

# LA DATACION DEL PASADO (\*)

Por ENRIQUE SANZ JARAUTA

Catedrático de Física y Química del Instituto "Príncipe de Viana", de Pamplona.

COMO primera lección del curso, voy a resumir un viejo tema —"La datación del pasado"— en forma elemental y quizá impropia de un acto académico. Espero me disculpen.

Solamente podré exponer algunos de los procedimientos que se han venido usando para averiguar, o fijar con más exactitud, las fechas de la Historia; esas fechas tan molestas para los estudiantes que han de grabarlas en la memoria, aunque algunos lo consiguen, según parece, sin el menor esfuerzo y así pueden ganar trofeos en los concursos de la televisión, que a mí también me interesan, porque me enseñan precisamente cómo no debo enseñar mis asignaturas y cómo no debo preguntar ni examinar.

Se ha dicho que la geografía y la cronología son los ojos de la historia, que necesita saber dónde y cuándo ocurrieron los hechos. El estudio racional de los procesos históricos bien conocidos hoy, no exige aprender los últimos detalles de lugares y fechas; aunque todos ellos hicieron falta al investigar el pasado para escribir la Historia.

\* \* \*

Limitándonos a la cronología, es muy posible que nunca nos hayamos detenido a meditar en el inmenso trabajo de investigación que ha sido necesario para encajar los sucesos en el tiempo, o simplemente para relacionar las diversas escalas de referencia. Recordemos, como ejemplo, el error de origen de la Era Cristiana: Cuando el monje Dionisio el Exiguo trató de establecerla —ya entrada la Edad Media— se contaban los años desde la fundación de Roma y en cambio los griegos habían seguido el cómputo de las olimpiadas. El monje citado pudo averiguar que Ntro. Sr. Jesucristo había nacido en el último año de la olimpiada 194, y tuvo que pasar la fecha a la Era de Roma. Pero, en estos cálculos hubo un error de cuatro,

---

(\*) Lección de apertura del Curso Académico 1968-69 en los Institutos Nacionales de Enseñanza Media de Pamplona.

cinco, o hasta siete años, como se demostró más tarde, cuando se pudo fijar exactamente la muerte de Herodes, referida a un eclipse ocurrido en aquellos días según dice algún texto. Resultaba el absurdo de haber nacido Jesús después de morir su primer perseguidor. Naturalmente, no merecía la pena corregir tan pequeña diferencia; de haberse hecho, no viviríamos en 1968, sino en 1972, ó 73, o quizá 75.

También las unidades de tiempo, los diversos ciclos, o el año mismo y los calendarios, se ajustaron de diferentes modos en las distintas civilizaciones. Sorprende y admira que el año más exacto sea el de los mayas. Nuestro año gregoriano —con bisiestos cada cuatro y suprimiendo algunos— difiere del año astronómico en la cuarta cifra decimal, y el de los mayas —con días intercalares según ciertas normas— sólo difiere en la quinta. Lo que todavía no se conoce bien es la correlación de los años mayas con los nuestros.

Sin embargo, ni las eras ni los calendarios, han ocasionado grandes cavilaciones ni controversias; éstas se deben más bien a los datos de la tradición oral o escrita, que con frecuencia eran escasos y confusos y hasta incompatibles y contradictorios.

A pesar de todo, se puede decir que la trama cronológica general ha quedado establecida con suficiente seguridad y que no debemos desconfiar sistemáticamente de las fechas de los libros, aún sabiendo que existen incertidumbres y discrepancias y que son tanto mayores cuanto más se retrocede en la historia; en la del Reino de Navarra, por ejemplo, ya se encuentran diferencias, para Teobaldo II, entre las fechas del P. Moret y las de Campión u otros historiadores, pero no suelen pasar de dos o tres años y nada significan.

Las indeterminaciones y dudas importantes comienzan y van creciendo con los años "negativos" de nuestra Era, hablando en términos matemáticos. Todavía se han podido datar bastante bien los acontecimientos del primero y del segundo milenios e incluso del tercero —tales como el Exodo, la época de Abraham, o la de Menes el unificador de Egipto—, pero a preguntas como la de ¿cuándo ocurrió el Diluvio?, o bien —pasando a la prehistoria y a la geología— ¿cuándo fue creado el hombre verdaderamente racional?, o ¿cuándo apareció la vida? o ¿cuál es la edad de nuestro planeta?, sólo se puede responder con cifras enormes variables en grandes intervalos. La edad de las primeras rocas se estima actualmente en los

3.500 ó 4.000 millones de años. Para poder imaginar lo que representan estos números es preciso emplear algún símil a escala reducida, como el siguiente: Si fuese posible filmar una película de todo lo ocurrido desde que la Tierra se solidificó, y de tan largo metraje que su proyección durase un día entero, la Historia completa pasaría en la pantalla en las últimas décimas de segundo. No veríamos nada.

Para establecer las fechas aproximadas de la Geología se han aplicado métodos físicos y químicos. Uno de los primeros consistía en determinar la concentración del sodio en el agua de los ríos principales, así como sus caudales respectivos, y calcular el tiempo que ha debido transcurrir para que hayan aportado al mar las sales del sodio que ahora contiene. Este procedimiento se desechó enseguida, como muchos otros, porque los resultados no fueron comparables. Pero hay métodos fundados en la radioactividad que ofrecen garantía y son los que han permitido sentar las bases de la cronología geológica y marcar límites a las eras paleozoica, mesozoica, etcétera.

Los alumnos mayores saben que los átomos de uranio son radioactivos y que se desintegran constantemente y originan la serie de miembros de su "familia radioactiva", el radio entre ellos, hasta dar en el plomo que ya es estable. También estudian que en toda desintegración radioactiva se cumple la ley exponencial inmutable, según la cual un gramo de uranio puro, que ahorauviésemos aquí, se reduciría a medio gramo al cabo de un tiempo muy largo que se llama "período" del uranio y que al cabo de otro período sólo quedaría la mitad de esa mitad y así sucesivamente. Se comprende que, aplicando esta ley, se pueda calcular la edad de un mineral de uranio con sólo saber la cantidad de plomo, o de helio, que le acompaña. Con el mismo objeto se aprovechan otros estudios, como el de los halos pleocroicos de las micas, manchas que aparecen en los cristales—donde quedaron ocluidos átomos radioactivos— y que se van ensanchando con el tiempo.

Respecto a las épocas históricas, las culturas que mejor se han llegado a conocer son indudablemente las de Egipto y Mesopotamia, gracias a los ímprobos trabajos de excavadores y arqueólogos (Botta, Lepsius, Mariette y tantos otros) que, al abrir tumbas, explorar pirámides y desenterrar palacios, templos y ciudades enteras, como Nínive, Troya o Babel, aportaron los materiales necesarios para que los estudios arqueológicos avanzasen con

rapidez inusitada. Casi todo se ha hecho en el siglo y medio transcurrido desde la campaña de Napoleón, culminando de modo espectacular en 1922, cuando Howard Carter descubrió el fabuloso tesoro de Tutankamón. Al mismo ritmo progresaron los conocimientos históricos, porque ya Champollión y Grottefend habían descifrado las escrituras jeroglíficas y cuneiformes. Tanto en los monumentos bien conservados, como al hacer el estudio estratigráfico de las colinas de escombros (los "Tell"), se pudieron leer millares de inscripciones grabadas en la piedra, o en tabletas de arcilla, comparando al propio tiempo los dibujos de la cerámica. Con los datos reunidos y con las listas y placas reales de Abidos, Sakkara, o Karnak, más las noticias transmitidas por los griegos principalmente, en narraciones más o menos veraces, se llegó a establecer sucesiones y sincronismos y a escribir paso a paso los primeros capítulos de la Historia Universal.

En realidad todavía falta completar muchos datos y, sobre todo, precisar las fechas, porque los primeros historiadores (Manethon, Heródoto) no dejaron verdadera cronología. La Biblia misma, con todo su valor histórico, no es un libro de historia cronológica. La Biblia es otra cosa muy distinta por sus fines y por eso se dice que sus verdades no necesitan números.

En estos comentarios —que mis colegas de Geografía e Historia sabrían desarrollar ampliamente— sólo he querido hacer ver las dificultades de los problemas cronológicos, que han puesto a prueba la sagacidad y el buen criterio de quienes debían discutirlos. No faltarían ejemplos para llegar a la conclusión de que conviene revisar y resolver los casos dudosos por caminos independientes, en todo lo posible, de interpretaciones subjetivas.

Con esta orientación, se vienen ensayando diversos procedimientos. El más seguro, y también el más sencillo, podría ser el de contar los anillos vegetativos del tronco de los árboles, puesto que cada año se forma uno de ellos y existen árboles milenarios, como los gigantesos secuoyas, de América, que muestran en su tronco 2.000 y 3.000 anillos, porque han vivido otros tantos años. Pero la utilidad de este sistema es casi nula, puesto que las fuentes históricas no suelen relacionar al árbol con el hombre. Si se supiese, por ejemplo, que tal árbol había sido plantado por determinado rey, o personaje notable, su vida se podría datar con absoluta certeza.

En la cronología de Egipto hay jalones de tiempo muy exactos, determinados por cálculos de astronomía. Los egipcios venían observando, desde

los tiempos más remotos, que la estrella más brillante del firmamento, Sothis, la que nosotros llamamos Sirio, salía a veces por el horizonte (y se ponía) al mismo tiempo que el Sol. Pronto se dieron cuenta de que ello ocurría cada cuatro años, pero unas veces en el verano y otras en las demás estaciones, de manera que sólo en dos raras ocasiones había coincidido la conjunción de ambos astros con el comienzo de la crecida del Nilo, que siempre ocurre a finales de junio o principios de julio. Aquellos sacerdotes, de Amón o de Atón, tomaron la triple coincidencia, de Sothis, el Sol y el Nilo, como presagio o augurio favorable al Faraón reinante y así lo hicieron constar los escribas en los papiros. También solían anotar diferencias de tiempo cuando no había coincidencia exacta. Como los astrónomos actuales han calculado que dichas coincidencias sólo pudieron suceder en los años 1325 y 2785, anteriores a Jesucristo —y esto con un error que no llega a tres años— se han podido fijar fechas exactas para algunos Faraones, como Sesostri III, de la dinastía XII y Amenofis I y Tutmosis III de la XVIII.

Muy pocas dataciones de estas épocas alcanzan semejante exactitud y siempre constituyen casos esporádicos. En resumen, los únicos procedimientos generales que han ganado la confianza de historiadores y arqueólogos son también aquí, como en geología, los radioactivos, y en particular el que se basa en la desintegración del carbono 14, que forma parte de toda la materia viva. El carbono 14 es un isótopo del carbono ordinario, con dos neutrones más en su núcleo. Este método fue propuesto hace unos veinte años por el profesor americano Willard Frank Libby y por tan meritorio trabajo, y por otros anteriores, le concedieron el Premio Nobel en 1960.

Si hemos de explicar un poco el método de Libby hay que decir algo sobre los rayos cósmicos, porque son estos rayos los que producen el carbono 14.

\* \* \*

Los rayos cósmicos salen, según se cree, de ciertas estrellas llamadas “supernovas”, y son, casi exclusivamente, núcleos de hidrógeno, protones, que cruzan los espacios vacíos con velocidades y energías fantásticas y que, al llegar a las altas capas de la atmósfera terrestre, chocan con las moléculas del aire y desintegran sus átomos liberando toda clase de partículas elementales: neutrones, electrones, otros corpúsculos de masa intermedia,

los mesones, y también ondas o fotones como los rayos X pero de longitud de onda aún más corta.

Dejaremos, de momento, los neutrones de los que después nos ocuparemos. Los corpúsculos restantes siguen sus trayectorias, se van multiplicando al mismo tiempo, y llegan a la superficie de la tierra, formando a veces haces extendidos que se denominan muy gráficamente "chaparrones". Algunas de las partículas poseen tal poder de penetración que atraviesan los muros de los edificios casi como si no existiesen. En el agua del mar penetran más de un kilómetro.

Hemos preparado una sencilla demostración experimental para descansar un poco.

Vamos a detectar los rayos cósmicos que entran en esta sala por medio del contador de Geiger-Müller, cuyo funcionamiento se entiende fácilmente. El aparato consta de un tubo que contiene un gas entre dos electrodos bastante separados. De ordinario el gas es aislador y no deja pasar la corriente de una pila; pero, al llegar un rayo cósmico el gas se ioniza, se hace conductor y pasa una corriente instantánea que, convenientemente amplificada, produce en el altavoz una "señal", un ruido característico. También observaremos un salto brusco en la raya luminosa del oscilógrafo.

#### *Experiencia 1.ª* Señales acústicas y ópticas de los rayos.

Cada uno de estos "chasquidos" indica la llegada de rayos cósmicos. Con un cronómetro contaríamos unos 20 ó 30 por minuto, con este contador que es poco sensible. En realidad llegan centenares.

Es evidente que los rayos que atraviesan paredes han de atravesar más fácilmente nuestro cuerpo y surge a veces la pregunta de cómo no nos dañan. La energía de cada protón primario es mayor que la de los rayos que causaron la muerte de tantos infelices en Hiroshima y Nagasaki, pero afortunadamente las partículas cósmicas se modifican al pasar por el aire, y, al llegar a la tierra, son muy pocas las que pueden desintegrar átomos. Todo es cuestión de dosis; nada significan unos cuantos átomos que se puedan alterar en nuestro cuerpo para los cientos de cuatrillones que lo integran seguramente.

\* \* \*

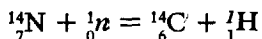
Antes de continuar la experiencia, diré una aplicación curiosa de estos

rayos, no para la datación, sino para buscar cuevas y cámaras en las exploraciones arqueológicas.

En la mayor de las pirámides de Gizeh, la de Keops, se han descubierto ya tres cámaras superpuestas, pero se sospecha que pueda haber más y los arqueólogos americanos tienen un proyecto que equivale a obtener radiografías de la pirámide completa. Desde luego, nadie ha pensado en instalar un aparato colosal de rayos X ante la pirámide y una placa fotográfica de 200 metros detrás de ella. Es mucho más sencillo, porque en lugar de rayos X se pueden aprovechar los cósmicos y bastará que un operador se coloque en la cámara central, provisto de un detector apropiado y vaya midiendo la intensidad de los rayos que le llegan en todas las direcciones; si en alguna dirección llegan más intensos será porque no han tenido que atravesar tanto espesor de piedra, es decir, porque en tal dirección hay algún hueco. Ya veremos si es práctico este recurso tan ingenioso.

\* \* \*

Ahora, para seguir explicando el método del radiocarbono, debemos dar un paso atrás y volver a los neutrones que decíamos se formaban también en la atmósfera, a unos diez o quince kilómetros de altitud. Los neutrones relativamente lentos reaccionan con los núcleos de nitrógeno y los transforman en carbono 14. Los alumnos de sexto y de preu sabrían formular la transmutación:



En cuanto se forma el carbono 14 se combina con el oxígeno del aire para dar moléculas de anhídrido carbónico, que los vientos difunden pronto por toda la atmósfera. Así resulta que en el aire de la superficie terrestre, el aire que nos rodea, hay dos clases de moléculas de gas carbónico; casi todas ellas con carbono ordinario (carbono 12) que es estable y sólo unas pocas con carbono 14 que es radioactivo. Ahora bien, las plantas se nutren lo mismo con unas que con otras, por la función cloroflica, y como, por otra parte, el hombre y los animales se nutren con plantas, directa o indirectamente, resulta en definitiva que en todo organismo vivo hay aproximadamente un átomo de carbono 14 por cada billón de átomos de carbono estable. Además, se puede aceptar que dicha proporción se ha man-

tenido constante, por equilibrio radioactivo, en todo tiempo y en todos los seres vivos; pero mientras viven, porque desde que mueren cesa el metabolismo, ya no asimilan, y su carbono 14 va desapareciendo por desintegración. Cada átomo  $C^{14}$  emite una partícula  $\beta$ , un electrón, y vuelve a ser nitrógeno.

Ya con esto se comprende la datación por el radiocarbono. Si se encuentran unos restos, huesos por ejemplo, en que la proporción del isótopo sea la mitad que en la materia viva, la antigüedad de los restos es sin duda de 5.600 años, porque esto vale el período del radiocarbono, el tiempo en que se reduce a la mitad, que se ha determinado con suficiente precisión.

Pueden servir, lo mismo que los huesos, la madera, el carbón vegetal, los tejidos de lino, conchas de moluscos, o cualquier otra materia, aún alterada o podrida, con tal que haya pertenecido a un ser viviente. Cada clase de materia tiene sus ventajas e inconvenientes, pero se han estudiado las correcciones necesarias en cada caso. Hay que descartar los carbones minerales (salvo la turba), lo cual es debido a que su antigüedad es tan extrema que ha desaparecido casi por completo el radiocarbono que contenían las plantas de que proceden.

Este es, en síntesis, el camino que inspira mayor confianza hoy día, ya que se ha comprobado con muestras de edad perfectamente conocida y ha dado resultados concordantes. Las muestras fueron muy variadas: la parte central de troncos cuya edad se conocía por los anillos; madera de la barca funeraria de Sesostris III; sarcófagos y momias de las tumbas; las telas que envolvían los documentos de los esenios en las grutas del Mar Muerto (Génesis, libro de Isaías, reglas éticas de la comunidad) y también sandalias de 9.000 años, de las que se encontró en Oregón un verdadero almacén; residuos carbonosos de cuevas prehistóricas como la de Altamira, etc.

Dicho todo esto a la ligera parece muy sencillo, pero en realidad las diversas técnicas de la datación son bastante difíciles. Ante todo, hay que disponer de contadores mucho más sensibles que este nuestro, ya que la radioactividad de la materia orgánica es siempre muy débil. Además, no bastaría acercar la muestra al contador; es preciso quemarla para introducir el gas de la combustión —o el carbono que se obtiene al reducirlo con magnesio— dentro del tubo contador, que sólo así podrá acu-



sar todas las desintegraciones que se produzcan en la muestra por minuto y gramo de carbón. Por eso no son utilizables los objetos de gran valor arqueológico o artístico que no se deben destruir. Podemos imaginar lo que dirían los conservadores del museo de El Cairo si les pidiesen, para quemarlo, un brazo de la estatua de Ka-aper, el famoso "Alcalde del Pueblo".

Es necesario también suprimir las señales que producen los rayos cósmicos, porque son tantas que no dejarían contar bien las muy escasas debidas a las muestras, y no basta para ello encerrar el contador en caja de plomo de gruesas paredes; hay que rodearlo además por completo con otros once contadores auxiliares conectados con un dispositivo electrónico de "anticoincidencia", es decir, de tal modo que si funcionan los contadores externos, por llegar un rayo cósmico, deja de funcionar en ese instante el contador central. Podemos ver algo de todo esto.

### *Experiencia 2.<sup>a</sup> Sustancias radioactivas.*

Nuestro contador es un modelo sencillo no destinado a la datación, sino a la prospección de minerales radioactivos. Se lleva por los montes, a modo de bastón, y se van contando con el cronómetro las señales que acusa el auricular para ver donde aumentan.

Basta acercarse este mineral de uranio, que procede de la zona de Leiza (Navarra), denunciada el año pasado, y escuchamos muchas más señales. Si las contamos ahora y restamos las debidas a los rayos (que se llaman "fondo") quedarán las propias del mineral. Pero éstas dependen de la distancia a que se coloque, porque las partículas  $\alpha$ ,  $\beta$  o  $\gamma$ , salen despedidas en todas las direcciones y además las  $\alpha$  sólo recorren unos centímetros en el aire; para contarlas bien, habría que poner el mineral dentro del tubo contador, como se hace con las muestras que se quieren datar.

Al acercarse la mano, en lugar del mineral, apenas se nota aumento. En la mano hay radioactividad, como en todo lo que vive, pero sumamente débil. Para medirla hay que eliminar las señales de los rayos.

Se utilizan también las cámaras de niebla o de burbujas, el contador de centelleo y otros aparatos. Todas las medidas son delicadas y laboriosas, pero existen muchos laboratorios especializados, tanto en América como en Europa, y son millares las dataciones conseguidas con pequeño error probable. Ahora se trabaja intensamente en las civilizaciones de los incas,



WILLARD FRANK LIBBY  
*Premio Nobel de Química 1960*

aztecas y mayas. Los primeros testimonios de industria y de inteligencia dan en América los 10.000 o más años.

Se han acordado algunas correcciones en fechas de capital importancia. Para los días de Hanmurabi el Rey de Babilonia —una de las figuras más simpáticas por su famoso código legislativo, tan humano— se barajaban fechas muy dispares que oscilaban en más de tres siglos. El radiocarbono ha fijado esta época hacia 1750-1800 (a. de J. C.) aunque no definitivamente y convendría asegurarla, por haber documentación muy abundante que la relaciona con el reino de Mari y con Sansi-Adad, Sargon I y Abraham.

Citaré otro proyecto que parece descabellado, cual es el de encontrar y datar el Arca de Noé, que según la Biblia quedó varada en el monte Ararat de la actual frontera ruso-turca.

Ya eran cinco las expediciones realizadas con este fin y se organizaba la sexta cuando estalló la guerra relámpago de Israel. Supongo que no se ha llevado a efecto. La posibilidad del hallazgo se funda principalmente en referencias de unos aviadores que, al volar sobre el monte, creyeron ver entre la nieve algo que parecía la proa de una nave.

\* \* \*

Y para terminar esta lección, que ya va siendo larga, parece natural plantear la cuestión siguiente: ¿Qué transcendencia podrá tener en adelante el método de Libby y otros que se anuncian, como el del tritio y el de potasio-argon? Creo que se puede contestar que no modificarán fundamentalmente la historia conocida, pero que, desde luego, han de contribuir a penetrar más en el pasado y a precisar mejor la cronología.

Los investigadores siguen trabajando, ya que la historia interesa a todo el mundo; a unos la Historia de las Artes, a otros la de las Ciencias y los

inventos —la rueda, el arado, el torno de alfarero— y en general a cada uno la referente a su profesión. Se ha escrito historia de la pintura y de la música, de la medicina y de la arquitectura, e incluso la historia de la tauromaquia, bien extensa por cierto y que conviene conocer para poder discutir en las tertulias. Siempre que sale al paso, por ejemplo, la cuestión de quiénes fueron los primeros toreros, o matadores a pie, nosotros mantenemos que fueron los navarros. Pero hay quien opina que ya lo fueron ciertos jóvenes cretenses, ellos y ellas, que en las pinturas de Cnosos aparecen saltando por encima de un toro descomunal. Dicen, además, que “aquellos eran toros”.

Desde luego, si un día mister Libby halla en Creta palos de banderillas o varas de picadores, aplicará su método y podrá decirnos la última palabra. Y, sea la que sea, tendremos que aceptarla.

## N O T A S

1.<sup>a</sup> Error de la Era Cristiana. Los años que no se contaron fueron probablemente de la época de Octavio en el Triunvirato, antes de ser Emperador y llamarse Augusto.

Además, algunos astrónomos quisieron que la sucesión 4, 8, 12..., de los años bisiestos se cumpliese también en los años negativos, de modo que fuesen los años —4, —8 —12... y para ello consideraron como “año cero” el año completo que precedió al nacimiento de Cristo, en lugar de llamarle año “menos uno” (o año 1 antes de J. C.) como es lo natural puesto que el cero es un instante.

2.<sup>a</sup> Valores de los diversos años:

Año astronómico ... ..	365,242198
Año juliano ... ..	365,250000
Año gregoriano ... ..	365,242500
Año maya ... ..	365,242129

3.<sup>a</sup> Ajuste de algunas fechas:

Para Menes (¿o Narmer?), fundador de la I dinastía egipcia, se dieron fechas variables desde —4000 hasta —2500; después —3100 y últimamente se acepta de —2900 a —2800.

Era opinión corriente que Abraham había sido contemporáneo de Hammurabí, pero la época de este rey de Babilonia se ha rebajado a —1800 y resulta posible que Abraham fuese un poco anterior, si bien sería aventurado asegurarlo.

También se decía que Moisés había vivido en la corte de Ramses II y que

el Exodo pudo haber ocurrido reinando Menephta. Ahora se acepta mejor hacia —1400 ó —1450, quizá con Amenofis II.

Los tiempos de Salomón y David se suelen dar con bastante seguridad por los años próximos al —1000.

En la cronología del imperio hittita quedaba un período de 200 años vacío de noticias. Al rebajar la datación de Hanmurabi dicho periodo desaparece.

Resulta muy significativo que si las diversas fechas que se asignaban a un suceso no diferían mucho entre sí, también la obtenida por el radiocarbono resultaba concordante.

El carbono 14 ha demostrado que la última glaciación tuvo lugar al mismo tiempo en América y en Europa, como ya se sospechaba, y la ha datado en —10000 a —15000 años. Este dato es de gran importancia ya que guarda relación con los primeros pobladores de América, que probablemente pasaron de Asia por el estrecho de Behring, que entonces sería vadeable, por el descenso del nivel de los mares a consecuencia de la glaciación. Después bajaron por la costa sin penetrar en el continente. Son abundantes los restos humanos de 10000 años en las bajas latitudes, pero no existen en las altas que estuvieron cubiertas por los hielos. Los restos que dejasen por las costas deben estar ahora cubiertos por el mar.

Carbón y conchas de Altamira, analizadas en la Universidad de Michigan, dieron para el magdalenense de la cueva unos 15.000 años.

Restos de una gruta de Shanidar, en el Irak, se han datado en unos 30.000 años. Este es casi el límite de posibilidad de datación por el radiocarbono.

## Contestaciones a los Temas de Grado y Pruebas de Madurez (Matemáticas y Física y Química)

HA comenzado la distribución de las Contestaciones de los Temas de Grado y Problemas de las Pruebas de Madurez de Matemáticas y Física y Química. Como ya se anunció oportunamente, su precio es independiente del fijado para los Temas. Es el siguiente:

### TEMAS DE GRADO

	<i>Ptas.</i>
<i>Contestaciones de Matemáticas Elemental</i> ... ..	20
<i>Contestaciones de Matemáticas Superior</i> ... ..	20
<i>Contestaciones de Física y Química Superior</i> ... ..	30

### PRUEBAS DE MADUREZ

<i>Contestaciones de Matemáticas</i> ... ..	30
<i>Contestaciones de Física y Química</i> ... ..	35

**Pedidos a: Revista «Enseñanza Media» - Atocha, 81, 2.º - Madrid (12)**

4.<sup>a</sup> Siempre se cita como obra importante la de Manethón, titulada "Hechos memorables de los egipcios", que fue escrita en griego; establece un esquema de las dinastías pero sin seguridad cronológica. Lo mismo ocurre en las obras de Heródoto, el "padre de la historia".

Con los escritos cuneiformes de las tabletas de arcilla, fue relativamente fácil sincronizar la historia de Asiria con la de Babilonia y Egipto. La llamada "biblioteca" de Assurbanipal constaba de más de 20.000 tabletas y de otras tantas los archivos del reino de Mari.

5.<sup>a</sup> Los rayos cósmicos primarios (protones casi exclusivamente) se desvían por el campo magnético terrestre y acuden hacia los polos, donde se forma de preferencia el radiocarbono, pero, siendo tan largo su período, hay tiempo más que suficiente para que los vientos lo distribuyan con uniformidad por toda la atmósfera en forma de anhídrido carbónico.

De los neutrones que los rayos primarios producen en la estratosfera, son poquísimos los que alcanzan la tierra; casi todos desaparecen al formar  $C^{14}$ .

Hay en toda la Tierra unas 80 toneladas de carbono  $14$ . La casi totalidad de este carbono y del ordinario se encuentra en el mar, como gas carbónico disuelto y en forma de carbonatos y bicarbonatos. La pequeña cantidad restante está en el aire y en la materia orgánica.

Como existe el equilibrio físico entre el  $CO_2$  del aire y el que contiene el agua del mar, es muy posible que, si en alguna época llegaron más o menos rayos cósmicos y se formó más o menos  $C^{14}$ , el mar desempeñase el papel de depósito regulador manteniendo casi constante la cantidad de carbono total en el aire. Pero esta razón no parece suficiente en cuanto a la constancia de la relación  $C^{14}/C^{12}$ , condición fundamental para la exactitud de las dataciones. Esta condición todavía ofrece dudas y sigue sometida a estudios y comprobaciones que van confirmando que se ha cumplido, por lo menos en primera aproximación.

6.<sup>a</sup> De todos los átomos  $C^{14}$  almacenados en todo el globo, sólo un pequeño número se desintegra por minuto y el equilibrio radioactivo exige que desaparezcan tantos como se forman en la estratosfera en el mismo tiempo.

Se ha calculado que encima de un centímetro cuadrado de la superficie terrestre se forman 144 átomos de radiocarbono cada minuto, y que encima y debajo del centímetro cuadrado hay en promedio 8,3 gramos de carbono total. Por tanto, deben producirse, para que haya equilibrio radioactivo,  $144/8,3=17,3$  desintegraciones por minuto y gramo de carbono total. El valor hallado experimentalmente en la materia viva es 15,3.

7.<sup>a</sup> Ley de las transformaciones radioactivas.—El pequeño número  $dN$  de átomos que se desintegran, en un pequeño tiempo  $dt$ , es proporcional al número  $N$  de átomos que todavía quedan en el momento considerado y a dicho pequeño tiempo; con una constante de proporcionalidad  $\lambda$ , propia de cada elemento en cada transformación. Poniendo el signo menos para expresar que a un incremento del tiempo corresponde un decremento de átomos, se tiene:

$$dN = -\lambda \cdot N \cdot dt \quad (\lambda = \text{Constante radioactiva}) \quad (1)$$

Al integrar esta función resulta la exponencial:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (N_0 = \text{Número inicial de átomos})$$

Para  $t = T$  (Período) ha de ser  $N = N_0/2$ , con lo cual:  $\lambda = \frac{\text{Log} \cdot 2}{T}$  (2)

y sustituyendo resulta la expresión más sencilla:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} \quad (3)$$

que también se puede deducir directamente, considerando que cuando el tiempo transcurrido vale:

$$t = 0, T, 2T, 3T \dots xT,$$

el número de átomos restantes es:

$$N = N_0, N_0/2, N_0/2^2 \dots N_0/2^x$$

La fórmula del gráfico es equivalente a ésta, porque el número de desintegraciones ( $y$ ) que se producen en determinado momento es proporcional al de átomos presentes entonces. Por tanto:

$$y = y_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

En el gráfico  $y_0 = 15,3$  (desintegraciones en la materia viva, por minuto y gramo de carbono total) y  $T = 5568$  años (período del radiocarbono).

8.<sup>a</sup> Las obras consultadas no detallan cómo se calculó el período del radiocarbono. Solamente indican que se utilizaron muestras tipo, preparadas en reactores nucleares y analizadas con el espectrógrafo de masas. Cabe suponer que el análisis espectrográfico daría a conocer el número  $N$  de átomos  $C^{14}$  contenidos en las muestras y que se mediría el número de desintegraciones  $\Delta N$ , en un tiempo  $\Delta t$  que podría ser de varios días, dada la magnitud del período. Con estos datos bastaba aplicar la fórmula siguiente, que resulta de (1) y (2).

$$T = \frac{N \cdot \Delta t}{\Delta N} \text{Log}_e 2. \quad (\text{Log}_e 2 = 0,693)$$

El valor  $T = 5568 \pm 30$  años es el dado por Libby en un principio. Medidas posteriores lo han ido aumentando hasta  $5730 \pm 40$  años, con lo cual la vida media vale 8270 años.

9.<sup>a</sup> Con la fórmula del período (Nota núm. 8) es fácil calcular la razón  $C^{12}/C^{14}$  en la materia viva. Basta sustituir los valores de las otras notas, que se han tomado del libro de Libby, y que son:  $T = 5600$  años =  $3 \cdot 10^9$  minutos;  $N = 15,3$  por minuto y gramo de  $C$  total;  $t = 1$  minuto. Resulta aproximadamente:

$$1 \text{ átomo } C^{14} \text{ por billón de átomos } C^{12}$$

Sin embargo, hay libros que dicen uno por millón, y otros ponen uno por trillón. En varias obras hemos encontrado grandes errores en los datos numéricos.

10. Preparación de las muestras.—Algunas muestras se pueden atacar con ácido clorhídrico, pero en general hay que quemarlas, para operar con el gas de la combustión, que se introduce en el tubo del contador. Al principio se operaba con el carbono obtenido del gas reduciéndolo por magnesio. Con el polvo de

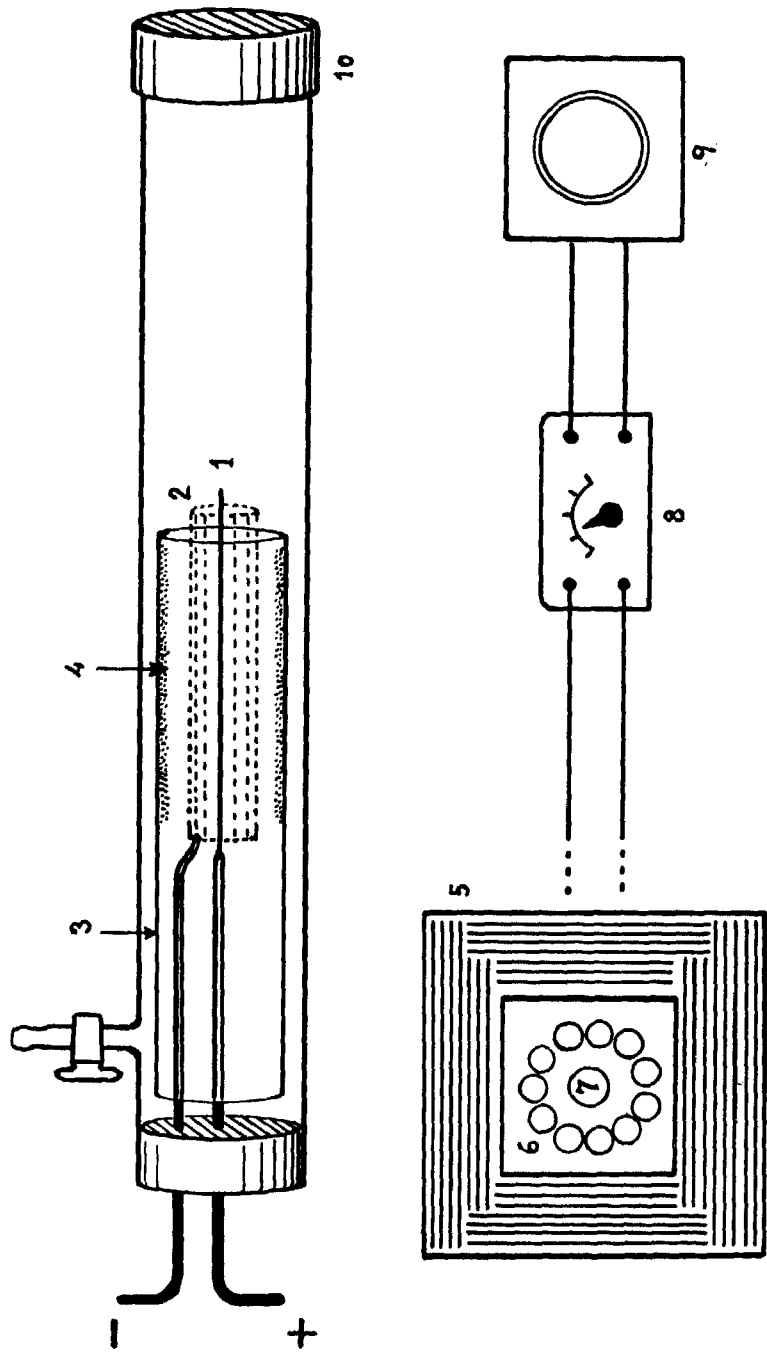


Fig. 1.: 1. Varilla ánodo.—2. Cátodo de rejilla.—3. Tubo portamuestra.—4. Muestra (polvo de carbón). 5. Coraza de hierro.—6. Contadores de anticoincidencia.—7. Contador con la muestra.—8. Amplificador.—9. Altavoz o registrador.—10. Tapón separable.

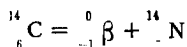
carbóno y agua se hacía una papilla que se repartía sobre la superficie interna de un tubo de latón y quedaba adherida al secarse. Solo se recubría la mitad de este tubo portamuestra que se podía desplazar dentro del contador (figura 1). Con esta técnica, el aparato acusaba solamente el 5,5 por 100 de las desintegraciones. Se empleaban 8 gramos de carbón y se percibían 8. 15,3. 0,055 = 6,7 señales por minuto, si el carbón procedía de materia actual.

En otra técnica moderna se transforma el carbóno en acetileno y se emplean contadores que funcionan en la región proporcional.

11. La figura 1 es un esquema del contador de rejilla usado por Libby en las dataciones.

Entre la varilla central (ánodo) y el cilindro de malla metálica (cátodo de rejilla) se establece el campo eléctrico radial, con tensión conveniente. Hay además otra tensión más pequeña entre la muestra y la rejilla.

La muestra es el polvillo de carbóno adherido a la superficie interna del cilindro portamuestra y sólo en su mitad de la derecha. Cada átomo  $C^{14}$  que se desintegra emite partícula  $\beta$  de baja energía:



Las partículas  $\beta$  son aceleradas hacia el ánodo, en cuyas proximidades inician la ionización y la descarga. La variación de corriente se amplifica y actúa en el altavoz. Hay contadores automáticos que registran las señales.

Al inclinar el contador de la figura, el tubo con la muestra resbala y se viene al extremo de la derecha, con lo cual queda la muestra fuera del campo y las partículas no se aceleran y no ionizan. De este modo se puede medir en cualquier momento y varias veces el pequeño "fondo" que siempre queda, aunque se proteja el aparato de los rayos cósmicos y de la radioactividad del ambiente. El contador se coloca en un armario de paredes formadas por chapas de hierro superpuestas (20 ó más cms. de espesor) y rodeado de once contadores montados en "anticoincidencia". Al funcionar los contadores externos, por las partículas o rayos que puedan pasar por las paredes de hierro, queda bloqueado el contador central y no cuenta. En cambio, los electrones emitidos por la muestra hacia afuera del tubo son muy blandos, no salen del mismo y no actúan sobre los contadores externos.

En cada descarga permanece el gas ionizado durante un corto tiempo. Si entonces justamente hubiese otra desintegración no se contaría. Conviene, pues, disminuir todo lo posible el "tiempo muerto", para lo cual basta añadir un poco de alcohol, o de etileno, al gas que llena el tubo, que suele ser argón a presión de unos 10 cms. de mercurio.

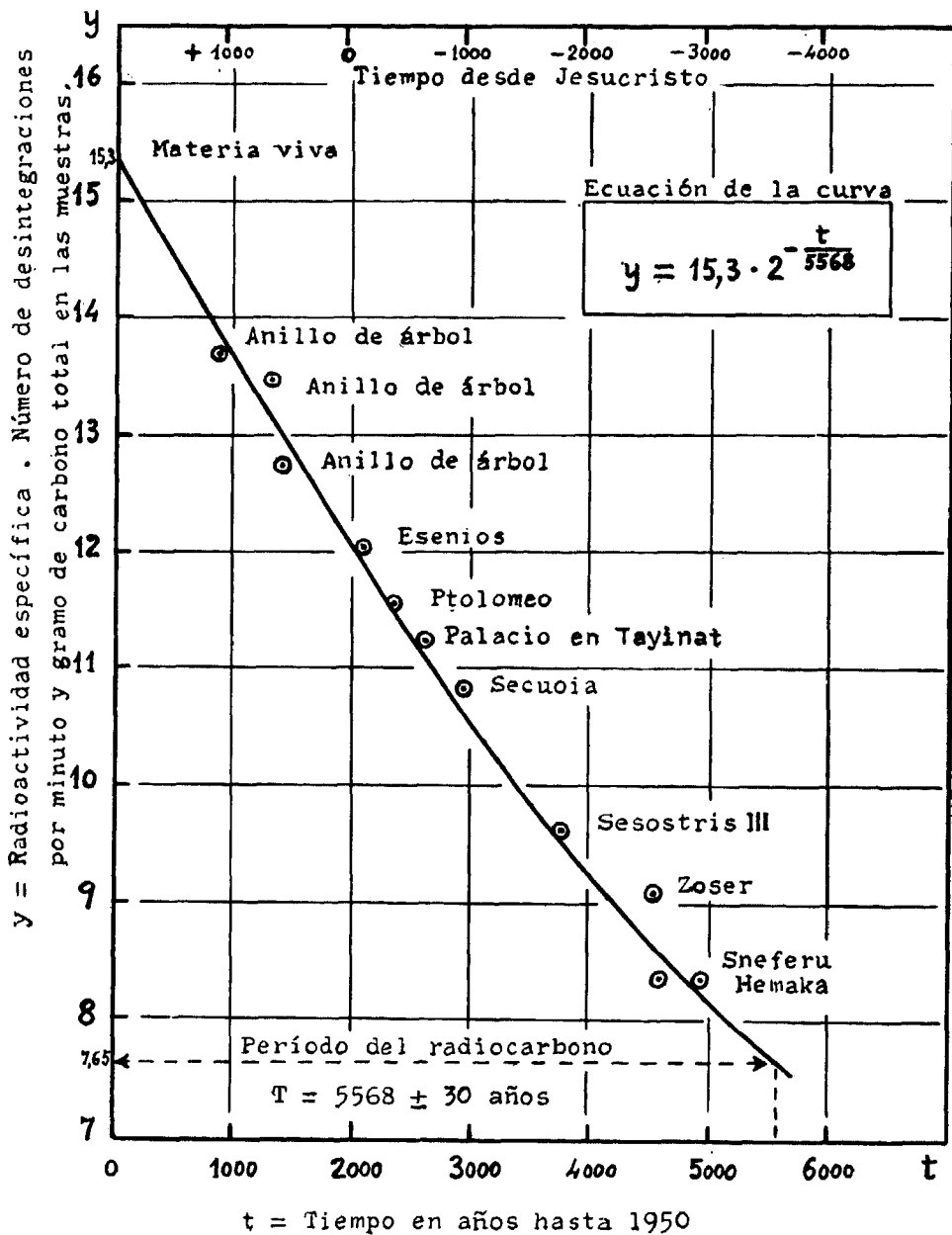
12. El gráfico expresa las comprobaciones del método de Libby con muestras de antigüedad ya conocida por datos históricos seguros, o por otros medios como el de los anillos de troncos de árboles. La curva es teórica y corresponde a la fórmula 3. Las abscisas de los puntos son las edades estimadas y las ordenadas las radioactividades específicas de las muestras.

Algunos puntos quedan separados de la curva. No es extraño que estos primeros resultados obtenidos por Libby sean algo erróneos. Con las nuevas técnicas, los errores no suelen llegar al 10 por 100.



# DATACION POR EL RADIOCARBONO

Comprobación del método de W. F. Libby  
con muestras de edad conocida



Hubo casos en que los análisis daban edades absurdas, pero se pudo averiguar que se trataba de muestras falsificadas. Muchas tumbas y mastabas fueron saqueadas y los ladrones dejaron en ellas materiales de otras épocas.

Parece probado que la materia leñosa de los troncos, formada por moléculas grandes con uniones covalentes, no se renueva desde que se forma y en esta propiedad se funda la comprobación. El radio carbono contenido en el centro del tronco debe dar la edad, no desde que el árbol fue talado, sino desde que brotó.

Una de las muestras del gráfico es madera de un sequoia, llamado "el muñón centenario", que se conserva como pieza de museo. La muestra se tomó entre los anillos 2905 y 2802 contando desde la corteza, y, por tanto, el anillo medio era el 2853. Como este árbol murió en 1874 y hasta que se hizo el análisis habían pasado setenta y cinco años, la edad de la muestra era 2928, o sea que se formó en el 979 antes de J. C.

Este hecho, de conservarse el "leño" sin cambios químicos, por el cual es posible la comprobación del método, parece que ha de constituir un grave inconveniente cuando se trate de datar cualquier objeto hallado. Una tabla de un sarcófago, por ejemplo, puede proceder de un grueso y añoso cedro del Líbano y no se sabrá, en general, si pertenecía al centro o a la parte exterior del tronco. Los expertos podrán seguramente resolver esta complicación en algunos casos, estudiando las vetas de la madera, pero no hemos visto aclaraciones en la bibliografía. La complicación desaparece, desde luego, si se opera con plantas de vida corta, o con ramas pequeñas.

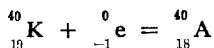
### 13. Relación de las muestras del gráfico:

	Años antes o después de J. C.	
	Estimados	Calculados (C <sup>14</sup> )
<i>Hemaka</i> .—Fue un Visir del Rey Udinu o Den, cuarto o quinto soberano de la I dinastía. La muestra se tomó de una viga de la tumba de Hemaka en Sakkara ... ..	— 2950	— 2930
<i>Zoser o Djoser</i> .—Primer Faraón de la III dinastía, que construyó la pirámide escalonada de Sakkara. Madera de su tumba proporcionada por el Museo Metropolitano de Nueva-York.	— 2700	— 2029
<i>Sneferu o Snefru</i> .—Fundador de la IV dinastía. Madera de ciprés de su tumba en Meidun enviada por la Universidad de Pensilvania ... ..	— 2625	— 2852
<i>Sesostris III</i> .—Madera de la barca encontrada en su tumba y que se conserva en el museo de Chicago ... ..	— 1800	— 1671
<i>Palacio en Tayinat (Siria)</i> .—La referencia es confusa. Madera del suelo ... ..	— 675	— 581

	Años antes o después de J. C.	
	Estimados	Calculados ( $C^{14}$ )
<i>Ptolomeo</i> .—Madera de sarcófago momiforme del período ptoloméico ... ..	— 200	— 240
<i>Esenios</i> .—Secta judía cuyos miembros vivieron en comunidad —bajo normas morales bastante parecidas a las cristianas— desde poco antes hasta poco después de Jesucristo. En las cuevas que habitaron a orillas del Mar Muerto, se hallaron manuscritos en cuero y cobre envueltos en telas de lino y dentro de vasijas de arcilla. Se dataron las telas ... ..	+ 100	+ 33

14. El tritio se forma también en la estratosfera por la acción de los rayos cósmicos. En el agua del mar hay un átomo de tritio por cada trillón de átomos de hidrógeno aproximadamente. El período del tritio es 12,5 años solamente, por lo cual se presta a determinar fechas muy próximas. Con él se ha ensayado la datación de vinos añejos.

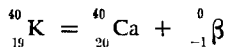
En cambio, el método de potasio-argón sólo sirve para edades muy remotas. Se funda en la transformación siguiente, que tiene lugar en los feldespatos potásicos:



Es un caso de "captura electrónica"; el núcleo del átomo de potasio toma un electrón de su propia capa K. Período del potasio  $40 = 1.300.000$  años.

Con este método se ha datado la glaciación del Elster (Sajonia) en unos 350.000 años.

En la actualidad se están estudiando varios procedimientos nuevos para la datación. El mismo  $K^{40}$  proporciona otro método, porque algunos átomos se desintegran en otra forma que es la siguiente:



15. Intervalos en que son aplicables los diversos métodos:

- Carbono 14 ... .. De 1.000 a 50.000 años.
- Potasio-Argón ... .. Más de 100.000 años.
- Rubidio-Estroncio ... .. Más de 5.000.000 años.
- Uranio 238 ... .. Hasta mil millones años.
- Uranio-Plomo ... .. Más de 200.000.000 años.

## BIBLIOGRAFIA

- Radiocarbon Dating*. Willard F. Libby. The University of Chicago Press. Chicago, London, 1965.
- Radioactive Dating and Methods of Low-Level Counting*. International Atomic Energy Agency. Viena, 1967.
- La datación radiocarbónica*. Willard F. Libby. Revista "Endeavour". Enero 1954.
- Un reloj para medir el pasado*. W. F. Libby. Revista "Ibérica". Marzo 1967.
- Revista "Archivos, Bibliotecas y Museos"*. Varios artículos, 1959-1961.
- Revista "Ampurias"*. El radiocarbono en la datación. Fernando Calvet, 1952. Nueva cronología de Hanmurabi. L. Pericot, 1945.
- Revista "Universitas"*. Arqueología hoy. Kurt Bittel. Septiembre 1967.
- Revista de Enseñanza Media*. Detectores radioactivos. P. Escudero y L. Martín. Número 188. Experiencias sobre radioactividad. M. Pardo Casas y A. Pardo Martín. Número 306.
- Colección "Que sais-je"*. Presses Universitaires de France. Núm. 953: Les Manuscrits de la Mer Morte, 1966. Núm. 741: La radioactivité des roches, 1964. Núm. 729: Les rayons cosmiques, 1957.
- Prehistoria e Historia del Próximo Oriente*. E. Ripoll Perelló. Nueva colección Labor.
- Historia de la civilización del antiguo Egipto*. J. Pirenne. Versión de J. Maluquer, 1966.
- El Correo de la Unesco*. Octubre de 1967 y julio de 1968.
- Obras generales*. Introducción a la Física nuclear, David Halladay.—Chimie nucléaire et Radiochimie, G. Friedlander.—Principios de Geoquímica, Brian Masón.—La evolución de la litosfera, Henri Termier.
- El método del radiocarbono se cita en muchas obras de amena lectura como las siguientes:
- Dioses, tumbas y sabios*. C. W. Ceram, 1966.
- Y la Biblia tenía razón*. Werner Keller, 1966.
- El misterio de los Hititas*. C. W. Ceram, 1966.
- Las civilizaciones del Mar Muerto*. A. Champdor, 1962.

## MATEMATICA ELEMENTAL

para Auxiliares y Profesores no especialistas

Revista de «ENSEÑANZA MEDIA»

Atocha, 81, 2.º

MADRID (12)