# DATACION ABSOLUTA POR TERMOLUMINISCENCIA: UN EJEMPLO DE APLICACION ARQUEOLOGICA (\*)

POR

J. G. ARRIBAS (\*\*) T. CALDERON (\*\*) C. BLASCO ("")

**RESUMEN** En el presente trabajo se describen las características del método de datación por termoluminiscencia, su fundamento y una aplicación a un yacimiento español, en concreto el denominado «Fábrica de Ladrillos», situado en el término municipal de Getafe (Madrid), y correspondiente a la facies Cogotas I. Se presentan las fechas obtenidas, así como su interpretación dentro del entorno cultural.

ABSTRACT This paper deals with the characteristics of thermoluminescent dating, the physical processes underlying it, and its application to the Cogotas I culture site of Fabrica de Ladrillos (Getafe, Spain). The absolute dates are presented, and their archaeological interpretation within the context of Cogotas I is discussed.

Palabras clave Datación absoluta, Termoluminiscencia, Cogotas I.

## INTRODUCCION

La aplicación de técnicas físicas, químicas y mineralógicas en la resolución de problemas arqueológicos forma parte de uno de los aspectos más interesantes de la nueva Arqueología, también conocido como Arqueometría, dentro de la cual la datación de restos arqueológicos constituye sin duda un capítulo importante.

Son varias las técnicas de datación absoluta desarrolladas en la actualidad, entre las cuales podemos resaltar los métodos magnéticos, la datación por isótopos radiactivos (carbono-14, etc.) y la termoluminiscencia. A diferencia del carbono-14, que se aplica a materiales orgánicos, relacionados no siempre de forma clara con el yacimiento arqueológico, la termoluminiscencia (TL) utiliza para datar restos cerámicos, es decir, objetos con un significado arqueológico directo.

Las características de la técnica de datación por TL permiten también el fechado de piedras de hornos, hogares, y, en general, de todo resto arqueológico que haya sufrido un calentamiento importante en su fabricación o durante su uso.

<sup>(\*)</sup> Este trabajo ha sido realizado gracias a una subvención de la D.G.I.C.Y.T. nº PB 87-0091-C02-00.

<sup>(\*\*)</sup> Dpto. Química Agrícola, Geología y Geoquímica.

<sup>(\*\*\*)</sup> Dpto. de Prehistoría y Arqueología. Universidad Autónoma. Cantoblanco. Madrid.

El presente trabajo tiene por objeto describir las características generales del método de datación absoluta por TL, su fundamento y aplicación. Dicha técnica, en su variante de «grado fino», ha sido aplicada para fechar un yacimiento arqueológico español, conocido como «Fabrica de Ladrillos», situado en el término municipal de Getafe (Madrid).

A nuestro entender, para la correcta comprensión de la técnica, se hace necesario una breve descripción del proceso físico que sirve de fundamento a la misma, que puede ampliarse consultando la bibliografía específica sobre el tema (McKeweer, 1982; Aitken, 1974).

### Principio físico

La TL puede ser definida como el fenómeno que se produce cuando ciertos materiales al ser calentados emiten luz, siendo esta emisión diferente de la incandescencia y a menor temperatura. El proceso físico que da lugar a la misma es fácilmente comprensible si tenemos en cuenta como están distribuidas las energías asociadas a los electrones en un sólido cristalino.

Los electrones presentes en un cristal poseen una determinada energía, cuyo valor está determinado por la mecánica cuántica, de forma que, como vemos en la Fig. 1. los electrones se distribuyen en «bandas» de valores de energía posibles, entre las cuales las dos más externas, es decir, de mayor energía son la banda de valencia y la de conducción, existiendo entre ellas un vacío o «gap» en el cual no es posible, en un cristal ideal, que se sitúe un electrón.

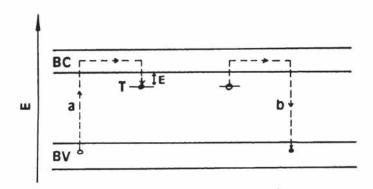


FIG. 1.— Esquema del proceso de ionización por irradiación (a) y de la liberación del electrón de la trampa (b). BC: banda de conducción; T: trampa; BV: banda de valencia; E: profundidad de la trampa.

Sin embargo, las impurezas y defectos del cristal real provocan la aparición de valores energéticos posibles dentro de este gap, que, a diferencia de las bandas, no están presentes en todo el cristal, sino localizados en los defectos mismos.

Un electrón viajando a través del cristal por la banda de conducción puede, en su camino, encontrar uno de estos centros y quedar atrapado en él, en lo que se llama una «trampa». El número de electrones que ocupan las trampas aumenta conforme aumenta el nivel de irradiación del cristal, pues las radiaciones alfa, beta o gamma crean electrones deslocalizados en la banda de conducción, aumentándose las posibilidades de atrapar a los mismos al aumentar el número de electrones libres.

El tiempo de permanencia en la trampa no es indefinido, sino que depende de varios factores, entre los cuales se encuentra la temperatura. Al aumentar ésta, aumenta la agitación térmica y por tanto la energía del electrón, que se libera de la trampa cuando posee una energía lo suficientemente

alta como para superar la barrera energética que lo retiene. Una vez libre, el electrón puede recombinarse con un centro luminiscente, y este proceso es el que genera la emisión luminosa de TL.

La intensidad de esta emisión va a ser directamente proporcional al número de electrones atrapados, dependiendo éstos, a su vez, de la magnitud de la dosis radiactiva que ha recibido el material, es decir, del tiempo que ha estado irradiado si el nivel de irradiación es constante en el tiempo.

#### Cálculo de la edad

La cocción de una cerámica libera todos los electrones de las trampas, y a partir de ese momento el llenado está condicionado a la dosis radiactiva que incide sobre ella durante su enterramiento arqueológico (Fig. 2).

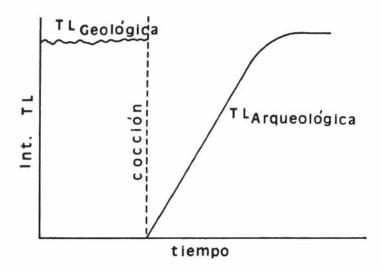


Fig. 2.— Diagrama de variación de la intensidad de emisión de TL y efecto de la cocción en las cerámicas.

Esta dosis podemos considerarla constante en el tiempo, pues procede en su mayoría de los isótopos radiactivos del uranio, thorio, rubidio, cesio y potasio presentes en la cerámica y en el terreno circundante, cuya vida media, del orden del 10<sup>9</sup> millones de años, es muy superior a los intervalos de tiempo con que trabajamos en arqueología.

Si medimos la sensitividad de la muestra a la adquisición de TL, mediante la irradiación con fuentes radiactivas calibradas, y el contenido en elementos radiactivos de la cerámica y el terreno adyacente, es posible calcular la edad por la relación:

Es decir, la edad en años es el cociente entre la radiación recibida por la cerámica durante el enterramiento (dosis total) y la radiación media que recibe durante un año en ese punto (dosis anual).

Esta fórmula, en principio sencilla, se complica en la práctica al tener en cuenta todos los factores que influyen en la misma, como son la diferente contribución de los tres tipos de radiación

en el proceso de ionización, la separación entre radiactividad procedente de la cerámica y del terreno circundante, la influencia del contenido en agua, etc.

En función de lo anteriormente expuesto, y en una primera aproximación podemos expresar la fórmula [1] de forma más completa como:

$$Edad = \frac{Dosis\ total}{K \cdot D\alpha + D\beta + D\gamma}$$
[2]

 $D\alpha$ ,  $D\beta$  y  $D\gamma$  son las distintas contribuciones de cada tipo de radiación considerado, y k es un factor de corrección de la dosis  $\alpha$ , necesario dado que la afectividad de producción de TL de esta radiación es menor que la de las radiaciones  $\beta$  y  $\gamma$ , oscilando su valor entre 0.1 y 0.2.

Todo ello conforma una metodología de trabajo compleja, descrita ampliamente por Aitken (1985), que podemos separar en dos partes: la medida de la dosis total recibida por la muestra y el cálculo de la dosis anual.

#### Medida de la dosis total

La dosis total recibida por la cerámica está relacionada directamente con la intensidad de la emisión de TL de la misma, existiendo diversos métodos para su cálculo:

```
técnica del grano fino (Zimmerman, 1971).
" de la inclusión de cuarzo (Fleming, 1970).
" del zircón (Sutton y Zimmerman, 1976).
" del feldespato (Mejhdal y Winter-Nielsen, 1982; Mejhdal, 1983).
Método de la dosis previa (Fleming, 1973).
" sustracción (Fleming y Stoneham, 1973).
" fototransferencia electrónica (Bowman, 1979).
```

De todos ellos los más comunes son la técnica del grano fino y la de inclusión de cuarzo, siendo la primera de ellas la que desarrollaremos a continuación, al ser la utilizada en el ejemplo de datación expuesto en este trabajo.

Una cerámica, en general, puede considerarse como un conjunto heterogéneo de granos minerales de cuarzo, feldespato, calcita y una matriz de minerales arcillosos. Las partículas alfa, al incidir sobre un material de este tipo antes de perder su efectividad, recorren una distancia a través del mismo del orden del  $\mu$ m; las partículas beta, en cambio, tienen un rango de actuación del orden del mm, y la radiación gamma es capaz de atravesar varios cm de la cerámica. Dependiendo del tamaño de grano de los minerales que tomemos, la contribución a la intensidad luminiscente que midamos va a ser diferente para las distintas radiaciones.

Por la técnica del grano fino se seleccionan los granos minerales de una dimensión lo suficientemente pequeña para haber sido afectados por los tres tipos de radiación (de 4 a 10  $\mu$ m), por lo que su emisión TL será el resultado de la contribución ionizante de todos ellos. Al no hacer separación entre distintos tipos de minerales, la curva TL representa la emisión «total» de la cerámica, que se resuelve en un solo pico (Fig. 3).

La cantidad de material necesario para la técnica de grano fino es de aproximadamente 0,1 g.

Antes de entrar en el proceso de preparación de la muestra en el laboratorio, es necesario señalar que no todos los restos de cerámicas que aparezcan en un yacimiento son aptos para la datación. En el anexo A se contemplan una serie de advertencias sobre la toma de muestras.

Una vez extraída de la cerámica una cierta cantidad de muestra, se procede a la selección de los tamaños de interés mediante su suspensión en un vaso de acetona (Zimmerman, 1971). La deposición

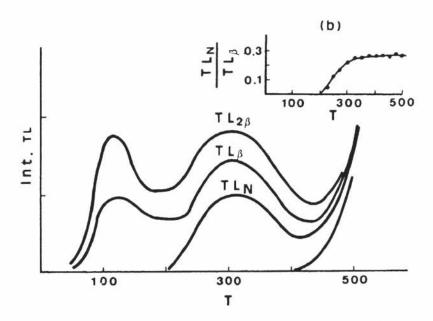


Fig. 3.— Curvas de TL natural e irradiada de una cerámica tipo y «plateau test» (b).

en el fondo del mismo se realizará de forma progresiva en el tiempo, dependiendo del tamaño de grano, según la ley de Stokes, por lo que, extrayendo la parte de muestra aún en suspensión en un determinado momento, o conservando la parte ya depositada, podemos realizar una selección de los granos con el rango de tamaño que nos interese. La fracción de interés se deja depositar sobre unos discos de aluminio y se deja evaporar la acetona residual. Estos discos de aluminio son los que se depositan en el portamuestras del horno de calentamiento para obtener la curva de TL.

Para el cálculo de la dosis total absorbida, es necesario medir las intensidades de la emisión TL sobre estas muestras (Fig. 3, curva TL-N). A un grupo de ellas se las irradia con diversas dosis mediante una fuente radiactiva beta calibrada, obteniéndose así la variación de la intensidad con la dosis de irradiación (Fig. 3, curvas TL +  $\beta$ , TL +  $2\beta$ ). Dichos resultados se representan en un gráfico (Fig. 4), en el cual, mediante la extrapolación de la recta obtenida hasta el eje de abcisas, hallamos el valor de la dosis beta equivalente (ED), es decir, la dosis artificial beta necesaria para producir en la muestra una intensidad de emisión TL igual a la arqueológica.

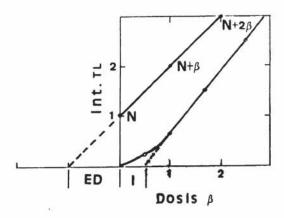


Fig. 4.— Diagrama de cálculo de la dosis beta equivalente (ED) y corrección de supralinearidad (I).

Este valor podemos considerarlo correcto si la respuesta a la irradiación es lineal, es decir, los puntos del gráfico se distribuyen realmente en una recta. La falta de linearidad puede ser importante a dosis altas, cuando se produce la saturación de la muestra, por lo que es necesario antes de realizar los cálculos oportunos comprobar si los datos obtenidos se sitúan en la parte de respuesta lineal. A bajas dosis la respuesta a veces tampoco es linear, sino supralinear, es decir, el crecimiento inicial se produce de forma lenta, para ir progresivamente aumentando la pendiente hasta estabilizarse (ver. Fig. 4). Debemos comprobar siempre si una muestra presenta o no un comportamiento supralinear, calculándose el valor de corrección oportuno (Fleming, 1975), por el mismo procedimiento que se calcula la dosis beta equivalente, pero sobre muestras a las que previamente se les ha realizado ya su curva de TL natural (second glow).

De esta forma, la dosis total se desglosa en dos partes, la dosis beta equivalente (ED) y la corrección de supralinearidad (I), de modo que la fórmula [2] queda:

$$Edad = \frac{ED + I}{K \cdot D\alpha + D\beta + D\gamma}$$
 [3]

Como puede verse en la fig. 3, una diferencia importante entre la curva de TL natural y la de una muestra irradiada es la presencia en esta última de picos de TL a baja temperatura, de los cuales el más importante es el pico a 110 °C del cuarzo. Estos picos de baja temperatura tienen una vida media de unos pocos años (McKeever, 1985), por lo que no son estables durante el tiempo arqueológico, ni podrán ser utilizados para la datación en la fórmula [3].

Para establecer el intervalo de temperatura correcto de medida de intensidad de TL, es necesario realizar el «test plateau» (Aitken, 1985), en el cual se representa la relación entre las intensidades de TL natural e irradiada en función de la temperatura. Estos puntos se sitúan en una curva que tiende a estabilizarse a partir de los 250-300 °C, temperatura que nos indica el comienzo de la zona estable para datación (ver fig. 3b).

# Problemas en el cálculo de la dosis total

En la práctica, el cálculo de la dosis total (ED) puede verse complicado por diversos factores, pues la respuesta de las muestras a la irradiación es un proceso complejo del cual apenas si empezamos a conocer sus primeras consecuencias.

Los problemas más usuales que se pueden presentar en la obtención de la ED, son el decaimiento de la emisión o «fading» (Wintle, 1977, 1978), y la TL espúrea. El primero consiste en una reducción importante con el tiempo de la intensidad de la TL inducida por la irradiación. Este problema puede conducir a observar una TL menor de aquella debida efectivamente a la dosis arqueológica. Mediante la lectura de la curva TL un tiempo después de una irradiación conocida, por ejemplo unos meses, se comprueba la existencia o no de decaimiento. Se puede, en caso de que las muestras lo presenten, realizar la datación mediante la eliminación de la componente inestable de la emisión, según el procedimiento descrito por Templer (1985-1988).

El otro problema es la presencia de la TL espúrea, o TL inducida por radiación, que enmascara la verdadera emisión de TL, constituyendo su origen una cuestión de difícil explicación en la actualidad (Martini et al., 1988).

#### Medida de la dosis anual

La dosis de radiación que recibe un resto cerámico durante su enterramiento es debida, en distinta proporción, a los isótopos radioactivos del uranio (U-235 y U-238), torio (Th-232), potasio (K-40) y a la radiación cósmica. Los isótopos de rubidio y cesio no se consideran normalmente, al ser su abundancia muy escasa. Cada uno de ellos va a contribuir de forma distinta a la dosis anual, por lo que es necesario separar la aportación individual de cada tipo de radiación. En la Tabla I (Aitken, 1985) puede observarse la importancia relativa y el total de radiación anual recibido por una cerámica ideal tipo.

TABLA I

DOSIS DE RADIACION ANUAL PARA UNA CERAMICA TIPICA (AITKEN, 1985) EN
Gy/1000 AÑOS. LA COMPOSICION DE LA CERAMICA PRESENTA UN 1 % K, 0.005 %
Rb, 10 ppm. DE Th NATURAL Y 3 ppm DE U NATURAL

| Elemento | α efect. | β    | γ     | Total |
|----------|----------|------|-------|-------|
| K        | _        | 0.83 | 0.24  | 1.07  |
| Rb       | _        | 0.02 |       | 0.02  |
| Th       | 1.11     | 0.29 | 0.51  | 1.91  |
| U        | 1.25     | 0.44 | 0.34  | 2.03  |
| Cósmica  | _        | -    | 0.15  | 0.15  |
|          |          |      | TOTAL | 5.18  |

Las dosis alfa y beta proceden principalmente de los elementos radiactivos presentes en el interior de la cerámica, dado el bajo poder de penetración de las mismas. La dosis gamma, en cambio, procede en su mayoría del ambiente y el terreno circundante.

Para el cálculo de la dosis anual pueden utilizarse dos métodos: el directo y/o el indirecto. Las técnicas directas consisten en la utilización de dosímetros, que son materiales muy sensibles en su respuesta TL a la radiación recibida (Ca F<sub>2</sub>, CaSO<sub>4</sub>: Dy, CaSO<sub>4</sub>: Mn, etc.), de forma que, dejándolos un cierto tiempo en el punto de toma de muestras, al calcular la dosis que han absorbido y posteriormente extrapolarlo a un año obtenemos la dosis anual.

Si bien es un procedimiento bastante preciso, tiene el problema de que se necesita un largo período de tiempo hasta que se ha recibido una dosis lo suficientemente alta. Medidas directas de la dosis de radiación alfa por dosimetría no han tenido éxito, dada la dificultad de discriminarla de la dosis beta, y por problemas geométricos de ubicación de la muestra, al objeto de evitar las pérdidas de radiación antes de alcanzarse el dosímetro. El cálculo directo por dosimetría se usa más, por ello, en la técnica de inclusión, donde no es necesario calcular la dosis alfa.

Las medidas indirectas son las más usadas en la técnica de grano fino, y entre ellas las más comunes son la medida de la actividad alfa y el análisis de potasio por fotometría de llama. Se denominan indirectas porque lo que se mide no es la dosis, sino el porcentaje de isótopos radiactivos presentes en la muestra. Conociendo la dosis media aportada por cada cadena radioactiva y el porcentaje de elementos radiactivos, calculamos la dosis total anual.

La medida de actividad alfa permite calcular el contenido en U y Th de la cerámica, mientras que la fotometría de llama nos da la proporción de potasio. La dosis gamma ambiental se calcula o bien directamente por medio de un medidor de radiactividad (geiger) en el punto de toma de

muestras o bien calculando el contenido en elementos radioactivos del terreno circundante de la misma forma que se ha calculado para la cerámica.

La dosis anual vemos pues que corresponde a la suma de las dosis parciales, que son:

- Dosis alfa procedente del uranio y torio, corregida por el factor k.
- Dosis beta y gamma del uranio y torio.
- Dosis beta del potasio.
- Dosis gamma externa del ambiente y de la radiación cósmica.

La tórmula para el cálculo de la edad queda, por tanto:

$$Edad = \frac{ED + I}{k^*D\alpha (U+Th) + D\beta (U+Th) + D\beta(K) + D\gamma(U+Th) + D\gamma(K) + D\gamma ext + D\gamma c}$$
 [4]

Un aspecto interesante a considerar es el contenido en agua de la cerámica y del terreno circundante. El agua presente en el terreno tiene una baja radioactividad comparada con la de la propia cerámica y el terreno que la contiene, absorbiendo además parte de la radiación que debería alcanzar a la cerámica. Los valores de las dosis alfa, beta y gamma anuales de la cerámica y el terreno deben ser corregidos por las siguientes fórmulas (Zimmerman, 1971):

$$D\alpha = \frac{D \alpha \sec a}{1 + ((Wh / Ws) - 1)^* 1.5}$$
 [5]

$$D\beta = \frac{D \beta \text{ seca}}{1 + ((Wh / Ws) - 1)^*1.25}$$
 [6]

$$D\gamma = \frac{D \alpha \sec a}{1 + ((Wh / Ws) - 1)^{\bullet}1.14}$$
 [7]

Donde Wh es el peso de la cerámica húmeda y Ws el peso seca. Para el terreno se utiliza solo la fórmula de la dosis gamma, al ser la única radiación en la que contribuye.

La reducción en la dosis alfa asume que el agua penetra en los poros de la cerámica con un diámetro menor que el rango de efectividad de dicha radiación, lo cual puede considerarse cierto, pues normalmente las cerámicas tienen poros del orden de 10 µm o menor.

Para evaluar las ecuaciones anteriores necesitamos estimar el incremento de peso de la cerámica y el terreno con el agua, determinándose el valor máximo mediante la medida del agua de saturación. Los valores del contenido de agua in situ son interesantes a la hora de establecer el porcentaje medio de agua durante el enterramiento, considerando las posibles fluctuaciones anuales a largo plazo.

### Error asociado a la datación

Los factores que influyen en la exactitud del fechado, y el margen de incertidumbre del mismo,

podemos separarlos en dos grupos. Por un lado tenemos los errores que se pueden producir al realizar una determinada medida. Estos valores anómalos se eliminan al realizar varias mediciones en cada muestra y datarse varias muestras en cada nivel. Son lo que denominamos errores aleatorios. Por otra parte tenemos los errores sistemáticos, que son los propios del sistema de medida (por ejemplo exactitud en el calibrado de la fuente radiactiva, error en la medida de la curva TL, etc.). Este segundo tipo de error no puede ser eliminado salvo con continuas comprobaciones y calibrado del instrumental utilizado.

En general, el error asociado a cada muestra viene dado por (Aitken y Aldred, 1972):

$$\sigma i = \{(\sigma_r)_i + (\sigma_s)_i\}^{1/2}$$

Donde  $(\sigma_r)_i$  es la raíz cuadrada de la suma de las varianzas de error aleatorio en cada muestra, y  $(\sigma_s)_i$  lo mismo pero con los errores sistemáticos.

A la hora de expresar el resultado de una datación, además de las fechas individuales, si son más de tres se da la edad media obtenida a partir de las fechas de cada muestra de un determinado nivel, junto con dos márgenes de error, q y e (Aitken, 1985), es decir Edad ± q ±e. El valor de q representa el mínimo límite de error, y se obtiene considerando que las causas de error son todas aleatorias. Este valor es útil para comparaciones con dataciones por el mismo sistema en niveles distintos o yacimientos de la zona. El valor de e considera tanto el error sistemático como el aleatorio, por lo que es el parámetro de error útil en comparaciones con fechas obtenidas por medio de otras técnicas, o con yacimientos de otras localidades.

# EJEMPLO DE APLICACION: «YACIMIENTO FABRICA DE LADRILLOS»

Ante las posibilidades que el método de datación por TL tiene abiertas hoy, atendiendo a la ventaja que supone fechar a partir de un material inorgánico, especialmente abundante en la mayoría de los yacimientos arqueológicos españoles, hemos proyectado el montaje y puesta a punto de un laboratorio, que se ubicará en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Madrid, y permitirá atender buena parte de las necesidades de datación que tiene la Arqueología española. Para ello contamos con la subvención de la Dirección General de Investigación Científica y Técnica del Ministerio de Educación y Ciencia, que ha concedido un proyecto encaminado a tal fin.

Dentro de este proyecto está previsto que la instalación del equipo pueda llevarse a cabo a finales de 1989 y, tras un período de puesta a punto, puedan empezar a procesarse muestras a finales de 1990. En esta primera fase del proyecto, los trabajos de datación se están centrando en yacimientos de la Comunidad de Madrid y provincias limítrofes, con especial incidencia en lugares ubicados en las terrazas de Manzanares y Jarama donde, con frecuencia, nos encontramos con un fenómeno de mineralización de la materia orgánica que impide la aplicación del carbono-14.

Durante la etapa inicial del proyecto, D. José G. Arribas, miembro del equipo de investigación, se ha desplazado a Milán para entrar en contacto con un laboratorio con experiencia en TL aplicada a la Arqueología. Esta estancia se ha aprovechado también para realizar en dicho laboratorio, mediciones sobre cinco muestras tomadas del yacimiento de La Fábrica de Ladrillos de Getafe (Madrid).

La importancia del yacimiento está determinada no sólo por la gran extensión que comprende, sino también por conservar buena parte del suelo de ocupación, nivel que frecuentemente ha desaparecido en otros conjuntos similares. Además, hay noticias de la existencia de enterramientos, tanto de inhumación como de incineración (Priego y Quero, 1983: 302) que de pertenecer al mismo horizonte que los materiales conocidos, representaría un caso único ya que hasta ahora el Horizonte

Cogotas I sólo ha proporcionado un caso de inhumación: el yacimiento vallisoletano de San Román de la Hornija (Delibes de Castro, 1978).

A juzgar por los escasos datos publicados hasta el momento, el yacimiento de La Fábrica debe identificarse con uno de los clásicos conjuntos de «fondo de cabaña», tan frecuentes en la Protohistoria madrileña, ya que está constituido por un importante número de fosas o agujeros excavados en la arena y rellenos con materia orgánica, cerámica, útiles de piedra y huesos. Estas fosas se disponen en grupos arracimados dejando entre ellas espacios estériles (Priego y Quero, 1983: 301).

Las pocas muestras cerámicas dadas a conocer permiten incluir el yacimiento dentro del Horizonte Cogotas I y, más concretamente, a un momento de plenitud de esta facies ya que se encuentran bien representadas técnicas ornamentales como el boquique y la excisión y algunos recipientes conservan restos de incrustación de colorante rojo, dato que, en principio parece ser un indicio de cierta modernidad.

Otro aspecto que proporciona interés al yacimiento de la Fábrica es el haber proporcionado materia orgánica válida para la datación de carbono-14, hecho que, como antes apuntábamos, es inusual en conjuntos de sus características. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de Teledyne Isotopes, Westwood, New Jersey, y la primera de las publicadas ha arrojado el siguiente resultado:

Teledyne Isotopes I-12.863: 2490  $\pm$  95 = 540 A. C.

La muestra procede de las cenizas existentes en el interior de una vasija hallada en el fondo 12, aparecida a 0.50 metros de profundidad y, según sus excavadores, esta fecha permite datar cerámicas con decoraciones excisas y de boquique (Priego y Quero, 1983: 303). Este resultado es, a todas luces, divergente de los datos que teníamos para yacimientos del mismo horizonte, tanto de Madrid y otros puntos de la Meseta, como de Andalucía, ya que la fecha de carbono-14 más moderna de las obtenidas hasta ahora para fechar un yacimiento de Cogotas I es de 870 a. C. y corresponde a San Román de la Hornija (Delibes de Castro, 1978: 236).

## Experimental

La Fig. 5 representa el esquema de una cadena para datación por TL. Aunque pueden producirse diversos cambios dependiendo de las características y el aparataje adoptado por los distintos laboratorios, el esquema-general es siempre similar.

La muestra es calentada en un horno provisto de sistema de vacío y atmósfera de nitrógeno o argón, a una velocidad de calentamiento linear de unos 20 °C por segundo, obtenida mediante un programador-controlador de temperatura.

La emisión es recogida por un tubo fotomultiplicador, en nuestro caso un EMI 9635 QB con filtros Corning 7-59 y Chance-Pilkington blue HA-3, para eliminar la emisión en el rojo debida a la incandescencia.

Tanto la señal luminosa como la indicación de la temperatura son recogidas en un ordenador, que representa una gráfica intensidad-temperatura con los datos obtenidos, es decir, la curva de TL.

La medida de la actividad alfa se realiza mediante el centelleo producido por la muestra en un disco de ZnS, que es recogido por un fotomultiplicador EMI 60975. Esta señal pasa por un preamplificador ORTEC 113 y un amplificador discriminador ORTEC 490B. Los impulsos de salida son medidos por un ORTEC 715 Dual Counter Timer, en forma de contajes por minuto (c.p.m.), proporcionales a la presencia de isótopos radiactivos del U y Th en la muestra.

La concentración de potasio se midió por un fotómetro de llama De Vita, modelo Triflam.

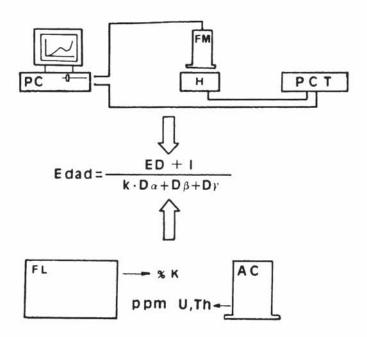


Fig. 5.— Esquema de una cadena de datación por TL. PCT: Programadorcontrolador de temperatura; PC: ordenador; FL: Fotómetro de llama; AC: α-couting; H: horno; FM: fotomultiplicador.

Las fuentes radioactivas usadas para la irradiación de las muestras fueron de Po-210 para la radiación alfa y Sr-90 para la irradiación beta.

# RESULTADOS

# Datación del yacimiento «Fábrica de ladrillos»

Los datos obtenidos en la datación aparecen en la Tabla II. Los valores de la dosis total arqueológica corresponden a la dosis beta equivalente más la corrección de supralinearidad (ED + I). Los valores de la dosis anual se han calculado tomando una relación Th/U = 3.16.

En función de los resultados obtenidos (Tabla II) se han establecido las siguientes edades absolutas:

Muestra F2A: 1078 ± 257 a. C. "F2E: 1198 ± 249 a. C. "F2G: 894 ± 213 a. C.

A lo largo del proceso de datación, se pusieron de manifiesto una serie de características en las muestras que han complicado el desarrollo del trabajo. En primer lugar, y como puede verse en la tabla II, los valores de K<sub>2</sub>O son elevados, oscilando alrededor del 4.5 %. Este contenido en potasio, muy superior a lo normal en cerámicas, es producido probablemente por dos factores:

TABLA II
RESULTADOS DE LA DATACION DEL YACIMIENTO «FABRICA DE LADRILLOS»

a)

| Muestra | % H <sub>2</sub> O | % K <sub>2</sub> O | c.p.m. | H <sub>2</sub> O sat.(%) | Factor l |
|---------|--------------------|--------------------|--------|--------------------------|----------|
| F2A     | 7.85               | 4.64               | 0.908  | 15.7                     | 0.16     |
| F2E     | 5.15               | 4.60               | 1.228  | 10.3                     | 0.10     |
| F2G     | 4.95               | 4.40               | 1.519  | 9.9                      | 0.17     |
| Terreno | 20                 | 4.80               | 0.708  | <del></del> :            | _        |

b)

| Muestra | ED + I<br>(Gy) | D. anual<br>(mGy/año | Edad                 |  |
|---------|----------------|----------------------|----------------------|--|
| F2A     | 27.84          | 9.0 ± 0.6            | 1078 ± 257 A. C.     |  |
| F2E     | 29.44          | $9.2 \pm 0.5$        | $1198 \pm 249$ A. C. |  |
| F2G     | 36.06          | $12.7 \pm 0.7$       | $894 \pm 213$ A. C.  |  |

- i) Las características propias del yacimiento (fondos de desecho ocupacionales) implica que junto con las cerámicas se acumularon abundantes residuos orgánicos, principal fuente del potasio.
- ii) La contaminación actual, provocada por la proximidad a centros de fuerte actividad industrial y a zonas de vertido de residuos urbanos.

En la tabla III aparecen los valores típicos en contenido de K, Th, U y el factor k medio en cerámicas (Aitken, 1985) junto con los obtenidos para las muestras fechadas. En esta tabla se puede ver que además del alto contenido en potasio hay también valores anormalmente altos de U y Th. lo que colabora a aumentar la dosis anual y por tanto la dosis total recibida por las muestras, que se traduce en intensidades altas en la curva de TL.

Los valores de ED son por lo tanto muy altos, dándose el caso de que aparecen también muy dispersos, con un margen de error asociado al cálculo de la dosis total elevado. Esta dispersión estaría también causada posiblemente por la presencia de elementos contaminantes extraños (por ejemplo detergentes) y materia orgánica.

TABLA III

VALORES MEDIOS DE K, Th, U Y FACTOR k (AITKEN, 1985) EN CERAMICAS Y

VALORES OBTENIDOS EN LAS MUESTRAS DATADAS. LA RELACION Th/U SE HA

TOMADO 3.16

|          | Cerámica tipica | F2A  | F2E  | F2G  |
|----------|-----------------|------|------|------|
| % K O    | 1               | 4.64 | 4.6  | 4.4  |
| ppm Th   | 10              | 15   | 20   | 24   |
| ppm U    | 3               | 5    | 6    | 8    |
| factor k | 0.15            | 0.16 | 0.10 | 0.17 |

Estas complicaciones han provocado que de las 5 muestras analizadas, dos hayan sido desechadas, pues en ellas los valores anómalos impedían una datación fiable.

El contenido en agua que aparece en la tabla II corresponde al 50 % del agua de saturación. Se ha tomado este valor atendiendo a las características climatológicas y a la humedad en el terreno a lo largo del año, que varía desde la saturación casi completa en la estación lluviosa (con formación incluso de acumulaciones de agua estancada en las proximidades del yacimiento) hasta la sequedad casi total en la época estival.

El terreno, por los mismos motivos, se ha considerado con el 20 % de agua de imbibición. Los valores tan altos de potasio a la profundidad a que se tomaron las muestras, aproximadamente a 1.5 m bajo el suelo actual, implican también una fuerte circulación de agua, que habría favorecido a su vez la contaminación del área.

A pesar de las dificultades encontradas en el proceso de obtención de las fechas, los resultados obtenidos: 1198, 1078 y 894 a. C. encajan perfectamente dentro de los parámetros en los que se mueven las fechas de carbono-14 de los yacimientos del Horizonte Cogotas I. Unicamente resulta chocante la distancia de 300 años existente entre la fecha más antigua y la más reciente, caso que también se produce en San Román de la Hornija, pero no puede olvidarse que la mayoría de los yacimientos de «fondos», entre los que se encuentra este de La Fábrica, han sufrido múltiples reocupaciones con abandonos intermedios sin que, hasta el momento, hayamos podido saber la duración total de las sucesivas ocupaciones hasta el abandono final del lugar, y este indicio de La Fábrica podría ser un primer dato orientativo de la larga pervivencia de estos yacimientos, ya que el caso de San Román de la Hornija debe de ser analizado en otro sentido, pues las fechas proceden de hueso y carbón cuya muerte pudo ocurrir en momentos diferentes.

En cuanto a los valores absolutos obtenidos por TL, ya hemos apuntado que estos se ajustan a la cronología del Horizonte Cogotas I conocida por carbono-14. En concreto, la fecha más reciente de las ahora conocidas: 894, coincide con la segunda de las obtenidas por carbono-14 en el propio yacimiento de La Fábrica, mientras que las dos más antiguas son similares a las del vecino yacimiento de Ecce Homo (Alcalá de Henares), el cual ha proporcionado tres fechas para el Horizonte Cogotas I, estas son: 1150, 1070, y 1070 a. C. respectivamente (Almagro Gorbea y Fernández Galiano, 1980: 125) las cuales coinciden, casi exactamente con las dos fechaciones obtenidas ahora en La Fábrica por TL. Esta misma coincidencia se produce con el yacimiento de San Román de la Hornija, donde los valores de carbono-14 son 1010 y 870 a. c. (Delibes de Castro, 1978: 236) aunque ahora el paralelo hay que establecerlo con los más recientes de La Fábrica.

En Andalucía contamos con dataciones de carbono-14 en dos yacimientos, con materiales de Cogotas I: Purullena, en Granada y Llanete de Los Moros en Córdoba. Los valores del primero son 1185 y 1120 a. C. (Arribas, 1976: 152), mientras que el conjunto cordobés es algo más moderno: 1030 y 980 a. C. Martín de la Cruz, 1987: 206). Ello significa que es precisamente en los momentos de vida de La Fábrica, cuando el Horizonte Cogotas I se encuentra más extendido, produciéndose una de las etapas de la Prehistoria de contactos más fluidos y estrechos, entre la Meseta y las tierras meridionales de la Península.

Otro es el caso de algunos yacimientos de la región oriental de la Meseta Norte, como La Vaquera (Segovia) (Zamora, 1976: 63). Arevalillo (Segovia) (Fernández-Posse, 1981: 51). Los Tolmos de Caracena (Soria) (Jimeno, 1984: 200-201) o Atapuerca (Burgos) (Apellaniz y Uribarri, 1976: 195) cuyos estratos con elementos Cogotas I se han fechado por encima del siglo XIV a. C., hecho que Fernández-Posse ha interpretado por ser ésta la zona de origen y configuración de los rasgos típicos de Cogotas I (Fernández-Posse, 1982: 156).

En suma, creemos que las nuevas aportaciones cronológicas obtenidas por TL en el yacimiento de La Fábrica de Ladrillos de Getafe (Madrid) son una valiosa aportación que ayuda a fijar más sólidamente el marco temporal del Horizonte Cogotas I, una de las facies culturales que más número de yacimientos ha proporcionado en las tierras del interior peninsular.

#### ANEXO A

# Instrucciones para la toma de muestras

### Donde

Se tomarán las muestras en zonas del yacimiento alejadas de muros o discontinuidades en el terreno al menos 30 cm. (ver Fig. 6). No son válidos tampoco los restos recogidos en superficie, ni aquellos enterrados a una profundidad inferior a 30-40 cm.

Las acumulaciones de piedras o bloques de gran tamaño son, a su vez, nocivas, por lo que se tomarán las muestras en puntos libres de ellas. Una cierta presencia de fragmentos de rocas o piedras no es importante, siempre que no se tomen aquellas muestras en contacto directo o muy próximas a los cantos mayores.

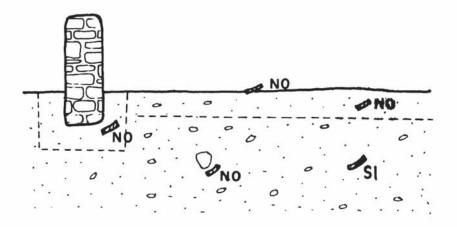


Fig. 6.— Ubicación dentro del yacimiento de las muestras aptas para datación por TL.

#### Cómo

Una vez extraída la cerámica y 100-200 g del terreno adyacente a cada una de ellas, se guardarán en bolsas de plástico independientes y bien cerradas, que se guardarán de nuevo en otra bolsa, cerrando ambas lo más herméticamente posible.

Es conveniente evitar al máximo la incidencia de la luz del sol en las muestras, así como todo tipo de exposición a irradiaciones (ultravioleta, infrarroja, rayos-X, etc.). La temperatura no debe sobrepasar los 50-60 °C.

No es necesario lavar las muestras, pero en caso de necesitar una limpieza al objeto de ser convenientemente identificadas, debe hacerse en seco con ayuda de pinceles o espátulas, evitando al máximo el humedecerlas y sin usar detergentes en ningún caso.

# Cuántas

Dependiendo de las características del yacimiento, se procurará tomar entre 5 y 10 muestras de cada nivel, evitando aquellas cuya adscripción a un grupo o nivel determinado sea dudosa. La decoración superficial no influye en la datación.

#### Tamaño

El tamaño mínimo son unos 3 cm de largo por 0.5 cm de grosor; dimensiones menores son problemáticas. Debe tenerse en cuenta que la técnica es destructiva, por lo que parte de la muestra no se recupera posteriormente.

#### Advertencias finales

Todo tipo de información acerca del contenido en agua medido a lo largo del año en el yacimiento, posibles contaminaciones por actividad agrícola o industrial y utilización actual o antigua del entorno, es interesante de anotar junto con la descripción del yacimiento (localización geográfica y geológica si es posible, profundidad de la toma de muestras, dimensiones del yacimiento, etc.).

### **BIBLIOGRAFIA**

AITKEN, M. J. (1974): «Physics and Archaeology» Clarendon Press. Oxford.

(1985): Thermoluminiscence Dating. Academic Press.

AITKEN, M. J. y ALLDRED, J. C. (1972): «The assessment of error limits in thermolumiscent dating». Archaeometry 14: 257-267.

Almagro Gorbea, A. M. y Fernández Galiano, D. (1980): Excavaciones en el Cerro Ecce Homo. Excma. Diputación de Madrid.

APELLANIZ, J. M. y URIBARRI, J. L. (1976): «Estudios sobre Atapuerca (Burgos). El santuario de la Galería del sílex». Cuadernos de Arqueología de Deusto, 5. Bilbao.

Arribas, A. (1976): «Las bases actuales para el estudio del Eneolítico y la Edad del Bronce en el Sudeste de la Península Ibérica». Cuadernos de Prehistoria de la Universidad de Granada, 1: 139-156.

BOWMAN, S. G. E. (1979): «Phototransferred thermoluminescence in quartz and its potential use in dating». PACT 3: 381-400.

Delibes de Castro, G. (1978): «Una inhumación triple de la facies Cogotas I en San Román de la Hornija (Valladolid)». *Trabajos de Prehistoria*, 35: 223-250.

FERNÁNDEZ-POSSE, M. D. (1981): «La cueva de Arevalillo de Cega (Segovia)». Noticiario Arqueológico Hispánico, 12: 45-84. Madrid.

— (1982): «Consideraciones sobre la técnica de boquique». Trabajos de Prehistoria, 39: 137-160.

FLEMING, S. J. (1970): «Thermoluminescence dating: refinement of the quartz inclusion method». Archaeometry 12: 133-147.

- (1973): «The pre-dose technique: a new thermoluminescence dating method». Archaeometry 15: 13-30.
- (1975): «Supralinearity corrections in fine grain thermoluminescence dating: a re-apraisal». Archaeometry 16: 91-95

HUXTABLE, J. (1978): «Fine grain dating». PACT 2: 7-11.

JIMENO, A. (1984): «Los Tolmos de Caracena (Soria)». Excavaciones Arqueológicas en España, 134. Ministerio de Cultura. Madrid.

Martín de la Cruz, J. C. (1987): «El Llanete de los Moros, Montoro, Córdoba». Excavaciones Arqueológicas en España, 151. Ministerio de Cultura. Madrid.

MARTÍN, M., CALDERÓN, T., SYBILIA, E. y DI RENZO, F. (1988): «Spurious thermoluminiscence in archaeological ceramics: a study of affecting factors». Nuclear Tracks and Radiation Measurement 14, 1/2: 339-342.

McKeever, S. (1985): Thermoluminescence of solids. Cambridge University Press. London.

MEJHDAL, V. (1983): «Feldspar inclusion dating of ceramics and burnt stones». PACT 9: 351-364.

Mejhdal, V. y Winther-Nielsen, M. (1982): «Thermoluminescence dating based on feldspar inclusions». PACT 6: 426-437.

PRIEGO, M. C. y Quero, S. (1983): «Actividades de la sección arqueológica del Museo Municipal durante 1982». Estudios de Prehistoria y Arqueología madrileñas. Ed. Excmo. Ayuntamiento de Madrid: 287-310.

- SUTTON, S. R. y ZIMMERMAN, D. W. (1976): "Thermoluminescent dating using zircon grains from archaeological ceramics". Archaeometry 18: 125-134.
- TEMPLER, R. H. (1985): «The removal of anomalous fading in zircon». Nuclear Tracks, 10, 4-6: 531-537.
- (1988): «Thermoluminescence dating of materials wich exhibit anomalous fading». Archaeometry 30: 19-36. WINTLE, A. G. (1977): «Detailed study of a termoluminescent mineral exhibiting anomalous fading». Journal of
- luminiscence 15: 385-393.
- (1978): «Anomalous fading». PACT 2: 240-243.
- ZAMORA, Á. (1976): Excavaciones de la Cueva de La Vaquera, Torreiglesias, Segovia. Ed. Excma. Diputación de Segovia.
- ZIMMERMAN, D. W. (1971): «Thermoluminiscent dating using fine grains from pottery». Archaeometry 13: 29-52.
- (1978): «Introduction to basis procedures for sample preparation and thermoluminescence measurement of ceramics». PACT 2: 1-6.