

32 Reunión Anual SNE. Tarragona 2006

13-05 Cálculo de dosis realistas: Un método para evaluar el efecto de los descendientes

Guillermo Sánchez (gsl@fab.enusa.es). ENUSA Industrias Avanzadas S.A. Fca. Juzbado. Apdo. 328. 37080 Salamanca

Resumen.- Las metodologías de cálculo de dosis "realistas", como la CREAM, requieren la evaluación de numerosos parámetros que en aplicaciones prácticas pueden no ser viables ni estar justificados. En muchos casos son innecesariamente complicados. Una estimación no será mas "realista" por el hecho de ser más compleja, de hecho va en contra del criterio de Ockham habitualmente utilizado en la investigación científica. Nos hemos de preguntar: ¿Puede hablarse de dosis "realista" cuando no es posible contrastarla con los datos específicos? ¿Es importante mejorar la estimación de la dosis, incluso puede hablarse de mejora, cuando se trata de fracciones de microSv/año?. Por otro lado, estas metodologías no disponen de métodos claros para evaluar el efecto de los descendientes en las cadenas tróficas, nosotros hemos desarrollado unos criterios matemáticos destinados a este fin.

Introducción

ENUSA ha desarrollado un programa propio [1] de estimación de dosis a la población por el vertido de efluentes líquidos y gaseosos, en operación normal de la fábrica de Juzbado (también se ha extendido su aplicación a las operaciones de clausura de las instalaciones mineras de Saelices), basado en la SRS19 [2]. Este programa sería aplicable para el cálculo de dosis "realista" en la línea de lo indicado por la guía RP 129 [3] en la medida que se utilicen mas valores locales y específicos del entorno del emplazamiento. El problema que surge es que la determinación experimental de valores locales requiere grandes recursos que no estarían justificados cuando las dosis predichas son muy pequeñas, debido al estricto control que se hace sobre las emisiones en instalaciones nucleares, como ocurre en la Fábrica de Juzbado. Pero veremos que, aún haciendo estos esfuerzos, la metodología de la SRS19, por otro lado muy buena por su fácil implementación, normalmente hace una sobre estimación de la dosis atribuible al método de tratamiento de las cadenas alimentarias. En concreto

a) El empleo de los factores de paso y bioacumulación puede sobreestimar las concentraciones, y por consiguiente la dosis.

b) Algunos isótopos se desintegran en otros isótopos que a su vez son radiactivos. Una simplificación habitual es no tener en cuenta el efecto radiológico del hijo, en otros casos lo que se hace es que se asigna en toda cadena trófica una concentración al isótopo hijo idéntica al isótopo padre. En un tratamiento realista es necesario evaluar el grado de validez de esta suposición. En algunos casos puede ser necesario un tratamiento más realista.

Implicaciones de la utilización de los factores de paso y de bioacumulación en la concentración estimada en el alimento. Aplicación al consumo de peces

El empleo de los factores de paso y bioacumulación es el método habitualmente utilizado para la estimación de las concentraciones en el alimento (Ref: [3] y [4]). Veamos que esta simplificación en muchas ocasiones sobreestiman la concentración en el alimento. Para demostrarlo vamos a ir a uno de los casos más simple que es el modelo monocompartimental pez-río

La incorporación por un pez de un elemento en un sistema acuático podemos representarlo por la ec.(1)

$$\frac{dC(t)}{dt} = \frac{I_w}{m} C_w - k_r C(t) \quad (1)$$

donde $C(t)$ es la concentración en el organismo (pez), C_w es la concentración en el agua que la suponemos constante, I_w es la tasa de incorporación en el organismo que la suponemos constante, m es su masa y k_r es la tasa de eliminación biológica (Nota: No se incluye la desintegración radiactiva que es específica de cada uno de los isótopos del elemento).

La solución a la ec. (1) está dada por

$$C(t) = \frac{I_w}{m k_r} C_w (1 - e^{-k_r t}) \quad (2)$$

Tomando en la ec. (2) un t suficientemente largo se llega a la concentración de equilibrio C_{eq}

$$C_{eq} = \frac{I_w}{m k_r} C_w \quad (3)$$

La razón entre la concentración en el organismo y el agua (en condiciones de equilibrio), $B_{ip} = C_{eq} / C_w$, es lo que se conoce como factor de concentración o de bioacumulación. Este factor es el que se aplica para calcular a partir de la concentración del agua del río la concentración en las partes comestibles del pez. Los valores de B_{ip} suelen estar tabulados (por ejemplo en la SRS19). La aproximación será buena si el tiempo es suficientemente largo, tal que el factor $f_c = (1 - e^{-k_r t})$ de la ec (2) se aproxime a 1. Pero esta asunción siempre es una sobre estimación. Por ejemplo la fig. 1 representa la evolución de f_c para el Po-210 (teniendo en cuenta el periodo de semidesintegración). Se observa que para un pez con aproximadamente 1.5 años de edad $f_c = 0.5$ y por tanto la dosis al usar $f_c = 1$ la dosis se esta sobreestimando dos veces.

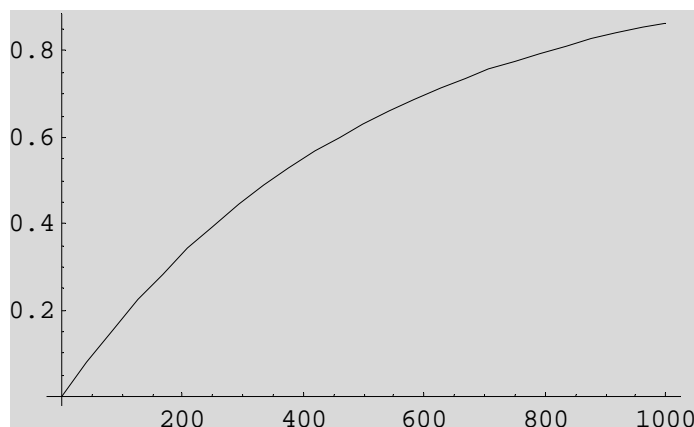


Fig.1 Factor de equilibrio para el Po-210 en el modelo río-pez

Efecto de la consideración de los descendientes en las cadenas tróficas

Algunos isótopos se desintegran en otros isótopos que a su vez son radiactivos. Vamos a considerar una cadena del tipo $1 \rightarrow 2$, no obstante su extensión a casos más complejo es fácil.

Cada una de las etapas de una cadena trófica suele representarse por un compartimento. Por ejemplo: ingestión de agua por una vaca, donde en el agua están presente dos isótopos, tal que uno decae en el otro, como es el caso del Bi-210 que decae en Po-210. Un ejemplo similar es el de un pez en un río con dos isótopos que se desintegran el uno en el otro. Matemáticamente puede tratarse como sigue: Consideremos un sistema formado por un compartimento 1 donde se produce la entrada $b_1(t)$ de un isótopo 1. Supongamos un compartimento 2 donde se produce una entrada $b_2(t)$ de un isótopo 2. El isótopo 1 y 2 tienen como constantes de desintegración λ_1 y λ_2 . Consideremos que el isótopo 1 se desintegra en el isótopo 2, esto matemáticamente puede interpretarse como un *input* desde el compartimento 1 al compartimento 2, caracterizado por una cte $k_{12} = \lambda_1$.

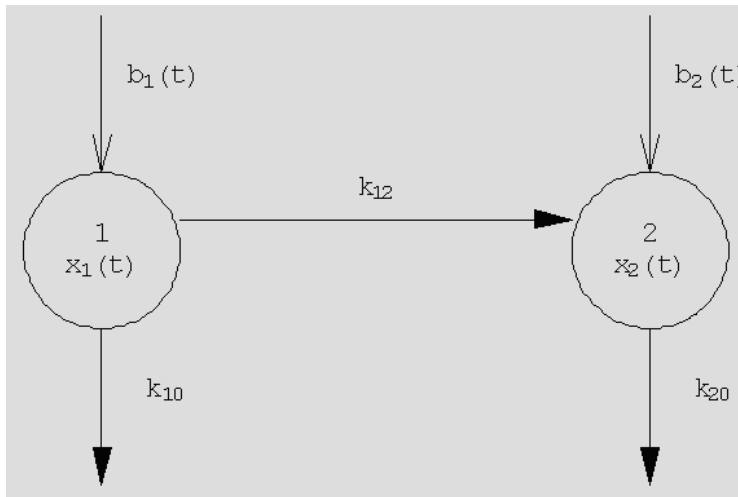


Fig. 2.- Modelo de acumulación de descendientes

Representamos los dos isótopos por un *input* constante $b_1(t) = b_1$ y $b_2(t) = b_2$. Por ejemplo: Un animal que ingiere agua de un río en el que la las concentraciones de ambos isótopos de mantienen aproximadamente constantes. El sistema puede modelizarse por el sistema de ecuaciones diferenciales siguiente:

$$\frac{dx_1}{dt} = b_1 - (k_{10} - \lambda_1)x_1$$

$$\frac{dx_2}{dt} = b_2 + \lambda_1 x_1 - (k_{20} - \lambda_2)x_2$$

Condiciones iniales : $x_1(0) = x_2(0) = 0$

La resolución del sistema anterior puede utilizarse para valorar en que casos de es necesario tener en cuenta el efecto de la desintegración del isótopo 1 en el 2, y en que caso puede tratarse por separado. Esto dependerá de los valores que tome b_1 , b_2 , λ_1 , λ_2 , k_{10} , k_{20} , por ello construimos una función que permita calcular la concentración del isótopo 2 en función de todos los parámetros anteriores.

Ejemplo: Sea $b_1 = 1 \text{ Bq/s}$, $b_2 = 1 \text{ Bq/s}$, $\lambda_1 = 0.01 \text{ s}^{-1}$, $\lambda_2 = 0.02 \text{ s}^{-1}$, $k_{10} = 0.3 \text{ s}^{-1}$, $k_{20} = 0.4 \text{ s}^{-1}$ Se trata de calcular la concentración del isótopo 2 en el compartimento 2.

Vamos comparar el resultado para distintas hipótesis:

Caso 1.- Se tiene en cuenta las entradas desde el exterior del isótopo 2 en el compartimento 2 y las procedentes de la desintegración del isótopo (1→2) en el compartimento 1.

Caso 2.- Sólo se tienen en cuenta las entradas desde el exterior hacia el compartimento 2.

Caso 3.- Se tienen en cuenta las entradas desde le exterior al compartimento 2 y se supone

además que hay una concentración en el compartimento 2 idéntica a al del isótopo 1 en el compartimento 1 (suposición del equilibrio secular que es utilizada ampliamente)

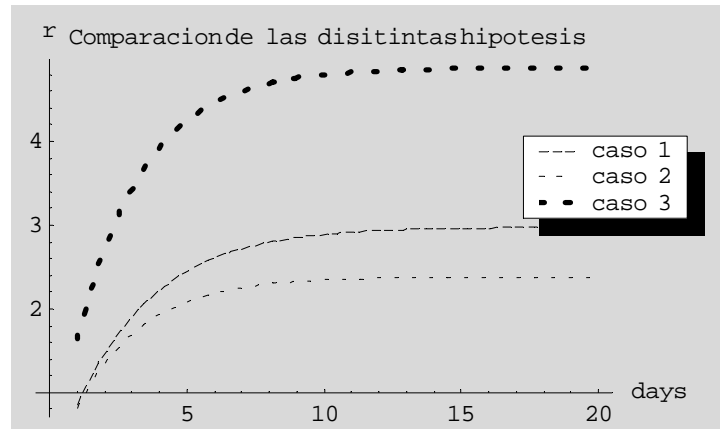


Fig. 3.- Representación gráfica de las soluciones obtenidas

Las soluciones obtenidas para los tres casos se muestran en la Fig.3). Comparado con el caso 1, que es el que mejor debería reflejar la realidad, se observa que el caso 3 sobrestima la concentración del isótopo 2 mientras que el caso 2 lo subestima. La discrepancia es suficientemente importante y no estarían justificadas las simplificaciones habituales utilizadas en los casos 2 y 3

DISCUSIÓN

La guía RP129 establece criterios a seguir para la estimación de la dosis a la

población en el entorno de instalaciones nucleares. El objetivo que pretende es que se haga una evaluación “realista” de dicha dosis. Pero ¿qué es una “dosis realista”? ¿Sabemos o tenemos alguna forma de conocer la realidad?. En el caso de la estimación de de dosis por efluentes radiactivos la forma sería comparar la predicción teórica de los modelos teóricos (del programa de cálculo de dosis) con los resultados de los programas de vigilancia radiológica ambiental (PVRA) y ver si la desviación es suficientemente pequeña. El problema que afortunadamente se presenta es los valores habitualmente medidos en los PVRA normalmente son indistinguibles del fondo. De hecho las estimaciones teóricas suelen estar por debajo de los $\mu\text{Sv/año}$, que está varios órdenes de magnitud por debajo al fondo radiológico ambiental. Es decir: No hay forma de comparación, lo más que puede decirse es que la estimación teórica prevé valores por debajo del fondo radiológico ambiental y los datos experimentales así lo corroboran. Este problema es mucho más acusado en la fábrica de Juzbado donde los isótopos emitidos son de origen natural. Lo anterior es válido asumiendo un amplio rango de valores a los parámetros de los modelos.

Al menos desde un punto de vista conceptual la estimación de dosis será mas realista mientras mas valores específicos del emplazamiento se disponga. El problema que surge es que la estimación de parámetros específicos, dependiendo del grado de aproximación que se desee alcanzar, puede requerir recursos importantes. En instalaciones donde las dosis estimadas son habitualmente pocos μSv , el empleo de recursos para afinar la estimación de dosis puede no estar justificado. Una propuesta constructiva sería disponer criterios cuantitativos que permitan acotar los criterios que debería cumplir la estimación del cálculo de dosis de una instalación concreta. Por ejemplo: Si una vía de exposición, con todos sus parámetros por defecto, implica una dosis menor a $20 \mu\text{Sv/año}$ debería indicarse que podrán utilizarse los valores estándar sin necesidad de hacer un estudio local de los parámetros que intervienen en dicha vía.

Por otro lado hemos visto, que incluso con un conocimiento detallado de

los parámetros específicos del emplazamiento las modelos teóricas (como los de la guía SRS 19) normalmente sobreestiman las dosis.

REFERENCIAS

1. “DOEFLURA: Un programa para el cálculo de dosis a la población por emisión de efluentes radiactivos”. SNE 32 reunión anual. Tarragona 2006.
2. Safety Reports Series No.19 “Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment”, IAEA, Vienna, 2001.
3. Radiation Protection 129 “Guidance on the realistic assessment of radiation doses to members of the public due to the operation of nuclear installations under normal conditions”; 2002.
4. Regulatory Guide 1.109 “Calculation of Annual Doses to Man from Routine Releases of Reactor Effluents for the purpose of Evaluating Compliance with 10 CFR 50, Appendix I”.