



# Determinación Del Coeficiente De Dosis Efectiva Comprometida Usando El Modelo De Hat Icrp 100 Aplicando El Modelo Sistémico Del $^{90}\text{Sr}$

## Determination Of Committed Effective Dose Coefficient Using The Hat ICRP 100 Model Applying The Systemic Model Of $^{90}\text{Sr}$

A. Puerta <sup>\*a</sup>, V. Peña<sup>a</sup>, J. Morales<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Grupo de Física Radiológica, Universidad Nacional de Colombia, A.A.3840, Medellín.

Recibido 02.04.10; Aceptado 06.12.10; Publicado en línea 17.04.11.

### Resumen

La Comisión Internacional de Protección Radiológica, ICRP, en el 2007 en su publicación 100, recomienda un modelo del tracto alimentario denominado HATM, que reemplaza el modelo del tracto gastrointestinal de su publicación 30 de 1978, en donde propone un modelo más detallado para el cálculo de dosis equivalente comprometida,  $h(50)$ , para cada una de sus regiones blanco. En la publicación 103 del 2007 de la misma Comisión recomienda valores diferentes de los factores de peso por tejido, lo que cambia los valores de los coeficientes de dosis efectiva comprometida,  $e(50)$ , recomendadas en sus publicaciones anteriores. En este trabajo se muestra la diferencia de  $h(50)$  en el colon para la incorporación de  $^{90}\text{Sr}$  por ingestión, para un hombre de referencia adulto, calculado con la aplicación del HATM y el obtenido usando el modelo del tracto gastrointestinal de la publicación 30 del ICRP. Se calcula además el  $e(50)$  considerando los nuevos factores de peso por tejido del ICRP 103 y de igual forma se comparan los resultados obtenidos de  $e(50)$  en función de  $f_1$  y los valores reportados por Wei Bo Li et al.

**Palabras clave:** Dosimetría interna; Modelo del tracto alimentario humano HATM.

### Abstract

The International Commission of Radiological protection, ICRP, in 2007 in its publication 100, recommends a model called HATM, which replaces the model of the gastrointestinal tract of its publication 30 of 1978, where it proposes a more detailed model for calculating the committed equivalent dose,  $h(50)$ , for each of its target regions. In the publication 103 of 2007 of the same Commission recommends different values of the weighting factors of tissue, which change the values of committed effective dose coefficients,  $e(50)$ , recommended in its previous publications. This paper shows the difference of  $h(50)$  in the colon to the incorporation of  $^{90}\text{Sr}$  by ingestion for a reference adult male, calculated for the implementation of HATM and the one obtained using the model of the gastrointestinal tract of the publication 30 of the ICRP. We also calculate  $e(50)$  considering the new weighting factors for tissue of the ICRP 103 and likewise comparing the results obtained of  $e(50)$  in terms of  $f_1$  and the values reported by Wei Bo Li et al.

**Keywords:** Internal dosimetry; Human Alimentary Tract Model HATM.

**PACS:** 87.53.Bn.

© 2010 Revista Colombiana de Física. Todos los derechos reservados.

## 1. Introducción

El Nuevo Modelo del Tracto Alimentario Humano, HATM, propuesto por la Comisión Internacional de Protección Radiológica, ICRP, en su publicación 100 (ICRP, 2007) [1], contiene un modelo morfológico detallado,

describe la absorción, retención y secreción de radionúclidos en el tracto alimentario humano, muestra un modelo metabólico completo incluyendo los coeficientes de transferencia entre las diferentes regiones, para diferentes edades y género, así como para líquidos y sólidos. El HATM

\* jpuerta@unal.edu.co

proporciona una metodología para el cálculo de dosis en las diferentes regiones del tracto alimentario humano, describiendo las células en riesgo radiológico. Este modelo, el HATM, reemplaza el modelo del tracto gastrointestinal adoptado por la misma Comisión en su publicación 30 (ICRP 1979) [2]. El modelo del tracto gastrointestinal fue utilizado por la publicación 78 (ICRP 1999) [3] en el cual se reportan los coeficientes de dosis debido a la incorporación por ingestión e inhalación, para el monitoreo individual en la exposición interna de trabajadores. Dados los cambios que el HATM introduce tanto del número de compartimentos que lo componen, de los tiempos de tránsito y la forma de absorción a los compartimentos de transferencia, es necesario evaluar nuevamente los coeficientes de dosis por incorporación de materiales radioactivos, teniendo en consideración los factores de peso adoptados por la Publicación 103 (ICRP 2007) [4], sobre nuevas recomendaciones en protección radiológica.

En este trabajo se presentan las fracciones de actividad retenida y excretada para <sup>90</sup>Sr, para un hombre adulto, haciendo uso de los modelos sistémicos del ICRP publicación 67[5], y considerando la dieta total recomendada por la publicación 100 para materiales inespecíficos o mezclas desconocidas de sólidos y líquidos [1]. A partir de este cálculo, se determinan los coeficientes de dosis equivalente comprometida h(50) en el colon y los coeficientes de dosis efectiva e(50) en función del factor de absorción f<sub>1</sub> los cuales se comparan con los reportados por Wei Bo Li et al [6] y los valores reportados por la ICRP publicación 78.

## 2. Modelos de Ingestión

El modelo del tracto gastrointestinal, adoptado por la ICRP hasta el 2006, está basado en el modelo desarrollado por Eve y propuesto desde su publicación 30. El modelo usado para describir la cinética metabólica del tracto gastrointestinal está compuesto por cuatro compartimentos: el estómago (ST), el intestino delgado (SI), el intestino grueso superior (ULI), que representa el colon ascendente y el colon transversal, y el intestino grueso inferior (LLI) representando el colon descendente. Los tiempos medios de residencia del material incorporado en estos compartimentos son de 1, 4, 13 y 24 horas respectivamente. En este modelo se asume que el intestino delgado es el único sitio de absorción desde el tracto gastrointestinal a los fluidos del cuerpo. La velocidad constante λ<sub>B</sub>, para la transferencia de actividad a los fluidos sistémicos del cuerpo (sangre) puede ser estimada a partir de f<sub>1</sub>, ecuación (1), que es la fracción del elemento estable que llega a los fluidos del cuerpo después de la ingestión.

$$\lambda_B = \frac{f_1 \lambda_{SI}}{1 - f_1} = \frac{f_1 * 6}{1 - f_1} \quad [d^{-1}]. \quad (1)$$

Cuando f<sub>1</sub> es igual a 1, indica que todo el material fue absorbido, y la ICRP asumió que el material pasa directamente del estómago a los fluidos del cuerpo y no pasa por

otras regiones del tracto gastrointestinal. En la medida que el valor de f<sub>1</sub> disminuye, se espera una mayor excreción en las heces.

El ICRP en su publicación 100 del año 2007, propone un nuevo modelo del tracto alimentario humano, denominado HATM, y reemplaza el modelo del tracto gastrointestinal propuesto por la publicación 30 de la misma Comisión. El modelo está descrito a través de coeficientes de transferencia que se definen como la fracción instantánea de la sustancia contenida y que deja el compartimento por unidad de tiempo; dichos coeficientes están dados en d<sup>-1</sup> como se muestra en la Tabla 1.

Tabla No. 1. Coeficientes de transferencia (d<sup>-1</sup>) recomendados por la ICRP publicación 100.

Región y material incorporado	Coeficientes de Transferencia d-1	
	Adulto hombre	Adulto mujer
<b>Boca</b>		
Sólidos	5760	5760
Líquidos	43200	43200
Dieta total	7200	7200
<b>Esófago (rápido)</b>		
Sólidos	10800	10800
Líquidos	17280	17280
Dieta total	12343	12343
<b>Esófago (lento)</b>		
Sólidos	1920	1920
Líquidos	2880	2880
Dieta total	2160	2160
<b>Estómago</b>		
Sólidos	19.2	13.71
Líquidos Calóricos	32	24
Líquidos no Calóricos	48	48
Dieta Total	20.57	15.16
<b>Intestino Delgado</b>		
	6	6
<b>Colón derecho</b>		
	2	1.5
<b>Colón izquierdo</b>		
	2	1.5
<b>Recto sigmoideo</b>		
	2	1.5

En el nuevo modelo el ICRP, publicación 100, define valores del factor de transferencia f<sub>A</sub> que reemplaza los valores de f<sub>1</sub> proporcionados por el ICRP en su publicación 30. Asume que si la absorción toma lugar en el intestino delgado, entonces en este caso la fracción de transferencia desde el Intestino delgado a sangre, f<sub>SI</sub> es igual a f<sub>A</sub>.

$$f_A = f_{ST} + f_{SI} \quad (2)$$

Por tanto los coeficientes de transferencia desde el intestino delgado a sangre, λ<sub>SI,B</sub>, y desde estómago a sangre, λ<sub>ST,B</sub>, están dados por las relaciones (3) y (4) respectivamente:

$$\lambda_{SI,B} = \frac{f_{SI} \lambda_{SI,RC}}{1 - f_{SI}} \quad (3)$$

$$\lambda_{ST,B} = \frac{f_{ST} \lambda_{ST,SI}}{1 - f_{ST}} \quad (4)$$

en donde  $\lambda_{SI,RC}$  es el coeficiente de transferencia desde el intestino delgado a colon derecho y  $\lambda_{ST,SI}$  es el coeficiente de transferencia desde al estómago al intestino delgado.

### 3. Modelo Sistémico de <sup>90</sup>Sr Utilizado y Método de Cálculo de Dosis

El modelo sistémico utilizado para el <sup>90</sup>Sr, es el propuesto por la publicación 67 de la ICRP [5]. Se consideró la incorporación por ingestión de materiales inespecíficos, por tanto se utilizó el modelo del HAT recomendado en estas condiciones, que resulta mucho más simplificado que el modelo completo, propuesto en la publicación 100 del ICRP, con los tiempos de tránsito en cada región para dieta total, asumiendo un hombre adulto. El modelo del estroncio se muestra en la figura 1.

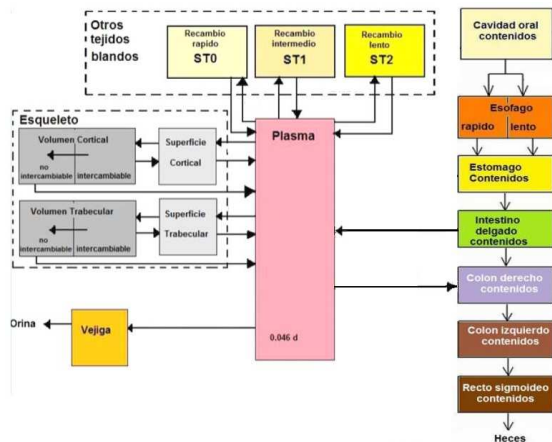


Fig. 1: HATM y Modelo Sistémico del Estroncio.

Considerando una incorporación única y que la transferencia entre los compartimentos sigue una cinética de primer orden, esta puede ser descrita por un sistema de ecuaciones diferenciales lineales expresada en la ecuación (5):

$$\frac{dq}{dt} = \mathbf{A}q, \tag{5}$$

en donde  $\mathbf{A}$  es la matriz constante nxn que representa la transferencia del radionúclido entre los n compartimentos que componen el modelo metabólico, y que además tiene en cuenta su desaparición por el decaimiento radioactivo,  $\lambda_R$ . Esta matriz esta dada por:

$$\mathbf{A} = \mathbf{R} - \lambda_R \mathbf{I}, \tag{6}$$

en donde la matriz R es la matriz de las tasas de transferencia con los elementos  $r_{ij}$  representando la tasa de transferencia del compartimento j al compartimento i e I representa la matriz identidad. Los elementos  $q_i(t)$  del “vector de estado”  $q(t)$  del sistema de n-compartimentos, representa el contenido del compartimento i al tiempo t. Debe cumplirse que  $q(0)=q_0$  en el tiempo  $t=0$ . Esto significa que el cálculo comienza conociendo los contenidos iniciales de cada compartimento. La solución de la ecuación (5) está dada por:

$$q(t) = P \begin{pmatrix} e^{\lambda_1 t} & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & e^{\lambda_n t} \end{pmatrix} P^{-1} q_0 \tag{7}$$

en donde  $\mathbf{P}$  es la matriz cuyas n columnas están formadas por los n vectores propios  $p_i$ ,  $\mathbf{P}^{-1}$  es la inversa de  $\mathbf{P}$ . Siendo  $e^{\mathbf{A}t}$  la matriz exponencial resultante de la transformación de similaridad  $\mathbf{A} = \mathbf{P}\mathbf{\Lambda}\mathbf{P}^{-1}$ , con  $\mathbf{\Lambda}$  la matriz diagonal formada por los n valores propios  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  [8]. El número de transformaciones nucleares al cabo del tiempo t, para una única incorporación, esta dada por:

$$U(t) = c\mathbf{A}^{-1}(e^{\mathbf{A}t} - \mathbf{I})q_0 = c\mathbf{A}^{-1}(q(t) - q_0). \tag{8}$$

### 4. Resultados de Fracciones de Excreción y Cálculo de Dosis

Haciendo uso del modelo mostrado en la Figura 1 y la metodología descrita anteriormente, se calculó aplicando la ecuación (7) la fracción de excreción diaria para el <sup>90</sup>Sr. Wei Bo Li et al [6], evaluaron la fracción de absorción  $f_1$  para Sr en diferentes productos alimenticios. La figura 2 muestra las curvas de la fracción de excreción urinaria (orina 24 h), considerando dieta total y parámetros de tránsito para el hombre de referencia adulto, en función del valor de  $f_1$ , reportado por Wei Bo Li et al, para el <sup>90</sup>Sr, utilizando el modelo del HAT propuesto por la ICRP publicación 100 [9].

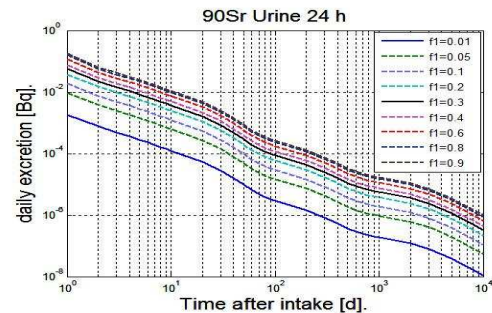


Fig. 2: Orina 24 horas para incorporación única de <sup>90</sup>Sr en función de los valores de  $f_1$  reportados por Wei Bo Li y por el ICRP 78.

Se puede observar de la gráfica que la excreción aumenta en la medida en que la fracción de absorción sea mayor, como era de esperarse. En la Figura 2 se incluyen las curvas para  $f_1$  de 0.01 y 0.3 cuyos valores no tienen diferencias significativas con los valores propuestos por la ICRP 78.

Haciendo uso de la ecuación (8) se procedió a calcular el número de desintegraciones U(50), reproduciendo los valores reportados por la ICRP 100 para <sup>90</sup>Sr, asumiendo un factor  $f_1$  de 0.3, hombre adulto y dieta total. La figura 3 muestra los valores obtenidos del h(50) para el colon y el cálculo de e(50), usando las fracciones de absorción recomendadas en el anexo F del HATM y los  $w_T$  de la publica-

ción 103 de la misma Comisión. Estos valores se comparan con los reportados por el ICRP 67, los cuales reproducen muy bien los reportados por la publicación 100 del ICRP [1].

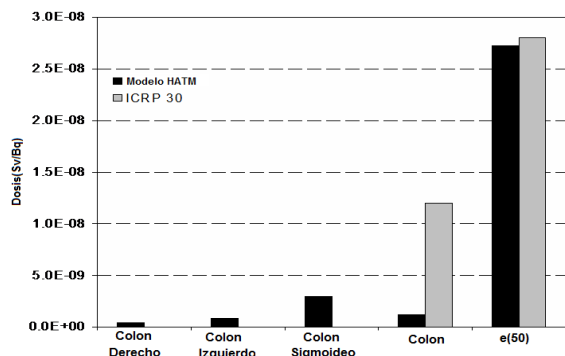


Fig. 3: Comparación de coeficientes de dosis usando el HATM y el ICRP 30 por ingestión de <sup>90</sup>Sr.

De la figura 3 se puede observar que el modelo del HAT predice un orden de magnitud menor de  $h(50)$  para colon respecto al valor reportado usando el modelo del tracto gastrointestinal del ICRP 30. Se puede mostrar que la diferencia es de ese orden de magnitud es independiente del valor de  $f_1$  para el <sup>90</sup>Sr.

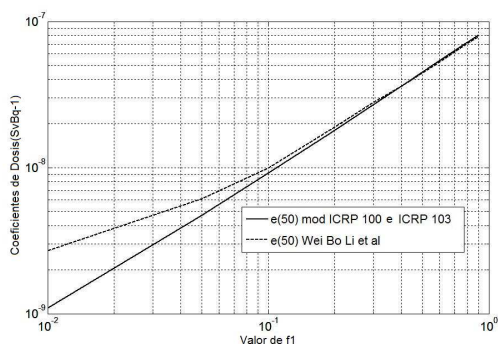


Fig. 4: Coeficiente de Dosis Efectiva para <sup>90</sup>Sr como función de la absorción intestinal.

Los coeficientes de dosis para médula ósea y superficie ósea no presentan diferencias significativas en ambos modelos para los coeficientes de absorción de 0.01 y 0.3. La Figura 4 muestra el Coeficiente de dosis efectiva  $e(50)$  en función de  $f_1$  calculado, haciendo uso del HATM y su comparación con los valores reportados por Wei Bo Li et al [6], en donde se muestra que las mayores diferencias se presentan para valores pequeños de la fracción de absorción.

## 5. Conclusiones

Para programas de bioanálisis en la incorporación única por ingestión de compuestos inespecíficos de estroncio, las curvas de fracciones de excreción son idénticas usando el modelo del HAT o el del tracto gastrointestinal propuesto

en la publicación 100 y 30 de la ICRP respectivamente. Las diferencias sustanciales se presentan en los valores de los coeficientes de dosis  $h(50)$  en las regiones del tracto alimentario humano y el  $e(50)$ . Al menos esto se mostró para el caso específico del <sup>90</sup>Sr, especialmente para compuestos cuya fracción de absorción intestinal es menor a 0.1. Este coeficiente resulta menor que el predicho por Wei Bo Li et al y por la ICRP 78 para  $f_1$  de 0.01. Por último es necesario determinar los coeficientes de dosis de los diferentes radionúclidos para aplicar los programas de monitoreo individual adaptando los modelos recomendados del HAT y la metodología de cálculo de dosis de la publicación 103 de la ICRP.

## Referencias

- [1] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Human Alimentary Tract Model for Radiological protection, Publication 100. ESEVIER, 2007.
- [2] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, Publication No. 30, Part 1, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1979).
- [3] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers: Replacement of ICRP Publication 54, ICRP Publication No. 78, Elsevier Science, Oxford y Nueva York (1997).
- [4] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 103, ESEVIER, 2007.
- [5] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intakes of radionuclides, Part 2, ICRP Publication 67, Pergamon Press, 1993.
- [6] Wei Bo Li, Vera Höllriegel, Paul Roth, Uwe Oeh. Human biokinetics of strontium. Part I: Intestinal absorption rate and its impact on the dose coefficient of <sup>90</sup>Sr after ingestion. Radiat Environ Biophys (2006) 45: 115–124
- [7] Eve, I. S. A review of the physiology of the gastrointestinal tract in relation to radiation doses from radioactive materials. Health Phys. 12, 131-161, 1966.
- [8] E. Polig. Modeling the distribution and dosimetry of internal emitters: A review of mathematical procedures using matrix methods. Kernforschungszentrum Karlsruhe, Hauptabteilung Sicherheit/ Germany. 2001
- [9] Puerta, A. Beltrán, C. Morales, J. Comparison between HATM ICRP 100 and the Gastrointestinal Tract Model ICRP 30 applied to Systemic Models for Sr, I, Cs. IR-PA 12. Argentina, 2008.