

Purificación de isótopos radioactivos

Por el

DR. JUAN SANCHO GÓMEZ

Catedrático de la Facultad de Ciencias

La utilización de los isótopos como trazadores en las reacciones químicas data del año 1913, cuando PANETH y HEVESY emplearon el RaD (Pb^{210}) para determinar la solubilidad en agua del sulfuro y del cromato de plomo. PANETH, HEVESY y colaboradores aplicaron este método a la química analítica, obteniendo fecundos resultados en el caso de los elementos plomo, bismuto y talio, los cuales poseen isótopos radioactivos naturales.

Durante varios años esta técnica estuvo limitada al uso de los isótopos radioactivos naturales. El descubrimiento de la radioactividad artificial por los Joliot-Curie en 1934, abrió grandes perspectivas a la utilización de esta técnica al tenerse la posibilidad de obtener isótopos radioactivos de la mayoría de los elementos del sistema periódico. Sin embargo, los aparatos de obtención de éstos, ciclotrón, aceleradores, generadores electrostáticos, etc., suministraban los isótopos radioactivos en muy pequeña cantidad. A pesar de ello se generalizó en el mundo la técnica de los trazadores radioactivos, especialmente en bioquímica, donde condujo a resultados espléndidos, ya que permite experimentos «in vivo», con los cuales se pueden seguir los procesos del metabolismo de los diversos compuestos. Según Hamilton, el empleo de los trazadores en biología supone un avance tan considerable como supuso, en su tiempo, el descubrimiento del microscopio.



En la actualidad se conocen más de 600 isótopos radioactivos artificiales, pertenecientes a los 96 elementos químicos conocidos. No todos estos isótopos son utilizables como trazadores, ya que los de vida media muy corta no sirven para este fin. Precisamente de dos elementos bioquímicos de los más importantes, nitrógeno y oxígeno, los isótopos radioactivos obtenidos son de vida media muy corta (1) lo cual no permite su empleo como trazadores. El perfeccionamiento del espectrografo de masas permite hoy en día el utilizar isótopos no radioactivos como átomos marcados para seguir el curso de una reacción. Esta técnica fué iniciada con el uso del H^2 , después de su obtención por Urey en 1932. A falta de isótopos radioactivos aprovechables se utilizan hoy los estables O^{17} y N^{15} en el estudio de reacciones bioquímicas.

La mayor parte de los radioisótopos utilizados en la actualidad son suministrados por el ciclotrón y por la pila de uranio.

Por medio del ciclotrón puede ser bombardeada cualquier substancia por medio de deuterones, neutrones (lentos o rápidos), partículas α y protones. Todos los radioisótopos producidos por la pila de uranio pueden ser producidos por el ciclotrón, sin embargo la mayor contribución del ciclotrón consiste en un grupo de radioisótopos que no pueden obtenerse en la pila o que no pueden producirse en la pila con suficiente actividad específica (2) o pureza isotópica para determinadas aplicaciones.

En el ciclotrón las partículas más empleadas como proyectiles son los deuterones y los neutrones. Los deuterones son acelerados directamente en el ciclotrón y obligados a golpear sobre la sustancia elegida para inducir la correspondiente reacción nuclear. Para obtener neutrones se hacen incidir los deuterones acelerados sobre un elemento ligero, tal como berilio o litio, con lo cual se obtienen neutrones de gran energía y en gran cantidad, de acuerdo con la reacción



Con deuterones de 10 Mev se obtienen neutrones con la enorme energía de 25 Mev.

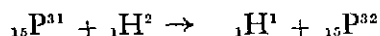
Como ejemplo de la capacidad de producción del ciclotrón, pondre-

(1) Del nitrógeno se han obtenido los siguientes radioisótopos: N^{13} de 10 m. de vida media, N^{16} de 7.5 s., N^{17} de 4.14 s. y del oxígeno los O^{14} de 1.2 m., O^{15} de m' 2m., O^{19} de 29 s.

(2) Se da el nombre de actividad específica a la relación entre el número de átomos del isótopo radioactivo y el número total de átomos isotópicos. P. ej., si se trata del P^{32} , beta emisor, la actividad específica vendrá dada por el cociente del número de átomos P^{32} dividido por el número total de átomos ($P^{32} + P^{31}$)

$$\text{actividad específica} = \frac{p^{32}}{p^{31} + p^{32}}$$

mos el de la obtención del P^{32} , de 15 días de vida media, por bombardeo del P^{31} , estable, en deutones, de acuerdo con la ecuación



En el ciclotrón de 60 pulgadas de Berkeley, operando a 100 microamperes después de cuatro horas de bombardeo con deutones se producen alrededor de 50 mc de P^{32} . Esta actividad es equivalente a unos 5×10^{10} impulsos por minuto en un contador de Geiger. Esto es actividad suficiente para efectuar un considerable número de experimentos. En este caso particular la gran actividad obtenida es debida, en parte, a la elevada sección eficaz del P para la reacción (d, p), y en parte también a que el fósforo ordinario está formado exclusivamente por P^{31} . Si por ejemplo la sustancia bombardeada sólo tuviese un 1% de P^{31} , la cantidad de P^{32} obtenida sufriría la disminución correspondiente. En la tabla 1 están indicados los radioisotopos más importantes obtenidos en el ciclotrón.

Desde hace pocos años la fuente más importante de isotopos radioactivos es la pila de uranio. Los radioisotopos se obtienen en la pila por dos procesos: 1) La escisión del U^{235} y 2) la absorción de neutrones por núcleos no escindibles.

Los primeros, denominados productos de la escisión, deben separarse, por procedimientos químicos ordinarios, del uranio y de los otros productos de la escisión, así como del neptunio y plutonio formados por captura de neutrones por el U^{238} .

Los radioisotopos obtenidos en la pila por absorción de neutrones por núcleos no escindibles, se pueden formar en los siguientes procesos: 1) simple absorción de neutrones en reacción (n, γ), dando lugar a un isotopo del elemento irradiado, (2) reacciones de trasmutación (n, p) o (n, d) dando lugar a isotopos diferentes químicamente de la sustancia original y (3) reacción (n, β) dando lugar a una cadena de desintegraciones que forman una familia radioactiva artificial.

Para la producción de radioisotopos en raciones inducidas por neutrones se coloca en la pila el material a activar en forma elemental o de compuesto, dentro de un pequeño recipiente de aluminio. Los recipientes se ensartan en agujeros en un bloque de grafito o ensartador, el cual forma parte de la estructura de uranio y grafito de la pila. El bloque, cargado con los recipientes, se coloca en el interior de la pila a través de una abertura efectuada en la gruesa pared protectora de cemento que rodea la pila y se irradia por un período que varía de pocos días a algunos meses.

CUADRO I

Principales radioisótopos obtenidos en el ciclotrón

Isótopos	Vida media	Reacción de obtención	Rendimiento rd/ amp. h	Radiación
Be ⁷	43 d	Li(d,n)	bajo	γ
C ¹¹	20,5 m	B(d,n)	18	β ⁺
F ¹⁸	112 m	O(d,n)		β ⁺
Na ²²	3,0 a	Mg(d,γ)	0,065	β ⁺ ó γ
Si ³¹	170 m	Si(d,p)	37	β ⁻
Cl ³⁸	37 m	Cl(d,p)	1,500	β ⁻ ó γ
V ⁴⁸	16 d	Cr(d,γ)	bajo	β ⁺ ó γ
Mn ⁵²	6,5 d	Cr(d,2n)	3	β ⁺ ó γ
Mn ⁵⁴	310 d	Fe(d,γ)	0,037	γ ó X
Fe ⁵⁵	4 a	Mn(d,2n)	0,025	x
Fe ⁵⁹	44 d	Co(n,p)		β ⁻ ó γ
Co ⁵⁶	85 d	Fe(d,n)	elevado	β ⁺ ó γ
Co ⁵⁷	270 d			
Co ⁵⁸	65 d			
Zn ⁶⁵	250 d	Cu(d,2n)	0,13	γ ó x
As ⁷⁴	16 d	Ge(d,2n)	0,074	β ⁻ , β ⁺ , γ
Se ⁷⁵	115 d	As(d,2n)	elevado	γ ó X
Kr ^(79,81)	34 h	Br(d,2n)	elevado	γ
Y ⁸⁸	87 d	Sr(d,2n)	1,4	γ
Ag ¹⁰⁶	8,2 d	Pd(d,2n)	moderado	x ó γ
Xe ¹²⁷	34 d	I(d,2n)	moderado	γ
I ¹³⁰	12,5 h	Te(d,2n)	32	β ⁻ ó γ
Hg ¹⁹⁷	23 h	Au(d,2n)	30	e ⁻ ó X
	64 h			

Los isótopos así obtenidos no son puros, sino que se encuentran mezclados, bien con restos de la sustancia bombardeada o bien con otros cuerpos obtenidos también en el período de irradiación. Además, con el tiempo, los isótopos radioactivos puros, se van contaminando con los productos de su desintegración. Todo esto hace que para aquellos usos en los cuales deba utilizarse un radioisótopo puro, o se quiera eliminar una contaminación perturbadora, se tenga que recurrir a procedimientos adecuados para su purificación.

A primera vista parece que deberían ser utilizables los procedimientos ordinarios del análisis químico, ya que se trata de separar elementos químicos distintos. Sin embargo, el tratarse de cantidades pequeñísimas de un elemento mezcladas con cantidades macroscópicas de otro, hace necesario el empleo de métodos especiales.

El procedimiento a seguir es distinto según que se trate de utilizar el isótopo con elevada actividad específica o con baja actividad específica. En el empleo de los radioisótopos con trazadores no es necesario, en general, el empleo de actividades específicas elevadas.

Cuando no se requiere una elevada actividad específica y la cantidad de sustancia a utilizar es muy pequeña (inferior a 100 microcuries), lo mejor es adicionar un isótopo inactivo del elemento radioactivo y utilizar entonces los métodos químicos corrientes de separación. Este método ha sido utilizado en gran escala en el proyecto Manhattan (1). El isótopo estable recibe el nombre de transportador (2).

Muchas veces interesa obtener el radioisótopo libre de sus isótopos estables. En este caso hay que emplear técnicas especiales, que resuelvan el problema de separar sustancias de muy diferente concentración o el aislamiento de trazas de una sustancia de cantidades macroscópicas de otra.

Cunningham y Werner (3) en el curso de sus trabajos acerca de los elementos transuránicos, han desarrollado técnicas submicroquímicas con objeto de precipitar directamente cantidades pequeñísimas de sustancias cuando estas se encuentran contenidas en un pequeño volumen de disolución. Con el uso de estas técnicas es posible aislar, por precipitación directa, sustancias en cantidades de microgramos a partir de algunos microlitros de disolución. En los trabajos de Cunningham los isótopos manejados eran alfa-emisores, por lo que el único peligro existente era el de la contaminación de la sustancia. En el caso de sustancias beta o

(1) C. D. Coryell, «Radiochemistry and the Fission Products», MDDC-19.

G. E. Boyd y D. N. Hume, «Analytical Chemistry of the Manhattan Project», MDDC-365.

(2) «Carrier» en inglés. El radioisótopo sin transportador, «carrier free», es el que no está mezclado con átomos estables de su mismo elemento.

(3) B. B. Cunningham y L. B. Werner, MDDC-1203; B. B. Cunningham, AECD-1879.



gamma emisoras hay que tomar precauciones de protección para el operador, lo cual hace mucho más difícil el uso de esas submicrotécnicas.

En el caso de tener que separar pequeñas cantidades del radioisotopo, los métodos más importantes utilizados son los de: coprecipitación, extracción por disolventes, destilación, electrodeposición e intercambio iónico. Vamos a estudiar separadamente cada una de ellas.

COPRECIPITACION.—Este es un método utilizado ya en análisis químico desde antiguo.

Este método consiste en la precipitación simultánea de una sustancia presente en muy pequeña concentración y otra presente en cantidades macroscópicas.

Si se desea separar una sustancia de una disolución por medio de una reacción de precipitación, hay que buscar una segunda sustancia, la cual al ser precipitada arrastre al material radioactivo. Las propiedades que determinan si una coprecipitación será o no eficiente son las siguientes:

1) Las dos sustancias, la radioactiva y la coprecipitada, son completamente insolubles en el medio precipitante. 2) Las dos sustancias se unen químicamente.

Una de las primeras reglas aplicadas en estos casos fué la regla de precipitación de Fajans (1913). Cuanto más pequeña sea la solubilidad del compuesto formado por el radioelemento con el anión del precipitado, tanto mayor será la cantidad de radioelemento arrastrado por el precipitado. Por ejemplo, el RaC (Bi^{214}) debe ser precipitado con BaCO_3 o con $\text{Fe}(\text{OH})_3$, pero no con BaSO_4 . Esto es debido a la insolubilidad del carbonato e hidróxido de bismuto y a la solubilidad del sulfato.

A esta regla existe un gran número de excepciones. P. ej. el ThD (Pb^{208}) no puede precipitarse con ioduro o cloruro mercuricos o fumarato cuprico, a pesar de que las correspondientes sales de plomo son insolubles. El ThX (Ra^{224}) no puede precipitarse con fumarato cuprico a pesar de ser insoluble la correspondiente sal de radio. Por el contrario, existen numerosos casos de coprecipitaciones no previstas, como las observadas en química analítica en el caso de la coprecipitación del NO_3K o $(\text{NO}_3)_2\text{Fe}$ con el SO_4Ba .

Hahn ha estudiado con gran interés los fenómenos de coprecipitación y los ha dividido en cuatro clases:

1) *Substitución isomórfica* es el proceso de precipitación o incorporación en el cual existe un verdadero isomorfismo o dimorfismo entre los componentes. Cuando ocurre este tipo de precipitación, el elemento presente en cantidades pequeñas se distribuye a través de la fase sólida de una forma totalmente independiente del método de precipitación (temperatura, acidez, orden de adición de los reactivos), y no puede separarse

por procedimientos de lavado. Las radiografías de cristales grandes demuestran una distribución continua del elemento radioactivo, el cual ocupa puntos en la red del cristal.

2) *Adsorción superficial.* Esta consiste en la coprecipitación de un elemento en la superficie activa de un precipitado recién formado. Hahn indica que esta precipitación viene favorecida cuando el precipitado formado posee una carga superficial opuesta a la del ión radioactivo, y de acuerdo con la regla de Fajans, la coprecipitación viene favorecida si el ión absorbido de la sustancia radioactiva forma un compuesto ligeramente soluble con la red iónica de carga opuesta. Este tipo de coprecipitación es muy sensible a las condiciones externa de precipitación (temperatura, acidez, orden de adicción de los reactivos) y viene favorecida por los precipitados finamente divididos (formados rápidamente). En muchos muchos casos, parte de la sustancia adsorbida puede ser eliminada o desplazada por otros iones de carga similar. Un ejemplo de este tipo de adsorción viene dada por el ThB (Pb^{212}) el cual es fuertemente adsorbido por el BrAg si existe Br^- en exceso (precipitado cargado negativamente), pero no es adsorbido por completo si existe exceso de Ag^+

3) *Substitución isomórfica anómala.*—Este tipo de substitución ha sido observado varias veces, cuando la incorporación de un elemento indicador se verifica en forma idéntica a la substitución isomórfica verdadera, excepto que la formación de cristales mixtos no es observada cuando se opera con cantidades macroscópicas de ambas sustancias. Por ejemplo, los cloruros de Pb^{214} y de Pb^{210} (RaB y RaD respectivamente) se distribuyen de una forma continua en el $BaCl_2 \cdot 2H_2O$, a pesar de que el $PbCl_2$ cristaliza en el sistema rómbico y el $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ lo hace en el monoclinico. Es probable pueda tener lugar un reemplazamiento limitado de los átomos de Ba por los de Pb en el $BaCl_2$, formándose una disolución sólida.

4) *Sistemas de adsorción interna.*—Estos sistemas están poco estudiados y consisten en la inclusión mecánica en el interior del cristal de aguas madres o de un radiocoloide. Un ejemplo de este tipo lo presenta la adsorción del RaD (Pb^{210}) por el $BaBr_2$, cuyas radiografías muestran una distribución irregular en manchones del elemento trazador.

EXTRACCION POR DISOLVENTES.—En muchos casos es posible separar sustancias que se encuentren presentes en concentraciones muy diferentes utilizando sus diferentes coeficientes de reparto entre dos fases líquidas no miscibles. Por ejemplo, se usa como un procedimiento

analítico corriente la extracción del iodo de una disolución acuosa por el cloroformo. Las sustancias no polares son las extraídas preferentemente de las disoluciones acuosas por un disolvente no polar. Agregando un compuesto que forme un complejo soluble con solamente una de las sustancias existentes en una mezcla, se puede efectuar una extracción selectiva de la fase acuosa mediante un disolvente no polar. Las sustancias que forman compuestos de coordinación cuyas disociaciones son dependientes del pH son aplicables especialmente en la separación de iones en concentraciones minúsculas. Se utilizan un cierto número de reactivos orgánicos de los usados para colorimetrías (1) y para reacciones cuantitativas de precipitación (2). Como agentes para formar el complejo han sido utilizados por Reid y Calvin (3) algunas dicetonas.

Este método aparece poco citado en la literatura de la A.E.C., sin embargo el limitado número de publicaciones que a él se refieren lo hacen aparecer como completamente satisfactorio para la separación de minúsculas cantidades de sustancias.

En algunos casos la sustancia puede ser extraída en la fase no polar, bajo la forma de un polímero. Por ejemplo, el cloruro férrico en concentraciones minúsculas no puede ser extraído de una disolución 9M de HCl por medio del éter isopropílico, a pesar de que este método es muy utilizado en niveles macroscópicos. Nachtrieb y Conway han demostrado que el hierro se extrae por el éter bajo la forma del complejo $(\text{HFeCl}_4)_n$. Igualmente el iodo radioactivo no puede extraerse de los productos de la escisión por el método corriente del cloroformo.

La extracción por disolventes ha sido utilizado en experimentos conducentes a probar la eficiencia de algunas reacciones de Szilard-Chalmers.

La extracción con disolventes es particularmente apropiada para la purificación de muchos radioisotopos. Después de varias extracciones de una sustancia, el producto final está relativamente libre de impurezas extrañas, las cuales se presentan cuando se emplean los procedimientos de coprecipitación. Muchas veces es preferible utilizar la coprecipitación o cualquier otro método para una primera separación y después de reducir el volumen proceder a una separación final por extracción con el disolvente apropiado.

DESTILACION.—Cualitativamente, las sustancias que pueden destilarse en concentraciones macroscópicas también pueden destilarse co-

(1) Sandell, E. B., *Colorimetric Determination of Traces of Metals*, New York, 1944. Elsevier Pu. Co., Inc. 1944.

(2) Prodinger, W., *Organic Reagents Used in Quantitative Inorganic Analysis*, New York, Elsevier Pu. Co. 1940.

(3) J. C. Reid y M. Calvin, MDDC-1405.



rientemente y bajo condiciones similares cuando se encuentran en concentraciones minúsculas. Al destilar cantidades minúsculas de una sustancia es necesario tener en cuenta la posible descomposición del compuesto volátil o su condensación y adsorción en la superficie del matraz o del refrigerante antes de alcanzar el recipiente colector. Es necesario siempre el lavar con un gas inerte el matraz de destilación para arrastrar las menores cantidades de vapor que puedan haber quedado retenidas.

El método de destilación ha sido utilizado con éxito en la separación y purificación del I^{131} y los isotopos radioactivos del rutenio y del tecnecio a partir de la mezcla de productos resultantes en la escisión.

En este método un rendimiento del 80 al 90 % se considera un buen resultado operando en las condiciones óptimas. Por otro lado, la separación es relativamente rápida, ya que usualmente una sola redistilación da un producto de gran pureza. Por esta razón cuando se trata de separar un radioisotopo de vida media corta, se prefiere el método de destilación sobre otro cualquiera que dé un rendimiento mejor en gracia a su mayor rapidez.

En el caso de querer efectuar separaciones cuantitativas habrá que recordar que las condiciones de volatilidad de cantidades submicroscópicas de una sustancia no están bien determinadas por la teoría.

ELECTRODEPOSITOS.—Los potenciales de depósito determinados para cantidades macroscópicas son también aplicables para el caso de tratarse de cantidades minúsculas de las mismas.

INTERCAMBIO IONICO.—Este método ha alcanzado un gran interés con la difusión de las resinas sintéticas cambiadoras de iones. Estas son sustancias insolubles en los disolventes y disoluciones acuosas utilizados usualmente en los laboratorios, pero que contienen cationes o aniones que al ionizarse en disolventes polares pueden ser reemplazados por otros iones. La reacción general para un cambiador de aniones o de cationes, puede expresarse por la ecuación:



en la cual B es el cambiador y A y C son los iones que pugnan por alcanzar las posiciones más ventajosas en el núcleo o matriz.

Las resinas más usadas hoy en día son la Dowex 50, que es un hidrocarburo sulfonado, cuyo grupo cambiador es el CSO_3^- ; la Amberlita Ir-100, resultado de la condensación del catecol con el formaldehído en

presencia de bisulfito sódico, su grupo cambiador es el $-\text{CH}_2\text{SO}_3^-$ de los cuales contiene dos en cada molécula; las resinas de la «Cyanid Co.» que son fenolformaldehidos con grupos SO_3^- ; las de la «Permutid Co.» entre las que se encuentran la «Zeo-Carb» que un carbón sulfonado con el grupo SO_3H^- y el carboxílico como cambiadores; la «Zeo-Rex» que es un fenol sulfonado con el grupo SO_3H^- , la «Permutid Q» hidrocarburo sulfonado. Todas estas son cambiadoras de cationes. Los cambiadores de aniones son menos numerosos y entre ellos se encuentran la «Amberlita IR-4B», las «Duolitas» que son del tipo fenol-formaldehido con grupos amino como cambiadores; la A-293-M y la A-300 de la «Cyanid» que son melaminas con grupos amino como cambiadores, la «Permutit Co.» tiene la «De-Acidite» del grupo de las resinas de aminas alifáticas con el grupo R_3N como cambiador.

CUADRO II

Algunos de los isotopos radioactivos que se obtienen en la pila de uranio
y son facilitados por la A. E. C.

Isotopo	Vida media	Observaciones	Radiación
C ¹⁴	5.100 a	Como CO ₂ , Ba	β ⁻
Na ²⁴	14,8 h	Por irradiación	β ⁻ , γ
P ³²	14,3 d	Como fosfato	β ⁻
S ³⁵	67,1 d	Como So ₄ H ₂ y como SNa ₂	β ⁻ , γ
K ⁴²	12,4 h	Por irradiación	β ⁻
Ca ⁴⁵	180 d		
Co ⁶⁰	26,5 d	Por irradiación	K
Cr ⁵¹	5,3 a	Por irradiación	B ⁻ , γ
Cu ⁶⁴	12,8 h	Por irradiación	β ⁻ , β ⁺ , K
I ¹³¹	8 d		β ⁻
Cs ¹³⁷	33 a	De escisión	β ⁻ , γ
Ba ¹⁴⁰	12,8 d	De escisión	β ⁻ , γ
Ce ¹⁴¹	28 d	De escisión	β ⁻ , γ
Eu ¹⁵⁵	2 a	De escisión	β ⁻ , γ

El último catálogo de la U. S. A. E. C. presenta más de 100 isotopos radioactivos diferentes, aparte de una sección de isotopos estables separados por método electromagnético en Oak Ridge.

Este método es quizá el más eficaz para separar sustancias ionizadas que se encuentren a concentraciones muy pequeñas. Es uno de los pocos métodos que se muestran más eficientes cuando las concentraciones son pequeñas que cuando se trata de cantidades macroscópicas.

El método consiste en dejar fluir la disolución que contenga los iones que se desean separar a través de la resina, colocada en forma de columna cromatográfica, que previamente se ha convertido en su forma ácida por un ácido, si se trata de un cambiador de cationes, o en su forma alcalina por una base, si es un cambiador de aniones. Una vez adsorbidos los iones se comienza la elución utilizando una disolución con el pH apropiado para desplazar a uno de los iones. Una vez separado éste se varía el pH del líquido eluyente hasta el grado óptimo para separar otro de los iones.

COMPARACION DE LOS DIVERSOS METODOS. — Nosotros hemos utilizado estos métodos para la purificación y separación de radioisotopos. Así hemos utilizado el de coprecipitación para la separación del P^{32} de un azufre irradiado en la pila de Oak Ridge, y producido por la reacción $S(n, p)P$, por oxidación con nítrico y coprecipitación con $Fe(OH)_3$. El de extracción con disolventes para la separación de P^{32} del Fe^{+++} mediante éter isopropílico. El de electrodepósito para la preparación de una muestra de Bi^{210} (RaE) al estado de pureza a partir de una disolución de Pb^{210} (RaD), Bi^{210} (RaE) y Po^{210} (RaF) en equilibrio radioactivo, con objeto de tener una muestra para la calibración de contador de rayos beta. El de destilación lo hemos utilizado para separación de I^{131} y por último también hemos empleado la resina «Dowex 50» para la separación al estado de gran pureza de Cu^{64} y Co^{60} . En otro trabajo daremos cuenta de los resultados cuantitativos y detalle de las técnicas. En el cuadro III tenemos un resumen de la eficiencia de los diferentes métodos.

CUADRO III

<i>Método</i>	<i>Tiempo necesario</i>	<i>Rendimiento</i>	<i>Pureza del producto</i>
Coprecipitación	Corto	Mediano	Mediana
Extracción	Corto	Bueno	Bueno
Destilación	Corto	Mediano	Bueno
Electrodeposición	Medio	Bueno	Mediana
Cambio iónico	Largo	Excelente	Excelente

