

CNEA-AC 60/85

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Dependiente de la Presidencia de la Nación
GERENCIA DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD

Curso Protección Radiológica y Seguridad Nuclear

Nivel Técnico

TEMA: CONTAMINACION INTERNA

Lic. Antonio OLIVEIRA

Buenos Aires

1985

CONTAMINACION INTERNA

Lic. Antonio OLIVEIRA

INTRODUCCION:

El control individual de la contaminación interna se basa en la medición directa, total o parcial del cuerpo, con el fin de detectar radiaciones X o gamma emitidas por nucleídos eventualmente incorporados, o en el análisis radioquímico de excretas u otro material biológico, en el caso de emisores alfa o beta.

La interpretación de los resultados obtenidos requiere el conocimiento de ciertos aspectos del metabolismo de los nucleídos de interés principalmente aquellos relacionados con los caminos metabólicos seguidos por el elemento desde su ingreso al organismo hasta su eliminación.

Por otra parte, el metabolismo de un elemento depende de sus características físico-químicas, lo que es válido tanto para el elemento estable así como para sus isótopos radiactivos.

La figura 1 resume los caminos metabólicos más importantes a considerar en el análisis de la contaminación interna.

TERMINOLOGIA EMPLEADA EN EL ANALISIS DE LA CONTAMINACION INTERNA:

a) Incorporación (intake):

Se denomina de esta forma a la entrada en el organismo por alguna de las siguientes vías: inhalación, ingestión, penetración a través de la piel intacta o herida.

En el caso de la inhalación, una fracción de lo inhalado es inmediatamente exhalada, mientras que el resto se deposita en diversas regiones del sistema respiratorio.

La ingestión se refiere a la entrada vía tracto gastrointestinal del elemento contaminante.

La piel constituye una barrera eficaz contra la penetración de la mayoría de los productos radiactivos, con excepción del agua tritiada e iodo. La piel dañada no actúa generalmente como protección.

b) Incorporación sistémica (uptake):

Se denomina así a la entrada al líquido extracelular desde los órganos o tejidos donde ha ocurrido la incorporación.

La introducción directa del contaminante en el torrente sanguíneo, como en el caso de inyecciones endovenosas experimentales, o ciertas heridas, es un caso especial de incorporación sistémica.

La incorporación sistémica tiene lugar luego de la incorporación, siendo un proceso que puede ocurrir en escasos segundos (agua tritiada, iodo) o transcurrir durante años (inhalación de PuO₂).

c) Deposición:

Se denomina deposición a la actividad que ingresa a un órgano o tejido desde el fluido extracelular.

También se utiliza este término para referirse a la actividad depositada en diversas regiones del sistema respiratorio luego de la inhalación.

d) Retención:

Este término puede utilizarse para definir la fracción de la actividad depositada presente en un órgano, tejido o compartimiento del sistema respiratorio en un determinado momento.

e) Eliminación y excreción:

Cuando un elemento abandona un tejido u órgano, se trata de una eliminación. En el caso en que un elemento abandone el organismo por vía urinaria, fecal, transpiración o exhalación se hace referencia a una excreción.

Las distintas formas de excreción no son de igual importancia cuando se consideran como medio de control de la contaminación interna.

Generalmente, se analizan solamente las excreciones urinaria y fecal.

MODELOS METABOLICOS:

Con el fin de estimar las cantidades de contaminante incorporadas, y la dosis equivalente comprometida, es necesario realizar evaluaciones cuantitativas de los procesos metabólicos seguidos por los elementos contaminantes.

Para ello se utilizan modelos matemáticos.

Tales modelos son una simplificación de fenómenos reales, generalmente muy complejos.

Los modelos descriptos por la ICRP* en su publicación Nro. 30, responden a un esquema compartimental, con coeficientes de transferencia constantes, cuya cinética puede describirse utilizando sistemas diferenciales, lineales, de primer orden, con coeficientes constantes.

En ciertos casos, es posible ajustar curvas a resultados experimentales, obteniéndose funciones matemáticas que describen todos los procesos metabólicos, pero que no permiten analizar pasos intermedios.

Los modelos compartimentales descriptos por la ICRP hacen uso de ciertos parámetros cuya validez debe ser considerada en cada caso.

Los parámetros mencionados pueden referirse a valores standard, correspondientes a un individuo promedio, por lo que deben considerarse ciertas incertezas debidas a variaciones individuales.

Por otra parte, en algunos casos es necesario conocer ciertos parámetros referidos a un individuo en particular, los que aplicados al modelo permitirán interpretar más exactamente los resultados del monitoreo con el fin de estimar la actividad incorporada así como calcular la dosis equivalente comprometida.

Los modelos metabólicos aplicados deben ser modificados cuando se efectúan acciones terapéuticas con el fin de disminuir los riesgos, ya sea aumentando la eliminación o excreción, o interfiriendo los procesos de deposición.

a) Modelo respiratorio:

La deposición y retención en el sistema respiratorio de partículas inhaladas dependerá

de las características anatómicas y fisiológicas del tracto respiratorio, así como las propiedades físico - químicas del aerosol.

El sistema respiratorio se considera dividido en cuatro regiones anatómicas:

- La región nasofaríngea (NP)
- El árbol traqueobronquial (TB)
- El parénquima pulmonar (P)
- Los nódulos linfáticos pulmonares (L)

Luego de la inhalación, parte de las partículas del aerosol se depositará en las regiones nasofaríngeas, traqueobronquial y pulmonar, mientras que el resto será re - exhalado.

Las cantidades depositadas, expresadas como fracciones de la cantidad inhalada, se denominan D_{NP} , D_{TB} , y D_P .

Su valores dependen principalmente de los parámetros respiratorios del individuo y de las propiedades aerodinámicas del aerosol.

Para trabajadores profesionalmente expuestos, el volumen tidal se considera de 1.450 cm³ y su frecuencia respiratoria de 15 ciclos/minuto.

Para aerosoles, cuyos diámetros de partícula se distribuyen de acuerdo a una distribución log- normal, las fracciones depositadas dependen del AMAD (Activity Median Aerodynamic Diameter).

Las regiones anatómicas NP, TB, y P se subdividen en compartimentos, según se observa en la figura 2.

Es posible distinguir tres procesos de transferencia:

- 1) Transferencia directa al líquido extracelular.
- 2) Transferencia al tracto gastrointestinal, debida a la acción de las cillas del epitelio de las regiones NP y TB hacia el esófago.
Parte de las partículas depositadas en estas regiones y las que llegan de los pulmones por fagocitosis son rápidamente enviadas al tubo digestivo.
En este caso el contaminante se comporta como lo haría en la ingestión, o sea parte es

(*) ICRP: International Commission on Radiological Protection.

absorbido por el intestino y el resto se excreta directamente vía heces.

- 3) Transferencia a los nódulos linfáticos pulmonares, cuyo contenido es posteriormente transferido, total o parcialmente al líquido extracelular.

Cada compartimento presenta las siguientes características:

- la cantidad depositada en él es una fracción F de la correspondiente deposición regional.
- La velocidad de transferencia es en cada momento proporcional a su contenido, definiéndose entonces un semiperíodo T.

En el modelo descripto, los valores de F y T dependen sólo de la naturaleza y forma química del contaminante y no del tamaño de las partículas depositadas.

De acuerdo a su velocidad de transferencia desde la región pulmonar, los compuestos se agrupan en tres clases:

- Clase D, cuyo semiperíodo de retención es menor de 10 días.
- Clase W, con un semiperíodo de retención entre 10 y 100 días.
- Clase Y para semiperíodos mayores de 100 días.

Debe recordarse que la definición de semiperíodo se refiere al tiempo necesario para que la actividad depositada se reduzca a la mitad.

b) Modelo digestivo:

La ingestión de sustancias radiactivas e indirectamente la inhalación, somete a irradiación al tracto gastrointestinal.

Una fracción de la actividad ingerida es absorbida y pasa al líquido extracelular, mientras que el resto se excreta con las heces.

Estos procesos son evaluados utilizando el modelo descripto en la publicación Nro. 30 de la ICRP.

El tracto gastrointestinal es dividido en cuatro secciones, tal como se observa en la figura 3.

- Estómago (S)
- Intestino delgado (SI)
- Intestino grueso superior (ULI)
- Intestino grueso inferior (LLI)

Dado que el pasaje a través del esófago es sumamente rápido, se supone que la entrada al tracto gastrointestinal se produce directamente en el estómago.

En este modelo, las velocidades de salida de una sección son en cada momento proporcionales a su contenido. De ahí que las variaciones del contenido de cada sección en función del tiempo pueden describirse por un sistema diferencial de primer orden con coeficientes constantes.

La cinética de transferencia desde una sección a otra, o hacia el exterior desde la sección LLI, se definen por una constante de transferencia λ cuyo valor es la inversa del tiempo medio de permanencia en dicha sección para un alimento no absorbible.

O sea:

$$\lambda = 1/T_m$$

Además, se supone que la absorción tiene lugar solamente en el intestino delgado. En cada momento, la incorporación sistémica (uptake) es proporcional a la cantidad de elemento presente en esa sección.

La constante de incorporación sistémica λ_B , depende de la naturaleza y forma química del elemento contaminante.

Su valor está dado por la relación

$$\lambda_B = \frac{f_1 \cdot \lambda_{SI}}{1 - f_1}$$

donde f_1 es la fracción del elemento absorbida después de la ingestión.

Los compuestos se agrupan de acuerdo al orden de magnitud de f_1 , predominando la incorporación sistémica o la excreción fecal según dicho orden sea cercano a 1 o al valor 0.

No existe, generalmente, una correlación entre las incorporaciones sistémicas desde el intestino y el sistema respiratorio.

Así, por ejemplo, compuestos de polonio y zirconio, clasificados como clase D de acuerdo al modelo respiratorio, tienen muy pequeño f_1 .

Frecuentemente, considerando tiempos muy cortos de residencia en el estómago e intestino delgado, puede suponerse que la incorporación sistémica ocurre casi instantáneamente luego de la ingestión, permitiendo simplificar los cálculos.

c) Modelos metabólicos posteriores a la incorporación sistémica:

Los modelos metabólicos utilizados para describir el comportamiento de los elementos después de ingresar al líquido extracelular son desarrollados por la ICRP 30.

Pueden describirse los siguientes modelos:

- Modelos compartimentales que describen completamente el comportamiento de un elemento; por ejemplo, yodo.
- Modelos matemáticos complejos, que describen el comportamiento de los elementos en varias regiones del organismo, por ejemplo, metales alcalino - térreos.
- Modelos matemáticos simples, por ejemplo, funciones que describen globalmente la retención corporal, sin puntualizar los procesos diversos que se llevan a cabo. Esta situación es la más frecuente.

La velocidad de excreción, después de la incorporación sistémica, necesaria para calcular la velocidad de excreción luego de la incorporación (intake), se obtiene generalmente por derivación con respecto al tiempo de la función de retención correspondiente.

Sin embargo la función de retención no siempre es completa, como ocurre en el caso de los compuestos de plutonio.

En tal caso, la velocidad de excreción, luego de la incorporación sistémica, se obtiene a partir de resultados experimentales, a nivel humano, o extrapolando datos de experimentación animal.

La función de excreción se selecciona de acuerdo al comportamiento metabólico del elemento, tal como se describe en la ICRP, publicación 30.

DOSIMETRIA DE LA CONTAMINACION INTERNA:

En protección radiológica, se asume que el riesgo de un dado efecto biológico está directamente relacionado con la dosis equivalente.

En esas circunstancias, el riesgo de un efecto está determinado por el total de la dosis equivalente promedio en el órgano o tejido en riesgo, siendo independiente del tiempo durante el cual esa dosis equivalente se produce.

Para los fines prácticos, se recomienda que se considere una vida laboral de 50 años como período apropiado para la integración de la dosis equivalente.

La dosis equivalente promedio que recibe cualquier tejido en el lapso de los 50 años posteriores a la incorporación de un nucleído se denomina dosis equivalente comprometida, H_{50} , y se expresa matemáticamente:

$$H_{50} = \sum_i \frac{\int_0^{50} D_{50,i} Q_i N_i dm}{\int_0^{50} dm} \quad (1)$$

siendo:

M: masa de un órgano o tejido, para cada tipo de radiación i .

$D_{50,i}$: dosis total absorbida durante los 50 años posteriores a la incorporación del nucleído al organismo, en un diferencial de masa dm , de un órgano o tejido.

Q_i : factor de calidad correspondiente a la radiación i .

N_i : producto de diferentes factores mo-

dificatorios, tales como tasa de dosis, fraccionamiento, etc.

A los fines del cálculo, el factor de calidad, Q_i , se considera constante para un dado tipo de radiación, así:

- Q 1: para partículas beta, electrones, y toda radiación electromagnética, a saber, gamma, X, o de frenamiento.
- Q 10: para neutrones de fisión, emitidos espontáneamente, y protones.
- Q 20: para partículas alfa, para partículas pesadas de retroceso, y para fragmentos de fisión.

De esta forma, la expresión (1) se simplifica:

$$H_{50} = \sum_i Q_i D_{50,i} \quad (2)$$

Una incorporación sistémica origina una deposición en órganos y tejidos. Considerando una disposición especial, cada uno de estos órganos o tejidos se comportará como una eventual fuente de irradiación para los órganos o tejidos circundantes.

El primero se denomina órgano fuente S, y los segundos, órganos blancos, T.

Para cada tipo de radiación i, de un nucleído j, localizado en un órgano fuente S, la dosis equivalente comprometida $H_{50,j}$, en un órgano blanco T, es el producto de dos factores:

- a) el número total de desintegraciones del nucleído j en S durante 50 años luego de la incorporación, y
- b) de la energía absorbida por unidad de masa en T, aplicando el factor Q_i correspondiente a la radiación i emitida por desintegración del nucleído j en S.

Para cada radiación i, la ecuación (2) se transforma en

$$\begin{aligned} (3) \quad H_{50}(T \leftarrow S) &= Q_i \bar{D}_{50}(T \leftarrow S) \\ &= U_S \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ (Joule/MeV)} \cdot \\ &\quad \cdot SEE \text{ (MeV/g des)} (T \leftarrow S)_i \cdot 10^3 \frac{\text{g}}{\text{Kg}} \end{aligned}$$

donde:

U_S : es el número de transformaciones (desintegraciones) de j en el órgano S en los 50 años posteriores a la incorporación.

$SEE (T \leftarrow S)_i$: es la energía específica efectiva para una radiación del tipo i, modificada por su Q_i , absorbida en el órgano T, y originada en cada transformación ocurrida en S.

El valor de U_S se obtiene por integración de la ecuación de retención del nucleído en S.

En general las ecuaciones de retención toman la forma:

$$r(t) = R(t) e^{-\lambda t}$$

donde, $R(t)$ es la ecuación de retención biológica, que permite calcular la fracción retenida a un tiempo t, y $e^{-\lambda t}$ es la corrección por decaimiento físico.

Así para un nucleído dado.

$$R(t) = A \cdot e^{-\lambda t} = A \cdot e^{-0,693 / T_1 t}$$

siendo A la actividad incorporada y T_1 el semiperíodo biológico del nucleído.

La ecuación de retención será:

$$r(t) = A \cdot e^{-(\lambda + k)t}$$

donde

$$k = 0,693 / T_1$$

$$\lambda = 0,693 / T_2$$

siendo T_2 el semiperíodo físico.

En consecuencia, el cálculo de U_S implica resolver la integral temporal entre 0 y 50 años, o sea,

$$U_S = \int_0^{18250} r(t) dt \quad (\text{expresando t en días})$$

Por otra parte, para cada nucleído j la energía específica efectiva está dada por

$$\begin{aligned} SEE (T \leftarrow S)_j &= \sum_i \frac{Y_i E_i AF(T \leftarrow S)_i Q_i}{M_T} \cdot \\ &\quad \cdot \text{MeV g}^{-1} \text{ des} \end{aligned}$$

donde,

Y_i : es la abundancia de las radiaciones i por cada desintegración del nucleído j .

E_i : es la energía promedio o única, según corresponda, de la radiación i del nucleído j .

$AF(T \rightarrow S)_i$: es la fracción de energía absorbida en T por emisión de radiación i en el órgano S .

Para la mayoría de los órganos T se supone que las partículas alfa y los electrones se absorben completamente en S , con excepción de la parte mineral del hueso, y el contenido del tracto gastrointestinal. La fracción de fotones absorbida se detalla en la publicación 23 de la ICRP, y las fracciones absorbidas de neutrones de fisión se obtienen de las publicaciones de Dillman y Jones (1975) y Ford (1977)

Q_i : factor de calidad para la radiación i .

M_T : masa del órgano T en gramos.

Las masas de los distintos órganos se encuentran tabuladas en la publicación 23 de la ICRP.

En el caso del tracto GI, T es la mucosa epitelial; para el tejido óseo, T está constituido por las células hasta una profundidad de $10 \mu m$ de la superficie y las células hematopoyéticas de la médula roja de los huesos trabeculares, y, para la piel, T es la capa basal de la epidermis, ubicada a una profundidad de $70 \mu m$.

Teniendo en cuenta que un nucleído puede emitir distintos tipos de radiación resulta,

$$(4) \quad H_{50}(T \rightarrow S)_j = 1,6 \cdot 10^{-10} \left| U_S \sum_i SEE(T \rightarrow S)_i \right|_j \text{ Sv}$$

y en el caso de que el nucleído tenga una hija radiactiva j' , resulta:

$$H_{50}(T \rightarrow S)_{j+j'} = 1,6 \cdot 10^{-10} \left\{ \left| U_S \sum_i SEE(T \rightarrow S)_i \right|_j + \left| U_S \sum_j SEE(T \rightarrow S)_j \right|_{j'} \right\} \text{ Sv} \quad (5)$$

En general para una mezcla de nucleídos incorporados resulta:

$$\sum_j H_{50}(T \rightarrow S)_j = 1,6 \cdot 10^{-10} \sum_j \left| U_S \sum_i SEE(T \rightarrow S)_i \right|_j \text{ Sv} \quad (6)$$

donde la sumatoria sobre j representa a todos los nucleídos involucrados. Finalmente, un órgano T puede recibir radiaciones provenientes de diversos órganos S . La dosis equivalente comprometida total que recibirá el órgano T está dada por:

$$(7) \quad H_{50,T} = 1,6 \cdot 10^{-10} \sum_s \sum_j \left| U_S \sum_i SEE(T \rightarrow S)_i \right|_j \text{ Sv}$$

MODELO DOSIMETRICO PARA EL SISTEMA RESPIRATORIO:

En lo referente a las dosis recibidas en el sistema respiratorio, se debe considerar lo siguiente:

- la dosis recibida en la región NP es despreciable, frente a las dosis recibidas por otras regiones del sistema.
- las dosis recibidas por los nódulos linfáticos pulmonares pueden ser varias veces más grandes que las recibidas por los tejidos pulmonares, aunque teniendo en cuenta autopsias realizadas en individuos que habían inhalado partículas de óxidos de plutonio, se decidió que la irradiación pulmonar es limitante.
- se considera que para la inducción de enfermedades malignas, el riesgo es menor en caso de distribución inhomogénea de partículas en el pulmón.
- el modelo pulmonar descrito anteriormente es utilizable para partículas cuyo AMAD se encuentra entre $0,2$ y $10 \mu m$.

Para valores de AMAD mayores de $20 \mu m$ se considera deposición completa en la región NP.

Para calcular la dosis equivalente comprometida en pulmón, originada por la radiación proveniente de sí mismo y de varios órganos fuente, y para una mezcla de nucleídos,

se utiliza la expresión (7), anteriormente desarrollada.

Si se desprecia la dosis a recibir por la región NP, el tejido blanco T comprende las otras tres regiones, con una masa total de 1.000 g., y la $H_{50,T}$ tiene dos componentes; la dosis equivalente comprometida de los fotones que llegan desde otros órganos, y la dosis equivalente comprometida debida al material depositado en el pulmón.

Es decir:

$$H_{50,T} = 1,6 \cdot 10^{-10} \left[\sum_j U_T \sum_i SEE(T-T)_i + \sum_s \sum_j U_S \sum_i SEE(T-S)_i \right] Sv$$

donde cada término ya ha sido definido.

MODELO DOSIMETRICO PARA EL TRACTO GASTROINTESTINAL (TGI):

Para calcular la dosis equivalente comprometida en las secciones del TGI, originada de la radiación proveniente de sí mismo y de varios órganos fuente, y para una mezcla de nucleídos, se utiliza la expresión (7) ya descripta.

La $H_{50,T}$ se debe estimar para las paredes de cada sección del TGI, y es conveniente considerar separadamente las radiaciones penetrantes (p), y las no penetrantes (np).

Las penetrantes son los rayos x, gamma, y los neutrones de fisión. Las np son las partículas pesadas de retroceso, los fragmentos de fisión y las partículas alfa y beta.

Para ambos tipos de radiación se debe calcular la $H_{50,T}$ para la capa mucosa de cada sección del TGI.

De este modo, el valor de SEE en cada sección blanco del TGI para cualquier emisión i de un nucleído j, está dada por:

$$SEE = \sum_{np} \frac{Y_{np} \sum_{np} Q_{np} AF(ML-T)_{np}}{M_T^{ML}} + \sum_s \sum_p \frac{Y_p E_p Q_p AF(W-S)_p}{M_T^w} \frac{MeV}{g des}$$

siendo:

$\frac{AF(ML-T)_{np}}{M_T^{ML}}$ la fracción específica absorbida por la capa mucosa de la sección del TGI, que se considera igual a $1/2 \cdot 1/M_T^C \cdot v$

M_T^C es la masa del contenido de la sección.

M_T^w es la masa de las paredes de la sección blanco.

v es un factor que representa el grado de penetrabilidad de las radiaciones en el mucus. Toma un valor 1 para partículas beta; 0 para átomos en retroceso y 0,01 para partículas alfa y fragmentos de fisión.

$f \cdot 1/2$ es un factor que se introduce debido a que se considera que la dosis en la superficie es aproximadamente la mitad que la correspondiente en volumen para las radiaciones np.

$AF(W-S)_p$ es la fracción de la energía de un fotón o de un neutrón de fisión emitido en el órgano fuente S, que es absorbido en las paredes de la sección blanco T, considerada.

M_T^{ML} masa de la capa de mucosa de la sección del GI considerada.

MODELO DOSIMETRICO PARA TEJIDO OSEO:

El desarrollo del modelo dosimétrico para el tejido óseo excede los alcances de este curso.

Sin embargo, es conveniente precisar ciertas características:

a) Las células sobre las cuales existe riesgo de carcinogénesis en el esqueleto son las que son parte del sistema hematopoyético y las células osteogénicas, particularmente las endoteliales y las epiteliales próximas a la superficie. En los adultos las células hematopoyéticas se encuentran distribuidas principalmente en el hueso trabecular y la dosis

equivalente se deberá calcular considerando, en promedio, la dosis recibida por el tejido que llena las cavidades del hueso trabecular. Para el tejido osteogénico, de las superficies endoteliales y del epitelio óseo, se recomienda que la dosis equivalente sea calculada considerando el tejido hasta una profundidad de $10\ \mu\text{m}$.

- b) A fin de estimar la dosis equivalente comprometida por la incorporación de material radiactivo es necesario conocer la distribución y retención de los nucleídos en esos tejidos. En términos generales, se utiliza la expresión (7).

Para todos los nucleídos excepto los emisores gamma, los tejidos fuente S serán el hueso cortical y el trabecular. Por lo tanto, las estimaciones dosimétricas deben comprender el cálculo de U_S , en el hueso cortical de masa igual a 4.000 g., y en el hueso trabecular, cuya masa es de 1.000 g.

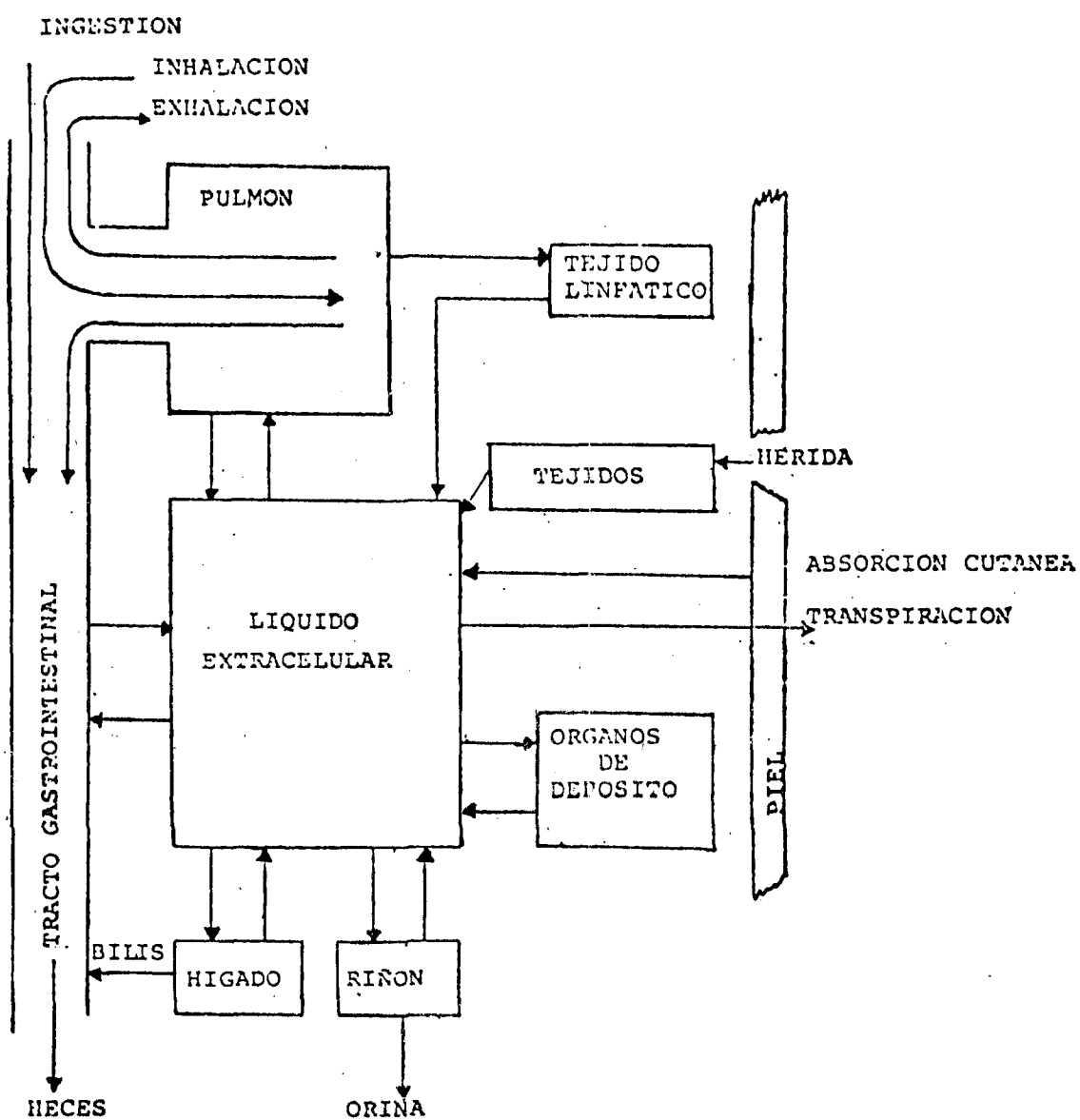
Asimismo se debe calcular la fracción de energía absorbida, $AF(T \leftarrow S)_i$ para todas las radiaciones, nucleídos, órganos fuente y órganos blanco.

REFERENCIAS:

- 1) SPIERS, F.W.; Radioisotopes in the Human Body: Physical and Biological Aspects, Academic Press, N.Y. (1968)
- 2) I.C.R.P. Publication 10. Oxford: Pergamon Press (1968)
- 3) I.C.R.P. Publication 10 A. Oxford: Pergamon Press (1971)
- 4) I.C.R.P. Publication 26. Oxford: Pergamon Press (1977)
- 5) I.C.R.P. Publication 30. Oxford: Pergamon Press (1979)
- 6) I.C.R.P. /80 / C 4 - 15 (Draft)
- 7) NOWOTNY, G.A. Cálculo de dosis debidas a contaminaciones internas C.N.E.A. — AC—87/81, (1981)
- 8) I.C.R.P. Publication 23. Oxford: Pergamon Press (1975)

DISTRIBUCION DE LOS RADIONUCLEIDOS EN EL ORGANISMO

FIGURA Nro. 1



MODELO MATEMATICO USADO PARA DESCRIBIR LA DEPURACION
DEL SISTEMA RESPIRATORIO PARA AEROSOLES DE 1 μ m DE AMAD

FIGURA Nro. 2

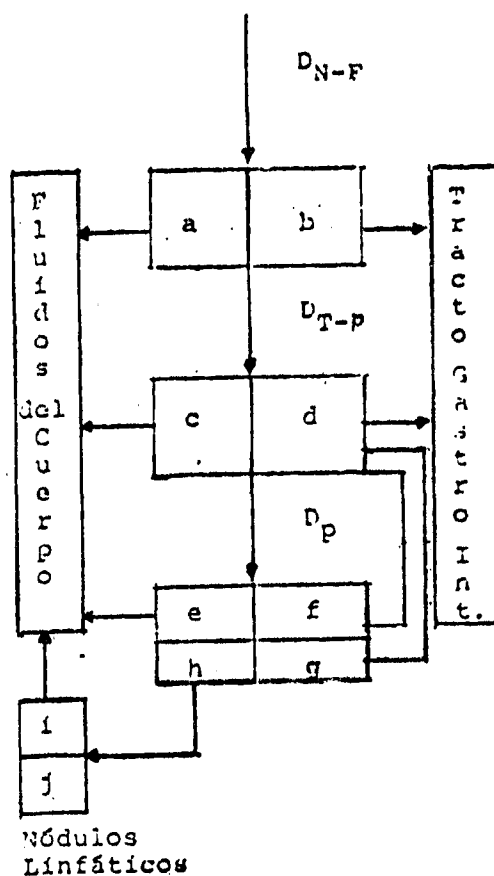
N-F = Nasofaringeo
T-B = Traqueobronquial
P = Pulmonar
L = Sistema Linfático Pulmonar
n.a. = no aplica

D, W, Y = Clases de compuestos

a, b, j = compartimentos

T = semiperíodo biológico de depuración

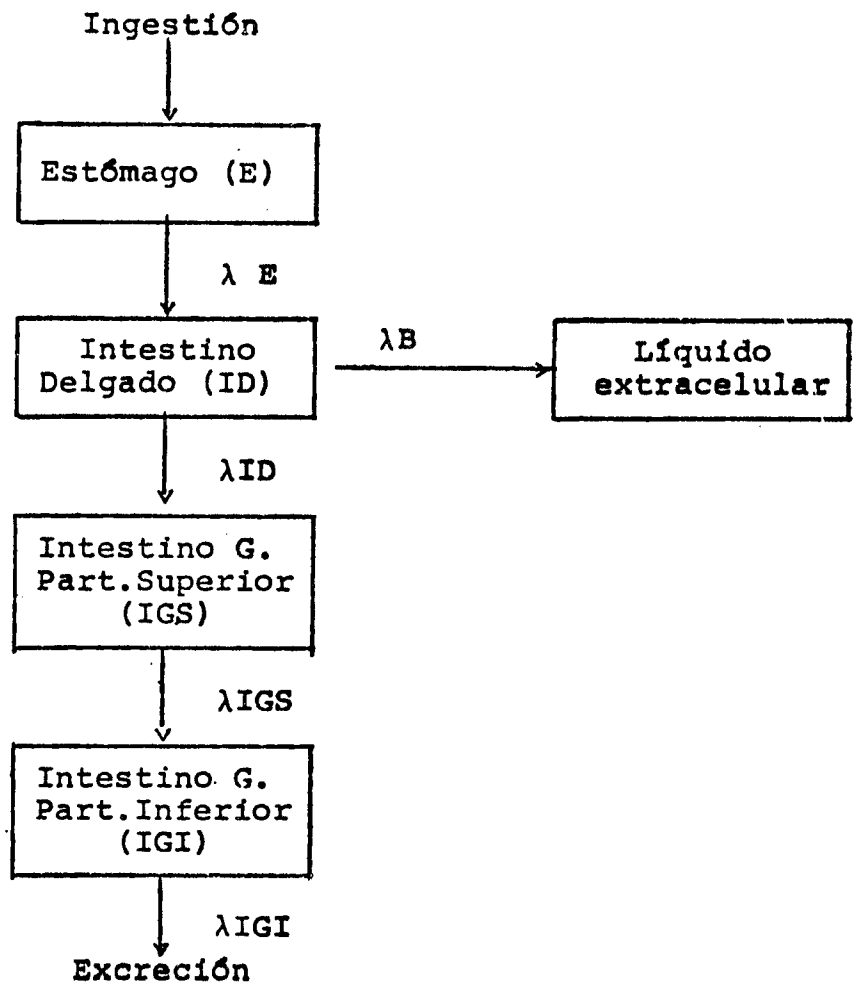
f = fracción que deja el compartimento con un semiperíodo T



REGION	COM PAR TI MIEN TO	CLASE					
		D		W		Y	
		T días	f	T días	f	T días	f
N-F ($D_{N-F} = 0.30$)	a	0.01	0.5	0.01	0.1	0.01	0.01
	b	0.01	0.5	0.40	0.9	0.40	0.99
T-B ($D_{T-B} = 0.08$)	c	0.01	0.95	0.01	0.5	0.01	0.01
	d	0.2	0.05	0.2	0.5	0.2	0.99
P ($D_P = 0.25$)	e	0.5	0.8	50	0.1	500	0.05
	f	n.a.	n.a.	1.0	0.4	1.0	0.4
	g	n.a.	n.a.	50	0.4	500	0.4
	h	0.5	0.2	50	0.05	500	0.15
L	i	0.5	1.0	50	1.0	1000	0.9
	j	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	"	0.1

MODELO PARA EVALUACIONES DOSIMETRICAS EN EL TRACTO GASTROINTESTINAL

FIGURA Nro. 3



Porción del Tracto-Gastro-intestinal	Masa de las paredes (g)	Masa del Contenido (g)	Tiempo de Residencia (días)	(día ⁻¹)
Estómago E	150	250	1/24	24
Int.Delg.ID	640	400	4/24	6
Int.Gr.P.Sup.IGS	210	220	13/24	1.8
Int.Gr.P.Inf.IGI	160	135	24/24	1