

## Resolución analítica del modelo metabólico del uranio (ICRP 66 y 78)

Guillermo Sánchez (Email: [gsl@fab.enusa.es](mailto:gsl@fab.enusa.es)) y Agustín Pérez F. [apf@fab.enusa.es](mailto:apf@fab.enusa.es)

ENUSA Industrias Avanzadas S. A.

Fábrica de Juzbado. Apdo 328. E-37080 Salamanca

Tfno (34) 923 329 753 Fax.: (34) 923 321369

**Abstract.**- We have solved analytically the uranium model based on ICRP 66, 67 and 78. *Humorap* program has been applied. The lung retention and the urinary and fecal excretion of inhaled uranium are calculated for acute, chronic and random intake.. All these methods can be useful for the design and the conduct of the air control and for the bioassay monitoring.

### Introducción

El modelo biocinético aplicable a la inhalación de aerosoles de uranio comprende el tracto respiratorio, según modelo la ICRP 66, y el resto de órganos que intervienen en la metabolización del uranio hasta su eliminación por vía fecal y urinaria, que se describe en la ICRP 78 (véase la figura 1). La ingestión e inyección en sangre forman parte de este modelo como casos particulares del modelo general

De los modelos de la ICRP 78 el del uranio es de los más complejos al incluir un gran número de compartimentos con recirculación. El modelo completo se ha resultado utilizando el programa *Humorap* (Sánchez 2002) que permite obtener soluciones analíticas de los modelos de las ICRP 66 y 78. El programa se ha aplicado para simular incorporaciones irregulares lo que permite hacer una aproximación mas realista que la continua constante al caso de la inhalación de aerosoles por trabajadores expuestos. Las conclusiones obtenidas pueden aplicarse al diseño de programas de bioensayos.

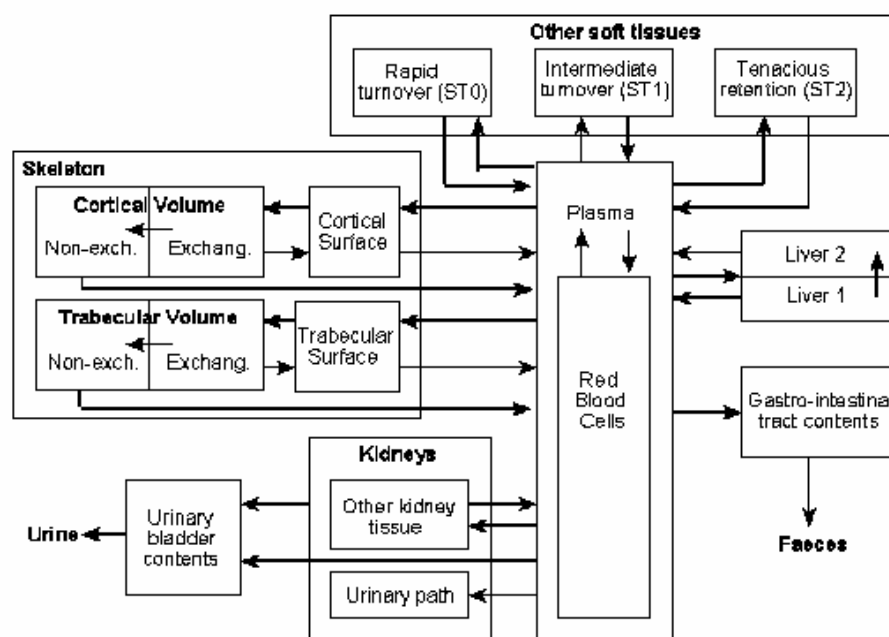


Figura 1 Modelo metabólico del uranio, excluido el tracto respiratorio. En la resolución del modelo hay que tener en cuenta los aportes desde el Tracto respiratorio al plasma

### Modelo del uranio. Solución

Se ha calculado la retención pulmonar según modelo de la ICRP 66. para uranio S, metabolización lenta (insoluble) supuesta una incorporación puntual unidad y para una incorporación continua constante. A continuación se calculo la trasferencia hacia el plasma y se aplicó el modelo de la Figura 1. para calcular la excreción urinaria y fecal.

La figura 2 muestra la retención pulmonar para distintos tipos de AMAD suponiendo un incorporación diaria constante "1".

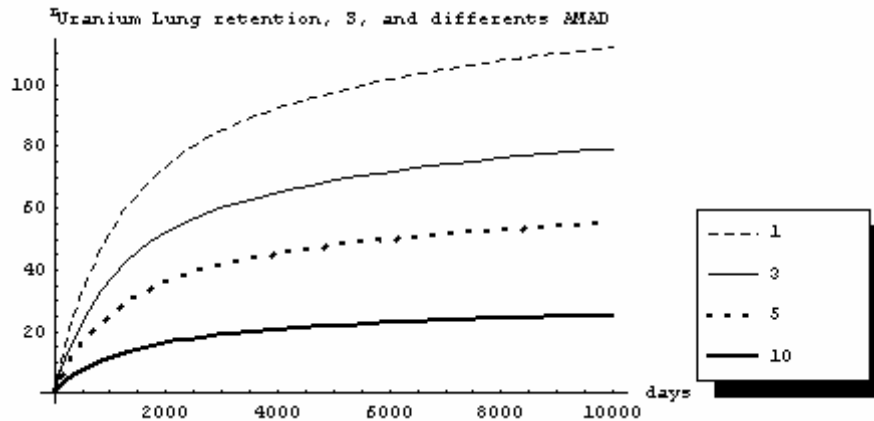


Figura 2 Incorporación continua constantes para aerosoles tipo S.

Las soluciones analíticas para una incorporación puntual unidad aerosoles tipo S y AMAD 5 µm son las siguientes (Intencionadamente se ha reducido la precisión del programa para eliminar aquellos términos cuya contribución es insignificante.):

#### Retención pulmonar $q_L(t)$

$$0.0000101 e^{-110. t} + 7.95 \times 10^{-6} e^{-102. t} + 0.0000638 e^{-100. t} + 0.0101 e^{-10.0 t} + 0.00796 e^{-2.00 t} + 0.0103 e^{-0.0301 t} + 0.0161 e^{-0.0201 t} + 0.0319 e^{-0.00110 t} + 0.00443 e^{-0.000220 t} + 0.00109 e^{-0.000100 t}$$

eq 1

#### Excreción urinaria (acumulado 24 h) $q_{URI}(t)$

$$-0.255 e^{-10.0 t} - 0.849 e^{-6.01 t} + 0.612 e^{-5.38 t} + 0.000135 e^{-2.00 t} + 2.51 \times 10^{-6} e^{-0.344 t} + 3.33 \times 10^{-6} e^{-0.139 t} + 5.13 \times 10^{-7} e^{-0.0990 t} + 0.0000162 e^{-0.0973 t} + 3.6 \times 10^{-8} e^{-0.0322 t} + 3.22 \times 10^{-6} e^{-0.0301 t} + 2.18 \times 10^{-6} e^{-0.0201 t} + 2.63 \times 10^{-7} e^{-0.0131 t} + 2.42 \times 10^{-7} e^{-0.00762 t} + 3.19 \times 10^{-6} e^{-0.00110 t} + 4.25 \times 10^{-7} e^{-0.000220 t} + 1.15 \times 10^{-7} e^{-0.000100 t}$$

eq 2

#### Excreción fecal (acumulado 24 h) $q_{FEC}(t)$

$$-15.5 e^{-10.0 t} + 20.7 e^{-6.01 t} + 0.00485 e^{-5.38 t} + 0.761 e^{-2.00 t} - 4.85 e^{-1.80 t} + 2.07 e^{-1.00 t} + 0.000331 e^{-0.0301 t} + 0.000337 e^{-0.0201 t} + 0.0000319 e^{-0.00110 t} + 5.34 \times 10^{-7} e^{-0.000220 t}$$

eq 3

### Incorporaciones irregulares y aleatorias

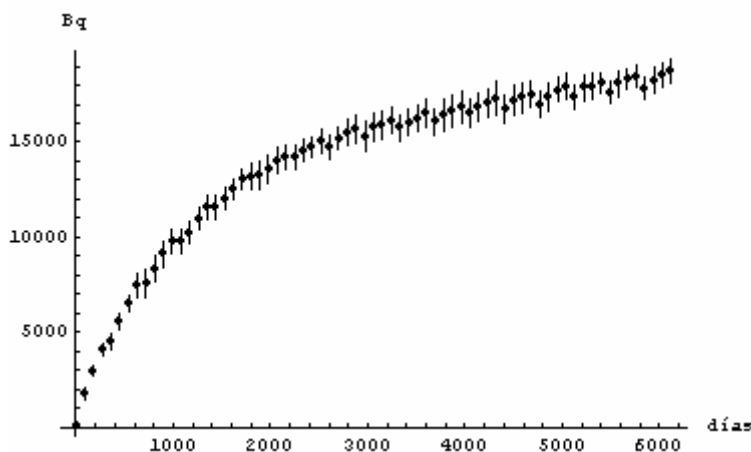
Una de las utilidades de disponer de las expresiones analíticas es que permite calcular con facilidad incorporaciones continuas, irregulares y aleatorias. Las incorporaciones irregulares o aleatorias las tratamos como múltiples incorporaciones puntuales.

En efecto, supongamos que la función de retención o excreción para el caso un puntual,  $q(t)$ , es conocida. La cantidad total acumulada en un compartimiento, región u órgano o excretada la designamos por  $Q(t)$  con  $Q(0)$  en  $t = 0$ . Entonces asumiendo múltiples incorporaciones puntuales  $I_j(t)$  con  $t = j$  –por conveniencia asumimos  $t$  en días y  $j$  entero = 1, 2, ...,  $d$  -  $Q(t)$  se calculará como sigue

$$\begin{aligned}
 t = 1 & \quad Q^{(k)}(1) = I^{(k)}_0 q(1) \\
 t = 2 & \quad Q^{(k)}(2) = I^{(k)}_0 q(2) + I^{(k)}_1 q(1) \\
 t = 3 & \quad Q^{(k)}(3) = I^{(k)}_0 q(3) + I^{(k)}_1 q(2) + I^{(k)}_2 q(1) \\
 & \dots \dots \dots \\
 t = d & \quad Q^{(k)}(d) = I^{(k)}_0 q(d) + I^{(k)}_1 q(j-1) + \dots + I^{(k)}_{j-1} + I^{(k)}_j q(1) \quad \text{eq 4}
 \end{aligned}$$

Para obtener  $Q(t)$  basta con sustituir  $I_j$  por sus valores experimentales o simulados y  $q(t)$  por la función de retención apropiada. En el caso del uranio pueden aplicarse las eq 1, 2 o 3.

En la figura 3 se muestra la simulación realizada para estimar la retención pulmonar de un grupo de trabajadores expuesto a concentraciones ambientales aleatorias. Una conclusión que se obtiene es que en tiempos largos la incorporación constante constituye una buena aproximación de las incorporaciones aleatorias.



**Figura 3 Simulación de la retención pulmonar para un conjunto de trabajadores expuestos a concentraciones ambientales aleatorias similares ( La disminuciones periódicas de las cantidades retenidas se deben a que en la simulación se han tenido en cuenta los periodos vacacionales.).**

### **Aplicación a la definición del periodo de realización de biensayos**

Los resultados del apartado anterior pueden utilizarse para determinar el periodo de realización de bioensayo. Por ejemplo.: El apartado 4.3 of R.G. 8.9 rev 1(Draft 1993) dice: “*In general, spot samples should be collected on a frequency corresponding to no more than a 30% increase in the accumulated fractions over any time period*”. Entonces el periodo  $\Delta t$  (un ensayo en  $t = t_i$  y el siguiente en  $t = t_{i+1}$ ) entre dos biensayos puede ser estimado como sigue:

$$\Delta t = t_{i+1} - t_i = Q^{-1}(t_{i+1}) - t_i \quad \text{eq 5}$$

$$\text{con } Q(t_{i+1}) = Q(t_i)(1 + \Delta f)$$

donde:

$Q(t)$  función de retención o excreción (eq 4)

$\Delta f$  = Incremento especificado para la realización del biensayo

**Ejemplo.** La retención pulmonar del uranio Class S and AMAD = 1  $\mu\text{m}$  para una incorporación continua puede aproximarse por  $Q_c(t) = \hat{I}(108.9 - 0.180 2^{-t} - 108.7 2^{-t/500})$  (ver Sanchez 1999). Si medimos la retención pulmonar el día  $t_i = 600$  desde el inicio de la incorporación y elegimos que el incremento requerido para realizar el próximo análisis de 30% ( $\Delta f = 0.3$ ) obtenemos  $\Delta t = 350$  días. Es decir, la próximo contaje en el CRC deberá realizarse en dentro de 350 días.

## Resumen

En esta ponencia nos hemos referido a la resolución analítica del modelo del uranio y hemos descrito criterios para utilizar estos resultados para la determinación de los periodos mas adecuados para la realización de biensayos. Como herramienta hemos empleado el programa *Humorap* (G. Sánchez 2002) que puede descargarse desde: <http://web.usal.es/~guillerm/biokmod.htm>

## Referencias

ICRP66 Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. 1994. ICRP publication 66.

ICRP78. Human Model. 1998. ICRP publication 78.

Sánchez, Guillermo. 2000. *Resolución analítica de los modelos biocinéticos de la ICRP 66 y 78 con Mathematica: Aplicación al grupo del Cesio*. Reunión anual SNE 2000

Sánchez, Guillermo. 1999. *An analytical method for solving biokinetic particle intake models involving recycling and random inputs: Application to Wrenn Uranium Model and to evaluate uncertainties in retention for workers exposed to radioactive airborne*. Internal Dosimetry .1-rt International Alara Congress: Munich 1999

Sánchez, Guillermo. 2002. *Humorap: Un programa aplicable a la resolución analítica de los modelos compartimentales de la ICRP 66 y 78*. IX Congreso de la SEPR. Bilbao 2002