

Incertidumbres en la estimación de dosis a trabajadores expuestos a la inhalación de aerosoles

*Guillermo Sánchez (gsl@fab.enusa.es) y Agustín Pérez (apf@fab.enusa.es).
ENUSA Industrias Avanzadas. S.A.*

INTRODUCCIÓN

Un método muy empleado para estimar las dosis comprometidas a trabajadores expuestos habitualmente a la inhalación de aerosoles radiactivos consiste en medir las concentraciones de actividad en los puestos de trabajo utilizando tomamuestras fijos. El trabajador registra a lo largo de la jornada los periodos de tiempo que ha permanecido junto a cada tomamuestras. A partir de los tiempos de permanencia y de las concentraciones se estiman las incorporaciones individuales. Un estudio estadístico demuestra que en muchas ocasiones puede conseguirse una fiabilidad estadística comparable utilizando tiempos medios de permanencia diarios en una zona sin necesidad de registrar los tiempos de permanencia por punto de muestreo. Esto simplificaría significativamente el método de asignación de dosis comprometida y reduciría los errores que pueden cometerse en la cumplimentación de los tiempos de registro. El estudio se ha realizado con datos de la fábrica de Juzbado pero la metodología podría aplicarse a otras instalaciones.

ESTIMACION DE LAS INCORPORACIONES A PARTIR DE TOMAMUESTRAS FIJOS.

El riesgo de exposición a la incorporación por inhalación de aerosoles radiactivos en la fábrica de Juzbado se produce en la denominada Zona Cerámica, donde se procesa óxidos de uranio, generándose aerosoles. Para estimar las incorporaciones de aerosoles de uranio a los trabajadores de la zona cerámica se utilizan tomamuestras fijos ubicados en lugares representativos de las condiciones a las que habitualmente están sometidos. Cada tomamuestras tiene un filtro, donde se depositan los aerosoles, que es periódicamente recogido (usualmente al cambio de turno). A continuación se mide la actividad acumulada en cada filtro A_{id} (actividad medida el día d en el tomamuestras situado en el punto i). La concentración media C_{id} será

$$C_{id} = A_{id} / (rT)$$

r el flujo del tomamuestras, que se supone constante y T el tiempo en el que permanece el filtro en el tomamuestras (Asumimos que es constante y corresponde a la duración de un turno de trabajo). Cada trabajador registra cada día d el tiempo Δt_{id} de permanencia junto a cada tomamuestras i . La incorporación total de un trabajador el día d se estima como sigue:

$$I_d \approx \frac{R}{rT} \sum_{i=1}^n A_{id} \Delta t_{id}$$

donde R es la tasa de respiración del trabajador que se considera constante. Por simplicidad supondremos $r = R$ (aunque esto no se verifique no afecta a las conclusiones), asimismo consideraremos que $T = 1$ día laborable (desde aquí cuando nos refiramos a día, se entenderá que es 1 turno de 8 h), y que los tiempos de permanencia se expresan en fracciones de 1 día y A en becquerelios. Con estos criterios reescribimos la ecuación anterior y nos queda:

$$I_d \approx \sum_{i=1}^n A_{id} \Delta t_{id} \text{ (Bq/día)}$$

Esta ecuación es una aproximación, y no una igualdad, pues implícitamente se está suponiendo que la concentración en cada punto de muestreo i es constante a lo largo del día d (realmente esta va variando, pero esta variación es desconocida, lo que se conoce es la actividad acumulada en el filtro todo el turno y

de aquí se obtiene la concentración media). Por este motivo se comete un error en la asignación de la actividad del filtro i al intervalo de tiempo Δt_{id} . Por otro lado el propio trabajador inevitablemente cometerá un error en la asignación de los tiempo de permanencia, Δt_{id} . En cualquier caso, aunque el registro fuese exacto esto no mejora la información que se tiene sobre la concentración a la que ha estado sometida el trabajador, pues no se conoce cual es la concentración en el periodo en el que el trabajador a permanecido en el punto i . En la fig. 1 se representa la situación a la que esta sometida el trabajador.

Nos planteamos valorar la incertidumbre que se comete en la asignación de las incorporaciones (y por consiguiente a las dosis) a lo largo de un año natural. Los datos de los que disponemos son:

a) Actividades diarias en los distintos filtros.- Se ha comprobado utilizando los datos de varios años y puntos de muestreo que las concentraciones medias diarias en cada filtro a lo largo del año pueden aproximarse a una distribución logarítmico-normal $LN(\mu_i, \sigma_i)$

$$LN(\mu_i, \sigma_i) \equiv \begin{cases} f_i(A) = \frac{1}{\sigma_i A \sqrt{2\pi}} \text{Exp} \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln A - \mu_i}{\sigma_i} \right)^2 \right] & \text{si } A > 0, \\ f_i(A) = 0, & \text{en otro caso.} \end{cases}$$

donde:

$$\hat{\mu}_i = \frac{1}{N} \sum_i \ln A_{id} \quad \hat{\sigma}_i^2 = \frac{1}{N} \sum_i (\ln A_{id} - \hat{\mu}_i)^2, \quad N: \text{n}^\circ \text{ de medidas realizadas para } i$$

b) Registros de Δt_{id} de los trabajadores.- Cada trabajador registra el tiempo total de permanencia en cada punto i para el día d pero no distingue a que horas de inicio y fin corresponden. Normalmente cada trabajador a lo largo del año realiza sus labores en una misma área y la mayor parte de las asignaciones de dosis se realizan a no más de 4 puntos de muestreo, no superando 4 registros a día. No se encuentra que los tiempos de permanencia puedan aproximarse a una distribución concreta. Lo que si se observa es que el trabajador tiende a permanecer más en unos puntos que en otro. Podemos considerar que un trabajador que habitualmente realiza su trabajo en un área concreta su tiempo de permanencia a lo largo del turno será $f_1 + f_2 + f_3 + f_4 = 1$, donde f_i representa el tiempo medio, expresado en fracciones de turno (por eso la suma es la unidad) de permanencia en un turno en el punto i , calculado de los datos disponibles de muchos turnos.

SIMULATION DE LAS INCORPORACIONES DIARIAS

Con el fin de estimar la incertidumbre en la asignación de las incorporaciones diarias vamos a proceder como se describe a continuación:

- La actividad total A_{id} en un filtro i el día j la simularemos utilizando una distribución $LN(\mu_i, \sigma_i)$. Los valores utilizados para μ_i e σ_i se basan en la información experimental disponible.
- La actividad retenida A_{ijd} (desconocida) en el filtro en cada intervalo j la simulamos como sigue: (i) Dividimos la duración de un turno en n intervalos de tiempo iguales, de duración τ (utilizamos $\tau = 1/8$, es decir 1 h), (ii) supondremos que cada día d en cada punto de muestreo i A_{ijd} sigue una distribución uniforme. (iii), Utilizando una distribución *Uniforme*(0, 1), vamos generando grupos de n números aleatorios $\{a_j\}_{j=1..n}$; descartamos las simulaciones en las que los n valores sean todos 0; (iv) calculamos $\sum_j a_j = \alpha$ y hacemos $b_j = a_j/\alpha$ que verificará $\sum b_j = 1$; (v) la actividad retenida en el intervalo j será $A_{ijd} = b_j A_{id}$.
- La actividad asignada a un trabajador cualquiera k a lo largo de un periodo D ($D =$ número de días laborables durante un año natural) la simulamos aplicando

$$\hat{I}_D^k = \sum_{d=1}^D \hat{I}_d^k \quad \text{con} \quad \hat{I}_d = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \hat{A}_{id} w_{ijd} \tau$$

donde w_{ijd} es el número de intervalos de tiempo durante un turno junto al filtro i . (suponemos que w_{ijd} toma valores enteros), debe verificarse que $\sum_{j=1}^m w_{ijd} = 8$, (en la simulación se incluye un punto ficticio f , para el que $A_f = 0$, que represente los periodos en los que el trabajador este fuera del área).

- d) La actividad que suponemos que realmente ha sido inhalada por el trabajador la calculamos a partir de los valores A_{ijd} obtenidos en b)

$$I_D^k = \sum_{d=1}^D \hat{I}_d^k \text{ con } I_d = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_{ijd} w_{ijd} \tau$$

- e) Comparemos las asignaciones así obtenidas con las que se obtienen asignando un tiempo de permanencia medio f_i que es el mismo todos los días para cada punto de muestreo calculado como sigue:

$$I_d = \sum_{i=1}^n f_i A_{id}$$

Aplicación.- Hemos aplicado el procedimiento anterior al área de Prensado y preparación de polvo. Hemos tomado los datos de los tres muestreadores más representativos de dicha área y un cuarto que representa las condiciones medias ambientales del área. Hemos encontrado que las actividades diarias medidas en estos puntos, en mBq/día, pueden ajustarse a una funciones de probabilidad con las siguientes características $f_1(a) = LN(5.2, 1.0)$, $f_2(a) = LN(4.8, 2)$, $f_3(a) = LN(3.7, 1.2)$, $f_4(a) = LN(2.0, 0.8)$. Hemos supuesto que el trabajador permanece junto a cada 2 horas (es decir $w_{ijd} = 2$ horas en todos los casos), aunque variar este parámetro no afecta a las conclusiones obtenidas. Se observa que la incertidumbre obtenida en la asignación de dosis anual asignando tiempos de permanencia fijos es del 12-15%, con un 95% de confianza. La incertidumbre que se comete haciendo que el operario registre el tiempo de permanencia es del mismo orden. Las discrepancias entre las incorporaciones “reales” y las estimadas pueden ser significativas para un día concreto sin embargo a lo largo del año se van compensando presentándose una buena concordancia al final del año.

CONCLUSIONES

Como resultado de la simulación se obtiene la siguientes conclusiones:

- El registro de los tiempos de permanencia no contribuye a mejorar la estimación de dosis. Un sistema igualmente eficaz y más simple sería asignar las dosis para los trabajadores de un área utilizando un factor de ponderación fijo a cada punto de muestreo de dicha área.
- A lo largo del día se producen variaciones en la concentración que no son tenidas en cuenta por el sistema de asignación de dosis (en la práctica es imposible seguir estas fluctuaciones continuas) y que introducen incertidumbres en las asignaciones diarias de dosis.
- En periodos largos de tiempo (1 año laboral), las incertidumbres en la estimación de dosis se ven considerablemente disminuidas (el carácter aleatorio de las incertidumbres diarias hace que se compensen estas a largo plazo).

El estudio tiene implicaciones en los programas de bioensayos (Sánchez G, 1998).

REFERENCIAS

Sánchez G. 1998. “Criterios estadísticos aplicables a los controles ambientales y a la realización de bioensayos en trabajadores expuestos a la inhalación de aerosoles radiactivos”. Radioprotección 19, 155-162.

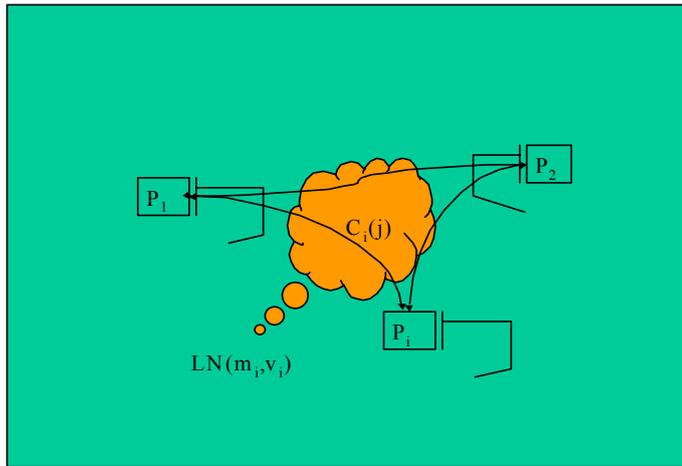


Figura 1 El trabajador se desplaza dentro de una misma área permaneciendo un tiempo variable en los tomamuestras de ese área. Se ha observado que la actividad diaria medida en cada tomamuestras puede aproximarse a una distribución logarítmico normal