

12-06 Resolución del nuevo modelo biocinético del URANIO basado en la ICRP 130. Aplicación a la evaluación de dosis por exposición interna mediante bioensayos

Autores: J. Guillermo Sánchez León¹; Montserrat Moraleda Chaves²; María Antonia² López Ponte².

- (1) ENUSA Industrias Avanzadas S.A. Fca Juzbado; Ctra Salamanca-Ledesma, km 16; 37115 SALAMANCA
Teléfono: 923 329753
E-mail: gsl@enusa.es
- (2) CIEMAT. Dosimetría de Radiaciones Ionizantes de CIEMAT; Avda. Complutense 40 28040 Madrid.
E-mail: ma.lopez@ciemat.es

Resumen – El modelo biocinético del uranio está siendo revisado, junto con otros elementos, por el Comité 2 de ICRP en el campo de la dosimetría interna. Como resultado se han publicado o están en fase de publicación por la ICRP los documentos OIR (Occupational Intakes of Radionuclides). Los autores de esta ponencia formamos parte de un grupo de trabajo de EURADOS (European Radiation Dosimetry Group) cuyo objetivo es resolver los modelos OIR, contrastar los resultados con los obtenidos por ICRP y elaborar una Guía práctica para la implementación de estos nuevos modelos biocinéticos. Con tal fin hemos resuelto la última versión disponible del nuevo modelo del uranio (OIR Part 3-draft 2015-09-17) en base a los principios descritos en la ICRP 130 (OIR, Part 1). Una de las principales novedades es la inclusión del modelo del tracto respiratorio que revisa el de la ICRP 66, y el modelo del tracto alimentario de la ICRP 100, ambos incluidos en la ICRP 130. Los resultados obtenidos deben considerarse provisionales a la espera de que puedan ser contrastados con los que publicará ICRP próximamente. El trabajo realizado es de especial interés para su aplicación en instalaciones con riesgo de incorporación de aerosoles de UO_2 , como ocurre en la fábrica de Juzbado, perteneciente a ENUSA Industrias Avanzadas, cuyos trabajadores están incluidos en un programa de vigilancia de la dosimetría mediante bioensayos en el CIEMAT.

1. INTRODUCCIÓN.

La disponibilidad de una considerable cantidad de nuevos datos relacionados como el modelo biocinético del uranio ha hecho conveniente su revisión. Esta labor ha sido realizada por el Comité 2 de ICRP y forma parte de los nuevos modelos biocinéticos OIR (Occupational Intakes of Radionuclides) desarrollados en el campo de la dosimetría interna. Los autores formamos parte del grupo de dosimetría interna WG7 de EURADOS (que coordina una de nosotros, M.A. López) que incluye en su programa de trabajo el estudio e implementación de los nuevos modelos biocinéticos OIR y la elaboración de un Guía de aplicación de los mismos. Entre los isótopos de interés se incluyen los del uranio, de especial importancia para su aplicación en la fábrica del elemento combustibles de Juzbado, perteneciente a ENUSA Industrias avanzadas. En la zona cerámica de esta fábrica los trabajadores están expuestos a aerosoles de UO_2 siendo sometidos a un programa de vigilancia de la exposición interna mediante bioensayos cuyos análisis junto con la evaluación dosimétrica asociada son realizados en el CIEMAT.

2. EL MODELO.

El uranio es un actínido de toxicidad tanto química como radiológica, cuyos isótopos son emisores alfa. El nuevo modelo biocinético del URANIO (Fig. 1) se presentará en la nueva publicación de ICRP OIR-Part III en 2017. Se han considerado tres vías de incorporación: Inhalación, ingestión e inyección (es también aplicable a la incorporación a través de una herida). Para la inhalación al modelo de la fig. 1 se le añade el tracto respiratorio (Fig. 2). Los factores de absorción del modelo están relacionados con la forma química en la que se incorpora al organismo (Tabla 1). Hasta ahora las especies químicas del uranio, en el caso de la inhalación, se agrupaban en tres tipos de metabolización asociados con su solubilidad: F (Fast) cuando son compuestos solubles de absorción rápida en su paso a sangre desde los pulmones, M (Medium) en compuestos solubilidad intermedia, S (Slow), corresponden a los compuestos más insolubles), pero ahora se han ampliado para incluir factores de absorción específicos para compuestos concretos, como es el caso del UO₂. En la biocinetica de los elementos químicos en el tracto respiratorio influye, además de la forma química en la que éstos se incorporen, el AMAD (tamaño aerodinámico) de los aerosoles. El modelo aplicable al tracto respiratorio hasta ahora era el descrito en la ICRP 66 que ha sido revisado por la ICRP 130, que es el que utilizaremos (Fig. 2). Respecto a la modelización sistémica (Figura 1), OIR adopta el modelo biocinético descrito por la ICRP 69 y aplicado en la ICRP68 para trabajadores. Se considera que la biocinética del uranio en el esqueleto es similar cualitativamente a la del calcio óseo. La excreción urinaria se describe en este modelo en parte como transferencia directa de la sangre a la vejiga, en parte tras retención temporal en riñón. Respecto a la retención en órganos y tejidos el modelo predice una retención en el esqueleto varias veces superior al depósito en hígado en caso de exposición crónica continua a isótopos de uranio. Tras un largo periodo de exposición el esqueleto de un adulto contendrá la mayor parte del uranio en el cuerpo. La evaluación de dosis por exposición interna normalmente se realiza mediante bioensayos a partir de cuyos resultados se aplica el modelo correspondiente para calcular la incorporación. El bioensayo más común aplicado a personal expuesto a aerosoles de UO₂ es la medida de la concentración de isótopos de uranio en muestras de orina de 24h. Las dosis están relacionadas con el tiempo de permanencia de los isótopos de uranio en el organismo, los que presentan menor solubilidad, como es el UO₂, son los que dan lugar a mayores dosis efectivas.

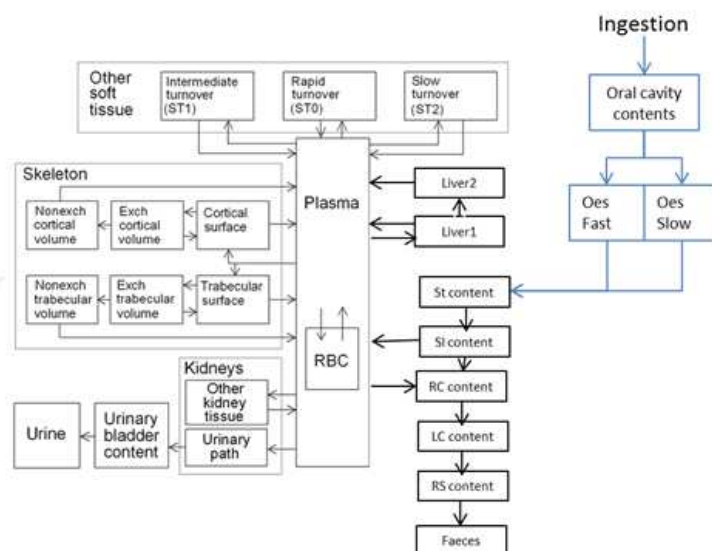


Figura 1. Modelo biocinético del uranio incluyendo los compartimentos sistémicos y el HATM (OIR Part 3-draft 2015-09-17)

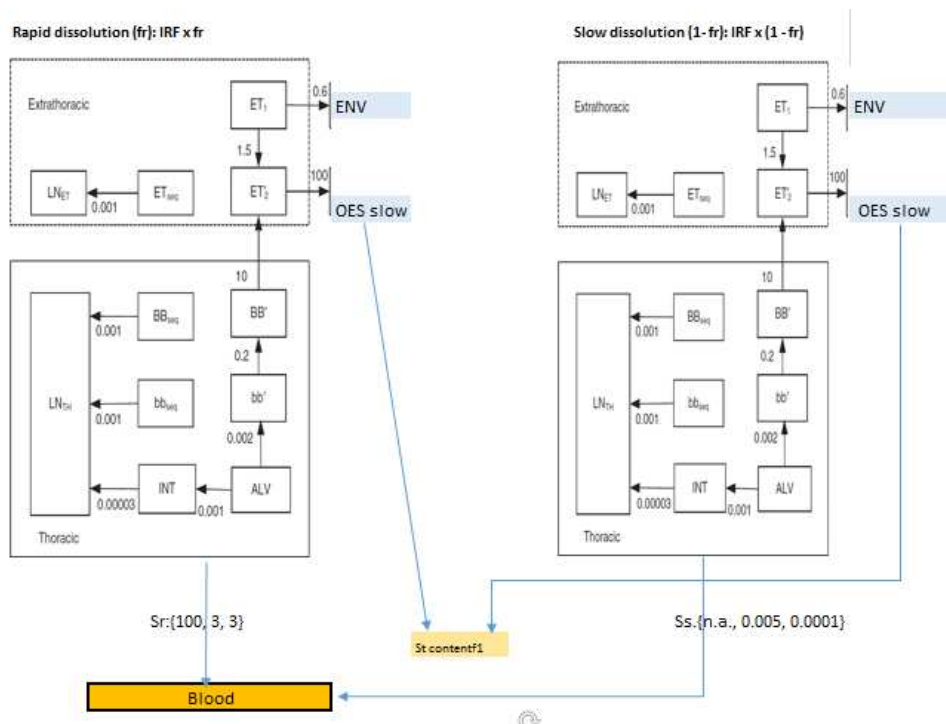


Figura 2. Modelo del TR (ICRP 130) aplicable al Uranio.

3. RESOLUCION.

Para la resolución del nuevo modelo OIR de ICRP del Uranio se ha utilizado el BLOKMOD, un software programado en Mathematica desarrollado por uno de los autores de este trabajo. Este programa permite resolver modelos compartimentales descritos por sistemas de ecuaciones diferenciales que se utilizan en dosimetría interna y en farmacocinética. A partir de los modelos mostrados en las figuras 1 y 2 y de los coeficientes de transferencia dados en OIR Part 1 (ICRP 130) y Part 3 (Draft: 2015-09-18) se han calculado las funciones de retención para los casos de incorporación puntual unidad en cada uno de los compartimentos del sistema, así como las excreciones urinaria y fecal. Para cada una de las vías de incorporación (inhalación, ingestión e inyección) se han utilizado los valores de los parámetros correspondientes a los distintos tipos de metabolización que se recogen en la tabla 1. Para la inhalación se han aplicado los factores de deposición inicial que se muestran en la tabla 1, correspondiente a AMAD 5 μm (utilizado por defecto) y 1 μm , pero la metodología aplicada permite una fácil extensión a otros AMAD.

El programa BLOKMOD proporciona como funciones de retención y excreción expresiones analíticas. En la práctica son aplicables a cualquier isótopo del uranio pues los periodos de desintegración de los isótopos más comunes del Uranio (^{238}U , ^{235}U , ^{234}U) son mucho mayores que la vida de una persona. Para isótopos de periodo más corto simplemente habría que multiplicarlas por $\text{Exp}(-\lambda t)$ siendo λ la cte. de desintegración del isótopo. A partir de las funciones de retención/excreción analíticas se pueden obtener las fracciones de retención/excreción para un día t concreto posterior al instante de la incorporación, sustituyendo t por el valor deseado. Así se han obtenido los valores que se muestran en la tabla 3.

Tabla 1.- Parámetros de absorción aplicables al uranio según su forma química
(OIR Part 3- Draft 2015-09-17).

		Absorption parameter values (1)			
		f_r	s_r (d ⁻¹)	s_s (d ⁻¹)	f_A
Inhaled particulate materials (Default values)					
Absorption Type	Assigned forms				
F	Uranium hexafluoride, UF ₆	1	10	-	0.02
M	Uranyl acetylacetonate; DU aerosols from use of kinetic energy penetrators; vaporized U metal	0.2	3	5 10 ⁻³	4 10 ⁻³
S	Highly Insoluble	0.01	3	1 10 ⁻⁴	2 10 ⁻⁴
	Uranium dioxide UO ₂ (1)	0.015	1	5 10 ⁻⁴	2 10 ⁻⁴
Ingestion					
Soluble forms					0.02
Insoluble forms					0.002

(1) Valores obtenidos de la tabla 15-2 de ICRP OIR Part 3 a aplicar por defecto para compuestos en los que la misma tabla no se incluyan valores específicos. Aquí solo mostramos los valores específicos aplicables al UO₂ pero en la tabla 15-2 pueden encontrarse los aplicables a varios compuestos.

Tabla 2.- Factores de deposición inicial para la inhalación de aerosoles
(OIR Part 3-Draft 2015-09-17)

Compartimento deposición	AMAD (5 μm)	AMAD (1 μm)
ALV	5.319E-02	1.066E-01
bb'	1.101E-02	1.649E-02
bbseq	2.206E-05	3.304E-05
BB'	1.773E-02	1.240E-02
BBseq	3.554E-05	2.484E-05
ET2'	2.577E-01	1.315E-01
ETseq	5.164E-04	2.636E-04
ET1	4.795E-01	2.447E-01

Tabla 3.- Fracciones de retención/excreción aplicables a la inhalación de aerosoles de Tipo S, AMAD 5 μ m

t (días)	Tracto Respiratorio	Retención Pulmones	Retención todo el cuerpo	Excreción Heces 24h	Excreción Orina 24h
1	1.22E-01	6.18E-02	6.13E-01	8.59E-02	5.69E-04
2	6.80E-02	6.01E-02	3.29E-01	2.69E-01	8.53E-05
3	6.01E-02	5.87E-02	1.51E-01	1.76E-01	2.74E-05
4	5.82E-02	5.76E-02	8.47E-02	6.64E-02	2.13E-05
5	5.71E-02	5.66E-02	6.50E-02	1.98E-02	1.94E-05
6	5.63E-02	5.58E-02	5.93E-02	5.58E-03	1.80E-05
7	5.56E-02	5.51E-02	5.74E-02	1.91E-03	1.67E-05
8	5.50E-02	5.45E-02	5.64E-02	9.80E-04	1.57E-05
9	5.45E-02	5.40E-02	5.57E-02	6.97E-04	1.47E-05
10	5.41E-02	5.36E-02	5.51E-02	5.65E-04	1.39E-05
20	5.18E-02	5.13E-02	5.22E-02	1.63E-04	8.84E-06
30	5.06E-02	5.01E-02	5.09E-02	1.06E-04	6.85E-06
40	4.95E-02	4.90E-02	4.99E-02	9.63E-05	5.95E-06
50	4.86E-02	4.81E-02	4.89E-02	9.24E-05	5.47E-06
60	4.76E-02	4.71E-02	4.79E-02	8.94E-05	5.17E-06
70	4.67E-02	4.62E-02	4.70E-02	8.67E-05	4.96E-06
80	4.58E-02	4.53E-02	4.61E-02	8.41E-05	4.78E-06
90	4.49E-02	4.44E-02	4.52E-02	8.15E-05	4.64E-06
100	4.41E-02	4.36E-02	4.43E-02	7.90E-05	4.51E-06

A partir de las funciones de incorporación para el caso puntual utilizando el teorema de la convolución puede obtenerse las funciones de retención aplicable a otros tipos de incorporación, como es la incorporación crónica (constante).

En la figura 3 se muestra el resultado obtenido para la retención pulmonar y la concentración diaria de excreción urinaria y fecal (24 h) para un trabajador expuesto a una incorporación media diaria de 1 Bq, de aerosoles tipo S. Los resultados de retención/excreción se comparan con los que se obtienen con el modelo de uranio vigente, y aunque son próximos en caso de la excreción urinaria, se pueden dar variaciones no despreciables, son más significativas si en vez de los factores correspondientes a S (usados en la fig. 3) aplicamos los específicos del UO₂, este hecho puede tener implicaciones en futuras valoraciones de este tipo de bioensayo.

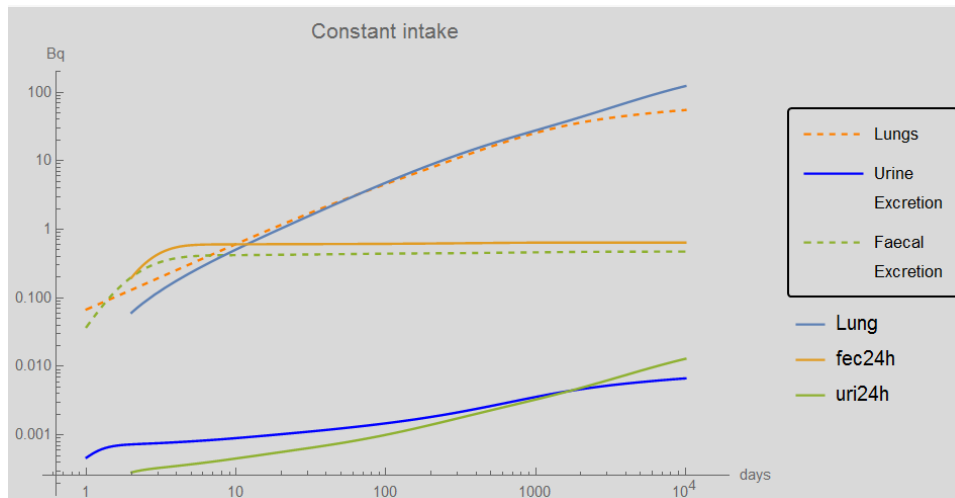


Figura 3. Retención pulmonar y excreción urinaria y fecal para un trabajador expuesto a una incorporación constante de 1 BqU/día de aerosoles tipo S ; AMAD 5 µm (la leyenda del recuadro corresponde al modelo vigente y la de abajo a la obtenida con el nuevo modelo).

Una versión preliminar del modelo resultante puede ejecutarse en <http://oed.usal.es/webMathematica/Biokmod/biokmod11.jsp>. Debe tomarse con precaución pues es una versión que deberá ser válida contrastando con los resultados de ICRP (en este momento ningún grupo ha resuelto el modelo y si lo ha hecho no lo ha difundido)

4. CONCLUSIONES.

La ICRP ha publicado la ICRP 130 y en breve va a editarse la ICRP XXX (OIR Part 3) que modifica, entre otros, el modelo actual del URANIO. Entre las novedades destacan: (i) Modifica la ICRP 66, (ii) Incluye factores de absorción específicos para distintos compuestos de uranio, como es el UO₂, y no solo los genéricos F, M, y S. Se ha utilizado el programa BOKMOD para resolver el modelo. Una versión preliminar que resuelve el modelo online está disponible en: <http://oed.usal.es/webMathematica/Biokmod/biokmod11.jsp>. Es de especial interés el modelo de inhalación de UO₂, por su aplicación a fábrica de Juzbado (ENUSA), pues afecta a la valoración de los bioensayos que utilizan la excreción urinaria. Los resultados obtenidos deben considerarse provisionales a la espera de que puedan ser contrastados con los obtenidos por ICRP.

AGRADECIMIENTOS.

A ENUSA Industrias Avanzadas S.A, CIEMAT, EURADOS (European Radiation Dosimetry Group, www.eurados.org) y Universidad de Salamanca. Investigación apoyada parcialmente por MINECO (Proyecto MTM 2013-47879-C2-2-PY JCYL (Proyecto SA130U14).

REFERENCIAS.

- ICRP, 2015. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1. ICRP Publication 130.
- OIR Part 3. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. (Draft: 2015-09-18)
- Sánchez G; BOKMOD: A Mathematica toolbox for modeling Biokinetic Systems". *Mathematica in Education and Research*: 10 (2) 2005. ISSN/ISBN: 1096-3324