

CNEA 351

Obtención de Soluciones de Pertecneciato (Tc-99m) de Alta Concentración de Actividad

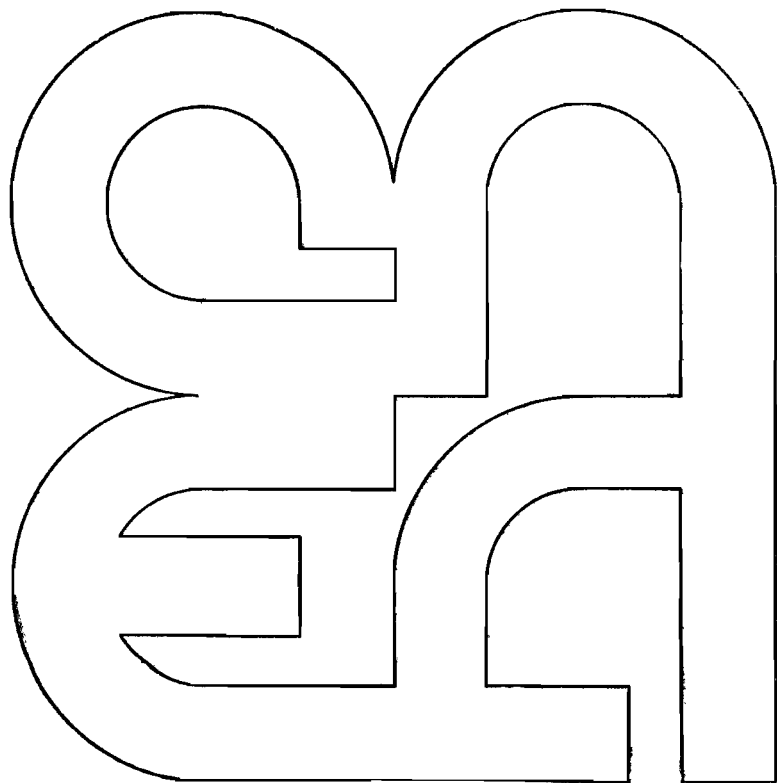
Alfredo Karpeles

Mario Rivero

Comisión
Nacional
de Energía
Atómica

República Argentina

Buenos Aires, 1973



INIS CLASSIFICATION AND KEYWORDS

B13

**SOLVENT EXTRACTION
CARRIER-FREE ISOTOPES
TECHNETIUM 99
MOLYBDENUM OXIDES
ION EXCHANGE
IMPURITIES
ISOMERIC NUCLEI**

**OBTENCION DE SOLUCIONES DE PERTECNECIATO (Tc-99m)
DE ALTA CONCENTRACION DE ACTIVIDAD**

Alfredo Karpeles* y Mario Rivero*

RESUMEN

Se describe un método de extracción por solventes que permite obtener soluciones de Tc-99m con elevada concentración de actividad.

El proceso consiste en la irradiación de óxido de molibdeno, su disolución en hidróxido de sodio y la extracción periódica del tecnecio que se genera. La fase orgánica que lo contiene se separa y purifica por intercambio iónico. El solvente, metiletilcetona, se elimina por evaporación a presión reducida y finalmente el residuo se toma en solución isotónica de cloruro de sodio.

El rendimiento total del proceso supera el 90 % y permite obtener soluciones con concentración de actividad de varias decenas de milicurios de Tc-99m por mililitro. La concentración de metiletilcetona en la solución final es inferior al 1 %.

La pureza radionuclídica es mayor del 99 % de Tc-99m, hallándose éste en un 99 % en forma de pertecneciato.

SUMMARY

Obtention of pertechnetate solutions (Tc-99m) with high activity concentration

The description of a solvent extraction procedure for carrier free Tc-99m solutions with high activity concentration is given.

* CNEA, Departamento de Radioisótopos.

Irradiated molybdenum oxide is dissolved in sodium hydroxide solution; the technetium, product of molybdenum decay, can periodically be extracted with methylethylketone. The organic phase is then purified by ion exchange. The solvent is evaporated under reduced pressure and the residue is taken up in isotonic saline solution.

The complete process yield is over 90 % and the activity of the final solution has a concentration that depends on the volume of saline used. It is possible to obtain solutions with some tens of millicurie Tc-99m per millilitre.

The methylethylketone concentrations in the final solution is below 1 %, the pertechnetate content is over 99 % and the radionuclidic purity is higher than 99 % Tc-99m.

INTRODUCCION

El elemento tecnecio no se encuentra en la corteza terrestre como componente natural; es un elemento artificial, producto de la tecnología nuclear y de allí deriva su nombre ("Technetos": del griego, artificial).

Fue predicho por Mendelejeev como "eka-manganeso" y confirmada fehacientemente su existencia en 1937 por Perrier y Segré (1).

En 1956, en la "Conferencia sobre Usos Pacíficos de la Energía Atómica", en Ginebra, Guerlit (2) presenta las primeras experiencias de extracción para la separación de tecnecio y cita entre sus ensayos la extracción selectiva con metiletilcetona. Este solvente presenta la propiedad de extraer con alta eficiencia el tecnecio heptavalente de soluciones ácidas y/o alcalinas.

Una recopilación exhaustiva de las propiedades físico-químicas y nucleares del tecnecio fue publicada en 1964 por Schwochau (3).

Actualmente se conocen 16 isótopos de tecnecio, cuyo período de desintegración varía entre segundos y millones de años. El isómero Tc-99m es el más difundido pues su corto período de semidesintegración (6 horas) y la ausencia de radiaciones corpusculares (Figura 1) favorecen su aplicación en medicina nuclear.

En la literatura médica se han descrito varios compuestos o complejos de Tc-99m que tienen actualmente muchísimas aplicaciones en el radiodiagnóstico, por ejemplo: en centellografía de cerebro, hígado, pulmones, en estudios funcionales y dinámicos.

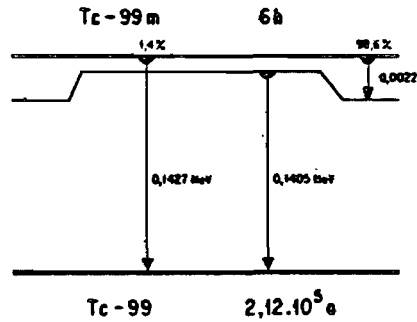


Figura 1
Esquema de desintegración del Tc-99m

Generalmente, este isótopo se obtiene por elución de generadores de radioisótopos cargados con Mo-99. En pequeños reactores, cuya potencia es menor al megawatt, resulta prácticamente imposible la producción de Mo-99 con suficiente actividad específica como para cargar columnas de intercambio iónico o generadores de Tc-99m, aunque se irradie un blanco enriquecido.

Existe una alternativa, consistente en la separación de molibdeno libre de portador, de productos de fisión. Este método es más dificultoso y no asegura igual pureza; además, requiere equipos muy complejos (4).

Allen (5) propone eluir generadores convencionales con soluciones de metiletilcetona-ácido clorhídrico para obtener soluciones de Tc-99m de alta concentración de actividad. En 1968, Richards (6) sugiere la aplicación del método de Guerlit para la obtención de Tc-99m. En una publicación posterior describe detalladamente las experiencias del Brookhaven National Laboratory (7), recomendando la aplicación del método de extracción para centros nucleares con reactores de baja potencia. Basados en el método de Richards, varios centros productores de radioisótopos han ensayado su aplicación con éxito (8).

En el presente informe se describe la adaptación de este método y las mejoras introducidas que permitieron obtener actividades de tecnecio del orden de las decenas de milicurios por mililitro.

Producción de Mo-99

El Mo-99 puede obtenerse por irradiación de molibdeno con neutrones. El isótopo Mo-98, abundancia natural 23,78 %, captura un neutrón y se transforma en Mo-99; este radioisótopo (9) decae emitiendo partículas β^- transformándose en Tc-99m (87 %) y Tc-99 (13 %).

La sección eficaz de captura correspondiente a la reacción nuclear



es de 0,51 barn (9) para neutrones térmicos.

Las secciones eficaces son función de la energía de las partículas incidentes y dado que la función de excitación de la reacción mencionada presenta resonancias (10), se hicieron ensayos previos para determinar la posición de irradiación más adecuada, es decir, aquella en la cual el rendimiento de formación de Mo-99 es máximo.

Para esta determinación se activaron muestras de MoO₃ (Carlo Erba, RP) en las distintas posiciones de irradiación del reactor RA-3.

Obtenida la posición de mayor rendimiento se calculó el "factor de producción" (11), factor* que luego nos permitirá predecir rendimientos de irradiación para este reactor.

Las actividades más altas que se obtuvieron fueron 0,91 mCi Mo-99 por gramo de óxido de molibdeno, irradiado durante 1 hora y 88,5 mCi Mo-99/g MoO₃, para una irradiación continua de cinco períodos de Mo-99 (14 días). Los datos mencionados corresponden a una potencia de 1 megawatt, siendo el flujo de neutrones térmicos $1,22 \cdot 10^{13} \text{n/cm}^2 \text{seg}$ y la relación de cadmio 2,5 (12).

Dado que se irradia con un flujo mixto las reacciones (n,p) y (n, α) son energéticamente posibles. Sin embargo, estudiando los espectros gamma de las muestras irradiadas sólo se han observado en ellos los picos correspondientes al Mo-Tc-99m.

Separación del Tc-99m

En los generadores clásicos se separa al tecnecio por elución selectiva de la columna cargada con Mo-99. Este procedimiento, si bien es simple y rápido, presenta ciertos inconvenientes: 1º) La cantidad de molibdeno que se puede cargar en la columna es limitada; 2º) El volumen del eluyente, generalmente solución de ClNa 9‰, suele ser grande y en consecuencia la concentración de actividad es baja; 3º) La pureza del producto varía, empeorando marcadamente con el tiempo y con el volumen que percoló a través de la columna.

* Llamamos factor de producción ($\phi\sigma$) a la actividad obtenida de un determinado radioisótopo, irradiado a saturación, por unidad de masa del blanco irradiado, en una determinada posición de un reactor y a una potencia determinada.

Guerlit (3) había estudiado la separación por extracción con solventes oxigenados y con aminas. Determinó diversos parámetros y comparó los comportamientos del Mo y Tc en sus estados superiores de oxidación. Observó que el tecnecio es extraído como pertecneciato, forma química que favorece posteriores procesos de purificación por intercambio iónico. Una elevada concentración de cationes en la solución determina la salinización del pertecneciato y favorece la extracción selectiva. En consecuencia, propone para la separación Mo/Tc la extracción con cetonas a partir de soluciones alcalinas de molibdato. El coeficiente de extracción para el ión TcO_4^- más alto se obtiene con el sistema metiletilcetona (MEC)-solución de hidróxido de sodio 5M. El coeficiente para el anión molibdato, en esas condiciones, es 200 veces menor.

Richards (7) determinó la variación de la eficiencia de extracción en función del pH y observó que la misma es superior al 99% cuando la concentración de NaOH es mayor a 3N. En la figura 2 se reproducen los datos obtenidos por este autor. Se observa en este gráfico que al aumentar la normalidad de la fase acuosa disminuye el porcentaje de molibdeno extraído.

Similares resultados obtuvieron Belkas y Perricos (8), quienes además determinaron que la extracción de tecnecio era independiente de la cantidad de molibdeno presente en la fase acuosa (entre 0,13 y 1,3 gMo/ml).

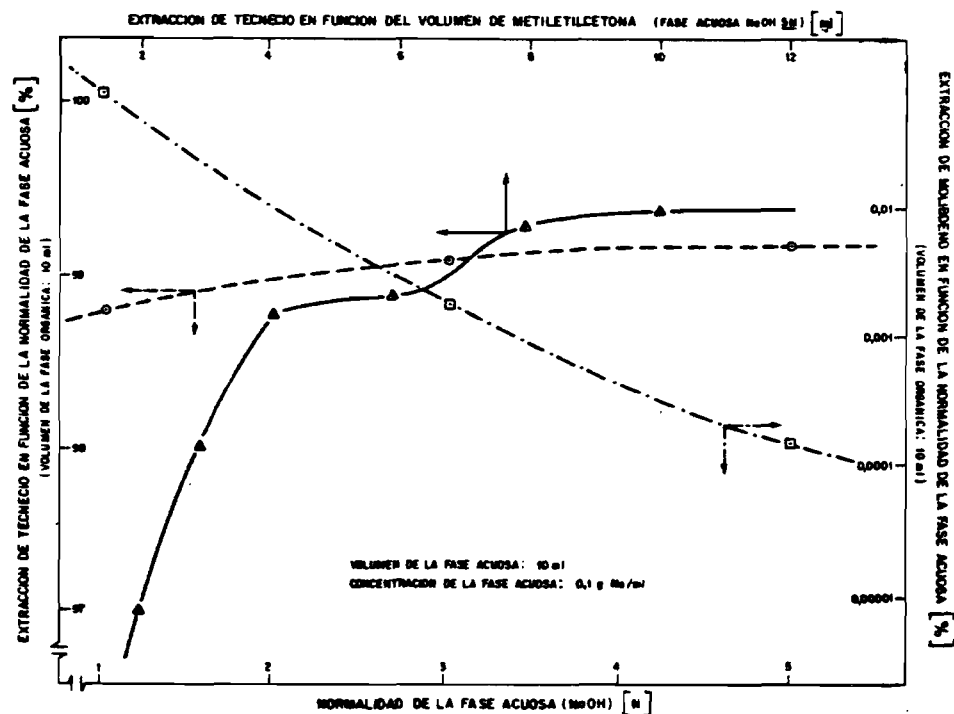


Figura 2
Influencia de la concentración de NaOH y del volumen del solvente en la extracción de molibdeno y tecnecio (7)

PARTE EXPERIMENTAL

Preparación de soluciones de pettecneciato Tc-99m

Para la producción rutinaria se irradian 10 gramos de MoO_3 , envasados en cápsulas de aluminio. Estas se cierran por soldadura fría y finalmente se comprueba su estanqueidad con nitrógeno líquido.

Las irradiaciones duran hasta 14 días, la potencia normal del reactor es de 4 MW y el flujo de neutrones térmicos es del orden de $10^{13}\text{n/cm}^2\text{seg}$.

Doce horas después del fin de irradiación se procede, en un recinto estanco y blindado con paredes de 10 cm de plomo, a la apertura de las cápsulas.

El óxido de molibdeno que es un fino polvo amarillo, durante la irradiación se ennegrece y apelmaza, en parte se adhiere a las paredes de la cápsula y se desprende con dificultad.

El material irradiado se transfiere a un recipiente de plástico y éste se coloca en un blindaje de plomo adecuado para el transporte del óxido irradiado hasta el lugar del procesamiento.

Se ha diseñado e instalado un equipo que permite efectuar el proceso de extracción en una campana de laboratorio convenientemente ventilada y blindada.

El equipo está blindado en todas direcciones con 5 cm de plomo y sobre el frente tiene dos visores de vidrio de plomo de alta densidad. El recipiente que aloja la solución alcalina de Mo-99 tiene un blindaje de plomo adicional, de 0,3 cm de espesor.

Las operaciones de transferencia de líquidos se realizan por presión y/o vacío. Las válvulas tienen los vástagos prolongados de manera que puedan ser operados desde el exterior.

En estas condiciones, la exposición del operador cuando se trabaja con 100 mCi de Mo-99 es menor a los 50 mrem por operación y las dosis en las manos permanece por debajo de los límites permitidos.

El óxido irradiado se vuelca entonces en un recipiente de vidrio, colocado sobre un agitador magnético y se le agregan 50 ml de NaOH 6M. Se agita durante 10 minutos, lográndose una completa disolución.

Luego se agregan unas gotas de naranja de metilo y una gota de peróxido de hidrógeno y se agita un minuto más. El agregado de un oxidante mejora considerablemente el rendimiento de extracción y el colorante ayuda a visualizar la interfase.

Para efectuar una extracción de tecnecio se utilizan 40 ml de MEC y se agita unos 5 minutos.

Luego se deja decantar hasta que las fases se separen totalmente (3 minutos), quedando las fases lípidas y la interfase bien definida. Es conveniente usar MEC recientemente destilado, con un estacionamiento menor de 48 horas; debe guardarse en frasco acaramelado o en la oscuridad para evitar la polimerización y/o descomposición.

El 80% de la fase orgánica se trasvasa entonces a otro recipiente (montajugos). La operación se hace succionando con un tubo que se introduce desde arriba y cuya punta queda unos milímetros sobre la interfase, para tener la seguridad de no arrastrar la fase acuosa.

Se agregan nuevamente 40 ml de MEC y se repite el proceso de extracción, lográndose extraer de esta manera más del 90 % del tecnecio; ambas fracciones de MEC se acumulan en el montajugos.

La solución de tecnecio en MEC puede contener agua, por arrastre o por disolución, y en consecuencia restos de molibdeno u otros contaminantes, por lo tanto se procede a una purificación. Se utiliza para ello el intercambio iónico en columna de alúmina; esta columna retiene los molibdatos y absorbe el colorante (naranja de metilo).

Se usa una columna de 2,5 cm de diámetro por 2,5 cm de altura, montada sobre una placa de vidrio poroso y preparada en forma convencional (4).

Se dejan percolar los 80 ml de MEC que contienen el Tc-99m por la columna, y finalmente se la lava con tres fracciones de 5 ml de MEC. La retención de tecnecio en la alúmina es variable, pero no supera el 10 %. Las variaciones se deben al envejecimiento de la alúmina, al volumen del solvente que pasó por ella previamente, y a la preparación y conservación de la misma.

La columna se considera agotada cuando el frente de naranja de metilo llega a la mitad del relleno. La vida útil de una columna de estas dimensiones es de dos o tres procesos. Estudiando los espectros gamma de las soluciones cetónicas purificadas mediante un detector Ge/Li no se observó en ellos picos de Mo-99 ni de otros radiocontaminantes.

Evaporación del solvente

Se hicieron varios ensayos para encontrar el método más adecuado para eliminar la cetona pues las soluciones de Tc-99m para uso médico no deben contener MEC. Se hicieron algunas experiencias de evaporación en aparatos de destilación estáticos y en evaporadores rotatorios. Con estos últimos no se observaron ventajas, pues si bien el tiempo empleado disminuye a la mitad, debe utilizarse un voluminoso equipo auxiliar. Se ha observado que un leve sobrecalentamiento provoca la descomposición y/o polimerización de la cetona, quedando un residuo oleoso de alto punto de ebullición. Se recurrió entonces a la destilación a presión reducida, y tras algunos ensayos se fijó la temperatura de evaporación en 50°C, evitándose así la formación de compuestos indeseables (Figura 3).

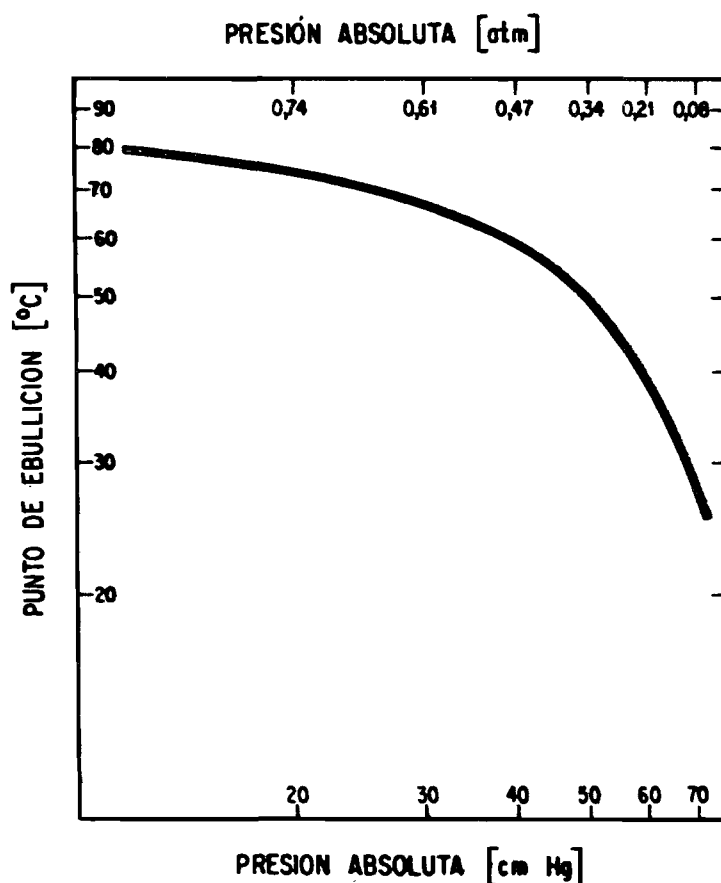


Figura 3
Variación del punto de ebullición de la metiletilcetona (MEC) en función de la presión absoluta

A través de una pipeta que llega al fondo del recipiente de destilación y que luego sirve para trasvasar la solución de Tc-99m, se deja entrar una pequeña corriente de aire que agita la solución y favorece el comienzo de la destilación. Esta se inicia con una presión absoluta de aproximadamente 0,5 atm que luego se disminuye.

La calefacción se obtiene con un epirradiator de 500 W. Este se desconecta al promediar la destilación.

Los vapores se hacen pasar por un refrigerante tipo VIGRAUX, de gran superficie de contacto, se condensan y colectan en un recipiente adecuado.

En estas condiciones de operación, el MEC residual es menor al 1 % y la pérdida de tecnecio es despreciable. La evaporación de 100 ml de MEC dura unos veinte minutos.

Solución isotónica de Tc-99m

El residuo de Tc-99m que queda de la evaporación se toma en solución de ClNa 9‰. Para ello se agregan unos mililitros de solución fisiológica al balón y luego se agita unos minutos con aire filtrado.

El tecnecio pasa a la solución en forma de pertecneciato, siendo el pH de la misma aproximadamente 6.

La solución se transfiere entonces a una bureta de fraccionamiento desde la cual se dispensa el producto según las necesidades.

El producto final se envasa en frascos de penicilina y se esteriliza por vapor húmedo. La solución de pertecneciato de sodio, libre de portador, tiene las siguientes características: incolora, inodora, neutra, isotónica y estéril; el contenido de MEC es menor al 1 % y la pureza radiactiva es mayor al 99 %; el tecnecio se halla en forma de pertecneciato y la concentración de actividad es de decenas de mCi de Tc-99m por mililitro (según la actividad de MoO₃, procesada y el volumen de solución fisiológica utilizado). La solución de pertecneciato así preparada puede ser aplicada directamente o usada para marcar distintos compuestos.

CONTROLES

Una fracción de cada proceso de extracción se utiliza para los siguientes ensayos: calibración, determinación del pH, pureza radiactiva y radioquímica; dosaje de MEC y controles farmacéuticos.

a) Calibración

La determinación rutinaria de la actividad de las fracciones envasadas se hace midiendo los frascos normalizados en una cámara de ionización de pozo, calibrada especialmente para Tc-99m y cuyo error es $\pm 15\%$ (marca Nuclear, modelo TCS 100/1000 # 026, de lectura análogica o cámara marca Nuclear Chicago, Inc., modelo Mediac Dose Calibrator, con indicación digital automática).

Periódicamente se verifica la estabilidad de los instrumentos con un patrón de Co-57, radioisótopo cuya energía de radiación gamma es similar a la del Tc-99m.

b) Determinación del pH

El pH de la solución fisiológica se determina antes y después de tomar el tecnecio y oscila entre 5,5 y 6,5. Un aumento indicaría que parte de la solución alcalina de molibdeno llegó accidentalmente al balón de evaporación. En consecuencia, no solo debe corregirse el pH, sino verificarse detenidamente la pureza del producto.

c) Pureza radiactiva

El límite máximo de Mo-99 que puede contener una solución de Tc-99m que se aplicará en humanos se ha fijado en $1\mu\text{Ci}$ de Mo-99 por cada milicurio de Tc-99m (13).

Existen distintas maneras de efectuar este control, por ejemplo: con un espectrómetro mono o multicanal y detectores de INa o Ge/Li se determina el espectro gamma de la muestra. Si el producto no es puro se observarían en el espectro otros picos además del correspondiente al fotopico del Tc-99m ($E_{\gamma} = 140 \text{ keV}$).

Cuando se dispone de una cámara de ionización de pozo, un rápido control de pureza (13) puede realizarse de la siguiente manera: primero se mide la muestra normalmente y luego se la coloca dentro de un blindaje de plomo de 0,4 cm de espesor y se la vuelve a medir. La primera lectura corresponde prácticamente a la actividad total de Tc-99m. En la segunda lectura la intensidad de la radiación de 140 keV estará atenuada 10 mil veces, la radiación beta del Mo-99 es totalmente absorbida, mientras que la radiación gamma del Mo-99 ($E_{\gamma} = 740$ y 780 keV) es atenuada sólo un 50 %. En esas condiciones el doble de la segunda lectura (descontando fondo)

leída en la escala de Tc-99m da directamente la actividad de Mo-99. Este resultado se ha obtenido con cámaras "Mediac Dose Calibrator" o cámaras de pozo similares, y con ellas se ha confeccionado un gráfico auxiliar (Figura 4).

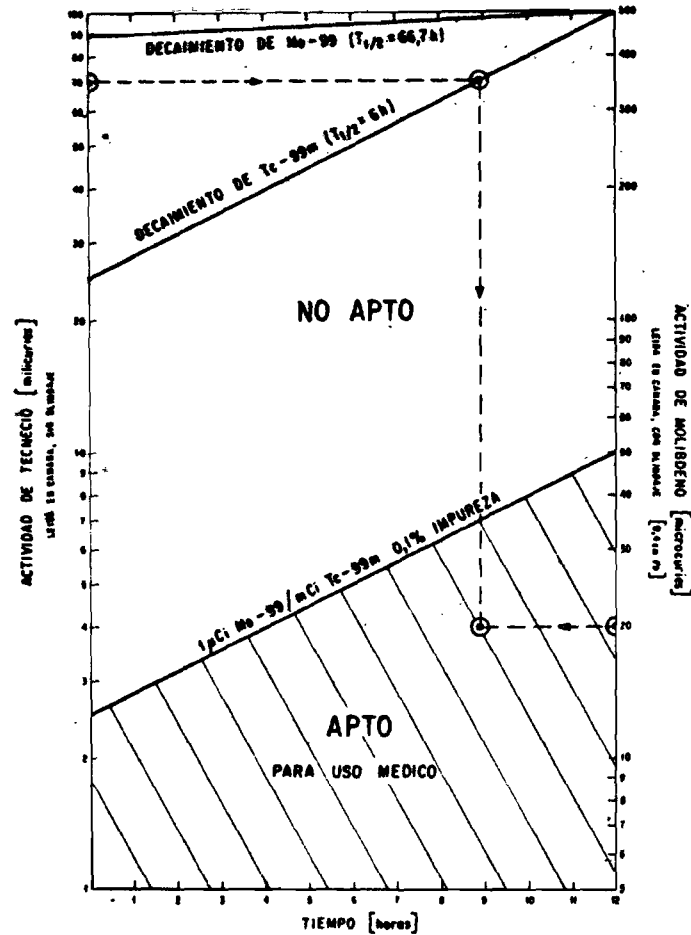


Figura 4

Determinación de la pureza de soluciones de Tc-99m utilizando una cámara de ionización de pozo. Aplicación del gráfico: a) la solución de tecnecio se mide normalmente en la cámara; b) se vuelve a medir la misma solución en un blindaje de plomo (espesor 0,4 cm) leyendo en la escala correspondiente al Tc-99m; c) con el valor obtenido en la primera determinación se traza sobre el gráfico una horizontal desde la escala TECNECIO hasta la recta DECAIMIENTO; por este punto de corte se traza una vertical; d) con el valor obtenido midiendo bajo plomo, se traza una horizontal desde la escala MOLIBDENO hasta cortar la vertical; e) si el punto de corte se halla en la zona grisada, es decir debajo de la curva de 0,1 % IMPUREZA, el producto puede considerarse apto para su inyección.

Vesely y Cifka (14) describen un control similar, por diferencias de absorción, utilizando un detector Geiger-Müller y absorbedores de aluminio.

Estas determinaciones, si bien son simples y rápidas, no identifican al eventual radiocontaminante; para ello es imprescindible analizar un espectro gamma de una alícuota.

La determinación del período de semidesintegración del producto confirmaría su pureza, pero es un ensayo demasiado largo para el control rutinario. El período del producto obtenido en algunos ensayos a lo largo de 10 períodos fue de $6,0 \pm 0,3$ horas.

d) Dosaje de Metiletilcetona

La metiletilcetona (MEC) es un solvente muy volátil (presión de vapor 78 mm Hg a 20°C); de bajo punto de ebullición (80°C). Es un narcótico fuerte, pero de baja toxicidad.

La determinación de MEC se hace aplicando la reacción de iodoformo, método genérico para el dosaje de cetonas (15).

Con soluciones de concentración conocida de MEC se determina una curva de calibración que permite obtener directamente el porcentaje de cetona en las soluciones de Tc-99m, en función del volumen de tiosulfato gastado para titular el exceso de iodo. Se ha observado que el residuo de MEC en la solución final es inferior al 1 %.

No se han observado efectos tóxicos inyectando en animales de laboratorio soluciones que contenían 2 % de MEC, pero como prevención se ha convenido en descartar las soluciones cuyo contenido fuera mayor al 1 %.

Ensayos efectuados por el Grupo de Controles Farmacéuticos (16), comprobaron la no toxicidad de las soluciones de Tc-99m obtenidas por el método aquí descrito.

e) Pureza radioquímica

Los estados de valencia más estables del tecnecio son el IV y el VII; el tecnecio tetravalente solo existe como TcO_4 , insoluble, el heptavalente se presenta como anión pertechnetato TcO_4^- .

El porcentaje de pertechnetato en solución se determina por cromatografía ascendente sobre papel Whatman N° 1, usando agua como solvente. El Rf del ión TcO_4^- es 0,9-1, siendo nulo para la fracción reducida; el Rf del anión MoO_4^{2-} es de 0,3.

La tira puede medirse en forma convencional o por autoradiografía. Si se la corta en porciones que se miden individualmente en un multicanal, puede simultáneamente realizarse el control de pureza radiactiva. En el proceso antes descrito se obtienen soluciones de Tc-99m con un contenido de pertechnetato mayor al 99 %.

f) Controles farmacéuticos

Estos ensayos los realiza el Laboratorio de Controles Farmacéuticos (toxicidad, esterilidad y piretógenos) (16, 17).

De cada partida se envía un frasco con solución de Tc-99m, autoclavado, al mencionado Laboratorio, En los 500 primeros despachos no se han observado deficiencias (16).

CONCLUSIONES

Un generador cargado con 100 mCi de Mo-99, que se eluye regularmente una vez al día, durante diez días permite obtener teóricamente unos 500 mCi de Tc-99m (Figura 5). Teniendo en cuenta las pérdidas por días no laborables y el rendimiento de elución de las columnas (~75 %), se concluye que efectivamente se aprovechan sólo 300 mCi de tecnecio.

Esta cifra debe tenerse en cuenta para computar el costo de unidad de actividad de Tc-99m obtenida de un generador. En consecuencia, la posibilidad de obtener soluciones de Tc-99m de un productor centralizado tiene respecto de los generadores convencionales las siguientes ventajas:

- a) La concentración de actividad de las soluciones es muy superior a la de las eluciones de columnas (por el método de extracción descrito se obtienen varias decenas de mCi de Tc-99m por mililitro);
- b) El usuario recibe un preparado controlado y calibrado, apto para su aplicación inmediata, y
- c) Resulta más económico para el usuario irregular o para los centros de diagnóstico que ocasionalmente aplican isótopos.

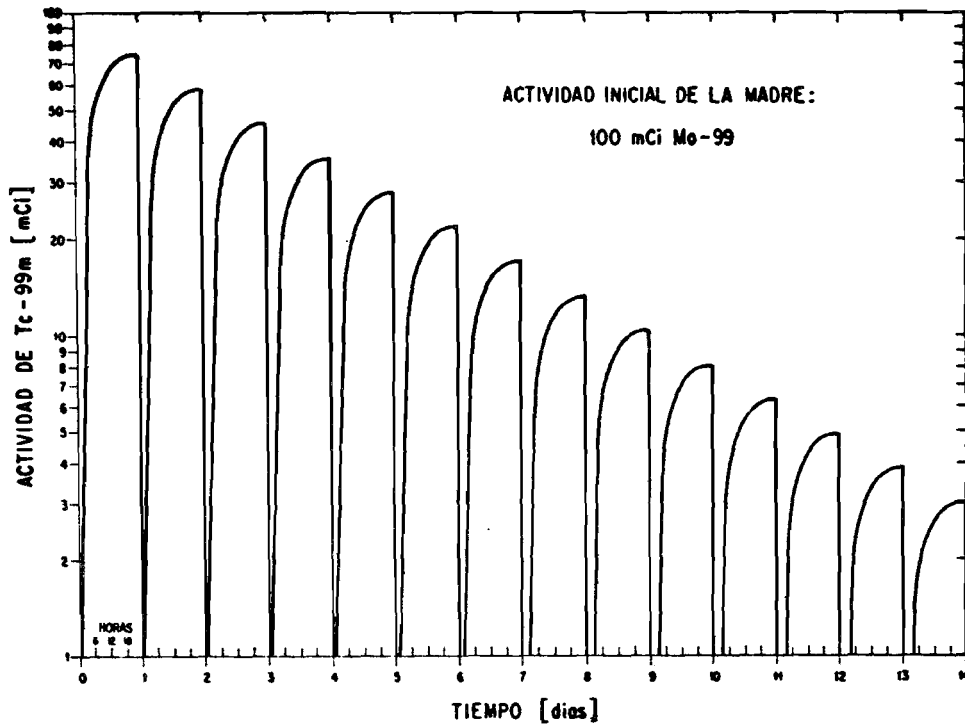


Figura 5

Curvas de regeneración de Tc-99m para una separación total cada 24 horas. (En equilibrio la actividad de la hija es 1,1 veces mayor a la de la madre; el Mo-99 decae al isómero metaestable del tecnecio en un 87 % y a Tc-99 en un 13 %).

APENDICE

Dosimetría

Las soluciones de Tc-99m se envasan habitualmente en frascos tipo penicilina y se despachan en blindajes de plomo de 0,5 cm de espesor. Cuando contienen 100 mCi la exposición en la superficie exterior del blindaje es menor que 1 mR/h (el semiespesor para la radiación gamma de 140 keV es en plomo de 0,03 cm).

La exposición de un frasco sin blindaje, medida en función de la distancia se ha representado en la Figura 6 y en la Figura 7 para una jeringa plástica, tipo descartable, ambos conteniendo Tc-99m en solución fisiológica de ClNa.

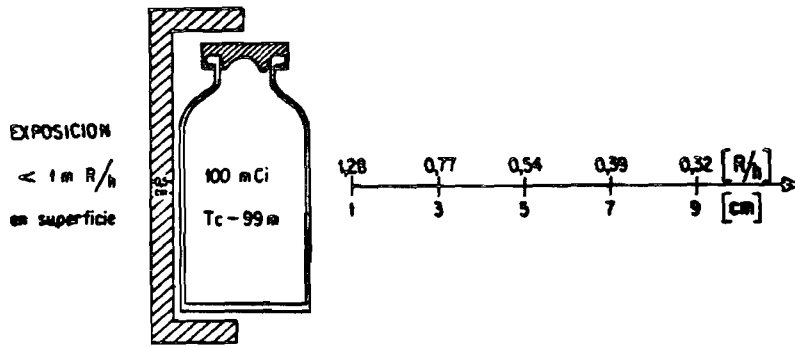


Figura 6

Determinación experimental de la exposición, en función de la distancia, para una solución de Tc-99m (10 mililitros), contenida en un frasco tipo penicilina, con y sin blindaje de plomo. (Distancias medidas respecto de la ventana del detector; distancia ventana-centro de cámara 6,5 cm)

Los valores medidos concuerdan parcialmente con los publicados por Grebe (18) para casos similares; las divergencias pueden atribuirse a diferencias de volumen de solución y composición de los recipientes.

Prácticamente se observó que la autoabsorción en la solución y la absorción en las paredes de los recipientes es considerable. Las exposiciones medidas son menores a las que se obtienen por cálculo, utilizando la constante específica de exposición gamma $\Gamma_{\varphi} = 0,7$ R/h para un milicurio de Tc-99m, a un centímetro de la fuente puntual (19).

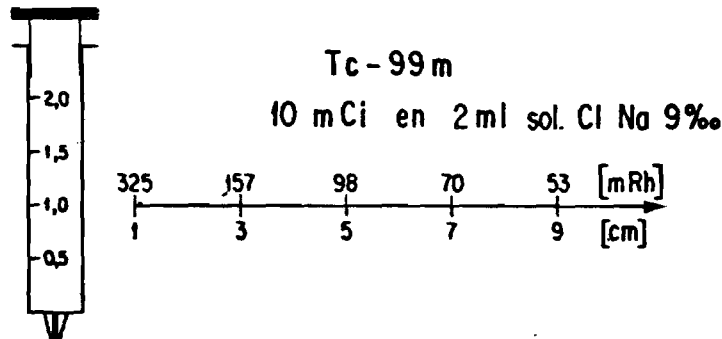


Figura 7

Determinación experimental de la exposición; en función de la distancia a la ventana del detector, para una solución de Tc-99m, contenida en una jeringa plástica del tipo descartable. (Distancia ventana-centro de cámara 6,5 cm)

Si bien las mediciones se han efectuado con cámaras de ionización calibradas y compensadas, el volumen de las mismas era grande respecto al tamaño de la muestra y dada la pequeña distancia fuente-detector éste no se hallaba en un campo homogéneo de radiación; en consecuencia los valores medidos presentan un error por defecto y además no se cumple la ley de la inversa del cuadrado de las distancias, dentro del pequeño rango de medición estudiado.

BIBLIOGRAFIA

1. C. PERRIER y E. SEGRE: *Nature*, 140, 193 (1937).
2. J.B. GUERLIT: *Proc. Int. Conf. Peaceful Uses Atomic Energy* (Ginebra, 1955); Naciones Unidas, 1956, Vol. 7, Sección 9, edición española, páginas 161 y sig.
3. K. SCHWOCHAU: *Angewandte Chemie*, 76, 9 (1964).
4. A. KARPELES y M.C. PALCOS: *Informe CNEA-267* (1970).
5. J.F. ALLEN: *Int. J. Appl. Rad. Isot.*, 16, 332-4 (1965).
6. P. RICHARDS: *TID-25372* (1969).
7. P. RICHARDS: *BLN-13564* (1969).
8. E.P. BELKAS y D.C. PERRICOS: *Radiochimica Acta*, 11, 56-7 (1969).
9. C.M. LEDERER y otros: *Table of Isotopes*, 6ta. edición, (1967); J. Wiley and Sons, Inc., New York.
10. S.V. KAPCHIGASHEV y Y.P. POPOV: *Soviet J. Atomic Energy*, 15, 808 (1964).
11. A. KARPELES: *Informe interno CNEA-EN-13/25* (1969).
12. L.C. PORTO y otros: *Informe interno CNEA-RE-57* (1972).
13. P. RICHARDS y M.J. O'BRIEN: *Nuclear Medicine*, 10, 517 (1969).
14. P. VESELY y J. CIFKA: *UJV-2414. Ch* (1970).
15. E. BROWNING: *Toxicity of Industrial Organic Solvents*, Chap. VI - Ketones, York House, London (1953).
16. J.O. NICOLINI: *Comunicación personal*.
17. R.J. CORREIA y otros: *Manual de Controles Radiofarmacéuticos* (1970), Comisión Nacional de Energía Atómica, República Argentina.
18. S.E. GREBE y M. ROMER: *Atompraxis (Direct. Inf.)*, 7, (1968).
19. W. MARTH: *KFK-494* (1966).