramos de éste por 100 gramos de cenizas (C) o de sustancia seca (MS) de hueso o diente.)

**TABLA II**  
**CONTENIDO EN FLUOR DE HUESOS HUMANOS**  
**RECIENTES Y NORMALES**

DENOMINACION	MGR. F. %		AUTOR
Diáfasis de fémur	170	C	Carnot 1892 (9)
Epífisis de fémur	180	C	idem
Diáfasis de fémur	92,9	C	Gautier, Clausmann 1913 (17)
Epífisis de fémur	52,4	C	idem
Hueso de cráneo	37	C	Klement 1935 (5)
Fémur	70	C	idem
Cresta de ileon	21,6	MS	Waldo, Zipf 1952 (14)
Maxilar	51-83	C	Monteoliva
Fémur	142	C	idem
Costillas	48-210	MS	Chang y col. 1934 (13)
Enterrados siglo XX	30-73	C	Bayle y col. 1939 (6)

TABLA III

CONTENIDO EN FLUOR DE DIFNTES ANIMALES  
RECIENTES Y NORMALES

DENOMINACION	MGR. F.‰		AUTOR
Diente de elefante	209	C	Carnot 1892 (2)
Colmillo de elefante	97	C	idem
Molares de vacuno	26.4	MS	Monteoliva 1954 (13)
Incisivos de vacuno	31.3	MS	idem
Molares de vacuno	53	MS	Chang y col. 1934 (13)
Diente de delfín	710	C	Klement 1935 (5)
Diente de tiburón	740-1080	C	idem
Dentina de vacuno	62	MS	Chang y col. 1934 (13)
Esmalte de vacuno	26	MS	idem
Dentina de perro	61,5	MS	Gautier, Clausmann 1913 (17)

TABLA IV

CONTENIDO EN FLUOR DE HUESOS ANIMALES  
RECIENTES Y NORMALES

DENOMINACION	MGR. F.‰		AUTOR
Fémur de elefante	228	C	Carnot 1892 (2)
Fémur de buey	219	C	idem
Hueso de manatí	307	C	idem
Huesos de vacuno	28 - 67	C	Cristiani 1910 (19)
Mamíferos de tierra	19 - 70	C	Klement 1935 (5)
Mamíferos marinos	240 - 830	C	idem
Aves de tierra	30 - 220	C	idem
Aves marinas	110 - 630	C	idem
Peces de río	22 - 45	C	idem
Peces de mar	43 - 590	C	idem
Hueso de buey	25 - 77	C	Bayle y col 1959 (9)
Epífisis de vacuno	26,5 - 50,6	C	Gautier, Clausmann 1913 (17)
Diáfasis de vacuno	68 - 123	C	idem
Frontal de perro	64	C	idem
Epífisis de vacuno	22,8	MS	Monteoliva 1954 (18)
Diáfasis de vacuno	41,5	MS	idem
Fémur de cerdo	23 - 40	MS	Beteke y col. 1926 (20)
Cráneo de cerdo	50	MS	idem
Huesos de vacuno	58	MS	Chang y col. 1934 (13)
Huesos de animales jóvenes	12 - 38	C	Roholm 1938 (20)
Idem de animales adultos	19 - 81	C	idem
Anfibios adultos	440 - 650	C	idem
Peces	144.9	C	Gautier, Clausmann 1913 (17)

Prescindiendo de los números de CARNOT que son algo elevados, y cuyo método de determinación del fluor fue criticado, se observa que el contenido en fluor de huesos y dientes no es constante, oscilando, en animales terrestres, alrededor de 50 mgr. por ciento, que es la media normal que se admite en la actualidad.

Sin embargo podemos observar que los seres que viven en el mar presentan un contenido en fluor claramente superior a los terrestres.

La explicación a estas cifras elevadas la podemos encontrar en el hecho de que las aguas de mar contienen de 1 a 1,4 mgr. de fluor por mil (THOMPSON y TAYLOR, 1933), <sup>22</sup> bastante superior al contenido de las aguas de bebida en donde el fluor se encuentra en fracciones de mgr.

Esto viene apoyado por el estudio de las fluorosis, enfermedades por exceso de fluor en la alimentación.

El llamado «esmalte moteado» caracterizado por la aparición al nivel del esmalte de manchas especiales era conocido desde 1901 en que EAGER lo estudió en napolitanos emigrados a los Estados Unidos. Pero fueron SMITH, LANTZ y SMITH (1931) <sup>23</sup> lo que demostraron que era debido a la riqueza en fluor de las aguas de bebida.

Por la misma época, VELU (1931) <sup>24</sup> que investigaba una enfermedad que se daba en los animales domésticos en las zonas de fosfatos de Africa del Norte y dominada «Darmous», comprobó que era debida a la riqueza en fluoruro cálcico de las aguas de aquellas zonas fosfatíferas.

Posteriormente se han realizado numerosas investigaciones a este respecto comprobándose que los huesos de animales enfermos de fluorosis presentan una concentración en fluor francamente superior a los huesos sanos como puede verse en la tabla V.

BOISSEVAIN y DREA (1933) <sup>25</sup> y FARO NETO (1953) <sup>26</sup> demuestran que hay una relación directa entre el contenido de fluor en los huesos y el contenido del mismo en las aguas de bebida. Asimismo MUÑOZ (1934) <sup>27</sup> y GRAU (1949) <sup>28</sup> encuentran que en una población los individuos afectos de fluorosis aumentan en número, en relación directa con la concentración de fluor en las aguas de bebida.

En los afectos de fluorosis no se acumula el fluor por igual en dientes y huesos. Pues mientras en los huesos llega a alcanzar una concentración de hasta 40 veces superior a la normal (CHARNOT

1950) <sup>29</sup> en los dientes sólo llega como máximo a alcanzar 10 veces su valor normal.

Pero esto sólo en los dientes en formación, mientras que en los dientes de adulto, ya formados, las variaciones son mínimas, lo que está de acuerdo con el hecho de que las lesiones dentarias sólo se forman en la infancia (MUÑOZ 1936) <sup>15</sup>

TABLA V  
CONTENIDO EN FLUOR DE HUESOS DE ANIMALES  
ENFERMOS DE FLUOROSIS

DENOMINACION	MGR. F. %		AUTOR
Huesos de bóvidos	210-250	C	Cristiani 1930 (19)
Carnero (cercañas volcán)	2.060	C	Roholm 1938 (21)
Obreros de la criolita	1.310	C	idem
Carneros de Khouribga	604-1,075	C	Becmeur y col. 1951 (30)
Perros de Khouribga	224-1,578	C	idem

El contenido de fluor en huesos y dientes procedentes de exhumaciones es también muy variable, pero como se vé en las tablas VI y VII no guarda ninguna relación con la antigüedad del enterramiento.

No hay por consiguiente base para suponer que el hidroxipatito óseo actúe como una trampa que capte los iones errantes de fluor contenido en el terreno.

Considerando los fósiles humanos que por pertenecer a la misma especie son comparables con los actuales, se observa que en algunos casos la concentración en fluor llega a ser 10 veces superior a la media normal actual. Pero estas cifras elevadas se presentan tanto en períodos relativamente recientes como en épocas prehistóricas. Y análogamente los porcentajes mínimos son tan frecuentes en épocas cercanas como remotas, igualando en mucho scasos a las cifras mínimas encontradas en la época actual.

Lo mismo se puede decir en cuanto a animales recientes y prehistóricos. Prescindiendo de las cifras de OAKLEY y HOSKINS que después han sido rectificadas por WIENER y col. sólo encontramos número francamente elevados en KLEMENT. Ahora bien, estas corresponden a seres del Oligoceno y Cretáceo superior que se des-

TABLA VI

CONTENIDO EN FLUO DE HUESOS Y DIENTES HUMANOS NO RECIENTES

DENOMINACION	MGR F. %	AUTOR
Enterrados siglo XIX	55 - 96	C Bayle y col. 1939 (6)
Enterrados siglo XVI	8,5	C idem
Edad Media	106	C idem
Maxilar del siglo XV	650	C Monteoliva
Merovingio	24 - 248	C Bayle y col. 1939 (6)
Galo-romano	27 - 195	C idem
Edad del bronce	27 - 98	C idem
Edad del cobre	122	C idem
Maustriense	112 - 614	C idem
Acheuliense	948	C idem
Auriñaciense	67 - 164	MS Monteoliva
Neandertal	36 - 95	MS idem
Cráneo de 4 - 5.000 años	150	C Klement 1935 (5)
Neolítico	48 - 675	C Bayle y col. 1939 (6)
Mandíbula Circeo III B	175 - 193	MS Sergi, Ascenzi 1655 (9)
Fragments de huesos de ídem	99 - 132	MS idem
Huesos cráneo Piltdown II	30 - 100	C Wiener y col. 1953 (8)
Molar aislado	menos 10	C idem
Cráneo de Piltdown I	100	C idem
Mandíbula ídem	menos 30	C idem
Molar ídem	menos 40	C idem
Canino aislado ídem	menos 30	C idem
Huesos de Eoanthropus II	100	C Oakley y Hoskins 1950 (7)
Molar ídem	400	C idem
Huesos de Eoanthropus I	100 - 400	C idem
Canino y molar	menos 100	C idem
Sin fijar época:		
Procedentes de Monachil	803 - 1115	C Monteoliva
Idem Málaga	141 - 243	C idem
Idem Alfacar, cubierto	220	C idem
descubierto	200	C idem

envolvían en un medio diferente al actual y por consiguiente con un fisiologismo diferente a los seres actuales. No tiene nada de extraño que el medio hídrico en que se desenvolvían tuviese una concentración elevada de fluor. Concretamente KLEMENT encuentra en dientes de tiburón fósil valores de fluor muy elevados si lo comparamos con los correspondientes a mamíferos actuales, pero no resultan tan diferentes si se compara con dientes de tiburón o delphin actuales.

De todo lo anteriormente expuesto podemos deducir que el contenido en fluor de un hueso es función fundamentalmente de la can-

tividad de este elemento que se aporte al organismo mediante la alimentación. Cuanta mayor sea la cantidad ingerida diariamente, mayor es el contenido de fluor en el hueso. No es igual en el diente, en el cual el aumento de la concentración se produce sólo en la infancia durante su formación.

Por el contrario cuando el hueso ha cesado de vivir, el paso de

TABLA VII  
CONTENIDO EN FLUOR DE HUESOS Y DIENTES  
DE ANIMALES NO RECIENTES

DENOMINACION	MGR. F.‰		AUTOR
Neolítico superior (pájaro)	679	C	Bayle y col. 1939 (6)
Neolítico superior (rumiantes)	56 - 636	C	Idem
Animales holoceno (Piltdown)	100 - 300	C	Oakley, Hoskins 1950 (7)
Idem pleistógeno medio y sup.	100 - 1.500	C	idem
Idem inferior	1'000-3000	C	idem
Mínimo pleistógeno (Piltdown)	100	C	Wiener y col. 1953 (8)
Huesos post-terciario	420 - 1.86	C	Carnot 1892 (2)
Oligógeno (costilla Halitherium)	2.730	C	Klement 1935 (5)
Oligógeno (diente de tiburón)	2,840	C	idem
Cretáceo superior (Triceratops)	2,260	C	idem
Cretáceo superior (Trachodon)	2,170	C	idem
Diente de tiburón fósil	2,360	C	Monteoliva

fluor del terreno a éste parece poco probable. En apoyo directo a esta hipótesis podemos considerar los resultados obtenidos con restos encontrados en un cueva de Sierra Harana (Alfacar). Parte del esqueleto se encontraba cubierto por una capa de carbonato cálcico gruesa (de varios centímetros) y el resto al descubierto en un piso impermeable. Las concentraciones de fluor en ambos son idénticas, cosa que no hubiese ocurrido si hubiese influencia del medio, ya que el hueso cubierto estaba totalmente aislado del exterior por la capa de carbonato de cal la que habría fijado el fluor que llevasen las aguas, sin permitir su paso al hueso, mientras que el descubierto debía de haberse enriquecido en fluor.

Por tanto y como resumen podemos llegar a las siguientes conclusiones:

1.ª). No hay relación directa entre la concentración de fluor en huesos o dientes y el tiempo que llevan enterrados.

2.<sup>a</sup>) El contenido de fluor en los huesos es función del aporte diario de éste en la alimentación.

3.<sup>a</sup>) Es más probable la hipótesis de que los números altos encontrados en huesos fósiles sean debidos a que en aquellas épocas las aguas estaban más cargadas de fluor que en la actualidad, al supuesto de que el hueso enterrado tomó fluor de lterreno que lo envuelve.

4.<sup>a</sup>) No son comparables los números obtenidos en diferentes lugares, no por la diferente naturaleza actual de los terrenos correspondientes, sino por las diferentes circunstancias que concuriesen en el terreno en aquellas épocas.

5.<sup>a</sup>) No son comparables entre sí las cifras obtenidas en el mismo yacimiento, pues pueden proceder de seres que tuviesen en vida diferente contenido en fluor.

#### R É S U M É

On fait une révision bibliographique sur le thème et nous arrivons a la conclusion que il n'y a pas relación entre le tase de fluor dans l'os et le temp d'enterrement. Nous emitions l'hipothèse que les variations trouvés par differents investigateurs dependent en premier lieu de l'accumulation de fluor dans l'os pendant la vie de l'animal

#### S U M M A R Y

A bibliographical examination of the subject is made and the conclusion is reached that there is no direct relation between the fluorine content of the bone and the time the bone has been buried. The hypothesis is put forward that the variations found by the different authors are due to the larger or smaller accumulations of fluorine in the bone during the lifetime of the animal.

#### BIBLIOGRAFIA

1. MIDDLETON J., Quart. J. Geol. Soc. London. 1, 214 1845
2. CARNOT A., C. R. Acad. Sci. 114, 1189, 1892.
3. GABRIEL S., Z. Anal. Chem. 31, 522, 1892.
4. CARNOT A., C. R. Acad. Sci. 115, 243, 1892.

5. KLEMENT R., Ber. Dstch. Chem. Ges. 68, 2014, 1935.
6. BAYLE E., AMY L., RONDEAU M. Bull. soc. chim. Fr. 6, -011, 1939.
7. OAKLEY K. P., HOSKINS C. R., Nature, 165, 379, 1950.
8. WEINER J. S., OAKLEY E. P., LE GROS CLARK W. E., E. J. Brit. Mus. (Nat. Hist.) según Sergi S. - Riv. Antrop. Ital. - 40, 345, 1954.
9. SERGI S., ASCENZI A., Riv. Antrop. Ital. 42, 538, 1955.
10. WHITE A., HANDLER P., SMITH E. L. STEFEN DEWITT jr., Principles of Biochemistry. - McGraw-Hill Book Company, New York. 1954.
11. GEROULD C. M., J. Den. Res. - 24, 223, 1945.
12. MAC CANN. H. G., J. biol. Chem. - 201, 247, 1953.
13. CHANG C. Y., PHILLIPS P. J., HART E. B., BOHSTEDT C., J. Dairy Sci. - 17, 695, 1954.
14. WALDO A. L., ZIPF R. E., - J. Lab. Clin. Med. - 40, 601, 1952
15. MUÑOZ J. M., C. R. Soc. Biol. - 123, 74, 1936.
16. JENKINS G. N., SPEIRS R. L., J. Physiol. - 121, 21, 1953.
17. GAUTIER A., CIAUSMANN P., C. R. Acad. Sci. - 156, 1425, 1913.
18. MONTEOLIVA M., Bol. Univ Granada. Farm. II, 5, 1954.
19. CRISTIANI H., C. R. Soc Biol. - 103, 252, 1930.
20. BEYCKE R. M., KIK C. H., WILDER O. H., Proc. Amer. Soc. Animal Product. - 29, 1930, 1929.
21. ROHOLM K., Hand. Exper. Pharm. - 7, 1, 1938.
22. THOMSON T. G., TAYLOR H. J., Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. - 5, 87, 1933.
23. SMITH M. C., LANTZ E. M., SMITH H. V., Arizona Agric. Exper. Sta. Tech. Bull. - 32, 253, 1931.
24. VELU H., C. R. Soc. Biol. 108, 750, 1931.
25. BOISSEVAIN C. H., DREA W. F. J. Den. Res. - 13, 495, 1933.
26. FARO NETO R., Ann. Chim. Ital. - 42, 425, 1952
27. MUÑOZ J. M. C. R. Soc. Biol. - 116, 456, 1934
28. GRAU C. A. A. R. Acad. Farm. - 15, 53, 1949.
29. CHARNOF A., Maroc. Med. - 304, 810, 1950.
30. BECMEUR, LAMGATE, MASSOTTE, ROUSSON., Maroc. Med. 32, 490, 1931
31. MORICHINI. Mem. Mat. Fis. Soc. Ital. Sci. Moderna. - 10, 1, 1803