



ESCUELA TÉCNICO PROFESIONAL  
EN CIENCIAS DE LA SALUD  
clínica mompía

# ASIGNATURA: RADIOFARMACIA

## TEMA 3: EL ACTIVÍMETRO Y CONTROL DE CALIDAD DEL GENERADOR

PROFESOR: Jérica Sánchez Mazón

*Ciclo Formativo de Grado  
Superior de Imagen para el  
Diagnóstico y Medicina Nuclear*

# ÍNDICE

## ❖ EL ACTIVÍMETRO

- CONTROL DE CONSTANCIA Y PRECISIÓN
- CONTROL DE RESPUESTA DE FONDO

## ❖ CONTROL DE CALIDAD DEL GENERADOR

- CÁLCULO DE LA ACTIVIDAD ELUIDA Y RENDIMIENTO DE ELUCIÓN
- MASA DE TECNECIO Y ACTIVIDAD ESPECÍFICA
- CONTROL DE CALIDAD DEL ELUIDO
  - PUREZA RADIONÚCLIDA
  - PUREZA RADIOQUÍMICA
  - PUREZA QUÍMICA

# EL ACTIVÍMETRO

EL ACTIVÍMETRO → calibrador de dosis

Instrumento encargado de medir de forma exacta y precisa la **cantidad de actividad que se va a administrar a un paciente.**

**¿Cómo lo medimos?**

- Uso de cristales de centelleo
- Ennegrecimiento de placas radiográfica
- **Ionización de gases**



**DETECTORES**

# EL ACTIVÍMETRO

Consta de:

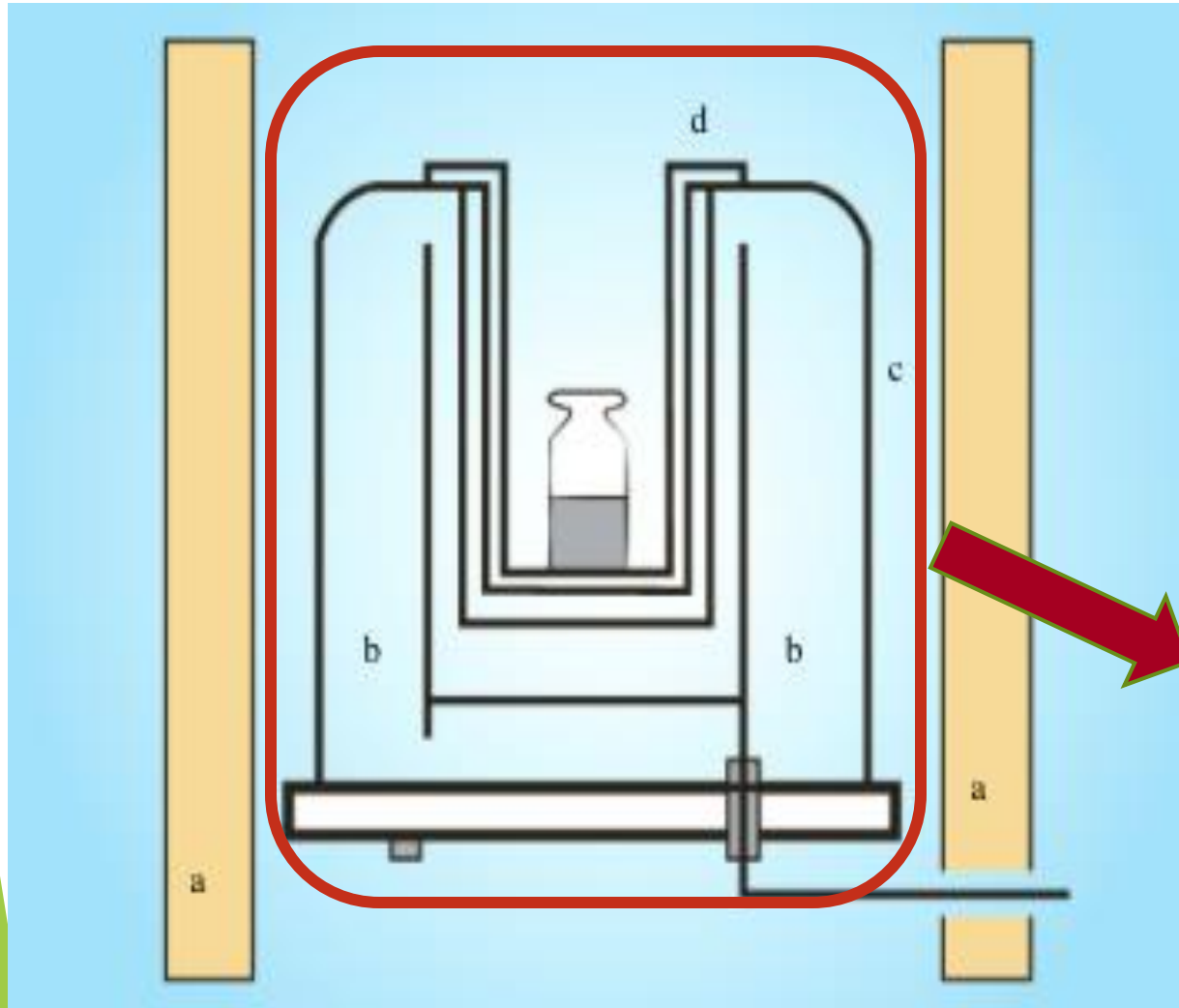
- ▶ una electrónica que **recibe y transforma una señal de corriente en un valor de actividad** (mCi o MBq)
- ▶ **cámara cilíndrica con forma de pozo** herméticamente sellada, en cuyo interior existen **dos electrodos cilíndricos coaxiales** que, sometidos a una diferencia de potencial, forma dicha señal a partir de los pares de iones generados en el gas

# EL ACTIVÍMETRO

- ▶ **Trabajan a baja tensión** (no se produce ionización secundaria)
- ▶ La señal producida es más débil pero mantiene su **proporcionalidad con la intensidad y con el tipo de radiación**
- ▶ De esta forma un activímetro debe tener programadas y calibradas las **respuestas para los radionúclidos de uso más habitual**

# EL ACTIVÍMETRO

## Esquema del activímetro



**A: Blindaje**  
**B: Electrodo interno**  
**C: Electrodo externo**  
**D: Protector**

**Cámara de ionización**

# EL ACTIVÍMETRO

## Calibraciones y verificaciones

- Deben ser sometidos periódicamente a diferentes tipos de **calibraciones y verificaciones**.
- Nunca debe comenzarse a usar un activímetro sin haberle realizado una prueba de **estabilidad diaria con una fuente calibrada**.
- La normativa española establece (en el RD 1841/1997 sobre Criterios de Calidad en Medicina Nuclear) un programa de verificaciones periódicas que contemplan la **estabilidad diaria y pruebas cuatrimestrales de exactitud y precisión**.
- Los controles que deben realizarse en el activímetro hacen referencia a la **constancia y precisión, y al control de respuesta de fondo**.

# EL ACTIVÍMETRO

## CONTROL DE CONSTANCIA Y PRECISIÓN

### Objetivo:

Comprobar la **estabilidad** en la respuesta del funcionamiento del calibrador de dosis **para las diferentes condiciones de medida**





# EL ACTIVÍMETRO

## Procedimiento:

- Material necesario: Fuente de  $^{137}\text{Cs}$  sellada y certificada con una actividad aproximada de **200  $\mu\text{Ci}$** .
- Realización del control:
  - Se inicia midiendo el **fondo en los diversos canales** del activímetro.
  - A continuación se introduce la fuente en este, se realizan **10 medidas en cada canal**
  - Se anotan las **lecturas corregidas** por el fondo medido en cada canal.
- Cálculos. Se calculan la **media y el coeficiente de variación** de las medidas corregidas por cada canal.
- Límites de aceptación.

# EL ACTIVÍMETRO

El límite de aceptación → condicionado por la precisión obtenida durante la calibración.

Variaciones en el valor del factor de estabilidad superiores a  $\pm 5 \%$



**cambio en la respuesta del equipo**

•El valor del **coeficiente de variación** obtenido deberá ser inferior a un **5 %** → mismas medidas

•**Error relativo de la media** deberá ser menor del **10 %** del valor medido el día que se ha tomado como referencia **corregido por el decay de la fuente** → comparación con referencia

# EL ACTIVÍMETRO

## CONTROL DE RESPUESTA DE FONDO

### Objetivo:

Observar la **respuesta del activímetro** sin tener ninguna fuente radiactiva en las proximidades y en las condiciones de conexión eléctrica habituales



# CONTROL DE RESPUESTA DE FONDO

## Procedimiento:

- **Material necesario:** Ninguno
- **Realización del control:** Se mide 10 veces el **fondo en los diversos canales** del activímetro.
- **Cálculos:** Hay que calcular la media de las medidas y su coeficiente de variación.
- **Límites de aceptación:** Un incremento en la respuesta de fondo de más de un **20 %** debe ser investigado.

Hay que tener en cuenta que las variaciones en las lecturas pueden ser debidas a **contaminación radiactiva del propio equipo o a un incremento de la radiación ambiental**, por lo que hay que investigar estas posibilidades en caso de medidas fuera de los límites de aceptación.

# CONTROL DE CALIDAD DEL GENERADOR

## ❖ EL ACTIVÍMETRO

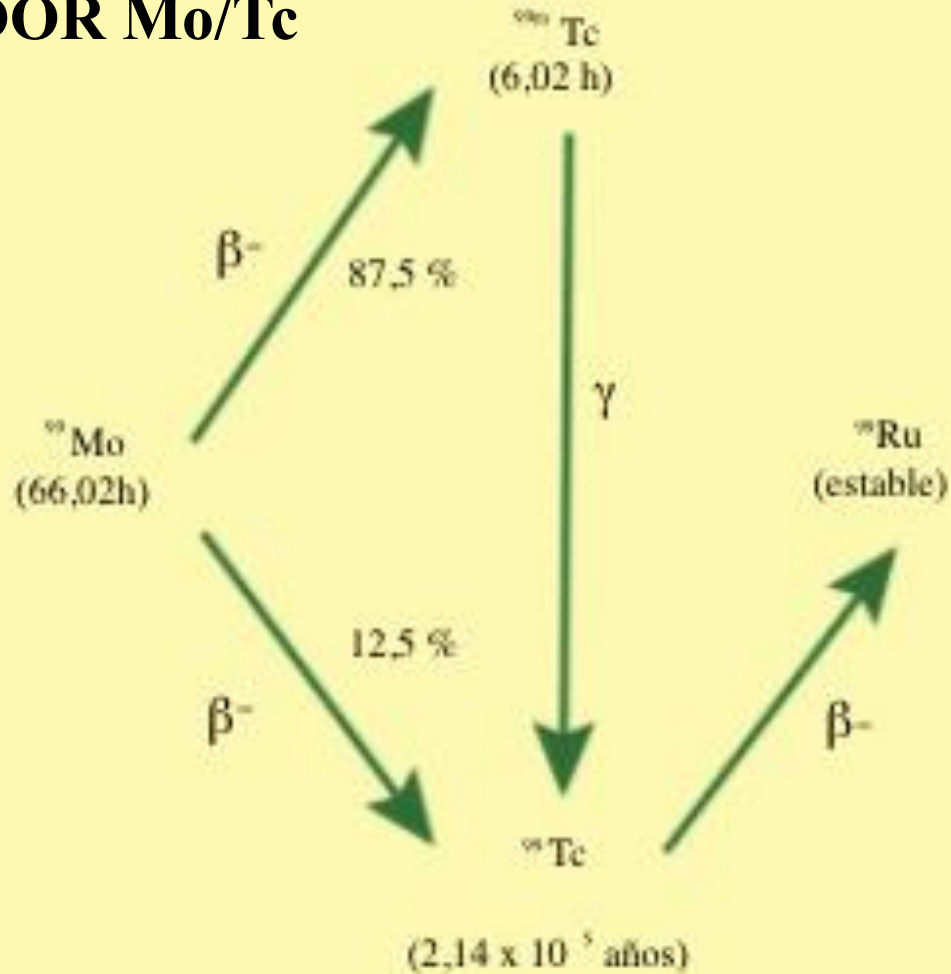
- CONTROL DE CONSTANCIA Y PRECISIÓN
- CONTROL DE RESPUESTA DE FONDO

## ❖ CONTROL DE CALIDAD DEL GENERADOR

- CÁLCULO DE LA ACTIVIDAD ELUIDA Y RENDIMIENTO DE ELUCIÓN
- MASA DE TECNECIO Y ACTIVIDAD ESPECÍFICA
- CONTROL DE CALIDAD DEL ELUIDO
  - PUREZA RADIONÚCLIDA
  - PUREZA RADIOQUÍMICA
  - PUREZA QUÍMICA

# CONTROL DE CALIDAD DEL GENERADOR

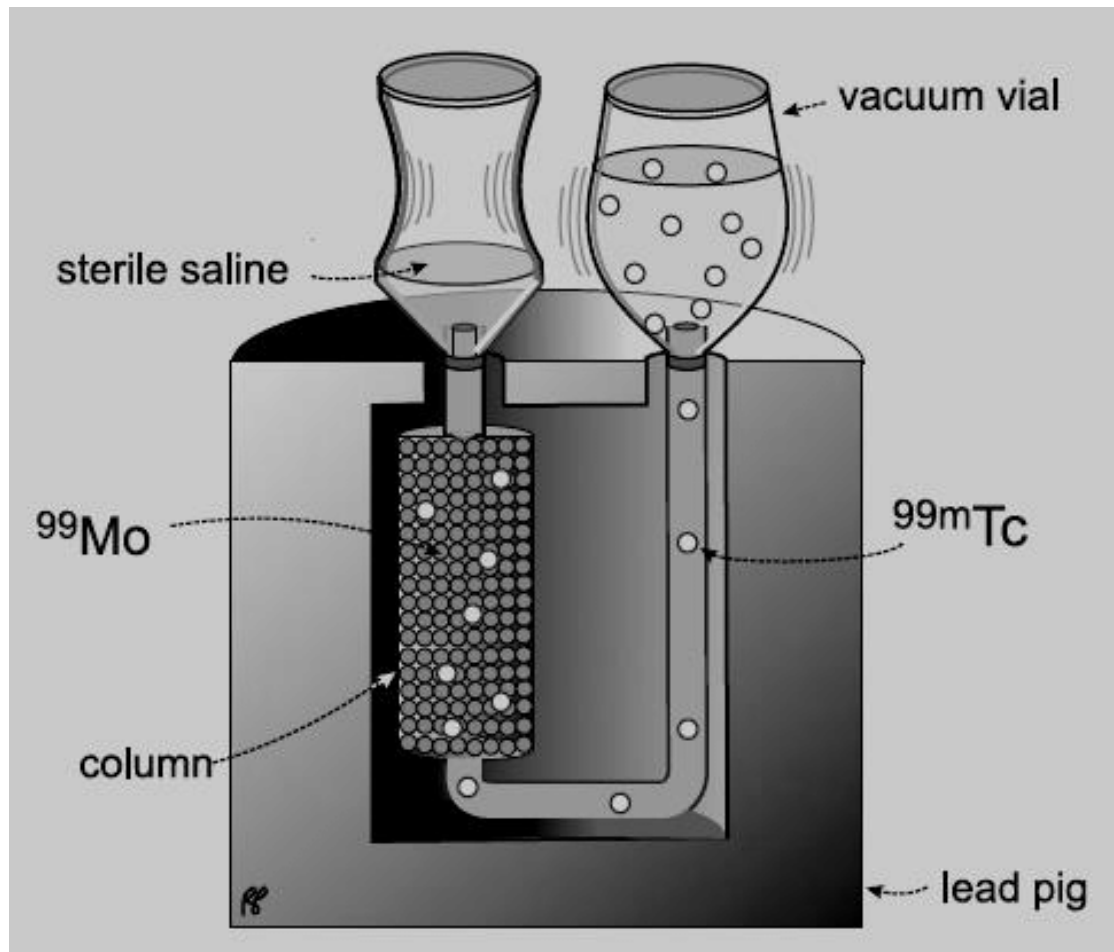
## GENERADOR Mo/Tc



# CONTROL DE CALIDAD DEL GENERADOR

## ELUCIÓN

Procedimiento mediante el que se **extrae el  $^{99m}\text{Tc}$  generado a partir de la desintegración del  $^{99}\text{Mo}$  existente en la columna del generador.**



# CONTROL DE CALIDAD DEL GENERADOR

**Diversos factores** pueden afectar al funcionamiento adecuado del generador que hay que tener en cuenta para su correcta utilización.

## CÁLCULO DE LA ACTIVIDAD ELUIDA Y RENDIMIENTO DE ELUCIÓN

El cálculo de la actividad que se puede obtener de un generador de Mo/Tc **no es fácil**:

1. El proceso de elución **no es capaz de extraer todo el tecnecio existente en la columna**
2. La desintegración del  $^{99}\text{Mo}$  solo genera  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  en el **87,5 %** de las mismas
3. Los **tiempos** transcurridos desde la carga del generador con el  $^{99}\text{Mo}$  y el tiempo entre las eluciones pueden ser **mal conocidas**



# CÁLCULO DE LA ACTIVIDAD ELUIDA Y RENDIMIENTO DE ELUCIÓN ESTIMACIÓN

El conocimiento de la **estimación de actividad de  $^{99m}\text{Tc}$  que podemos eluir** en un momento dado es de suma importancia para conocer el **rendimiento de elución y poder planificar el trabajo**

$$A_{Tc}(t) = 1,09833 A_{Mo}(0)(e^{-0,01034 t} - e^{-0,1150 t})$$

**$A_{Tc}(t)$** : Actividad de  $^{99m}\text{Tc}$  que podemos eluir en el momento actual

**$A_{Mo}(0)$** : Actividad inicial de  $^{99}\text{Mo}$

**t**: tiempo transcurrido desde la última elución, expresado en **horas**.

# CÁLCULO DE LA ACTIVIDAD ELUIDA Y RENDIMIENTO DE ELUCIÓN CORRECCIONES A LA FÓRMULA

$$A_{Tc}(t) = 1,09833 A_{Mo}(0)(e^{-0,01034 t} - e^{-0,1150 t})$$

- Factor que tenga en cuenta el hecho de que solamente en el **87,5 %** de las desintegraciones el  $^{99}\text{Mo}$  decae a  $^{99m}\text{Tc}$
- Factor que tenga en cuenta la **imposibilidad material de eluir todo el  $^{99m}\text{Tc}$  existente en la columna**



La utilización diaria de estas fórmulas matemáticas es de poca aplicación práctica, engorrosa y de difícil manejo

# CÁLCULO DE LA ACTIVIDAD ELUIDA Y RENDIMIENTO DE ELUCIÓN

Para **simplificar** el cálculo se pueden considerar las variables temporales a través de los factores:

- **$F_1$** : valora el **decay del molibdeno**
- **$F_2$** : toma en cuenta el **crecimiento de la actividad debida al tecnecio** desde la última elución

$$A_{Tc}(t) = A_{Mo\ nominal} F_1 F_2$$

- $A_{Tc}(t)$  es la actividad de  $^{99m}Tc$  que podemos eluir en el momento actual
- $A_{Mo\ nominal}$  es la actividad inicial de  $^{99}Mo$

# CÁLCULO DE LA ACTIVIDAD ELUIDA Y RENDIMIENTO DE ELUCIÓN

F1 Y F2

Horas Días	Factor F <sub>1</sub> : desintegración del <sup>99m</sup> Mo				Factor F <sub>2</sub> : desintegración del <sup>99m</sup> Tc			
	0	+4	+8	+12	+16	+20	Tiempo** (Horas)	F2
-6	4,54	4,35	4,17	4,00	3,83	3,68	1	0,096
-5	3,53	3,38	3,24	3,11	2,98	2,86	2	0,182
-4	2,74	2,63	2,52	2,42	2,32	2,22	3	0,259
-3	2,13	2,04	1,96	1,88	1,80	1,73	4	0,329
-2	1,66	1,59	1,52	1,46	1,40	1,34	5	0,392
-1	1,29	1,23	1,18	1,13	1,09	1,04	6	0,449
0*	1,000	0,959	0,919	0,882	0,845	0,811	7	0,500
1	0,777	0,745	0,715	0,685	0,657	0,630	8	0,546
2	0,604	0,579	0,555	0,533	0,511	0,490	9	0,587
3	0,470	0,450	0,432	0,414	0,397	0,381	10	0,624
4	0,365	0,350	0,336	0,322	0,309	0,296	11	0,658
5	0,284	0,272	0,261	0,250	0,240	0,230	12	0,688
6	0,220	0,211	0,203	0,194	0,186	0,179	13	0,715
7	0,171	0,154	0,158	0,151	0,145	0,139	14	0,740
8	0,133	0,128	0,122	0,117	0,113	0,108	15	0,762
9	0,1035	0,0993	0,0952	0,0913	0,0875	0,0839	16	0,782
10	0,0805	0,0772	0,0740	0,0709	0,0680	0,0652	17	0,800
11	0,0625	0,0600	0,0575	0,0551	0,0529	0,0507	18	0,816
12	0,0486	0,0466	0,0447	0,0429	0,0411	0,0394	19	0,831
13	0,0378	0,0362	0,0347	0,0333	0,0319	0,0306	20	0,844
14	0,0294	0,0282	0,0270	0,0259	0,0248	0,0238	21	0,856

# CÁLCULO DE LA ACTIVIDAD ELUIDA Y RENDIMIENTO DE ELUCIÓN

## RENDIMIENTO DE LA ELUCIÓN

Proporción de radionúclido hijo en el interior del generador  
que es separado durante el proceso de elución.



El rendimiento de elución vendrá dado por el **cociente entre la actividad eluida y la actividad teórica a eluir (85%-95%)**

# EJERCICIO

1. Calcular la actividad de  $^{99m}\text{Tc}$  que se puede eluir, si la actividad inicial de la muestra de  $^{99}\text{Mo}$  era 130 mCi y el proceso de elución se realizará dentro de 4 horas.

$$A_{Tc}(t) = A_{Mo,nominal} F_1 F_2$$

$$A_{Mo,nominal} = 130 \text{ mCi}$$

$$F_1 = 0,959$$

$$F_2 = 0,329$$

$$A_{Tc}(4 \text{ h}) = 130 \cdot 0,959 \cdot 0,329 = 41.016 \text{ mCi}$$

# MASA DE TECNECIO Y ACTIVIDAD ESPECÍFICA

## Actividad específica del eluido

**Cantidad de actividad por unidad de masa de Tc existente en el eluido**

Tenemos que conocer el número de átomos de Tc:

- $^{99m}\text{Tc}$
- $^{99}\text{Tc}$ , existentes en el eluido

ya que en el generador continuamente se producen átomos de  $^{99m}\text{Tc}$  y de  $^{99}\text{Tc}$

# MASA DE TECNECIO Y ACTIVIDAD ESPECÍFICA

## Actividad específica del eluido

El cálculo de la masa de Tc se hace mediante la fórmula:

$$\mu g Tc = GBq_{eluidos} \cdot 5,14 \cdot 10^{-3} / F$$

F es un factor que relaciona el **número de átomos de  $^{99m}Tc$  con el número total de átomos de Tc** en función del tiempo transcurrido desde la última elución del generador

**Factor F**

Horas	Día 0	Día 1	Día 2
	-	0,28	0,13
2	0,78	0,26	0,13
4	0,70	0,24	0,12
6	0,63	0,23	0,11
8	0,57	0,21	0,11
10	0,51	0,20	0,10
12	0,47	0,19	0,10
14	0,43	0,18	0,10
16	0,39	0,17	0,09
18	0,36	0,16	0,09
20	0,34	0,15	0,08
22	0,30	0,14	0,08
24	0,28	0,13	0,08



# MASA DE TECNECIO Y ACTIVIDAD ESPECÍFICA

## Actividad específica del eluido

Conociendo la masa de tecnecio en el eluido y la actividad, se calcula **la actividad específica como la actividad por unidad de masa:**

$$\text{Actividad específica (mCi/}\mu\text{g)} = \frac{\text{actividad (mCi)}}{\text{masa (}\mu\text{g)}}$$

## EJERCICIO

2. Calcula la actividad específica del eluido de un generador de  $^{99m}\text{Tc}$  si la actividad del eluido era en el momento inicial de 3,81 GBq y han pasado dos días y medio desde la última elución del generador. La actividad que vamos a inyectar en el vial son 200 mCi.

Actividad específica (mCi/ $\mu\text{g}$ )= actividad (mCi)/masa ( $\mu\text{g}$ )

$$\mu\text{g Tc} = \text{GBq}_{\text{eluidos}} \cdot 5,14 \cdot 10^{-3} / F$$

$$F(2,5 \text{ días})=0,10 \qquad \text{Masa} = 3,81 \cdot \frac{0,00514}{0,10} = 0,196 \mu \text{Ci}$$

$$\text{Actividad específica (mCi}/\mu\text{g})=200/0,196=1021,3$$

# CONTROL DE CALIDAD DEL ELUIDO

El eluido del generador debe cumplir una serie de características señaladas por la farmacopea española y europea, ya que se considera un radiofármaco y, por ende, un medicamento.

Estas características son:

- **Pureza radionúclida**
- **Pureza radioquímica**
- **Pureza química**

# CONTROL DE CALIDAD DEL ELUIDO

## PUREZA RADIONÚCLIDA:

El eluido del generador puede contener **pequeñas cantidades de  $^{99}\text{Mo}$** , resultado de pequeñas cantidades de  $^{99}\text{Mo}$  arrastradas en el proceso de elución



- **Aumenta la dosis de irradiación al paciente (emite partículas  $\beta$ )**
- **Disminuye la calidad de la imagen obtenida**

La máxima actividad de  $^{99}\text{Mo}$  que permite la farmacopea es del **0,1 % de  $^{99}\text{Mo}$**  con relación a la utilización total de  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , lo que representa **1  $\mu\text{Ci}$  de  $^{99}\text{Mo}$  por cada 1 mCi de  $^{99\text{m}}\text{Tc}$**

# CONTROL DE CALIDAD DEL ELUIDO

## ¿Cómo medimos esta contaminación?

- **Métodos físicos:** distinta emisión radiactiva del  $^{99}\text{Mo}$  y del  $^{99\text{m}}\text{Tc}$

**$^{99}\text{Mo}$ : Fotones de 740 y 780 keV**

**$^{99\text{m}}\text{Tc}$ : Fotones 140 keV**

- **Métodos químicos:** distinto comportamiento químico del  $^{99}\text{Mo}$  y el  $^{99\text{m}}\text{Tc}$

**Se hace reaccionar con sustancias específicas, que reaccionan entre sí dando un producto coloreado que se puede cuantificar mediante colorimetría.**

# CONTROL DE CALIDAD DEL ELUIDO

## Otros contaminantes

La naturaleza de las impurezas viene determinada por la procedencia del  $^{99}\text{Mo}$

Por ejemplo:

Si el  $^{99}\text{Mo}$  procede de **fisión nuclear** pueden aparecer contaminantes tales como:  $^{131}\text{I}$ ,  $^{132}\text{Te}$ ,  $^{123}\text{Ru}$ ,  $^{124}\text{Sb}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  o  $^{68}\text{Rb}$  que posteriormente pueden aparecer en el eluido

La farmacopea limita la cantidad de estos contaminantes en el eluido a una proporción de **una parte por millón**

# CONTROL DE CALIDAD DEL ELUIDO

## PUREZA RADIOQUÍMICA:

Fracción de la radiactividad total que se encuentra en la forma química deseada

El  $^{99m}\text{Tc}$  en el eluido ha de estar en forma química de pertecnetato ( $^{99m}\text{TcO}_4\text{Na}$ ) y **cualquier otra forma química ha de ser considerada como impureza radioquímica**

**Límite de impurezas radioquímicas que admite la farmacopea es del 5 %**

# CONTROL DE CALIDAD DEL ELUIDO

## PUREZA QUÍMICA:

Impurezas químicas que habitualmente van a proceder del material cromatográfico de la columna (alúmina) o del eluyente utilizado para realizar la elución

El eluido del generador Mo-Tc puede estar contaminado con **aluminio procedente de la alúmina con la que se carga la columna**, ya que durante la absorción del  $^{99}\text{Mo}$  a la columna de alúmina se forman iones  $\text{Al}^{3+}$  que pueden aparecer en el eluido posterior

**El límite permitido por la farmacopea es de 10  $\mu\text{g}/\text{ml}$  de eluido**

Vídeo