

MODELOS DE RIESGO ABSOLUTO Y RELATIVO LINEALES PARA ESTIMACIÓN DE CÁNCER INDUCIDO POR RADIACIÓN IONIZANTE EN COHORTE MEXICANO DE PERSONAL OCUPACIONALMENTE EXPUESTO

Alvarez, R.J.T.¹, Gonzalez, J. F.² y Tovar, M.V.M.³

^{1,3}LSCD, Departamento de Metrología de Radiaciones Ionizantes, ININ
Carretera Federal México Toluca S/N, La Marquesa, Ocoyoacac, México 52750.

² Estudiante de la Facultad de Ciencias de la UNAM
Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, México DF, 04510.

RESUMEN

A partir de la tasa de mortalidad natural por cáncer $m_s(t)$ para cada 100 mil habitantes, modelada por un polinomio de cuarto grado en función de la edad para datos de la población mexicana (2008), y suponiendo que: a) una relación de 1:5 de cáncer inducido por la radiación respecto al presentado espontáneamente, b) un tamaño de cohorte inicial $N_0 = 100$ mil POE's, c) una rapidez de $H_E = (2 \pm 1)$ mSv/año recibida por los POE's desde los 18 años hasta los 65 años, d) una latencia de 8 años para la inducción de cáncer después de la irradiación, e) un tiempo de seguimiento del cohorte hasta los 75 años, f) y tomando los coeficientes riesgo absoluto y relativo de inducción de cáncer de los modelos BEIR II y VII (excluyendo leucemia); se determina: para el BEIR II un número de 125 y 400 decesos por cáncer para los modelos lineal absoluto y lineal relativo respectivamente. Para el BEIR VII se tiene un número de casos fatales por cáncer de 345 y 927 decesos respectivamente para el modelo lineal absoluto y lineal relativo.

1. INTRODUCCIÓN

A raíz de los bombardeos atómicos en Hiroshima y Nagasaki en el año de 1945, los investigadores en el área de las radiaciones ionizantes se dieron a la tarea de obtener modelos de riesgo con los cuales pudieran estimar el número de decesos por cáncer en exceso a la incidencia natural provocados por la exposición a las radiaciones ionizantes; entendiéndose por riesgo a aquella probabilidad de que ocurra un cierto caso de daño o detrimento.

Los estudios para determinar los modelos de riesgo se realizaron con cohortes o grupos de estudio de: sobrevivientes de los bombardeos atómicos, pacientes que son sometidos a tratamientos de radioterapia, trabajadores ocupacionalmente expuestos e incluso se basaron en estudios sobre los efectos observados en animales y plantas irradiados. Con la información colectada en cada cohorte se realizan estadísticas en cuanto a su edad, sexo, localización de la neoplasia, dosis recibida, etc.

El riesgo de mortalidad por cáncer inducido por altas dosis es extrapolado a pequeñas dosis (hipótesis lineal sin umbral [1]), mediante dos modelos de proyección de dosis: el lineal y el cuadrático [2]. Por otra parte, también se tiene dos modelos de proyección en el tiempo: el modelo de riesgo absoluto y el modelo de riesgo relativo, [2].

¹ trinidad.alvarez@inin.gob.mx

² fergcho.007@gmail.com

³ victor.tovar@inin.gob.mx

Concretamente, el número de casos de cáncer representa un valor esperado de una distribución de probabilidad. A su vez el número de casos de cáncer fatales inducidos por la radiación ionizante puede ser calculado mediante la tasa de probabilidad o coeficiente de riesgo por mortalidad m_r del cohorte en el tiempo t .

La tasa de mortalidad está definida como el número de casos de cáncer inducidos por la radiación $dN_r(t)$ en el intervalo de tiempo $t \dots t+dt$, dividido por el número $N_0(t)$ de miembros de un cohorte quienes viven en un tiempo t , y por el intervalo de tiempo dt .

Por otra parte, el número esperado de casos de cáncer fatales inducidos por la radiación durante un cierto periodo de tiempo (ej. la vida de un cohorte) puede ser estimado sobre las bases de dos modelos de proyección de tiempo, el modelo de riesgo absoluto y el modelo de riesgo relativo.

El modelo de riesgo absoluto, que cual postula que la tasa de mortalidad por cáncer espontáneo m_s se incrementa debido a la radiación, y que la tasa de mortalidad por unidad de dosis permanece constante por el resto de vida posterior a la irradiación, se formaliza como:

$$r_a = dm_r(t)/dD \quad (1)$$

En el modelo de riesgo relativo se asume que la tasa de mortalidad incrementa una cantidad por unidad de dosis la cual es proporcional a la tasa espontánea m_s en el respectivo tiempo t ; queda expresado como.

$$r_r \cdot m_s(t) = dm_r(t)/dD \quad (2)$$

Al combinar los modelos de proyección de dosis y el modelo de proyección de tiempo, existen cuatro posibilidades para estimar el riesgo de vida del cohorte, por el modelo de riesgo lineal absoluto, el modelo de riesgo lineal relativo, el modelo de riesgo absoluto lineal-cuadrático y el modelo de riesgo relativo lineal-cuadrático.

En este trabajo nos enfocaremos solo a los modelos lineales por tanto es necesario conocer el número $N_0(t)$ de individuos que viven en un tiempo t . En el caso de pequeñas dosis, el número N_s de casos de cáncer espontáneo es mucho mayor que el número N_r de casos inducidos. Por lo que la aproximación queda de la siguiente forma:

$$-dN_0(t) = \frac{1}{\eta} dN_s(t) + dN_r(t) \approx \frac{1}{\eta} dN_s(t) \quad (3)$$

donde η representa la contribución de los casos de cáncer fatal espontáneo que contribuye a la mortalidad total de un cohorte. Con $dN_s = N_0(t)m_s(t)dt$ de esto se sigue que:

$$N_0(t) = N_0 \exp \left| \frac{-1}{\eta} \int m_s(t') dt' \right| \quad (4)$$

donde N_0 es el tamaño original del cohorte a la edad T_0 . La tasa de mortalidad espontanea $m_s(t)$ para la población.

Por lo tanto, al combinar el modelo de riesgo absoluto y el efecto de dosis lineal resulta:

$$(N_r)_{a/L} = r_a \cdot \int_{T_0+t_1}^{T_L} N_0(t) \cdot D(t) \cdot dt \quad (5)$$

donde T_0 caracteriza el comienzo de la irradiación, t_1 es el periodo latente de formación de cáncer y T_L el fin de la vida del cohorte.

Para la combinación del riesgo relativo y el efecto de dosis lineal su relación es la siguiente:

$$(N_r)_{r/L} = r_r \cdot \int_{T_0+t_1}^{T_L} N_0(t) \cdot m_s(t) \cdot D(t) \cdot dt \quad (6)$$

donde la dosis efectiva en el tiempo t está definida para los intervalos siguientes:

$$\begin{aligned} D(t)(t) &= \dot{D}(t) \cdot (t - T_0 - t_1) && \text{para} && T_0 + t_1 \leq t \leq T_e \\ D(t)(t) &= \dot{D}(t) \cdot (T_e - T_0) && \text{para} && T_e + t_1 \leq t \leq T_L \end{aligned} \quad (7)$$

2. METODOLOGÍA

En este trabajo se consideran los problema 18 y 19 propuestos en el libro [2], en los cuales se estiman el número de casos de cáncer inducido por la radiación (sin leucemia) sobre las bases de modelo de riesgo absoluto y riesgo relativo, respectivamente con los coeficientes de riesgo reportados en el BEIR II, y con las tasas de mortalidad espontanea por cáncer de la población japonesa,[3].

Este mismos problemas los planteamos y los resolvemos para un cohorte de personal ocupacionalmente expuesto de la población mexicana; de tal manera que se investiga y se ajusta la tasa de mortalidad espontánea por cáncer para la población mexicana,[4] y además se considera el modelo de riesgo del BEIR VII, [5].

A continuación se enuncia el problema para la población Mexicana. Dado un hipotético cohorte de $N_0=10^5$ personas son expuestas a \dot{D} una irradiación continua de radiación gama a una tasa de dosis constante $=0.002 \text{ Sv año}^{-1}$ desde la edad de $T_0=18$ años a la edad de $T_e=65$ años, habiendo un periodo latente de cáncer inducido de $t_1=8$ años. Determine el número de casos de cáncer inducido por la radiación (sin leucemia) sobre las bases de modelo de riesgo absoluto y riesgo relativo, considerando los coeficientes de riesgo reportados por BEIR II y VII, [2,5]. El periodo total de vida del cohorte se asume en $T_L=75$ años.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primero, se determina el polinomio que ajusta los datos experimentales de la tasa de mortalidad espontánea para la población Mexicana $m_s(t)$, en analogía a la función $m_s(t)=kt^5$ con $k= 8 \cdot 10^{-12} \text{ año}^{-6}$ para de la población japonesa,[2], donde el polinomio que mejor se ajusta, incluyendo leucemia, es, ver Figura. 1:

$$m_s(t) = 1.42 \text{ año}^{-5} \cdot 10^{-5} \cdot t^4 - 2.83 \cdot 10^{-3} \text{ año}^{-4} \cdot t^3 + 0.206 \text{ año}^{-3} \cdot t^2 - 5.974 \text{ año}^{-2} \cdot t + 61.37 \text{ año} \quad (8)$$

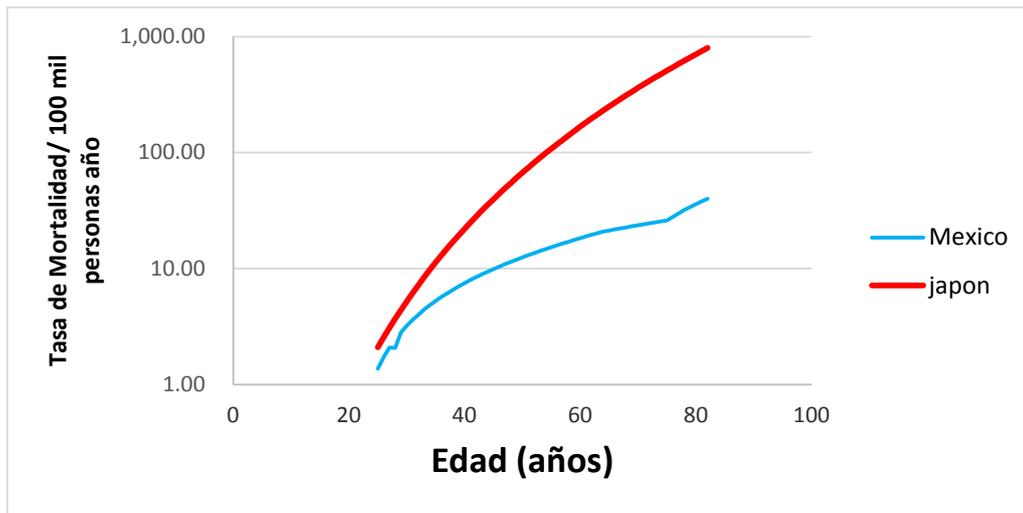


Figura 1. Grafica de la tasa mortalidad espontánea por cáncer para población mexicana (línea azul) y japonesa (línea roja),[3,4].

Segundo, se calculan las relaciones $N_0(t)/N_0(T_0)$ vs edad, y $N_0(t) m_s(t)/N_0(T_0)$ vs edad para los modelos de riesgo absoluto y relativo respectivamente, en la población japonesa y mexicana, ver Fig.2 y 3 respectivamente.

Finalmente, se determina el número de casos fatales por inducción de cáncer (excepto leucemia) para la población mexicana para el modelo de riesgo absoluto y para el modelo de riesgo relativo respectivamente, con los coeficientes de riesgo de los modelos BEIR II y VII, ver Tabla 1, y las ecuaciones (5) y (6), y Figs.2 y 3.

Tabla 1. Valores de riesgo absoluto y relativo de los modelos BEIR II y IV

	$r_a / Sv^{-1} \text{ año}^{-1}$	r_r / Sv^{-1}
BEIR II	$5 \cdot 10^{-4}$	0.2
BEIR IV	$1.39 \cdot 10^{-3}$	0.445

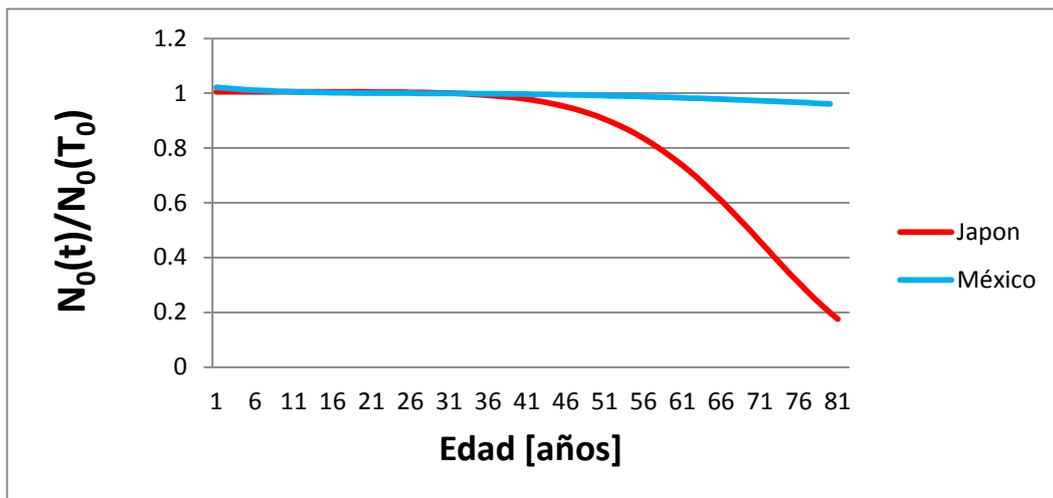


Figura 2. Comparación entre la función $N_0(t)/N_0(T_0)$ de la población japonesa (línea roja) y la mexicana con el modelo de riesgo absoluto (línea azul)

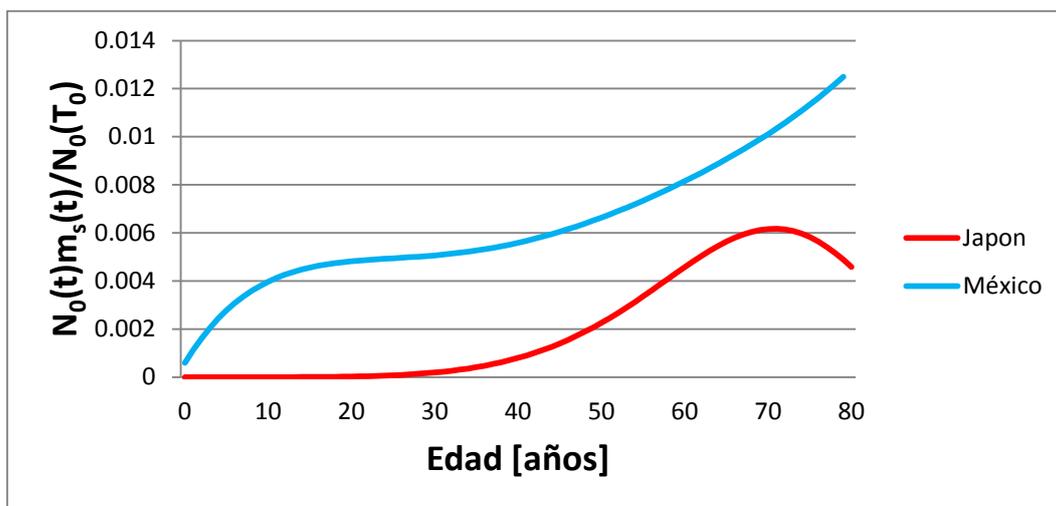


Figura 3. Grafica de función $N_0(t)m_s(t)/N_0(T_0)$ de la población japonesa (línea roja) y la mexicana con el modelo de riesgo relativo (línea azul)

Para el modelo BEIR II se tienen 125 casos de inducción de cáncer en el modelo de riesgo lineal absoluto. Mientras que para el modelo de riesgo relativo hay 400 casos fatales.

Ahora realizando un cálculo análogo con los valores de riesgo absoluto y relativo reportados por el BEIR VII [3], se tiene 345 decesos determinados con el modelo de riesgo lineal absoluto y 927 calculados con el modelo lineal relativo personas.

4. CONCLUSIONES

A reserva de la validez de la hipótesis lineal sin umbral, la cual no se ha confirmado experimentalmente hasta el momento, la muerte por cáncer inducida por bajas dosis debe considerarse como nominal, y solo para fines de cálculos económicos y administrativos, y tomar decisiones relativas a la protección radiológica de los seres humanos, y medio ambiente (con animales y plantas de referencia), ICRP 103 [5].

Haciendo una comparación del número de casos fatales por cáncer inducido por radiación del modelo BEIR II de la población japonesa y la población mexicana, ver Fig. 2 y 3, se aprecia un número mayor de casos fatales para la población japonesa tanto para el modelo de riesgo absoluto como el relativo, debido a la dinámica demográfica de cada población para $m_s(t)$, ver Fig. 1.

Existe una diferencia en el número de casos de cáncer inducidos por radiación ionizante en los modelos BEIR II y BEIR VII, ver Tabla 1; dicha diferencia se debe a la mejora en la precisión de las medidas dosimétricas, por lo tanto se determina un mayor riesgo de inducción de cáncer por radiación del originalmente evaluado,[1,6].

5. REFERENCIAS

1. ICRP, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. *Ann. ICRP* **21**, 1, (1991)
2. Dörschel, Birgit, “*The Physics of Radiation Protection*”. Nuclear Technology Publishing. UK, (1996).
3. Cohen B.L. “Alternatives to the BEIR Relative Risk Model for Explaining Atomic-bomb Survivor Cancer Mortality”. *Health Physics*, **52**, 55-63, (1987).
4. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica (SINAVE), Perfil Epidemiológico de los tumores malignos en México, http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/doctos/infoepid/publicaciones/2011/monografias/P_EPI_DE_LOS_TUMORES_MALIGNOS_M%C3%A9xico.pdf (Enero 12, 2015)
5. Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, *Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII – Phase 2*, National Academic Press, Washington DC USA (2006)
6. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* **37** 1, (2007)