

LAS APLICACIONES DE LOS TRAZADORES RADIO- ACTIVOS

— Por A. G. MODDOCK

La técnica de trazadores radioactivos incluye todos aquellos procedimientos que pueden llevarse a cabo con cantidades relativamente pequeñas de materiales radioactivos. Estos estudios pueden clasificarse en cinco grupos principales:

1.° Experimentos que utilizan la gran sensibilidad de los métodos de detección y determinación de sustancias radiactivas.

2.° Aplicaciones en que la radiactividad de los átomos trazadores posibilita la distinción de dos grupos de átomos idénticos químicamente.

3.° Experimentos en los que la cantidad de una sustancia se determina por la disminución de actividad específica, al mezclarlo con una forma radioactiva de la misma sustancia.

4.° Procedimientos para revelar la localización de las sustancias radiactivas, que dependen de las propiedades penetrantes de las radiaciones.

5.° La medida del tiempo por la desintegración de materiales radiactivos.

El primer grupo incluye todas aquellas aplicaciones que llevan consigo la determinación de concentraciones muy pequeñas de un elemento o diluciones muy grandes de material. La actividad registrada por el instrumento de medida empleado, en ausencia de muestra radiactiva, establece el límite inferior de la cantidad de cualquier sustancia radiactiva que puede medirse con garantía. Esta actividad se debe a vestigios de materiales radiactivos en los objetos próximos y las paredes del laboratorio y a la irradiación del instrumento por los rayos cósmicos. Si se utiliza un tubo Geiger-Müller para determinar la cantidad de emisor de partículas α , β o radiación γ , el valor de esta actividad residual, o "actividad de fondo", depende del tamaño del tubo.

Tubos Geiger-Müller del tipo de campana, contruídos cuidadosamente, con 4 cm.² de sección y 8 cm. de longitud, fabricados con materiales libres de contaminación radiactiva, presentan una actividad de fondo de unas 40 cuentas por minuto; sin embargo, esta cifra baja 10 cuentas/minuto si el tubo se rodea con 3 cm. de plomo. Este dispositivo de plomo se llama ordinariamente en inglés *castle*, o cas-

tillo; es mejor construirlo con plomo refinado por lo menos hace cincuenta años, con el fin de evitar la contaminación con el isótopo de plomo, radio D. Es difícil determinar diferencias de actividad de menos del 10 por 100 de la actividad de fondo, de forma que la sensibilidad de una medida radiactiva puede decirse que es igual al 10 por 100 de la actividad de fondo. Un contador de las características mencionadas tiene una sensibilidad de 1 cuenta/minuto; por esto, si se usa un milicurie de material radiactivo en un experimento, puede detectarse, en operaciones subsiguientes, 10^{-9} partes del material inicial, o medir una dilución de 10^7 con una exactitud del 1 por 100.

Las investigaciones de este grupo pueden subdividirse. Se puede usar el trazador para facilitar la determinación de cantidades muy pequeñas del elemento activado o de sus compuestos. En otro caso puede usarse para facilitar la medida de diluciones muy grandes. Además, un cierto número de elementos, por ejemplo francio y prometeo, se disponen sólo en forma de isótopos de vida relativamente corta, y las propiedades químicas de estos y otros elementos se han deducido del comportamiento de las pequeñas cantidades que pueden prepararse de dichos materiales. Tales estudios se llaman frecuentemente "Química de trazadores". Finalmente, va teniendo creciente aplicación un método de análisis sensible por la actividad de trazas de elementos por irradiación neutrónica.

El primer subgrupo comprende los numerosos estudios que se han hecho sobre la distribución y metabolismo de los elementos que intervienen en pequeña cantidad en el campo biológico. Investigaciones de este género se pueden hacer por los métodos convencionales de microanálisis, y la principal ventaja de los trazadores radiactivos reside en la velocidad enormemente mayor con que pueden hacerse las determinaciones. La primera de estas aplicaciones (1) la hicieron G. Hevesy y O. Chiewitz con P^{32} . Del enorme número de investigaciones posteriores pueden citarse las de absorción, retención, distribución y excreción de ratones y perros, tras inyección intravenosa, llevadas a cabo por I. L. Chaikoff (2) y colaboradores, con Zn^{65} . De una manera muy semejante se ha examinado la farmacología y toxicología de un cierto número de elementos y compuesto. El descubrimiento reciente de la presencia de cobalto en la vitamina B_{12} contra la anemia perniciosa hace suponer casi con certeza que el cobalto radiactivo se utilizará para investigar el modo de acción de dicha sustancia.

Entre las aplicaciones clásicas de este género se ha de hacer referencia a la determinación de la solubilidad del cromato de plomo por medio del isótopo de plomo torio B, llevada a cabo por F. A. Paneth y G. Hevesy (3). El descubrimiento de la radiactividad artificial extendió grandemente el horizonte de dichos estudios, y recientemente se ha aplicado la misma técnica al problema similar de la medida de la absorción (4). Algunas veces el uso de un trazador está justificado por la mayor rapidez de investigación que se alcanza, aun cuando el elemento o compuesto que se estudia está presente en concentración macroscópica ordinaria. Así, por ejemplo. J. W. T. Spink (5) ha usado In^{114} para determinar la partición de cloruro de indio entre varias soluciones acuosas y disolventes orgánicos.

Una antigua aplicación técnica que sirve de ejemplo al segundo subgrupo fué el uso de radón por F. A. Paneth (6) para estudiar la penetración en las máscaras de gas durante la primera guerra mundial. Un ejemplo más reciente es la aplicación de un isótopo radiactivo de estaño en el estudio de la transferencia metálica entre un cojinete y un eje rotatorio (7).

La determinación de propiedades químicas de elementos radiactivos naturales de vida corta y de otros que no tienen isótopos estables constituye otro subgrupo. Es, desde luego, el primer desarrollo en radioquímica, y pertenece más bien a radioquímica pura que aplicada. La característica peculiar revelada por estos estudios fué la posibilidad de deducir el comportamiento macroscópico a partir de experimentos hechos a diluciones extremas, que en algunos casos llegan a 10^{-18} M en ausencia de cantidades macroscópicas de portadores isotópicos. La individualidad del comportamiento químico de iones y compuestos a estas diluciones fué demostrada de una manera concluyente por F. Soddy (8).

Es conveniente distinguir dos clases de comportamiento. La primera puede investigarse directamente con cualquier cantidad material; estas propiedades comprenden la volatilidad, partición entre disolventes no miscibles, partición entre una solución y una resina cambiadora y algunas propiedades electroquímicas. La segunda clase comprende la coprecipitación del elemento, es decir, la separación del componente radiactivo submicroscópico de una disolución con precipitados de combinaciones de otros elementos añadidos como portadores. La relación entre estas reacciones de coprecipitación y las reacciones de precipitación macroscópica del elemento ha sido objeto de

estudio intenso desde el descubrimiento de la radiactividad. Las leyes que gobiernan estas relaciones están asociadas especialmente a los nombres de F. A. Paneth, K. Fajans y O. Hahn, pero todavía no se ha establecido la expresión cuantitativa o incluso una relación cualitativa enteramente aceptable.

Está claro que intervienen un cierto número de fenómenos diferentes. Por una parte, el componente radiactivo submicroscópico puede ser incorporado de una forma homogénea en el precipitado portador, como resultado de la formación de cristales mixtos o de iones compiejos. Por otra parte, el componente radiactivo puede ser absorbido por diversas fuerzas en la superficie del precipitado portador. La formación de cristales mixtos que sugiere el isomorfismo suministra ideas aceptables en cuanto a la relación química entre el precipitado portador y el compuesto del componente radiactivo que es arrastrado en la precipitación. Sin embargo, la significación de la coprecipitación por la absorción es menos clara. Se observa generalmente que la sal del componente submicroscópico correspondiente al precipitado portador es relativamente insoluble en el medio en que tiene lugar la precipitación.

Desgraciadamente, no es fácil determinar la naturaleza del proceso de coprecipitación. La incorporación homogénea es, generalmente, menos sensible a las condiciones de precipitación del portador que la coprecipitación por absorción. Cuando el portador se precipita incompletamente, la relación entre las fracciones de portador y trazador, que se separan, es marcadamente distinta en los dos procesos.

La validez de este método de investigación se determinó por vez primera en el caso del radio; la separación de cantidades macroscópicas de este elemento por los Curie posibilitó el hacer predicciones a partir de investigaciones con trazadores y compararlos con la determinación de sus propiedades químicas por métodos convencionales. Más recientemente, el resultado del estudio de las reacciones del plutonio con trazadores constituyó la base del primer proceso de separación de dicho elemento en escala industrial (9). Las condiciones de esta empresa hicieron necesario un extenso trabajo de diseño y planificación de las instalaciones de separación, antes de que pudieran realizarse pruebas macroscópicas sobre la validez o eficacia del proceso propuesto.

Un método muy sensible de análisis cuantitativo completa este grupo. La mayor parte de los elementos dan lugar a isótopos radiac-

tivos, al irradiarlos con neutrones lentos, y las propiedades radiactivas de estos núcleos son diferentes y características. La sección eficaz de activación de los elementos para la producción de estos isótopos, por captura de neutrones lentos, toma valores que se extienden en un intervalo de muchos órdenes de magnitud. Al irradiar una sustancia con neutrones lentos, la cantidad de distintos núclidos producidos depende de la cantidad de diferentes elementos contenidos en la sustancia, las secciones eficaces de activación de estos elementos y el tiempo de irradiación. La velocidad de producción de cada núclido es directamente proporcional al flujo neutrónico empleado, y el crecimiento de cada actividad sigue la relación corriente de las especies radiactivas formadas a velocidad constante, dependiendo, por tanto, de las constantes de desintegración.

El método de análisis consiste en comparar las actividades específicas debidas a un isótopo radiactivo del elemento de que se trata, que se generan por un mismo flujo neutrónico, en la sustancia que se analiza y en otra muestra de la sustancia contaminada con una cantidad conocida del citado elemento. Según la naturaleza de los otros componentes del material que se analiza, la determinación puede requerir o no una separación química. De esta manera se pueden determinar trazas de zinc, por comparación directa de las actividades producidas en la muestra problema y en otra que contienen una determinada cantidad de indio, al irradiarlas igual tiempo bajo un mismo flujo de neutrones térmicos. En este caso no es necesaria la separación química, porque la sección eficaz de activación del indio es mucho mayor que la del zinc, los períodos de semitransformación de los principales núclidos producidos son muy distintos, así como sus propiedades radiactivas; por esto es muy fácil distinguir las actividades debidas a los distintos núclidos. Una técnica semejante es aplicable a varias mezclas de elementos de las tierras escasas (10). Tal vez de las aplicaciones de más éxito de esta técnica fué el análisis de mezclas de hafnio y circonio por A. H. W. Aten (11).

En general, con sustancias más complicadas debe hacerse una separación química del elemento en cuestión. Sin embargo, se pueden evitar las dificultades que se presentan en el análisis ordinario, por la necesidad de la separación cuantitativa de la totalidad del elemento problema, que puede encontrarse en muy pequeña cantidad. Se puede añadir a cada muestra irradiada una cantidad conocida del elemento inactivo, que haga de portador. Después, se disuelven las dos mues-

tras, se alcanza el equilibrio isotópico, se separa el elemento o uno de sus componentes, se pesan y se comparan las actividades de las dos muestras. El rendimiento de la separación química se puede calcular de las cantidades de elemento inactivo añadido y recuperado. No es necesario que el rendimiento sea especialmente alto con tal que se conozca y se hagan las debidas correcciones. El objetivo principal de la separación es la eficacia en la eliminación de los otros elementos activos. La misma técnica se ha podido emplear en el análisis de mezclas de los metales del grupo del platino (12).

Toda la información recogida de experimentos, en el primer grupo, puede obtenerse por otros métodos, al menos en el principio. Las aplicaciones del segundo grupo se refieren a experimentos que precisan la distinción de grupos de átomos no diferenciables químicamente. En este caso, la única alternativa al uso de trazadores radiactivos es el empleo de isótopos inactivos separados o concentrados, procedimiento considerablemente más penoso ordinariamente. El descubrimiento de esta potencialidad de los trazadores radiactivos se debe a F. A. Paneth (13), que lo utilizó para determinar la extensión de la superficie de sales cristalinas y precipitados. Estos autores mostraron que, si se introduce una sal cristalina en una solución saturada de la misma sal conteniendo un isótopo radiactivo de uno de sus iones, los iones de la solución se intercambian con los de la superficie de la fase sólida, pero no con los del interior, hasta que se alcanza el equilibrio isotópico.

La aplicación del mismo principio al estudio de mecanismo de reacciones no se llevó a efecto hasta después del descubrimiento de la radiactividad artificial. Posiblemente, esto fué debido al interés limitado que presentaban las reacciones con elementos radiactivos naturales. Sin embargo, tan pronto como se pudo disponer de trazadores radiactivos artificiales, A. von Grosse y M. S. Agruss (14) demostraron que tenía lugar un rápido intercambio de átomos de bromo entre bromo elemental y bromuro. La extensión de este método a otras reacciones ha tenido lugar más lentamente, al menos en comparación con el rápido desarrollo de otras aplicaciones. Sin embargo, se han hecho un cierto número de interesantes estudios. Así, por ejemplo, se ha usado todo radiactivo para medir la velocidad de reacción entre I_2 y ácido arsenioso, en equilibrio con ácido arsénico y iones yoduro (15). Otra clase de reacción muy interesante y sencilla se ha puesto de manifiesto en algunos casos, como reacción lenta,

en el intercambio entre diferentes estados de valencia de un mismo elemento. Ejemplos de tales reacciones son el intercambio de iones ferrosos y férricos y taliosos, y tálicos en solución acuosa (16). Anteriormente se había visto que tenían lugar reacciones de transferencia electrónica de este tipo tan rápidamente que era imposible medir la velocidad, como, por ejemplo, en el caso de intercambio de ferrocianuros, pero parece ser que estas reacciones son particularmente sensibles a los agentes catalíticos y que, a veces, el intercambio es provocado por el procedimiento utilizado para separar los dos estados de valencia.

La investigación del mecanismo de reacciones orgánicas por medio del C^{11} es también un campo que se está desarrollando rápidamente y con provecho, sobre todo en relación con los procesos vitales. Así, el proceso de fotosíntesis se ha aclarado considerablemente por estudios recientes con trazadores (17).

Otra aplicación biológica comprende estudios del metabolismo de distintos elementos a partir de una de las muchas fuentes disponibles al efecto. De esta forma ha sido posible la investigación de la utilización de abonos fosfatados por plantas, tales como trigo, en las condiciones ordinarias del campo, donde la planta dispone de otras fuentes de fósforo (18).

En el tercer grupo, la medida de la actividad específica del elemento radiactivo, o de uno de sus componentes, hecha al comienzo y al final del experimento, determina la dilución por material inactivo que se ha producido durante el experimento. Procedimientos de este tipo han encontrado extensa aplicación en investigaciones médicas, e incluso en diagnosis clínica. Como ejemplo de investigación biológica de un método completamente general de determinación de un volumen inaccesible puede describirse la evaluación del volumen de líquido extracelular en un animal, mediante el radio-sodio de corta vida Na^{24} . Se inyecta al animal una cantidad conocida m de cloruro sódico de actividad específica s . Se aguarda a que se establezca el equilibrio con el cloruro sódico inactivo en el líquido extracelular, cuyo volumen se representa por v y cuya concentración en cloruro sódico es c , y se saca una muestra del líquido y se mide la actividad específica del cloruro contenido. Se hace la corrección de desintegración desde la primera determinación, y se tiene el valor S . Resulta

$$V = \frac{m}{c S_2} (S_2 + S_1)$$

De una manera semejante se puede emplear el hierro radiactivo para determinar el volumen de los glóbulos rojos de la sangre en el hombre. Se ha descrito también (21) una investigación más ingeniosa y menos corriente sobre las ventajas de diversas técnicas para conservar la sangre que se ha de utilizar en las transfusiones. El procedimiento depende de la posibilidad de determinación de dos isótopos radiactivos del hierro. El Fe^{55} por bombardeo de manganeso con protones. $\text{Mn}^{50} (p, n.) \text{Fe}^{55}$. Tiene un período de semidesintegración de unos cinco años y se desintegra por K. emitiendo rayos X del manganeso. El Fe^{59} se puede preparar, libre de Fe^{55} , por bombardeo de cobalto con neutrones rápidos $\text{Co}^{59} (n, p) \text{Fe}^{59}$. Tiene un período de cuarenta y siete días y se desintegra con emisión de partículas β^- y rayos γ . Se pueden construir contadores Geiger-Müller que responden casi exclusivamente a uno de estos isótopos. Así, un contador llenado de con argon y alcohol y una ventana gruesa de berilio es insensible a las radiaciones del Fe^{59} , pero responde fácilmente a los rayos X blandos del Fe^{55} . Por el contrario, un contador que contiene mezcla de helio y alcohol, y con una ventana muy delgada de mica, es insensible al Fe^{55} , pero responde a la radiación del Fe^{59} . Por medio de estos dos contadores se pueden determinar las actividades debidas a cada componente en una mezcla de Fe^{55} y Fe^{59} .

Primeramente se inyectó un sujeto con Fe^{59} en forma de solución de citrato ferriamónico. Después de algún tiempo, los eritrocitos de este sujeto se hacen activos por Fe^{59} . Se transfiere una pequeña infusión de estos eritrocitos a un sujeto, y después de aguardar cierto tiempo para que se establezca el equilibrio con los eritrocitos inactivos, se saca una muestra y se determina el cambio en actividad específica, de donde se puede calcular el volumen de eritrocitos en el segundo sujeto. Un tercer sujeto se inyectó con Fe^{55} en forma de solución de citrato ferriamónico. Se hicieron transfusiones de este último al segundo sujeto de sangre, células resuspendidas y muestras de sangre tratadas de diferentes maneras. Siguiendo el contenido en Fe^{55} y Fe^{59} de los eritrocitos del segundo sujeto, al variar el tiempo después de la transfusión, se determinó la sobrevivencia de las células de transfusión. De esta manera se demostró que la sangre en una so-

lución de ácido-tcitrato-dextrosa mantenía satisfactoriamente las propiedades de transfusión durante veintiún días de almacenamiento, y al final de este período el 70 por 100 de las células son viables.

Entre otras aplicaciones de este grupo destaca un importante método de análisis cuantitativo. El fundamento del método se puede deducir del siguiente ejemplo. Se añade una cantidad conocida m de cloruro sódico radiactivo de actividad específica S_1 , a la solución que contiene la cantidad desconocida de sal sódica. Se deja estar para que se mezclen y se alcance el equilibrio isotópico; luego se separa y purifica una muestra de cloruro sódico y se determina su actividad específica S_2 . Si se representa por M la cantidad de sodio, expresada en gramos de cloruro sódico en la solución problema será

$$M = \frac{m(S_1 - S_2)}{S_2}$$

La ventaja del método está en su independencia de la separación cuantitativa del sodio. Solamente se necesita separar una pequeña muestra de sustancia pura, pero no hace falta la separación cuantitativa. El método puede ser valioso en análisis industrial, posibilitando la eliminación de métodos costosos y largos. Se puede aplicar un procedimiento semejante a la determinación de volúmenes no accesibles, incluyendo, por ejemplo, el volumen de metal en un horno o el volumen de un oleoducto.

Una adaptación de este método facilita la determinación de mezclas de compuestos orgánicos, difícilmente separables, en el caso de que se puedan preparar muestras radiactivas de los compuestos y no tengan lugar reacciones de intercambio entre ellos. Se han hecho ya (22) experiencias explorativas sobre el análisis de mezclas de sulfuros orgánicos, sulfonas y mercaptanos. En algunos casos, la misma técnica es valiosa para la determinación de la cantidad de un elemento accesible a intercambio isotópico. Así, el sodio radiactivo, inyectado en forma de solución de cloruro sódico, se puede usar para determinar la cantidad de sodio que puede intercambiar con el líquido extracelular (23).

El cuarto grupo comprende una serie de experimentos más heterogénea. Se usan trazadores radiactivos para identificar y localizar animales en estudios ecológicos. Se ha utilizado estroncio radiactivo

para identificar mosquitos (24), y el cobalto radiactivo ha posibilitado los estudios económicos de gusanos y otras plagas del suelo en su localización natural (25).

Con los trazadores radiactivos ha sido posible también localizar sustancias *in situ* en los tejidos u órganos del sujeto. Tales experimentos comprenden estudios metabólicos y farmacológicos de elementos y compuestos. El metabolismo del yodo en la glándula tiroides se puede estudiar *in situ* usando I^{131} , y la circulación de la sangre se puede investigar, tras inyección de suero fisiológico que contiene Na^{24} , siguiendo el desplazamiento de la actividad del cuerpo. Ambos procesos pueden ser de valor diagnóstico, el primero en los trastornos del tiroides (26), y el último en la delimitación de las enfermedades vasculares periféricas (27).

La autorradiografía es un método más potente para revelar distribución del trazador radiactivo en estas investigaciones; la sección de muestra, que contiene el material radiactivo, se coloca en contacto con una placa fotográfica sensibilizada por un período que depende de la naturaleza y cantidad del material radiactivo contenido. Se revela la placa, y por la localización e intensidad de la acción fotográfica producida por el trazador radiactivo se determina su distribución y cantidad. La placa se compara, generalmente, con otra fotografía normal. Dicho procedimiento se ha aplicado directamente al estudio de la distribución de fósforo radiactivo en plantas, pero con frecuencia es de mayor valor para preparar autorradioscopio simultáneamente con las secciones normales; si la radiación emitida por el trazador no es demasiado penetrante (por ejemplo, emisores blandos, como C^{14} y S^{35}) y la actividad se concentra en algunas células particulares de los tejidos, la autorradiografía revela esta localización con una resolución mayor de 25 (28). Una aplicación del mismo principio a un campo distinto ha extendido nuestro conocimiento de la petrología del uranio y del torio. O. W. Richardson (29) ha sugerido una ingeniosa aplicación de la técnica autorradiográfica. Consiste en aplicar los fundamentos del microscopio electrónico a los electrones emitidos por la muestra, con lo cual debe obtenerse una autorradiografía muy ampliada. Aunque ingeniosamente ideado, el método es de aplicación limitada, puesto que el sistema de lentes electrónicas sólo se puede enfocar para electrones monoenergéticos, mientras que la sección emite, ordinariamente, un espectro continuo. Las aplicaciones biológicas

de la técnica autorradiográfica están restringidas por las fuertes actividades que se han de emplear para que la sección final produzca una autorradiografía satisfactoria en un tiempo de exposición razonable. En algunos casos, la actividad necesaria excede el límite permisible, sin peligro de producir en el sujeto efectos secundarios por radiación.

El número de aplicaciones secundarias en este grupo aumenta rápidamente. Apenas merecen nuestra atención procedimientos tales como el uso de trazadores para revelar la localización de atascamientos en tuberías y condiciones, si bien han demostrado ser de considerable valor comercial.

Finalmente, los materiales radiactivos, por su desintegración continua e inmutable, suministran un nuevo medio para la medida del tiempo. La gran amplitud de los períodos de semidesintegración de los núcléidos radiactivos permite la aplicación del método, en principio, a la medida de intervalos de tiempo desde segundos a millones de años. Sin embargo, de momento, el método se ha empleado solamente en la determinación de la edad de materiales y rocas muy antiguas.

El tiempo transcurrido desde la solidificación de una formación de rocas, o de un meteorito, se puede determinar por varios métodos. El primero supone que la roca sólida es impermeable al helio y que no ha sufrido metamorfosis química desde la solidificación. Se determina el contenido en helio, uranio y torio de la roca. Puesto que puede suponerse que todo el helio se ha formado por desintegración de los constituyentes radiactivos naturales, se puede calcular el tiempo requerido para generar dicho helio. Por otra parte, se puede determinar el peso atómico del plomo, o aún mejor, si se puede tener un espectograma de masas del plomo, para hacer la corrección del contenido en plomo natural es posible calcular la edad de la roca.

Finalmente, una determinación por espectrógrafo de masas de la relación $\text{Pb}^{206}/\text{Pb}^{207}$ en la roca o meteorito, posibilita el cálculo de su edad por la diferencia en las constantes de desintegración del U^{236} U^{235} .

La comprobación de que el C^{14} se genera con rayos cósmicos y que este carbono alcanza rápidamente el equilibrio isotópico con el carbono de plantas y animales, pero no con el de las rocas o materiales inanimados, condujo a W. F. Libby y otro (31) a comparar la actividad de muestras de dióxido de carbono preparado a partir de la

atmósfera, de las ropas de una momia egipcia y de petróleo natural. Los resultados demostraron que la desintegración del C^{14} generado naturalmente (período aproximado a seis mil años) suministra un buen método para la medida de la edad de los descubrimientos arqueológicos. Ello promete dar el primer método seguro de determinación de la edad de residuos de animales, material arqueológico, e incluso de formaciones geológicas muy recientes, como, por ejemplo, depósitos marinos.

La mayoría de estas aplicaciones de trazadores emplean solamente muy pequeñas cantidades de material radiactivo, ordinariamente menos de 10, en una experiencia individual. Existen otras muchas aplicaciones de las sustancias radiactivas que requieren actividades mucho mayores, pero no cabe en este artículo extendernos sobre ellas, ya que no se les puede llamar aplicaciones de trazadores. La mayoría hace uso de las propiedades penetrantes o los efectos biológicos de las radiaciones radiactivas. Entre las más importantes están la radiografía metalúrgica y médica, utilizando radio, cobalto radiactivo o iridio radiactivo, y las aplicaciones terapéuticas del fósforo y del yodo radiactivos.

La extensa variedad de los experimentos descritos indica la utilidad de esta potente, pero de ningún modo nueva, arma de la investigación científica. Seguramente, la nota más significativa no es el número de experimentos llevados a cabo en los últimos años, sino el número de campos de investigación, rápidamente creciente, invadidos por esta técnica de trazadores. (per "Mont. Farm. Therap.", n. 1495.)

Referencia J.A.D.A. VOL 43, DECEMBER 1951
PAG. 763

Incidencia relativa de la caries en los molares superiores e inferiores de las ratas albinas (Rattus-norvegicus) (Keller, R. F., Jr.; Hunt, H. R., y Hoppert, C. A.: "Journal of Dental Research", 30, 3, p. 382, 1951).

La herencia es un factor importante en la caries dental de las ratas. Hunt y Hoppert han desarrollado dos clases de ratas completamente distintas, una de las cuales es extremadamente susceptible a la caries dental en los molares inferiores, y la otra, muy resistente a la afección. Las investigaciones llevadas a cabo muestran que en los molares superiores, tanto de las ratas resistentes como de las susceptibles, la incidencia de la caries es menor que la que existe en los molares inferiores de los mismos animales.