



Curso de capacitación sobre Evaluaciones de Seguridad de Instalaciones y actividades con radiaciones ionizantes .

Estimaciones de dosis en Medicina Nuclear.



Objetivo



- *Que los participantes conozcan la metodología que debe ser aplicada para realizar la estimación de dosis que reciben los TOE en MN.*



Medicina Nuclear

END

CONTENIDO

- Exposición de los TOE en un servicio de MN. Personal mas expuesto.
- **Operaciones** que aportan la mayor dosis a los TOE en Medicina Nuclear.
- Estimación de dosis en **las diferentes etapas del proceso de MN. Dosis equivalente en extremidades y dosis efectiva en todo el cuerpo.**
- Ejemplo de estimación de dosis en operación normal en MN.
 - ✓ TOE
 - ✓ Público
- Ejemplo de estimación de dosis en condiciones de accidentes en MN.



- **Estimación de dosis para los TOE en Operación Normal**

¿Quiénes se exponen en un servicio de medicina nuclear?

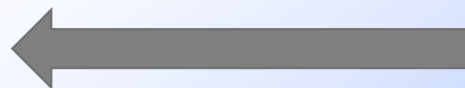
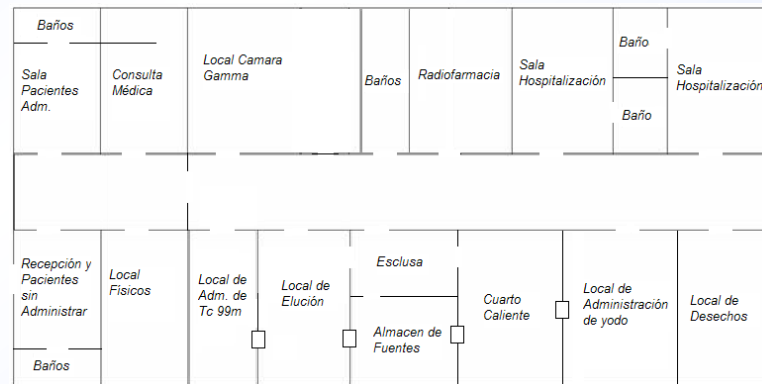


Medicina Nuclear

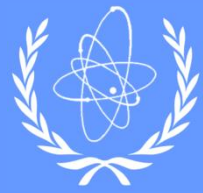
END

¿Quiénes se exponen en un servicio de medicina nuclear?

Nro.	Cargo	Tareas asignadas	Dosis
1.	Médico Nuclear	Prescripción de tratamientos	No
		Interpretación de las imágenes de MN formulación de los resultados	No
2.	Radiofarmaceuta	QA de Radiofármacos	Si
3.	Físico Médico	Calibración de los equipos	Si
		Controles de calidad	Si
		Procesamiento de las imágenes	No
4.	Tecnólogo 1	Elución del Generador	Si
		Marcaje de kits liofilizados para diagnóstico.	Si
		Preparación de las dosis de actividad procedimientos con Tc99m	Si
5.	Tecnólogo 2	Preparación de dosis de Actividad de I131.	si
		Administración de radiofármacos por vía oral.	Si
6.	Tecnólogo 3	Adquisición de las imágenes, local Cámara SPECT (estudio con I131)	Si
7.	Tecnólogo 4	Adquisición de las imágenes, local Cámara SPECT (estudio con Tc99m)	Si
8.	Enfermeras	Administración de radiofármacos de diagnóstico 99mTc-RF por vía endovenosa.	Si
9	OPR	Gestión de desechos radiactivos	Si
		Monitoreo radiológico	Si



Son los TOE mas expuestos



Medicina Nuclear

END

Dosis equivalente en extremidades y dosis efectiva en todo el cuerpo

La práctica de medicina nuclear tiene la particularidad de que algunos TOE reciben dosis significativas en extremidades y en todo el cuerpo. Por ello se requiere evaluar el cumplimiento de:

- Límite de dosis equivalente en extremidades (500 mSv/año)
- Límite de dosis efectiva (20 mSv/año)

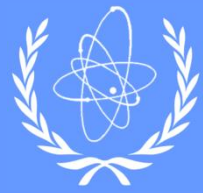




Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

**Principales etapas
que deben ser
consideradas en la
estimación de dosis
en MN**

- A. ELUSIÓN DE GENERADOR DE MO-TC.
- B. MARCAJE DE KITS LIOFILIZADOS PARA DIAGNÓSTICO CON ^{99m}TC -RFS.
- C. PREPARACIÓN DE LAS DOSIS DE ACTIVIDAD PARA PROCEDIMIENTOS CON ^{99m}TC
- D. PREPARACIÓN DE DOSIS DE ACTIVIDAD DE ^{131}I .
- E. ADMINISTRACIÓN DE RADIOFÁRMACOS DE DIAGNÓSTICO ^{99m}TC -RF POR VÍA ENDOVENOSA.
- F. ADMINISTRACIÓN DE RADIOFÁRMACOS POR VÍA ORAL.
- G. ADQUISICIÓN DE LAS IMÁGENES, LOCAL CÁMARA SPECT (ESTUDIO CON ^{131}I). LA DOSIS EFECTIVA QUE RECIBE DURANTE LA COLOCACIÓN DEL PACIENTE EN LA CAMILLA.
- H. ADQUISICIÓN DE LAS IMÁGENES, LOCAL CÁMARA SPECT (ESTUDIO CON ^{131}I). LA DOSIS EFECTIVA QUE RECIBE DURANTE EL TIEMPO DE ADQUISICIÓN DE LAS IMÁGENES DESDE EL PANEL DE CONTROL.
- I. ADQUISICIÓN DE LAS IMÁGENES EN EL LOCAL DE LA CÁMARA SPECT (ESTUDIO CON ^{99m}TC). DOSIS EFECTIVA DURANTE LA COLOCACIÓN DEL PACIENTE EN LA CAMILLA DEL EQUIPO.
- J. ADQUISICIÓN DE LAS IMÁGENES, LOCAL CÁMARA SPECT (ESTUDIO CON ^{99m}TC). DOSIS EFECTIVA QUE RECIBE DURANTE EL TIEMPO DE ADQUISICIÓN DE LAS IMÁGENES DESDE EL PANEL DE CONTROL.



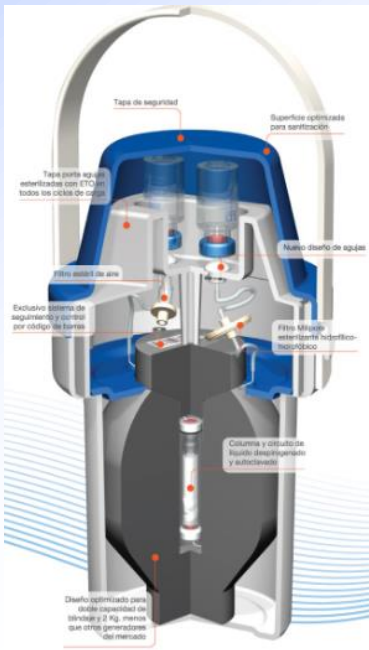
Medicina Nuclear

END

Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

A- Elución del Generador Mo-Tc99.

A1- Dosis equivalente en extremidades.

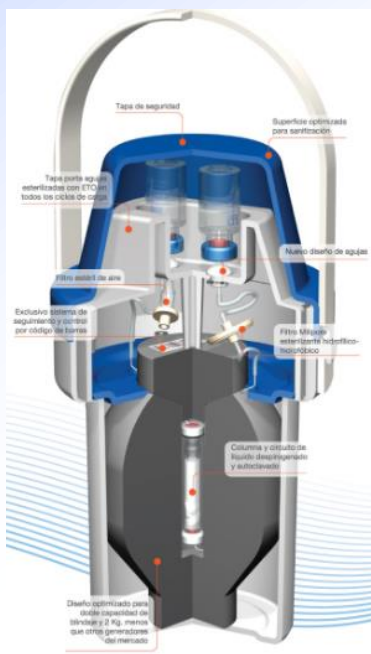




Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

A- Elución del Generador Mo-Tc99.

A1- Dosis equivalente en extremidades.



Según el cálculo realizado con el código Microshield versión 4, considerando 500 mCi de ^{99m}Tc en un contenedor de plomo de 5 mm de espesor produce una tasa de dosis en la superficie del contenedor igual a 14.18 $\mu\text{Sv/h}$ para el primer día de elución (lunes).

Partiendo de este cálculo y considerando que para la elución se utiliza el mismo contenedor de plomo se calcula la tasa de dosis por mCi eluido como:

$$R_{(\text{mCi } ^{99})} = 14.18 \mu\text{Sv/h} / 500 \text{ mCi} = \mathbf{0.0284 (\mu\text{Sv/h}) / mCi}$$

Sabiendo la actividad eluida por día podemos calcular la Tasa de dosis que recibe el tecnólogo cada día como:

$$TD_{99m} = R_{(\text{mCi})} * A_{\text{eluida}}$$

La A_{eluida} se puede calcular según el decaimiento radiactivo del Mo_{99} como:

$$A_{\text{eluida}} = A_0 * e^{(-\lambda * t / T)} = A_0 * e^{(-0.693 * t / T)}$$

Donde:

λ , es la constante de desintegración del Mo_{99} .

t , es el tiempo transcurrido entre una elución y otra.

T , es el periodo de semidesintegración del Mo_{99} . $T = 66 \text{ h}$



Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

A- Elución del Generador Mo-Tc99.

A1- Dosis equivalente en extremidades.

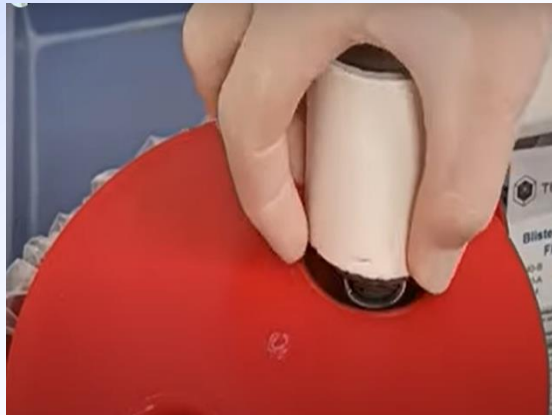


Tabla I.

Actividad máxima promedio para los restantes días de elución del generador considerando el decaimiento del ^{99}Mo y una eficiencia del generador del 100%.

Tiempo (días)	Actividad (mCi)	Tasa de dosis ($\text{TD}_{99\text{m}}$) ($\mu\text{Sv/h}$)	Dosis en extremidades $t_{\text{contacto}}=1$ minuto (μSv)
0	500	14.18	0.24
1	389	11.03	0.18
2	302	8.57	0.14
3	235	6.67	0.11
4	183	5.19	0.09
Total			0.76

Considerando 50 semanas al año se obtiene una dosis equivalente en extremidades igual a $38\mu\text{Sv} = 0,038 \text{ mSv/año}$



Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

A- Elución del Generador Mo-Tc99.

A2- Dosis efectiva por irradiación externa.



Según el cálculo realizado con el código Microshield versión 4, considerando 500 mCi de ^{99m}Tc en un contenedor de plomo de 5 mm de espesor produce una tasa de dosis a 0.3 m del contenedor de 48.1 nSV/h.

Partiendo de este cálculo y considerando, que para la elución se utiliza el mismo contenedor de plomo, se calcula la tasa de dosis por mCi eluido como:

$$R_{(\text{mCi } 99,03)} = 48.1 \text{ nSV/h.} / 500 \text{ mCi} = \mathbf{0.0962 \text{ (nSv/h)/ mCi}}$$

La tasa de dosis a cuerpo entero, que se expone el tecnólogo cada día se calcula como:

$$TD_{99m,03} = R_{(\text{mCi},03)} * A_{\text{eluida}}$$



Medicina Nuclear

END

Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

A- Elución del Generador Mo-Tc99.

A2- Dosis efectiva por irradiación externa.



Tiempo (días)	Actividad (mCi)	Tasa de dosis (TD _{99m}) (nSv/h)	Dosis a cuerpo entero ^{elución} _{t_{elución}=1} minuto (nSv)
0	500	48.1	0.802
1	389	37.4	0.623
2	302	29.05	0.484
3	235	22.60	0.377
4	183	17.60	0.293
Total			2.579

Considerando 50 semanas al año se obtiene una dosis efectiva igual a **0.129 μ Sv = 0.000129 mSv/año**



Medicina Nuclear

END

Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

B- Marcaje de KIT con Tc99.

B1- Dosis equivalente en extremidades.



Las operaciones de marcaje de los kits liofilizados para los diferentes estudios gammagráficos se realizarán en el flujo laminar del Local de Generadores. Para ello se requiere extraer una determinada cantidad de Tc99m desde el vial de elución utilizando una jeringa de 5 ml e introducir esa actividad en el kits liofilizado. Tanto durante la extracción del Tc99m del vial de elución como durante la introducción del radioisótopo en el kit frío, el tecnólogo se expone y se asume un tiempo de 5 segundos por cada una de estas dos operaciones. En esas operaciones se maneja un volumen de Tc99m de 2 ml. Considerando que haremos los cálculos para el tipo de estudio y el radiofármaco más usado y que requiere mayor actividad de radiofármaco (Gammagrafía ósea con 740 MBq).



Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

B- Marcaje de KIT con Tc99.

B1- Dosis equivalente en extremidades.



- Cálculo de la dosis equivalente en extremidades.

La principal contribución para el cálculo de la dosis equivalente en extremidades es:

- a) La dosis equivalente que recibe el operador debido a la permanencia del Tc99m dentro de la jeringa.

Para este radiofármaco la jeringa se carga con 2 ml. Conservadoramente tomamos el valor de máximo de la tasa de dosis equivalente para la jeringa llenada con 2ml. Este valor es 458,6 (mSv/h)/GBq de actividad manipulada. En tales casos la tasa de dosis equivalente en la mano aumenta en la medida que la jeringa se va llenando y disminuye cuando la jeringa se va vaciando, por ello consideramos la mitad de la tasa de dosis por GBq de actividad manipulada es: $R_{(extre. manip)} = 229.3 \text{ (mSv/h)/GBq}$.



Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

B- Marcaje de KIT con Tc99.

B1- Dosis equivalente en extremidades.



Considerando que se preparan $N_{dsem} = 10$ dosis/día y la actividad de cada dosis preparada es de $A_{d(extre. manip)} = 0.74$ GBq/dosis para los estudios con MDP y se trabajan $N_a = 5$ días/sem, el tiempo por operación es $T_{m(extre. manip)} = 0.00139$ h/operación, esta contribución sería:

$$D_{(extre. manip)} = R_{(extre. manip)} * A_{d(extre. manip)} * N_{dsem} * N_a * T_{m(extre. manip)} * 2$$

$$D_{(extre. manip)} = 229.3 \text{ (mSv/h)/GBq} * 0.74 \text{ GBq/dosis} * 50 \text{ dosis/sem} * 0.00139 \text{ h/operación} * 2 \text{ operaciones} = 23,58 \text{ mSv/sem}$$

La dosis equivalente anual debido a esta tarea sería:

$$D_{(extre. marcaje)} = (D_{(extre. manip)}) * 50 \text{ sem/año} = 1179,4 \text{ mSv/año}$$



Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

B- Marcaje de KIT con Tc99.

B2- Dosis efectiva por irradiación externa.



- Cálculo de la dosis efectiva a cuerpo entero.

El valor de la tasa de dosis efectiva se calcula a 0.3 m. En tales casos la jeringa puede considerarse una fuente puntual y el valor de la dosis que recibe el tecnólogo, al manipular una dosis, se puede calcular por la ecuación:

$$H_0 = \frac{\Gamma \cdot A \cdot t}{d^2}$$

Donde:

Γ , es la constante gamma para el $Tc_{99} = 0.00003317 \text{ mSv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$

A , es la actividad total diaria que se prepara, consideramos que la jeringa siempre tiene la mitad de la actividad del estudio $((740 \text{ MBq}/2) \cdot 10 \text{ dosis/día})$.

t , es el tiempo total de preparación $(10 \text{ seg} = 0.0028 \text{ h})$.

d , es la distancia entre la jeringa y el tecnólogo (0.3 m).

$H_{0, \text{marcaje}} = 0.003818 \text{ mSv/dosis}$

La Dosis efectiva anual en la realización del marcaje se calcula como:

$D_{(\text{marcaje, sem})} = H_{0, \text{marcaje}} \cdot N_{d, \text{sem}} \cdot 50 \text{ sem/año} = 0.9545 \text{ mSv/año}$



Medicina Nuclear

END 

Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

C- Preparación de dosis de Tc99 que serán administradas.

Desde el recipiente que contiene el Radiofármaco marcado con Tc99m se extraen las dosis de actividad de Radiofármaco que serán administradas a los pacientes. La actividad dosificada para cada tipo de estudio depende de los protocolos utilizados en el servicio y del peso del paciente, en esta evaluación asumimos que se dosifica el máximo establecidos en los protocolos del Hospital (740 MBq de MDP) por lo que esta estimación de dosis será conservadora.

Para este trabajo se utilizan jeringas de 1 ml y se carga 0.2 ml de actividad de radiofármaco en la jeringa.





Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

C- Preparación de dosis de Tc99 que serán administradas.

C1- Dosis equivalente en extremidades.

Existen dos contribuciones que son:



a) La tasa de dosis equivalente sobre el frasco de Radiofármaco. Esta dosis equivalente para el frasco lleno y blindado se ha calculado con el código Microshield versión 4 y es de 5.29 (mSv/h)/GBq. Pero como el frasco va disminuyendo su actividad en la medida que se preparan las jeringas con las dosis de actividad que serán administrada a los pacientes, se toma para el cálculo la mitad de esa tasa $R_{(extre, frasco, sem)} = 2.65 (mSv/h)/GBq$. La operación se realiza en $Tm_{(frasco, sem)} = 10 \text{ seg/día} = 0.0028 \text{ h/día}$ y la Actividad total del frasco se asume que son 10 dosis de actividad de 740 MBq cada una, es decir $At_{(frasco, sem)} = 74 \text{ GBq}$.

Partiendo de estas suposiciones la dosis equivalente en extremidades por semanal debido al frasco es:

$$D_{(extre, frasco, sem)} = R_{(extre, frasco, sem)} * At_{(frasco, sem)} * Tm_{(frasco, sem)} * Na$$

$$D_{(extre, frasco, sem)} = 2.65 (mSv/h)/GBq * 0.74 GBq/dosis * 10 dosis * 0.0028 h/días * 5 \text{ días/sem} = 0.272 mSv/sem$$

La dosis anual es:

$$D_{(extre, frasco, a)} = D_{(extre, frasco, sem)} * 50 \text{ sem/año} = 13.62 mSv/año$$



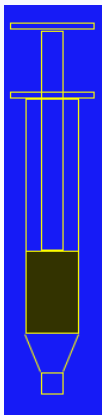
Medicina Nuclear

END

Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

C- Preparación de dosis de **Tc99** que serán administradas.

C1- Dosis equivalente en extremidades.
Existen dos contribuciones que son:



b) La tasa de dosis equivalente sobre la jeringa. Esta aumenta mientras se llena la jeringa. Para el cálculo se ha tomado la tasa de dosis máxima en el punto de interés (situado a 2,5 cm medido desde el punto medio de la jeringa) que es de 23.9 (mSv/h)/GBq para el volumen de 0.2 ml. Como ese valor de tasa de dosis aumenta mientras la jeringa se llena y con el objetivo de un cálculo más realista se ha tomado la mitad de ese valor es $R_{(extre, jeringa, sem)} = 11.95 \text{ (mSv/h)/GBq}$.

Bajo estas condiciones la dosis equivalente en extremidades debido a la jeringa se puede calcular como:

$$D_{(extre, jeringa, sem)} = R_{(extre, jeringa, sem)} * A_{j(extre, jeringa, sem)} * N_{j(extre, jeringa, sem)} * T_{m(jeringa, sem)} * N_a$$

$$D_{(extre, jeringa, sem)} = 11.95 \text{ (mSv/h)/GBq} * 0.74 \text{ GBq/dosis} * 10 \text{ dosis/día} * 0.0028 \text{ h} * 5 \text{ días/sem} = 1.24 \text{ mSv/sem}$$

La dosis anual es:

$$D_{(extre, jeringa, a)} = D_{(extre, jeringa, sem)} * 50 \text{ sem/año} = 61.9 \text{ mSv/año}$$



Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

C- Preparación de dosis de Tc99 que serán administradas.

C2- Dosis efectiva por irradiación externa.



El valor de la dosis efectiva que recibe el operador, proveniente del frasco, puede despreciarse ya que el mismo está blindado. El valor de la tasa de dosis efectiva que proviene de la jeringa es significativo y se calcula a 0.3 m. En tales casos la jeringa puede considerarse una fuente puntual y el valor de la dosis que recibe el tecnólogo se puede calcular por la ecuación:

$$H_0 = \frac{\Gamma \cdot A \cdot t}{d^2}$$

Donde:

Γ , es la constante gamma para el Tc99= 0.00003317 mSv.m²/MBq.h

$A = A_{\text{dosis}} / 2$, es la actividad total diaria que se prepara (370MBq).

t , es el tiempo total de preparación (10 seg = 0.0028 h).

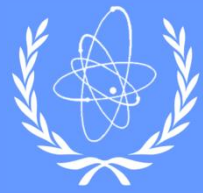
d , es la distancia entre la jeringa y el tecnólogo (0.3 m).

$H_0, \text{ jeringa, día} = H_0 \cdot 10 \text{ dosis/día} = 0.00382 \text{ mSv/ día}$

La Dosis efectiva anual en la realización del marcaje se calcula como:

$D_{\text{(efectiva, jeringa)}} = H_0, \text{ marcaje} \cdot N_{\text{dsem}} \cdot S_{\text{sem}} = 0.955 \text{ mSv/año}$

Nota: La actividad que se acumula en la Jeringa crece en la medida que esta se llena a los fines de este cálculo podemos considerar que la jeringa posee una actividad constante que es la mitad de la actividad total cargada (370 MBq).



Medicina Nuclear

END

Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

D- Preparación de dosis **de I-131** que serán administradas.

D. Preparación de dosis de Actividad de I131.

Esta operación consiste en extraer un volumen de radiofármaco (NaI) desde un ampolla original de 0.1 ml con una jeringa de 1 ml. Todos los cálculos se realizan para una dosis de actividad que será administrada a los pacientes de 74 MBq.





Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

D- Preparación de dosis de I-131 que serán administradas.

D1- Dosis equivalente en extremidades. Esta dosis tiene 2 contribuciones que son:



a) La tasa de dosis equivalente sobre el ámpula de I131 de 50 mCi. Esta dosis equivalente para el ámpula llena y blindado se ha calculado y es de 184.4 mSv/h. Pero como el ámpula va disminuyendo su actividad en la medida que se preparan las dosis de actividad que serán administrada a los pacientes, se toma para el cálculo la mitad de esa tasa $R_{i(\text{extre. ampula, sem})} = (92.2 \text{ mSv/h})$. La operación se realiza en 5 seg $T_{pi(\text{extre. ampula, sem})} = (0.00139 \text{ h})$ y se preparan $N_{di(\text{dia})} = 20$ dosis/día de actividad $A_{i(\text{dosis})} = 74 \text{ MBq/dosis}$. Se trabajan $N_{ai(\text{sem})} = 5$ dias/semana

Partiendo de estas suposiciones la dosis equivalente en extremidades por semanal debido al ámpula es:

$$D_{i(\text{extre. ampula, sem})} = R_{i(\text{extre. ampula, sem})} * N_{di(\text{dia})} * T_{pi(\text{extre. ampula, sem})} * N_{ai(\text{sem})}$$

$$D_{i(\text{extre. ampula, sem})} = 92.2 \text{ mSv/h} * 20 \text{ dosis/dia} * 0.00139 \text{ h} * 5 \text{ dias/sem} = 2.56 \text{ mSv/sem.}$$

La dosis anual es:

$$D_{i(\text{extre. frasco, a})} = D_{i(\text{extre. ampula, sem})} * 50 \text{ sem/año} = 128.05 \text{ mSv/año}$$



Medicina Nuclear

END

Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

D- Preparación de dosis de I-131 que serán administradas.

D1- Dosis equivalente en extremidades. Esta dosis tiene 2 contribuciones que son:



b) La tasa de dosis equivalente sobre la jeringa.

Esta aumenta mientras se llena la jeringa. Para el cálculo se ha tomado la tasa de dosis máxima, en el punto de interés (situado a 2 cm medido desde el punto medio de la jeringa) que es de 9 mSv/h para el volumen de 0.1 ml (para 74 MBq). Como ese valor de tasa de dosis aumenta mientras la jeringa se llena y con el objetivo de hacer un cálculo más realista se ha tomado la mitad de ese valor $R_{i(\text{extre, jeringa, sem})} = 4.5 \text{ mSv/h}$. El tiempo requerido para homogenizar el contenido de la jeringa en esta operación es de $T_{pi(\text{extre, jeringa, sem})} = 10 \text{ seg/dosis} = 0.0028 \text{ h/dosis}$

Bajo estas condiciones la dosis equivalente en extremidades debido a la jeringa se puede calcular como:

$$D_{i(\text{extre, jeringa, sem})} = R_{i(\text{extre, jeringa, sem})} * N_{di(\text{dia})} * T_{pi(\text{extre, jeringa, sem})} * N_{ai(\text{sem})}$$

$$D_{i(\text{extre, jeringa, sem})} = 4.5 \text{ mSv/h*dosis} * 20 \text{ dosis/dia} * 0.0028 \text{ h} * 5 \text{ dias/sem} = 1.25 \text{ mSv/sem.}$$

La dosis anual es:

$$D_{i(\text{extre, jeringa, a})} = D_{i(\text{extre, jeringa, sem})} * 50 \text{ sem/año} = 62.5 \text{ mSv/año}$$





Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

D- Preparación de dosis de I-131 que serán administradas.

D2- Dosis efectiva por irradiación externa. Esta tiene 2 contribuciones que son:

Nota: No se calcula la dosis efectiva por contaminación interna ya que se trabaja en una campana radioquímica que excluye esta posibilidad.



a) El valor de la dosis efectiva que recibe el operador, proveniente del ámpula blindada puede calcularse partiendo de la información del suministrador que refiere que la tasa de dosis equivalente ambiental a 30 cm del ámpula blindada es de 54.3 $\mu\text{Sv/h}$. Como la actividad en el ámpula blindada disminuye en la medida que se extrae el I131 se considera calcular la Dosis efectiva, proveniente del ámpula blindada, usando la mitad de tasa de dosis equivalente ambiental a 30 cm $R_{i(\text{efectiva, ámpula, anual})} = 27.15 \mu\text{Sv/h}$ y considerando $T_{pi(\text{efectiva, ámpula, anual})} = 5 \text{ seg/dosis} = 0.00139 \text{ h/dosis}$, como tiempo de operación por cada dosis de actividad preparada.

$$D_{i(\text{efectiva, ámpula, anual})} = R_{i(\text{efectiva, ámpula, anual})} * N_{di(\text{día})} * T_{pi(\text{efectiva, ámpula, anual})} * N_{ai(\text{sem})} * 50 \text{ sem/año}$$

$$D_{i(\text{efectiva, ámpula, anual})} = 27.15 \mu\text{Sv/h} * 20 \text{ dosis/días} * 0.00139 \text{ h/dosis} * 5 \text{ días/sem} * 50 \text{ sem/año} = \mathbf{0.147 \text{ mSv/año.}}$$



Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

D- Preparación de dosis de I-131 que serán administradas.

D2- Dosis efectiva por irradiación externa. Esta tiene 2 contribuciones que son:

Nota: No se calcula la dosis efectiva por contaminación interna ya que se trabaja en una campana radioquímica que excluye esta posibilidad.



- b) El valor de la tasa de dosis efectiva que proviene de la jeringa es significativo y se calcula a 0.3 m. En tales casos la jeringa puede considerarse una fuente puntual y el valor de la dosis efectiva que recibe el tecnólogo por cada dosis de actividad preparada se puede calcular por la ecuación:

$$H_0 = \frac{\Gamma \cdot A \cdot t}{d^2}$$

Donde:

Γ , es la constante gamma para el I₁₃₁ = 0.00007647 mSv.m²/MBq.h

$A = A_{i(dosis)} / 2$, es la actividad promedio en la jeringa, que se prepara (37MBq).

t , es el tiempo total de preparación (15seg = 0.00417 h).

d , es la distancia entre la jeringa y el tecnólogo (0.3 m).

$$H_0(\text{ jeringa, dia, }^{131}) = H_0 * N_{di(dia)} = 0.00262 \text{ mSv/día}$$

La Dosis efectiva anual que proviene de la jeringa, en la preparación de I-131 se calcula como:

$$D(\text{ efectiva, jeringa, }^{131} \text{ anual}) = H_0(\text{ jeringa, dia, }^{131}) * N_{ai(sem)} * S_{sem} = 0.655 \text{ mSv/año}$$



Medicina Nuclear

END

Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

E- Administración de RF de Tc-99m por vía intravenosa.

Se asume que diariamente se realizan la administración endovenosa a $N_{d(jeringa, Tc)} = 10$ dosis/días, con la actividad máxima a administrar $A_{(jeringa, Tc)} = 740$ MBq/dosis (20 mCi/dosis). La duración de una administración endovenosa es de $T_{(adm, jeringa, Tc)} = 1$ min/dosis = 0.0167 h/dosis. Se administra $N_{a(Tc, sem)} = 5$ dias/sem.





Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

E- Administración de RF de Tc-99m por vía intravenosa.

E1- Dosis equivalente en extremidades.



La tasa de dosis equivalente sobre la jeringa disminuye mientras se administra la dosis de actividad contenida en la jeringa. Para el cálculo se ha tomado la tasa de dosis máxima en el punto de interés (situado a 1,5 cm medido desde el nivel de líquido de la jeringa) que es de $54.3 \text{ mSv}/(\text{h} \cdot \text{GBq})$ para el volumen de 0.2 ml. Como ese valor de tasa de dosis disminuye mientras la jeringa se vacía y con el objetivo de un cálculo más realista se ha tomado la mitad de ese valor $R_{(\text{extre99, adm, dosis})} = 27.15 \text{ mSv}/(\text{h} \cdot \text{GBq})$.

Bajo estas condiciones la dosis equivalente en extremidades semanal debido a la dosis de actividad contenida en la jeringa se puede calcular como:

$$D_{(\text{extre99, adm, sem})} = R_{(\text{extre99, adm, dosis})} \cdot A_{(\text{jeringa, Tc})} \cdot Nd_{(\text{jeringa, Tc})} \cdot T_{(\text{adm, jeringa, Tc})} \cdot Na_{(\text{Tc, sem})}$$

$$D_{(\text{extre99, adm, sem})} = 27.15 \text{ mSv/h} \cdot \text{GBq} \cdot 0.74 \text{ GBq/dosis} \cdot 10 \text{ dosis/día} \cdot 0.0167 \text{ h} \cdot 5 \text{ días/sem} = 16.74 \text{ mSv/sem.}$$

La dosis anual es:

$$D_{(\text{extre99, adm, a})} = D_{(\text{extre99, adm, sem})} \cdot \text{Sem} = 837.125 \text{ mSv/año}$$



Medicina Nuclear

END

Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

E- Administración de RF de **Tc-99m** por vía intravenosa.

E2- Dosis efectiva por irradiación externa.

Nota: La actividad que se acumula en la Jeringa disminuye a la medida que esta se vacía, a los fines de este cálculo podemos considerar que la jeringa posee una actividad constante que es la mitad de la actividad total cargada (370 MBq).



- Cálculo de la dosis efectiva a cuerpo entero.

El valor de la tasa de dosis efectiva que proviene de la jeringa es significativo y se calcula a 0.3 m. En tales casos la jeringa puede considerarse una fuente puntual y el valor de la dosis que recibe el tecnólogo por cada administración se puede calcular por la ecuación:

$$H_0 = \frac{\Gamma \cdot A \cdot t}{d^2}$$

Donde:

Γ , es la constante gamma para el $Tc_{99} = 0.00003317 \text{ mSv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$

$A = A_{(\text{jeringa}, Tc)} / 2$, es la actividad media administrada de Tc-99, (370 MBq).

t , es el tiempo total de administración (1 min = 0.0167 h).

d , es la distancia entre la jeringa y el tecnólogo (0.3 m).

$$H_0 = 0.00227 \text{ } \mu\text{Sv}$$

$$H_{0, \text{admi. día}} = H_0 \cdot N_{d(\text{jeringa}, Tc)} = 0.0227 \text{ } \mu\text{Sv/ día}$$

La Dosis efectiva anual en la realización de la administración se calcula como (considerar 5 días a la semana y 50 semanas al año):

$$D_{(\text{efectiva99, admi.a})} = H_{0, \text{marcaje}} \cdot N_{a(Tc, \text{sema})} \cdot S_{\text{sema}} = 5.682 \text{ mSv/año}$$



Medicina Nuclear

END

Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

F- Administración de radiofármacos terapéuticos I-131 por vía oral.

F. Administración de radiofármacos terapéuticos I-131 por vía oral.

Durante la administración de dosis de I-131 vía oral, el propio paciente manipula la dosis y absorbe el contenido mediante un absorbente. Por este motivo se calcula solamente la dosis efectiva por irradiación externa que recibe el TOE durante el control este proceso, ya que el TOE no manipula directamente la dosis.



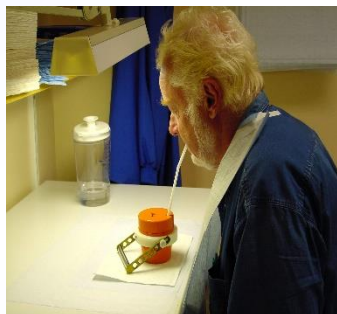


Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

F- Administración de radiofármacos terapéuticos $I-131$ por vía oral.

F2- Dosis efectiva por irradiación externa.

Nota: Se considera despreciable la dosis equivalente en extremidades en esta operación ya que las dosis de actividad se entregan a los pacientes dentro de un blindaje de plomo que atenúa casi toda la radiación que emite la dosis de actividad que se manipula por el tecnólogo



Para la estimación de dosis efectiva se tomaron en cuenta las consideraciones siguientes:

1. Se consideró que el trabajador se encuentra a una distancia $d = 1$ m del paciente.
2. En estudios de gammagrafía de tiroides con ^{131}I Na (oral), la actividad máxima administrada por paciente será de 74 MBq (2 mCi).
3. En una semana de trabajo se administran dosis vía oral a 100 pacientes ($N_{\text{pac}} = 100$).
4. Se administra la actividad al paciente en un tiempo promedio $t = 2$ min = 0.0333 h.

La dosis efectiva, que se recibe el tecnólogo, por cada administración se puede estimar como:

$$H_0 = \frac{\Gamma \cdot A \cdot t}{d^2}$$

Donde:

Γ , es la constante gamma para el $I_{131} = 0.00007647$ mSv.m²/MBq.h

A, es la actividad administrada por paciente.

t, es el tiempo de la administración.

d, es la distancia entre el paciente y el tecnólogo.

$$H_0 = 0.000188626 \text{ mSv/pac}$$

La Dosis anual en la administración de I_{131} se calcula como:

$$D_{\text{admin}131} = H_0 \cdot N_{\text{pac}} \cdot S_{\text{em}} = 0.943 \text{ mSv/año.}$$



Medicina Nuclear

Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

G- Adquisición de las imágenes, local Cámara SPECT (estudio con I131).

En esta etapa el tecnólogo no manipula directamente los radiofármacos por lo tanto no se considera significativa la dosis equivalente en extremidades. Sin embargo al colocar el paciente en la camilla del equipo y durante la operación del equipo el TOE se ubica a una determinada distancia del paciente que ha incorporado el radiofármaco y es un "paciente radiactivo". Por tal motivo el TOE recibe un determinado nivel de dosis efectiva por irradiación externa durante estas operaciones.

Posteriormente el TOE opera el equipo desde el panel de control, pero si el panel de control está situado a más de 2 m del equipo de adquisición de imágenes, o en un local aparte la dosis efectiva por irradiación externa durante esa operación se puede considerar despreciable.





Medicina Nuclear

END

Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

G- Adquisición de las imágenes, local Cámara SPECT (estudio con I131).

G2- La dosis efectiva que recibe durante la colocación del paciente en la camilla del equipo para realizar la adquisición.



Para el cálculo suponemos que el tecnólogo se mantiene a la distancia $d = 1$ m del paciente, esa operación demora $t_{p, ADQ} = 5$ minutos = 0.083 h.

Sabemos que la dosis que recibe el tecnólogo por esta operación puede calcularse como:

$$D_{ADQ}(\mu Sv/sem) = NPS \times (1 - f_{el}) \times \frac{\Gamma \times A_p \times t_{p, ADQ}}{d^2}$$

Donde:

$D_{ADQ}(\mu Sv/sem) = D_{ADQ}(\mu Sv/sem, pos)$, es la dosis semanal que recibe el tecnólogo debido al posicionamiento del paciente.

$$A_p = A_{p131} = 74 \text{ MBq}$$

$$\Gamma_{131} = 0.00007647 \text{ mSv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$$

$f_{el} = 0.15$, es la fracción de radiofármaco eliminado (se asume que se elimina antes del estudio un 15% de la actividad administrada).

$t_{p, ADQ} = 0.083$ h, es el tiempo utilizado en el posicionamiento del paciente durante la etapa de adquisición.

$$d = 1 \text{ m}$$

$$NPS = N_{pac131} = 100 \text{ pacientes/semanas}$$

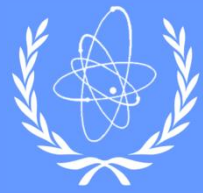
Sustituyendo en la formula obtenemos:

$$D_{ADQ}(\mu Sv/sem, pos) = 0.0399 \text{ mSv/sem}$$

La dosis efectiva anual se calcula como:

$$D_{ADQ}(\mu Sv/año, pos) = D_{ADQ}(\mu Sv/sem, pos) \times 50 \text{ sem/año} = 1.996 \text{ mSv/año}$$





Medicina Nuclear

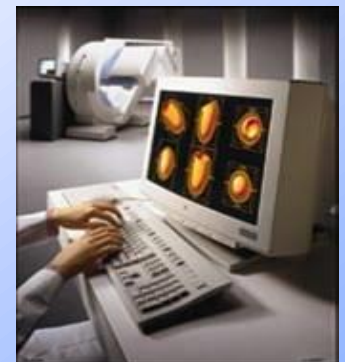
END

Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

H- Adquisición de las imágenes en el local de la Cámara SPECT (estudio con Tc99m).

En esta etapa el tecnólogo no manipula directamente los radiofármacos por lo tanto no se considera significativa la dosis equivalente en extremidades. Sin embargo al colocar el paciente en la camilla del equipo y durante la operación del equipo el TOE se ubica a una determinada distancia del paciente (que ha incorporado el radiofármaco) y es un "paciente radiactivo". Por tal motivo el TOE recibe un determinado nivel de dosis efectiva por irradiación externa durante estas operaciones.

Posteriormente el TOE opera el equipo desde el panel de control, pero si el panel de control está situado a más de 2 m del equipo de adquisición de imágenes, o en un local aparte la dosis efectiva por irradiación externa durante esa operación se puede considerar despreciable.





Medicina Nuclear

END

Ejemplo de estimación de dosis en Medicina Nuclear.

H- Adquisición de las imágenes en el local de la Cámara SPECT (estudio con Tc99m).

F2- La dosis efectiva que recibe durante la colocación del paciente en la camilla del equipo para realizar la adquisición.



Para el cálculo suponemos que el TOE se encuentra a una distancia $d = 1$ m de distancia del tecnólogo y que esa operación demora $t_{p,ADQ} = 5$ minutos = 0.083 h.

Sabemos que la dosis que recibe el tecnólogo por esta operación puede calcularse como:

$$D_{ADQ}(\mu Sv/sem) = NPS \times (1 - f_{el}) \times \frac{\Gamma \times A_p \times t_{p,ADQ}}{d^2}$$

Donde:

$D_{ADQ}(\mu Sv/sem)$ = $D_{ADQ}(\mu Sv/sem, pos)$, es la dosis semanal que recibe el tecnólogo debido al posicionamiento del paciente.

$$A_p = A_{pac} = 740 \text{ MBq}$$

$$\Gamma_{99} = 0.00003317 \text{ mSv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$$

$f_{el} = 0.15$, porque se asume que se elimina antes del estudio un 15% de la actividad administrada.

$t_{p,ADQ} = 5$ minutos = 0.083 h, es el tiempo utilizado en el posicionamiento del paciente durante la etapa de adquisición.

$$d = 1 \text{ m}$$

$$NPS = N_{pac} = 50$$

Sustituyendo en la formula obtenemos:

$$D_{ADQ}(\mu Sv/sem, imagen) = 0.087 \text{ mSv/sem}$$

La dosis efectiva anual se calcula como:

$$D_{ADQ}(\mu Sv/año, pos) = D_{ADQ}(\mu Sv/sem, pos) * 50 \text{ sem/año} = 4.329 \text{ mSv/año}$$





Medicina Nuclear

Dosis totales que reciben los TOE mas expuestos del servicio de Medicina Nuclear

Nro.	Cargo	Tareas asignadas	Dosis
1.	Médico Nuclear	Prescripción de tratamientos	No
		Interpretación de las imágenes de MN formulación de los resultados	No
2.	Radiofarmaceuta	QA de Radiofármacos	Si
3.	Físico Médico	Calibración de los equipos	Si
		Controles de calidad	Si
		Procesamiento de las imágenes	No
4.	Tecnólogo 1	Elución del Generador	Si
		Marcaje de kits liofilizados para diagnóstico.	Si
		Preparación de las dosis de actividad procedimientos con Tc99m	Si
5.	Tecnólogo 2	Preparación de dosis de Actividad de I131.	si
		Administración de radiofármacos por vía oral.	Si
6.	Tecnólogo 3	Adquisición de las imágenes, local Cámara SPECT (estudio con I131)	Si
7.	Tecnólogo 4	Adquisición de las imágenes, local Cámara SPECT (estudio con Tc99m)	Si
8.	Enfermeras	Administración de radiofármacos de diagnóstico 99mTc-RF por vía endovenosa.	Si
9	OPR	Gestión de desechos radiactivos	Si
		Monitoreo radiológico	Si

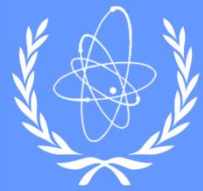


Cargo	Tarea	Dosis equivalente en extremidades (mSv/a)	Totales por TOE (mSv/a)	Dosis efectiva por irradiación externa (mSv/a)	Totales por TOE (mSv/a)
Tecnólogo 1	A- Elución del generador.	0.038	1.254,96	0.000129	1,9096
	B- Marcaje de KIT con Tc99.	1179.4		0.9545	
	C- Preparación de dosis de Tc99.	13.62 + 61.9		0.955	
Tecnólogo 2	D- Preparación de dosis de I-131.	128.05 + 62.5	190,55	0.147 + 0.655	1,745
	F- Administración de radiofármacos terapéuticos I-131 por vía oral.			0.943	
Tecnólogo 3	G- Adquisición de las imágenes, local Cámara SPECT (estudio con I131).			1.996	1.996
Tecnólogo 4	H- Adquisición de las imágenes en el local de la Cámara SPECT (estudio con Tc99m)			4.329	4.329
Totales para Tecnólogos			1445.5		9.98
Enfermera	E- Administración de RF de Tc-99m por vía intravenosa.	837.125	837.125	5.682	5.682



- **Estimación de dosis para miembros del público en Operación Normal**

¿Quiénes son los miembros del público que más se exponen en un servicio de medicina nuclear?

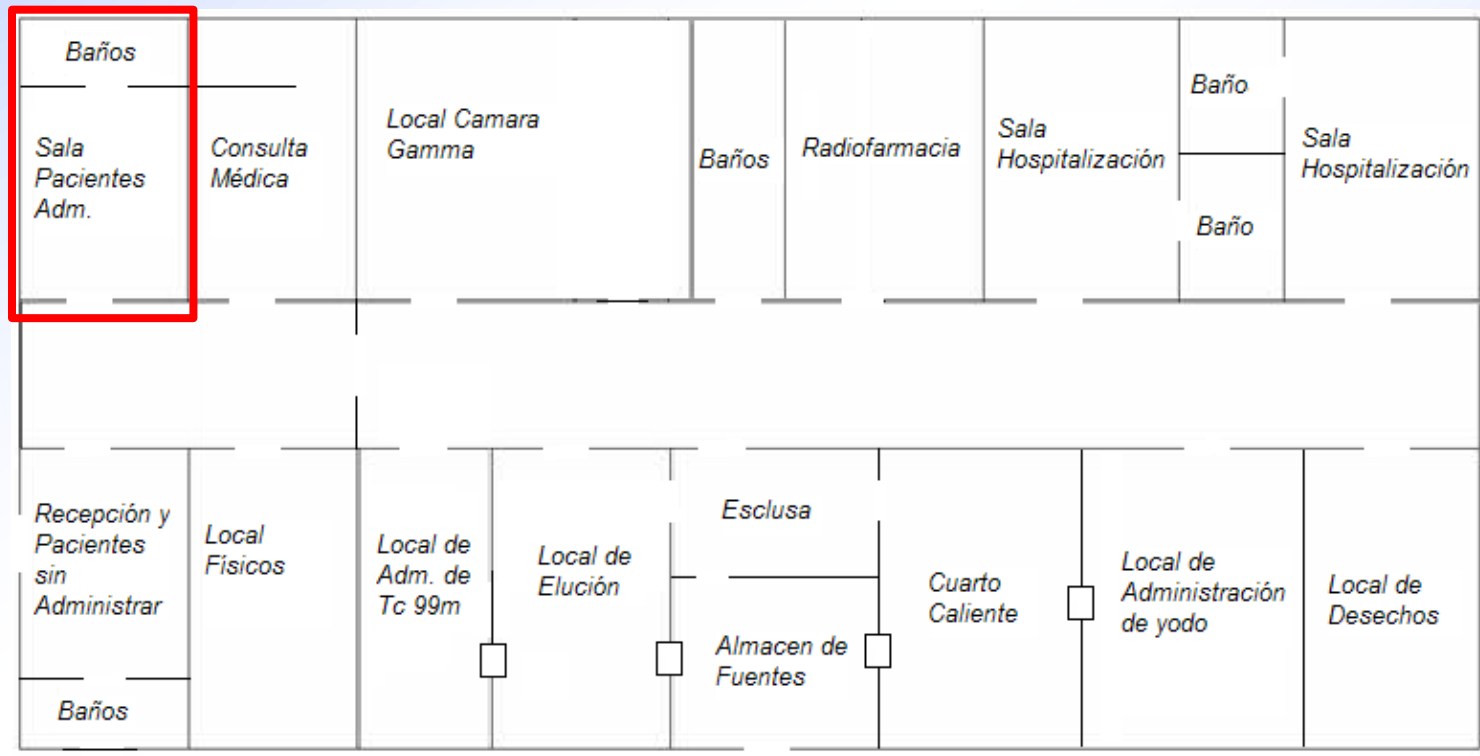


Medicina Nuclear

END

¿Quiénes son los miembros del público que mas se exponen en un servicio de medicina nuclear?

Los miembros del público que se encuentran en las áreas colindantes a la sala de espera de pacientes con dosis administradas son los mas expuestos.



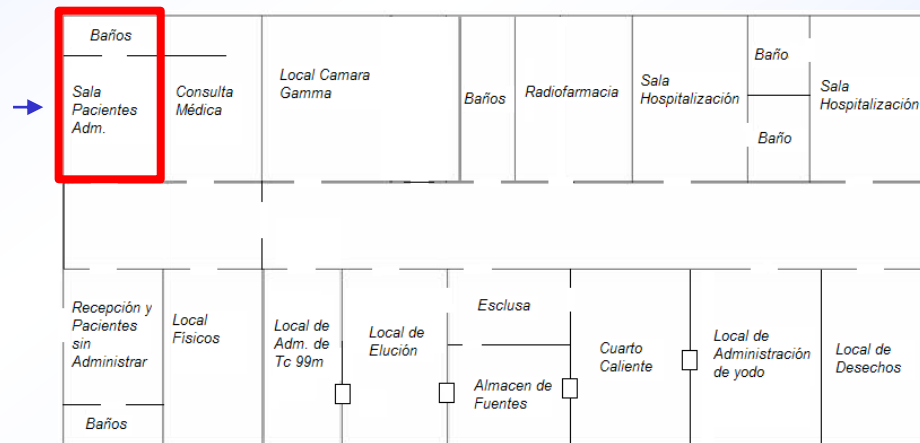


Medicina Nuclear

Ejemplo de estimación de dosis para miembros del público en operación normal.

Se estima la dosis que recibe un miembro del público que circula por el pasillo colindante al local de pacientes con dosis administrada. A una distancia de 0.3 m de la pared.

Para simplificar el cálculo se asume que todos los pacientes se ubican en el centro del local a una distancia de 2.7 m respecto a la pared del local.



La dosis semanal sin blindaje (D_s , mSv/semana) que recibe el miembro del público debido a la radiación proveniente de (NPS) pacientes que se les administra una actividad A_p (MBq) a una distancia d (m), se calcula por la ecuación siguiente:

$$D(mSv/semana) = NPS \frac{\Gamma \times A_p \times R_D \times R_t \times t_p}{d^2}$$

Donde: R_D , es el factor de decaimiento radiactivo; R_t , es el factor de reducción biológica de la actividad acumulada y t_p es el tiempo de permanencia de los pacientes en este local.



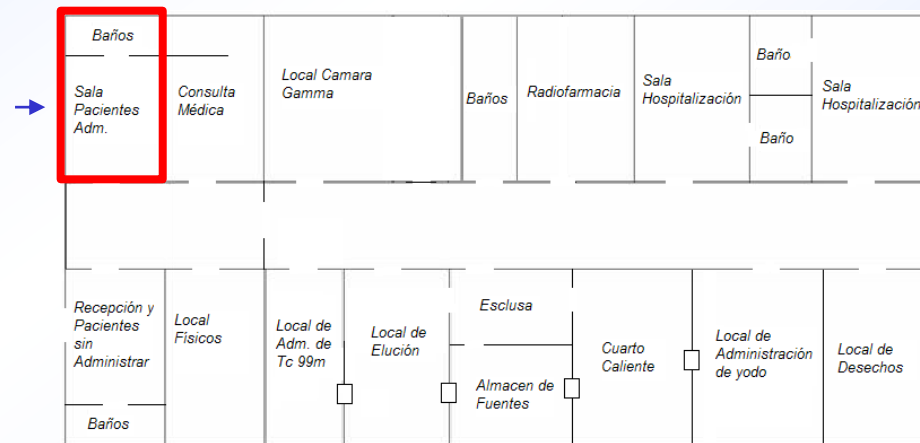
Medicina Nuclear

END

Ejemplo de estimación de dosis para miembros del público en operación normal.

R_D y R_t , se calculan según las ecuaciones siguientes:

$$R_D = \exp\left(-0.693 \frac{\Delta t}{t_{eff}}\right)$$



$$R_t = 1.443 \times \left(\frac{t_{eff}}{t_p}\right) \left[1 - \exp\left(-0.693 \frac{t_p}{t_{eff}}\right)\right]$$

- T_{eff} (horas), es el tiempo efectivo de biodistribución en el cuerpo del paciente.
- Para la determinación de la dosis en el cuarto de espera para Tc-99m se considera: $R_{D,99m}=1$, pues el paciente va al cuarto de espera inmediatamente después de la administración ($\Delta t=0h$), $t_{p,ESPERA,99m} = 3$ horas.



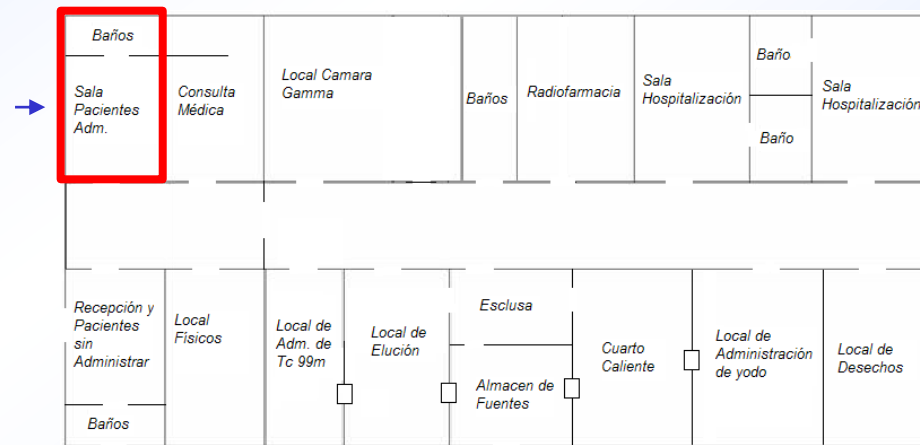


Medicina Nuclear

Ejemplo de estimación de dosis para miembros del público en operación normal.

Para calcular la dosis semanal sin blindaje utilizaremos, como ejemplo, los datos siguientes:

- T_{eff} (horas): 6 h (Tc-99).
- $t_{p,ESPERA,99m} = 3$ horas.
- $\Gamma_{99m} = 0.00003317$ mSv.m²/MBq.h,
- $d = 3$ m,
- $NPS = 50$,
- $A_{p99} = 740$ MBq,



Utilizando las ecuaciones anteriormente mostradas obtenemos:

- $R_{t,99} = 0.845$,
- $D_{99m} = 0.346$ mSv/sem (dosis sin blindaje)



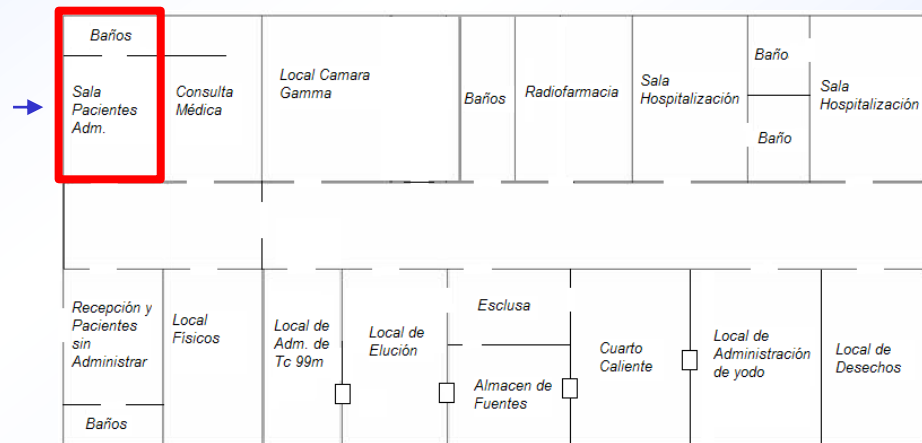
Medicina Nuclear

END

Ejemplo de estimación de dosis para miembros del público en operación normal.

Para calcular la dosis anual que recibe el miembro del público necesitamos considerar el factor de transmisión de la barrera (B) y el factor de ocupación del área (T). Utilizaremos entonces las ecuaciones siguientes:

$$B = e^{- (X/(1.443 * HVL))}$$



Considerando:

- $HVL_{(concreto)} = 1.99$ cm, es el espesor de la capa hemireductora del concreto para el isótopo utilizado (Tc99m).
- $X = 6$ cm, es el espesor equivalente del concreto de la pared existente.

$$B = 0.1237$$

Considerando que se trata de un pasillo poco transitado con acceso al público $T = 1/40$.



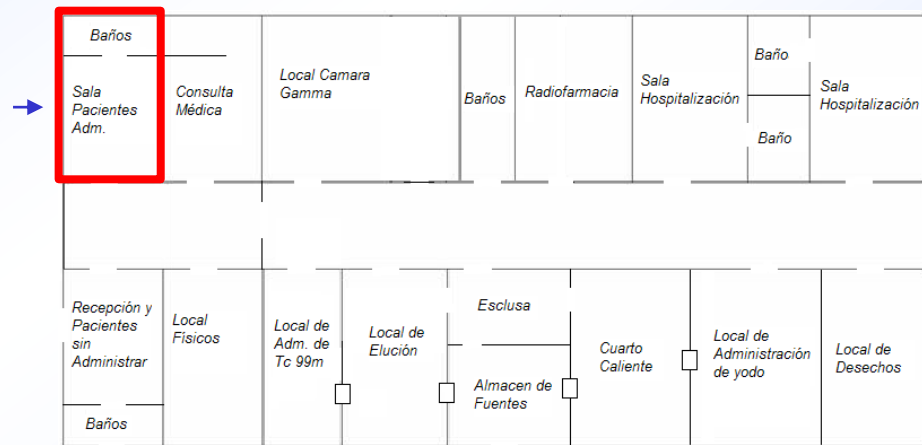
Medicina Nuclear

END

Ejemplo de estimación de dosis para miembros del público en operación normal.

Una vez calculado el factor de transmisión de la barrera (B) y asignado el factor de ocupación del área (T). Utilizaremos entonces la ecuación siguiente:

$$D_{(99m, blindaje, sem)} = D_{99m} * B * T$$



$$D_{(99m, blindaje, sem)} = 0.0010639 \text{ mSv/sem}$$

Considerando que se trabajan 50 semanas al año, la dosis anual para el miembro del público sería:

$$D_{(99m, blindaje, anual)} = 0.0532 \text{ mSv/año}$$

Conclusión: La dosis anual que recibe el miembro del público mas expuesto es mucho menor que el límite de dosis (1 mSv/año) y la restricción de dosis (0.3 mSv/año).





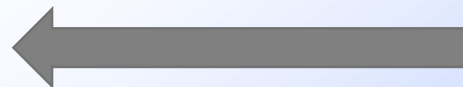
Estimación de dosis en condiciones de accidentes

1.1. Estimación de las dosis potenciales para el suceso “Derrame de material radiactivo durante su manipulación”.

Se consideran dos escenarios de accidentes correspondientes al derrame de un vial que contiene el máximo de la dosis que se administra a los pacientes en estudios con Tc99m y con I-131.

Se calculan las dosis recibidas por concepto de:

- a) Dosis en piel por contaminación.
- b) Dosis por irradiación externa.
- c) Dosis por incorporación en el caso del I-131 que es un isótopo volátil.



**Puede
afectar a
TOE y
Pacientes.**



Dosis equivalente en piel

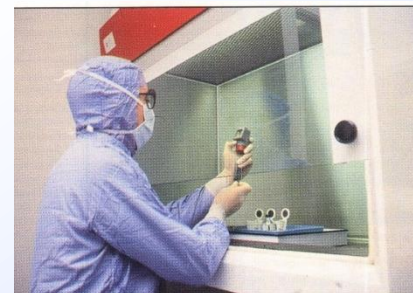
a) Dosis en piel

La evaluación se realizó para ^{131}I y $\text{Tc}^{99\text{m}}$. En la Tabla I se muestran los datos usados en los cálculos. Los valores de actividad utilizados se corresponden con las actividades máximas manipuladas durante las aplicaciones a los pacientes.

Tabla I

RN	Tasa de dosis en piel [$\mu\text{Sv/h/MBq/cm}^2$]*	Volumen de la solución [ml]	Actividad [MBq]	Concentración radiactiva [MBq/cm ³]
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.243	0.5	740	1480
^{131}I	1.694	5.0	74	14.8

*INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Generic Procedures for Assessment and Response during a Radiological Emergency, IAEA TECDOC- 1162, IAEA, Vienna (2000).





Dosis equivalente en piel

La dosis equivalente en piel se determina según (IAEA TECDOC- 1162, IAEA, Vienna (2000)):

$$H_{T,piel} = C_{piel} \times CF_{Beta-piel} \times SF_{Beta} \times t_{exp}$$

donde:

$H_{T,piel}$ = Dosis equivalente en la piel [mSv].

C_{piel} = Concentración superficial promedio del radionucleido sobre la piel o ropas [Bq/cm²].

$CF_{Beta-piel}$ = Factor de conversión: Tasa de dosis beta en piel [(mSv/h)/(Bq/cm²)].

SF_{Beta} = Factor de apantallamiento de la radiación beta debido a la ropa; los valores representativos son aproximadamente 0.2 – 0.3 para ropa ligera (fina) y 0.001 para ropa gruesa. Se utilizó 0.25 en los cálculos presentados.

t_{exp} = Tiempo de exposición [h]





Medicina Nuclear

END

Dosis equivalente en piel

Para la evaluación de la dosis equivalente en la piel por contaminación superficial se consideraron dos vías: la contaminación directa y la contaminación indirecta de la piel. La contaminación indirecta puede ser despreciada ya que es mucho menor que la contaminación directa.

- Se determinó la dosis equivalente en la mano por contaminación directa debido al derrame de la solución radiactiva. Se consideró que la superficie de la mano completa tiene un área de 420 cm² y la superficie expuesta de la mano se estima en 210 cm².

$$C_{\text{piel-Tc99}} = 740 \text{ MBq} / 210 \text{ cm}^2 = 3.52 \text{ MBq/cm}^2$$

$$C_{\text{piel-I-131}} = 74 \text{ MBq} / 210 \text{ cm}^2 = 0.352 \text{ MBq/cm}^2$$

Los tiempos de irradiación seleccionados dependen del tipo de escenario: para la contaminación directa por derrames sobre la piel se fijó un tiempo de descontaminación de 3 minutos.

Los resultados se muestran en la Tabla II.

Tabla II. Dosis equivalente en la piel debida a contaminación superficial

RN	Actividad [MBq]	Actividad Superficial en la mano. C_{piel} [MBq/cm ²]	Dosis equivalente en la piel. $H_{\text{T,piel}}$ [μSv]
		Contaminación directa	Contaminación directa
^{99m} Tc	740	3.52	0,010692
¹³¹ I	74	0.352	0,0074536





Dosis efectiva por irradiación externa.

b) Dosis por irradiación externa.

La evaluación de las dosis por irradiación externa debido a derrames accidentales se realizó para los radionucleidos ^{99m}Tc y ^{131}I . La dosis efectiva debido a la exposición a un derrame de líquido radiactivo, durante un tiempo de exposición (t_{exp}) se puede calcular mediante la expresión según (IAEA TECDOC- 1162, IAEA, Vienna (2000)):

$$H_{T,S} = 2\pi \times A_S \times t_{\text{exp}} \times CF_{\text{point}} \ln \left[\frac{R^2 + X^2}{X^2} \right]$$

donde:

$H_{T,S}$ = Dosis efectiva [mSv]

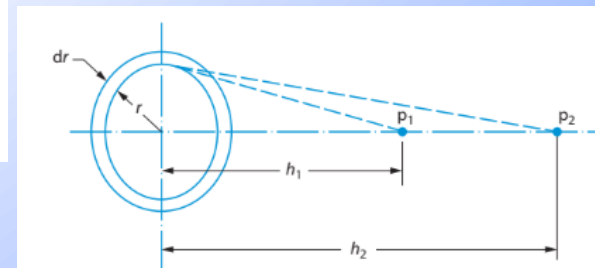
CF_{point} = Dosis efectiva debido a 1 hora de exposición a 1 metro de una fuente puntual de 1kBq [(mSv.m²)/(kBq.h)].

A_S = Actividad por m² en la fuente derramada [Bq/m²]

R = Radio del derrame [m] = 0.1 m

X = distancia desde el centro del derrame [m] = 0.5 m

t_{exp} = Tiempo de exposición [h] = 0.5 h





Dosis efectiva por irradiación externa.

- $CF_{point} = H_0$, evaluado para $t = 1h$, $A = 1kBq = 0.001 MBq$, $d = 1 m$, $\Gamma_{99} = 0.00003317 mSv.m^2/MBq.h$, $\Gamma_{131} = 0.00007647 mSv.m^2/MBq.h$

$$H_0 = \frac{\Gamma \cdot A \cdot t}{d^2}$$

$$CF_{point99} = 0.00000003317 (mSv.m^2)/(kBq.h)$$

$$CF_{point131} = 0.00000007647 (mSv.m^2)/(kBq.h)$$

- Área del derrame = $\pi (R)^2 = 0,0314 m^2$

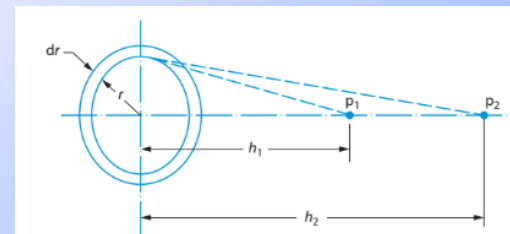
$$A_{S99} = 740000 / 0.0314 kBq/m^2 = 23566878.9 kBq/m^2$$

$$A_{S131} = 74000 / 0.0314 kBq/m^2 = 2356687.9 kBq/m^2$$

En las evaluaciones de las dosis por irradiación externa se consideró que el derrame cubre un área circular de 10 cm de radio (0.1 m) y se adoptó la geometría de fuente extendida en forma de disco plano con el punto de evaluación a 50cm de distancia del centro de la huella (0.5 m) para un tiempo de exposición de 30 minutos (0.5 h). Los resultados, se muestran en la Tabla III.

Tabla III. Dosis por irradiación externa tras derrames en el piso

RN	Actividad [MBq]	Dosis efectiva [mSv]
^{99m}Tc	740	0,09627
^{131}I	74	0,022194





Dosis efectiva por incorporación.

c) Dosis por incorporación vía inhalación. Solo para isótopos volátiles.

Para evaluar la posible incorporación por inhalación se asumió que el 10% de la actividad de ^{131}I (7.4 MBq) derramada se distribuye uniformemente en el volumen de aire del local (aproximadamente 42m^3).

La actividad volumétrica en el local sería:

$$A_{\text{volu}} = 0.1 * A_{131\text{I}} / 42 \text{ m}^3 = 0.1762 \text{ MBq/m}^3$$

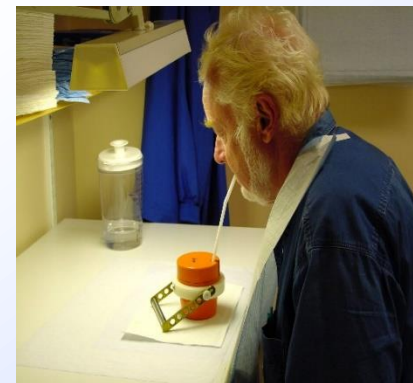
Asumiendo una tasa de respiración en adultos de $T_{\text{res}} = 1.2 \text{ m}^3/\text{h}$, para un tiempo de permanencia de $t_p = 30$ minutos, la actividad incorporada de ^{131}I es:

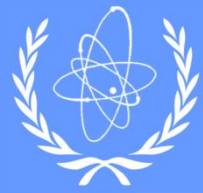
$$A_{\text{inc}} = A_{\text{volu}} * T_{\text{res}} * t_p = 0.106 \text{ MBq}$$

La constante de dosis por actividad incorporada para el I-131 es $C_{\text{dosis, inc}} = 10.943 \text{ mSv/MBq}$, entonces:

$$D_{\text{efec, comp}} = A_{\text{inc}} * C_{\text{dosis, inc}} = 1.16 \text{ mSv.}$$

Nota: En esta evaluación no se ha considerada la influencia del Sistema de ventilación que lógicamente provocará la reducción de la actividad incorporada.





Gracias