

CAMBIOS EN LA DOSIS GAMMA EN AIRE ORIGINADA POR LA MOVILIDAD DE RADIONUCLEIDOS EN SUELO

CHANGES IN GAMMA DOSE IN AIR DUE TO MOBILITY OF RADIONUCLIDES IN SOIL

M. Rizzotto, H. Velasco, N. Merkis, J. Toso

GEA – IMASL – Grupo de Estudios Ambientales – Instituto de Matemática Aplicada San Luis
Departamento de Física
Universidad Nacional de San Luis – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
Ejército de los Andes 950, (5700) San Luis - Argentina
e-mail: hvelasco@unsl.edu.ar

En este trabajo, a partir del cálculo de la tasa de dosis en aire debida a radionucleidos gamma emisores situados en el interior del suelo, se estudian los cambios originados en la misma ocasionados por la movilidad de la fuente hacia el suelo profundo. La tasa de dosis es calculada mediante simulación de Monte Carlo (DAGES Code) a una altura de 1 m respecto de la superficie de suelo y para una distribución arbitraria del contaminante en suelo. La movilidad vertical de radionucleidos es modelada con el modelo DSF. El análisis desarrollado es aplicado para aproximar los cambios en la contribución externa a la tasa dosis debida a ^{137}Cs (depósito de Chernobyl en playas del sur de Italia) que se originan en la movilidad de este radionucleido en suelo. El coeficiente de difusión y la velocidad de convección son determinados en cada caso. Los resultados obtenidos de la simulación de la tasa de dosis para el instante inicial, 10 y 20 años luego del depósito son discutidos desde el punto de vista de la radioprotección. Tanto en los cambios del perfil de concentración del contaminante en suelo como en los cálculos dosimétricos los resultados teóricos son confrontados con datos experimentales.

In this paper, starting from dose rate in air due to gamma emitter radionuclides in soil, changes in dose rate due to source mobility in deep soil are studied. Dose rate is assessed using a Monte Carlo simulation (DAGES code) at a 1 m height above ground for an arbitrary distribution of the contaminant in soil. The radionuclides vertical mobility is modeled using DSF model. This analysis is applied to calculate changes in the external contribution to dose rate due to ^{137}Cs (Chernobyl fallout in South Italy beaches) which are originated in the mobility of this radionuclide in soil. The diffusion coefficient and convection velocity are determined for every studied case. The results obtained from dose rate simulation for the initial time, 10 and 20 years after deposit are discussed from radioprotection point of view. Theoretical results are compared with experimental data as much as for changes in concentration profile of the contaminant in soil as dosimetric calculations.

I. INTRODUCCION

En este trabajo se determina la contribución a la tasa de dosis gamma externa debida al ^{137}Cs en suelo, en función del tiempo. Para calcular la tasa de dosis externa en aire, 1 m por encima de la superficie del suelo, se seleccionaron sitios de muestreo localizados a lo largo de las costas de las regiones de Calabria y Basilicata (Sur de Italia). El radiocésio, depositado en suelo como consecuencia del accidente de la Central Nuclear de Chernobyl (Mayo, 1986), migra a lo largo del perfil vertical y la concentración de actividad en el suelo varía con el tiempo. El transporte vertical se describe mediante un modelo difusivo-convectivo, determinando en cada caso, el coeficiente de difusión, D_s , y la velocidad de convección, v_s . La contribución externa a la exposición gamma debida al radiocésio será entonces función del tiempo debido a la movilidad de la fuente. Esto se calcula utilizando una simulación de Monte Carlo⁽¹⁾ (DAGES Code). El método da una estimación de la contribución a la tasa de dosis gamma externa de cada capa de suelo a lo largo del perfil vertical.

II. SISTEMA

Los sitios muestreados se seleccionaron a lo largo de las costas Este y Oeste del sur de Italia⁽²⁾. Las muestras de arena fueron recogidas cada 50 km en la región de Calabria y cada 10 km en la región de Basilicata. Para cada sitio muestreado, se recogieron submuestras para capas de diferentes profundidades a lo largo del perfil vertical (0-2 cm, 2-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, y 15-20 cm).

III. MODELO

La concentración total de radionucleidos en suelo $C(z,t)$ ($Bq\ m^{-3}$) (fracciones móvil y sorbida), como función de la profundidad z , y el tiempo t , está dada por⁽³⁾

$$C(z,t) = C_o \exp[-I(t-t_0)] \times \left\{ \frac{1}{\sqrt{pD_s(t-t_0)}} \exp\left[-\frac{(z-v_s(t-t_0))^2}{4D_s(t-t_0)}\right] - \frac{v_s}{2D_s} \exp\left[\frac{v_s z}{D_s}\right] \operatorname{erfc}\left[\frac{(z+v_s(t-t_0))}{\sqrt{2D_s(t-t_0)}}\right] \right\} \quad (1)$$

En esta ecuación:

C_o ($Bq\ m^{-2}$) es el depósito de ^{137}Cs producido al tiempo $t=t_0$. I ($=0.0229\ \text{año}^{-1}$) es la constante de decaimiento del radionucleido. $\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x)$, donde $\operatorname{erf}(x)$ es la

función error. D_s ($\text{cm}^2 \text{año}^{-1}$) y v_s (cm año^{-1}) son, respectivamente, el coeficiente de difusión efectivo y la velocidad de convección correspondientes al proceso de transporte vertical del Cs en suelo.

IV. PROCEDIMIENTO

Para obtener la contribución del ^{137}Cs a la tasa de dosis externa, como función del tiempo, se siguieron los siguientes pasos:

- 1) Ajustando la Ec. (1) a las concentraciones totales medidas en suelo para las diferentes capas, se obtuvieron los valores de D_s y v_s . El depósito se produjo a mediados de 1986 y las mediciones se hicieron en 1997.
- 2) Conocidos D_s y v_s , se puede calcular $C(z,t)$, de modo que podemos generar los perfiles de concentración para diferentes tiempos.
- 3) Integrando las curvas obtenidas en el punto 2) se puede calcular la concentración en suelo, capa por capa, como función del tiempo.
- 4) Usando el algoritmo de Monte Carlo (DAGES Code), desarrollado por Velasco et al.⁽¹⁾, se calcula el factor de tasa de dosis, DRF , capa por capa, como función del tiempo.
- 5) Se calcula la contribución parcial de cada estrato, a la tasa de dosis externa, como

$$\dot{H}_i(t) = S_{Ai}(z_i, t) [DRF(z_i) - DRF(z_{i-1})] \quad (2)$$

Donde $DRF(z_i)$ es el factor de tasa de dosis correspondiente a la capa ubicada entre la superficie del suelo y la superficie a una profundidad z_i . S_{Ai} es la densidad de actividad volumétrica del ^{137}Cs en la capa de arena ubicada entre z_{i-1} y z_i .

La contribución total a la tasa de dosis gamma externa es la suma de las contribuciones parciales de todas las capas de arena consideradas.

V. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

- 1) El ajuste de la función $C(z,t)$, Ec (1), a los datos experimentales se muestra en la Fig. 1. Los valores obtenidos para los parámetros del modelo D_s y v_s son $2.17 \text{ cm}^2 \text{y}^{-1}$ y 0.32 cm y^{-1} respectivamente. Estos valores se encuentran en el rango informado en la bibliografía^(4,5).

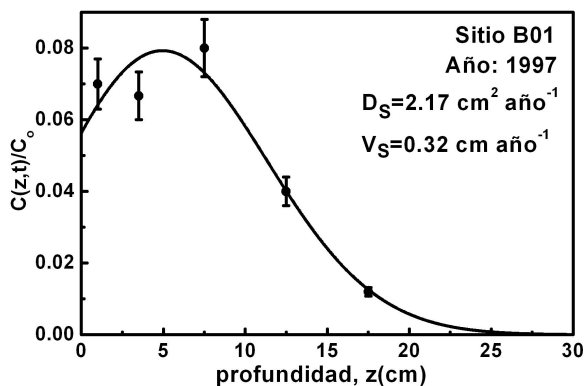


Figura 1. Perfil de concentración en suelo para un sitio particular: curva teórica obtenida por ajuste de la Ec.

(1) a los valores experimentales. Los valores para D_s y v_s son los obtenidos en el ajuste.

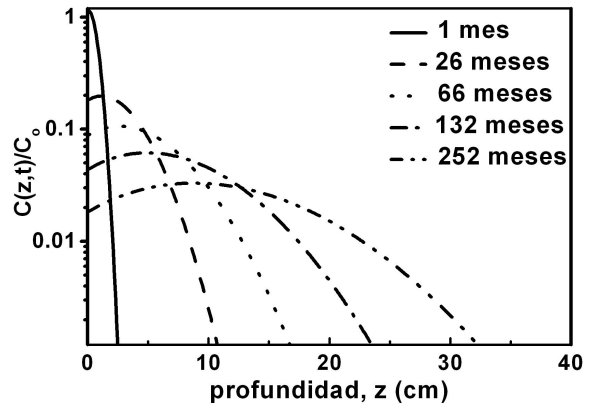


Figura 2. Perfiles de concentración en suelo para cinco tiempos diferentes a partir del depósito (Ec. 1)

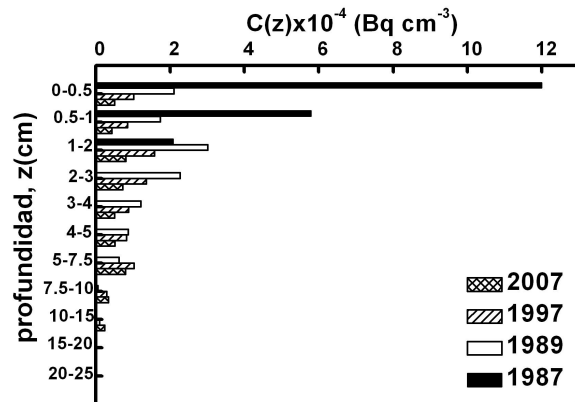


Figura 3. Concentración media de actividad, capa por capa, para cuatro tiempos diferentes.

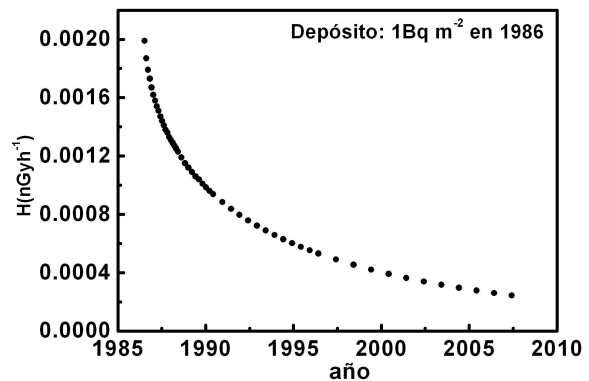


Figura 4. Variación temporal de la tasa de dosis debida a un depósito superficial unitario de ^{137}Cs debida a la movilidad espacial de la fuente hacia el interior del suelo

- 2) En la Fig. 2 se muestran perfiles de concentración para cinco tiempos diferentes.
- 3) Integrando la Ec. (1), calculamos la concentración media de actividad, capa por capa, para cuatro tiempos diferentes. Esto se muestra en la Fig. 3.
- 4) Calculamos los factores de tasa de dosis, *DRF*, distinguiendo las contribuciones debidas a cada estrato de suelo.
- 5) Calculamos la contribución parcial de cada estrato y total, a la tasa de dosis externa, Fig. 4.

VI. CONCLUSIONES

El trabajo explora la variación en la tasa de dosis debida a radionucleidos gamma emisores situados en el suelo originada en la movilidad de la fuente hacia el interior del suelo. En general resulta conocida la contribución externa a la dosis gamma debida a radionucleidos que se encuentran en el suelo en situación de equilibrio. El estudio es llevado a cabo asociando dos modelos: el primero da cuenta de la movilidad vertical de la fuente y el segundo simula mediante un algoritmo de Monte Carlo la tasa de dosis. La calibración del primero de los modelos con datos experimentales de ^{137}Cs , permite determinar el coeficiente de difusión y la velocidad de convección para las condiciones particulares de los sitios estudiados. La simulación permite conocer la atenuación de la intensidad de dosis externa en función del tiempo debida a la movilidad de la fuente. Los resultados alcanzados se consideran importantes desde el punto de vista de la radioprotección y una referencia para las acciones de remediación de áreas contaminadas.

REFERENCIAS

1. Velasco H, Carreño E, Rodríguez M, Belli M, Sansone U. Radioecological Software Package: an interactive computational system to simulate the behavior of radionuclides in semi-natural environments. *J. Environ. Radioact.* 73 (2004) 223-230.
2. Velasco H, Rizzotto M, Merkis N, Belli M, Sansone U. Contribution to the external gamma dose rate from ^{137}Cs and ^{40}K activity concentrations determined in the vertical profile of sandy beaches. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 273 (2007) 395.
3. Schuller P, Bunzl K, Voigt G, Ellies A, Castillo A. Global fallout ^{137}Cs accumulation and vertical migration in selected soils from South Patagonia. *J. Environ. Radioact.* 71 (2004) 43-60.
4. Bossew P, Kirchner G. Modelling the vertical distribution of radionuclides in soil. Part I: the convection-dispersion equation revisited. *J. Environ. Radioact.* 73 (2004) 127-150.
5. Kirchner G. Modelling the migration of fallout radionuclides in soil using transfer function model. *Health Physics* 74 (1998) 78-85.