



18-01

CRITERIOS ESTADÍSTICOS APLICABLES A LOS CONTROLES AMBIENTALES Y BIOENSAYOS EN PERSONAS PROFESIONALMENTE EXPUESTAS A LA INHALACIÓN DE AEROSOLES RADIACTIVOS

JOSÉ GUILLERMO SÁNCHEZ*, RAMÓN ARDANUY**

*EMPRESA NACIONAL DEL URANIO, S.A.

Y DPTO. ESTADÍSTICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

**DPTO. ESTADÍSTICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

INTRODUCCIÓN

La normativa sobre de protección radiológica frecuentemente deja un amplio margen a la interpretación de quien debe aplicarla. Vamos a analizar este tema en lo relativo a los controles ambientales y bioensayos sobre personas expuestas a la inhalación de aerosoles

La norma 10CFR20.1502(b), muchos de cuyos aspectos recoge el RPSCRI, dice que cuando es probable que el individuo exceda el 10% del LIA (Límite de incorporación anual) se requerirá mediciones para estimar la dosis interna pero no se especifica como puede predecirse si es probable exceder este valor. Al respecto, el NUREG 1400 punto 3.5 dice “La predicción debería estar basada en la experiencia previa de las medidas de las concentraciones ambientales y de los incorporaciones”. Lo mismo dice, en el punto 2.1.2, la Regulatory Guide 8.9 1993, Rev 1 respecto a la realización de bioensayos.

Nosotros hemos desarrollado un método (Sánchez J.G. 1998. *Variables estocástica en Modelos Compartimentales: Aplicación a la incorporación de partículas en el cuerpo humano*. Cap 5. Tesis doctoral. Dpto. de Estadística. Universidad de Salamanca) que permite interpretar la normativa anterior con



criterios estadísticos que utilizan la experiencia operacional para adecuar los controles ambientales y bioensayos a la experiencia acumulada. reduciendo los márgenes de interpretación de la aplicación de la normativa. Ello beneficiaría a los explotadores de instalaciones nucleares o radiactivas, a las autoridades reguladoras y sobretodo a los trabajadores potencialmente expuesto.

Estimación de las incorporaciones de personas expuestas a concentraciones ambientales aleatorias medidas con tomamuestras fijos

Vamos a considerar el caso de trabajadores potencialmente expuesto a la inhalación de aerosoles radiactivos cuyas incorporaciones se estiman a partir de tomamuestras fijos que se recogen periódicamente.

Supongamos que un individuo se desplaza aleatoriamente dentro de un área aerosoles radiactivos. La actividad inhalada I_d por dicho individuo, para una jornada d , se estima aplicando:

$$I_d = v \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ijd} \Delta t_{ijd} \approx v \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{id} \Delta t_{ijd} \quad (1)$$

donde $v = 1.2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ es la tasa estándar de respiración humana, C_{id} es la concentración media en el punto i la jornada d y Δt_{ijd} corresponde al intervalo de tiempo j que el individuo ha permanecido junto a i . Para estimar I_d se utilizan tomamuestras ubicados en los puntos i . Éstos disponen de filtros que se cambian con un periodo T , que suele coincidir con la duración de la jornada laboral. En ese periodo se acumula en el filtro una actividad, A_{id} que está relacionada con la concentración, C_{id} por:

$$A_{id} = r C_{id} T \quad (2)$$

donde r es el caudal de aspiración del filtro, que se hace coincidir con v .



Obsérvese que este método asume que la concentración media en el toma muestras i en el intervalo Δt_{ijd} es igual a Δt_{id} , de ahí la aproximación utilizada en (1).

Después de un largo periodo de tiempo de recogida de datos, se dispone información de la variación de la concentración media $C(i,d)$ por jornada d en los i puntos de muestreo y por tanto de las incorporaciones de la población estudiada. De estos valores se puede inferir información que permiten estimar el riesgo de exposición del colectivo estudiado, siempre y que las condiciones de trabajo no se vean substancialmente modificadas, y a partir de ello establecer los controles a aplicar sobre los trabajadores (Por ej.: Frecuencia de recogida de tomamuestras, bioensayos más adecuados, periodicidad, frecuencia de muestreo, etc.). Para ello proponemos construir un modelo estadístico que permita simular la evolución del sistema estudiado lo que puede hacerse como sigue:

a) Se buscará una función de distribución $F[A_i(d)]$ representativa de la variación de la actividad $A_i(d)$ - o lo que es equivalente la concentración media $C_i(d)$ - para punto de muestreo i a lo largo de un gran número de jornadas d . Con los datos experimentales disponibles de la fábrica de Juzbado hemos comprobado que para los valores de C_{id} correspondientes a los puntos de muestreo seleccionados se ajustan aceptablemente a una función lognormal. Esto es bastante razonable pues cuando se trata de garantizar que una población esté por debajo de cierto límites, la media del valor a controlar debe estar sensiblemente alejada del valor límite presentándose una fuerte asimetría. La función lognormal cumple con estos criterios, probablemente se dé este tipo de distribución en casos similares (Un tema importante que se ha tenido cuenta en el tratamiento de los datos disponibles es la presencia de valores de la concentración ambiental por debajo del Límite Inferior de Detección de la técnica de medida. Para ello se ha desarrollado un método que permite estimar la media y varianza en distribuciones normales y lognormales censuradas unilateralmente, como es el caso.



b) Se buscará una función de distribución $G[W_i(d)]$ representativa del tiempo de permanencia en el área la jornada d junto a cada punto de muestreo i , se ha elegido un punto de muestreo con la concentración del fondo ambiental que corresponde al tiempo que el trabajador pasa fuera del área durante la jornada laboral. Se ha optado elegir la distribución Uniforme $(0, 8)$, donde 8 corresponde al tiempo máximo de la jornada expresado en horas (En la mayoría de los casos esta elección es bastante conservadora pues presenta una fuerte dispersión). Debe verificarse que para un día cualquiera $\sum W_i(d) = 8$.

c) Se aplicarán las funciones de distribución $F[A_i(d)]$ e $G[W_{ij}(d)]$ para simular la incorporación media diaria de un grupo de individuos que se desplazan aleatoriamente a lo largo de una jornada d entre distintos puntos de muestreo. El número de cada simulación o replica se denota con (k) .

$$\hat{I}_d^{(k)} = v \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m F^{(k)} [A_i(d)] G^{(k)} [W_{ij}(d)] \quad (3)$$

La simulación anterior se extiende al periodo $[0, D]$ considerado, normalmente $D = 1$ año laboral, obteniéndose: $\{\hat{I}^{(1)}_1, \hat{I}^{(1)}_2, \dots, \hat{I}^{(1)}_D\}, \dots, \{\hat{I}^{(k)}_1, \hat{I}^{(k)}_2, \dots, \hat{I}^{(k)}_D\}$ y de aquí se calculará la cantidad media diaria \hat{I}_d y la total inhalada \hat{I}_D por los k individuos durante el periodo $[0, D]$ y las correspondientes varianzas $Var[\hat{I}_d]$ y $Var[\hat{I}_D]$.

Conocida la media y varianza de I es inmediato obtener el riesgo de exceder el límite L requerido (por ej.: 10% ALI), sin mas que establecer el intervalo de confianza correspondiente.

$$I = \hat{I} \pm t_{1-\alpha/2, k-1} Se / \sqrt{k} \quad (4)$$

$$\hat{I} = +t_{1-\alpha/2, k-1} Se / \sqrt{k} \quad (5)$$



En el caso de que considerásemos varios grupos, por ejemplo: agrupados por tipo de actividad, se haría un estudio similar por grupo para cada uno de los cuales podría determinarse cuales son los controles mas apropiados según su riesgo de exposición.

RETENCIÓN PULMONAR PARA MÚLTIPLES INCORPORACIONES PUNTUALES

Un método similar al anterior puede aplicarse para determinar la necesidad o no de realizar bioensayos, y en los casos que sean necesarios definir los mas adecuados y su frecuencia.

Nosotros lo hemos realizado con un caso práctico para estimar la retención pulmonar que el caso estudiado - trabajadores profesionalmente expuestos a la inhalación de aerosoles de UO_2 , Clase Y- es generalmente el bioensayo mas adecuado (el método es extensible para otros bioensayos como la excreción urinaria y/o fecal, utilizando las funciones de eliminación correspondiente). Utilizaremos los resultados de la simulación del apartado anterior. Supondremos que el AMAD es el mismo durante todo el tiempo de la simulación y es $1 \mu m$ (En el caso de disponer datos reales se utilizarían estos, la suposición elegida es habitualmente conservadora). La retención pulmonar para la clase de solubilidad Y y AMAD $1 \mu m$ puede aproximarse bastante bien por:

$$q^Y(t) = 0.15072^{-t/500} + 0.1252^{-t} \quad (6)$$

Supondremos que cada día d se produce un incorporación puntual $I(d)$, equivalente al total incorporado ese día. La cantidad total retenida $Q(d)$ pasados d días en un compartimento determinado (en este caso en los pulmones), asumiendo $Q(0)$ en $t=0$, puede expresarse por:



$$\begin{aligned} \text{para } t = 1 & \quad Q^{(k)}(1) = I^{(k)}_0 q(1) \\ \text{para } t = 2 & \quad Q^{(k)}(2) = I^{(k)}_0 q(2) + I^{(k)}_1 q(1) \\ \text{para } t = 3 & \quad Q^{(k)}(3) = I^{(k)}_0 q(3) + I^{(k)}_1 q(2) + I^{(k)}_2 q(1) \end{aligned}$$

.....

$$\text{para } t = d \quad Q^{(k)}(d) = I^{(k)}_0 q(d) + I^{(k)}_1 q(j-1) + \dots + I^{(k)}_{j-1} q(2) + I^{(k)}_j q(1) \quad (7)$$

donde (k) indica el número de replica. La aplicamos k veces utilizando los valores de $I^{(k)}$ obtenidos en la sección anterior y como $q(t)$ utilizamos la función de retención (6). Los resultados se muestran en las **figura 1**. En la simulación hemos tenido en cuenta la presencia de fines de semana y periodos vacacionales sin incorporación. Aplicamos la ecuación (4) para calcular los intervalos de confianza y lo comparamos con el caso en el que la misma incorporación media $T = T_D/D$ se produzca de forma continua constante que está dada por (8), que se obtiene integrando (6). Los resultados se muestran en la **figura 2**.

$$Q_c^Y(t) = I(108.89 - 0.1802^{-t} - 108.712^{-t/500}) \quad (8)$$

Este método puede emplearse para determinar el periodo en el que debería realizarse el bioensayo. La Regulatory Guide 8.9 1993, Rev 1, en el punto 4.3, especifica que : “En general, las muestras deberían ser realizados con una frecuencia correspondiente a no mas del 30% de incremento en las fracciones acumuladas sobre cualquier periodo de tiempo”. Basta por tanto con aplicar el método para determinar el periodo en el que se producirá este incremento. Otra información igualmente importante del método es que al conocer la retención estimada podemos saber si el resultado esperado está por encima del Limite Inferior de Detección de la técnica o si por el contrario queda por debajo de este valor en cuyo caso el bioensayo es innecesario por carecer de utilidad.

Aquí nos hemos referido a la retención pulmonar pero los criterios son los mismos para otros bioensayos.

CONCLUSIÓN

Hemos mostrado un método que permite incorporar criterios estadísticos a la aplicación de control ambientales y a la realización de bioensayos en personas expuesta profesionalmente a la inhalación de aerosoles radiactivos, el mismo procedimiento es extensible a otras situaciones. El empleo de este tipo de métodos permitiría aplicar con criterios mas homogéneos y objetivos la normativa sobre Protección Radiológica.

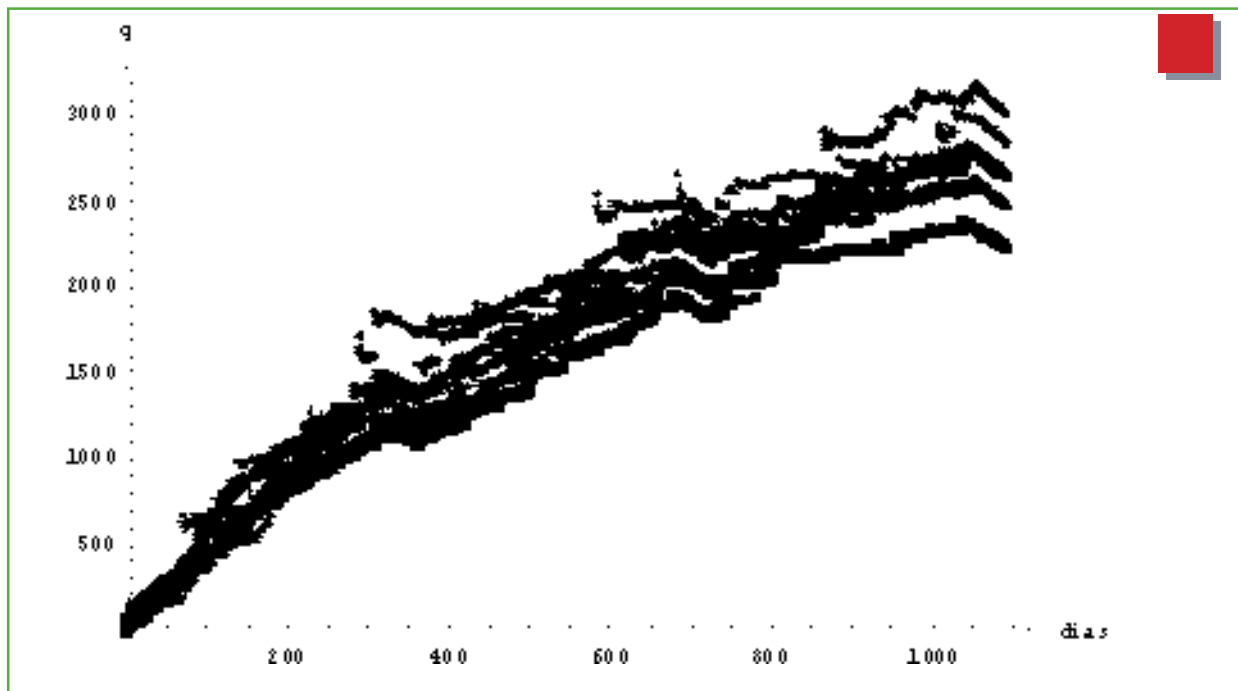


Fig 1.- Retención pulmonar supuesta una incorporación irregular de aerosoles de UO_2 clase Y. Se observa que aproximadamente cada 330 días se rompe la tendencia creciente produciéndose un descenso de la cantidad retenida durante unos 30 días, situación que corresponde a las vacaciones anuales donde no existe incorporación.

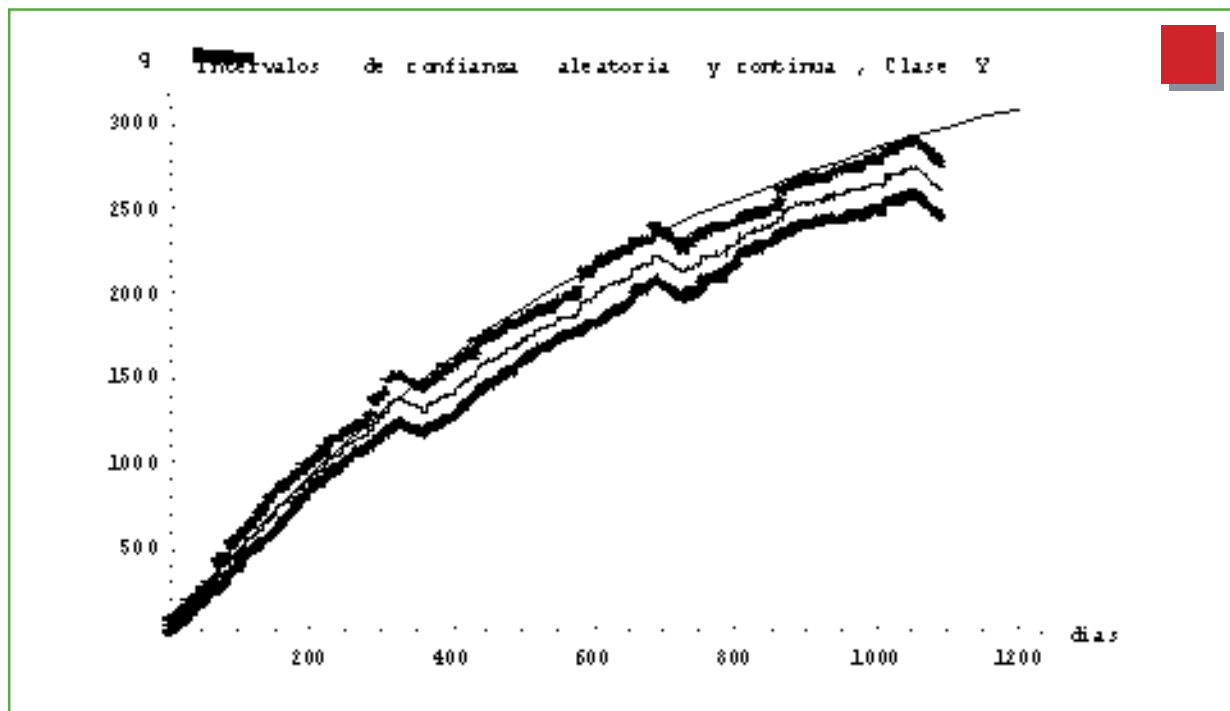


Fig 2.- Retención pulmonar: Intervalos de confianza (95%) de la media utilizando los datos individuales y comparación con incorporación continua calculada con la media de los mismos valores.