

anexo a

criterios de la comisión nacional de seguridad nuclear y salvaguardias respecto a la habitabilidad, desde el punto de vista radiológico, de las construcciones donde se utilizó varilla contaminada con cobalto-60

El ser humano siempre ha estado expuesto a la radiación natural proveniente de los rayos cósmicos y de los radioisótopos contenidos en la corteza terrestre y de aquí dispersados en el medio ambiente, muchos de éstos se incorporan al cuerpo humano a través de la cadena alimenticia, fijándose en él, como por ejemplo el Carbono-14, Potasio-40, Tritio y algunos elementos pesados, por lo que la exposición a la radiación debido a estas fuentes es inevitable.

El ser humano también se encuentra expuesto a la radiación debida al avance tecnológico, como por ejemplo las aplicaciones médicas de la radiación, principalmente la utilización de rayos-x para diagnóstico.

La exposición a la radiación natural varía de un lugar a otro, dependiendo de la naturaleza del subsuelo, de la altitud y latitud del lugar donde vivimos, y también de la naturaleza de los materiales de construcción de los edificios que habitamos.

A manera de ilustración, a continuación se indican algunos valores de los niveles de radiación del fondo natural que se han determinado en el estado de Veracruz y la ciudad de México:

Farallón de San Carlos, Ver.	60 mR/año
Jalapa, Ver.	72 mR/año
Veracruz, Ver.	62 mR/año
México, D.F.	100 mR/año

La exposición interna debida a radioisótopos contenidos en el cuerpo humano es del orden de 24 mrem/año.

Respecto a la exposición debida a fuentes artificiales, se presentan los siguientes ejemplos:

Radiografía de tórax	60 a 70 mR/exp.
Relojes de carátula luminosa	2 mR/año
Aparatos de televisión	1 a 10 mR/año
Vuelos comerciales	1 mR/hora vuelo

Para establecer los niveles de radiación que representan un riesgo aceptable para las personas que habitan construcciones con varilla contaminada, se ha tomado en consideración las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica y, el criterio indicado en la recomendación norteamericana (192 40 CFR).

Se han efectuado cálculos teóricos de la exposición recibida, tomando en cuenta la constante de decaimiento del cobalto, de estos cálculos se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. Durante los 5 primeros años se produce aproximadamente el 50 por ciento de la exposición total, se produce durante los 10 primeros el 75 por ciento, durante los 20 primeros el 93 por ciento y durante 40 años el 99.5 por ciento.
2. Si suponemos que una persona permanece 18 horas al día junto a la construcción contaminada (a 1 metro de trabes, castillos, losas, etc.), con un determinado índice de exposición ini-

cial dentro del intervalo de 0.08 a 0.02 mR/hora, se obtendrían las exposiciones anuales indicadas en la tabla 1a para los primeros 5 años. Las exposiciones indicadas en la tabla son

debidas únicamente a la radiación del cobalto y no toman en cuenta la radiación debida a fuentes naturales y al uso médico de fuentes de radiación.

tabla no. 1a

caso	$X_0 \frac{mR}{h}$	X_1 mR	X_2 mR	X_3 mR	X_4 mR	X_5 mR
A	0.080	500	438	384	337	295
B	0.075	468	411	360	315	276
C	0.060	375	328	288	252	221
D	0.045	281	246	216	189	160
E	0.030	187	164	144	126	111
F	0.020	123	107	94	82	72
G	0.020	131	131	131	131	131

De esta tabla se puede observar que aun en el caso A, donde se obtiene un valor máximo de 500 mrem en el primer año, al término del quinto año la exposición sería 60 por ciento de la inicial, lo cual en principio podría ser aceptable considerando que las condiciones socio-económicas de la población del interior de nuestra república son tales que la probabilidad de que reciban exposiciones adicionales a la radiación en ese periodo es mínima, por lo que difícilmente se excedería el valor límite

anual de 500 mrem/año indicado por el ICRP para individuos del público.

El caso G es el criterio de la reglamentación de los Estados Unidos para construcciones contaminadas con materiales radiactivos residuales del procesamiento de uranio.

3. En la tabla 2a se muestran las dosis acumuladas para los periodos de tiempo 5, 10, 30, 50 años y a tiempo infinito.

tabla no. 2a

caso	X_{0-5} mR	X_{0-10} mR	X_{0-20} mR	X_{0-30} mR	X_{0-40} mR	X_{0-50} mR	X mR
A	1955	2967	3762	3974	4031	4047	4062
B	1831	2778	3522	3721	3775	3789	3794
C	1465	2223	2818	2977	3020	3031	3035
D	1097	1667	2113	2233	2265	2273	2277
E	732	1111	1409	1489	1510	1516	1518
F	446	722	916	968	981	985	986
G	657	1314	2628	3942	5256	6570	30714

En la tabla anterior puede observarse que en ninguno de los seis primeros casos postulados se recibe el límite de 5000 mrem en un periodo de 30

años, sugerido por la Comisión Internacional de Protección Radiológica para la dosis genética a individuos o población.

conclusiones

El valor que se seleccione debe representar un riesgo menor que a los que están expuestos normalmente los individuos del público, por ejemplo: el fumar 20 cigarrillos al día, tener 20 por ciento de sobrepeso y la incidencia natural de cáncer, tienen un coeficiente de riesgo del orden de 10^{-3} ; los accidentes automovilísticos, el alcoholismo y los accidentes hogareños tienen un factor de riesgo del orden de 10^{-4} .

Seleccionar un nivel de exposición entre los casos B y C de las tablas 1a y 2a, presenta un coeficiente de riesgo del orden de 10^{-5} , este último tomando como base los coeficientes de riesgo establecidos por la ICRP, por lo que si se toma como nivel aceptable el del caso C, se obtiene una dosis para el primer año de 375 mrem, dejando una reserva de 125 mrem, la cual se considera suficiente dado que en términos generales, nuestra población no está expuesta a otras fuentes artificiales de radiación y, para el quinto año la dosis anual habrá disminuido a 221 mrem. Se obtiene que para los primeros 30 años, suponiendo que el individuo permanezca en el mismo edificio, una dosis acumulada de 2977 mrem, lo que sería equivalente a recibir un promedio de 100 mrem/año.

Debe notarse que la dosis acumulada a los 30 años representa prácticamente la totalidad de la dosis que se recibiría durante la vida total del cobalto (98 por ciento), y el coeficiente de riesgo sería

100 veces menor al de los fumadores o personas con 20 por ciento de sobrepeso y 10 veces menor que el de accidentes automovilísticos y hogareños.

posición de la CNSNS

En base al análisis anterior, la CNSNS considera pertinente tomar como criterio que fundamente las decisiones para la demolición de construcciones habitables construidas con varillas contaminadas con Co-60, valores de rapidez de exposición que excedan de 0.06 mR/h adicional al fondo natural medidos en las condiciones dadas en este Anexo.

El valor establecido es bastante conservador ya que considera la permanencia de una persona durante 18 horas diarias a un nivel constante o promedio de 0.06 mR/h adicional al fondo natural.

En caso de lugares habitados donde se tenga una certeza razonable de que la permanencia de personas sea menor de 18 horas puede incrementarse al nivel aceptable proporcionalmente dentro de ciertos límites y asegurándose que la dosis máxima recibida durante el primer año no resulte mayor del valor correspondiente indicado en la Tabla No. 1a para el caso C.

Para facilidad de la interpretación de las lecturas se ha considerado que para el tipo y calidad de radiación emitida por el Co-60, se considera que:

$$1 \text{ mR} = 1 \text{ mrad} = 1 \text{ mrem.}$$

anexo b

procedimiento para el levantamiento de niveles de radiación en las construcciones habitables donde se utilizó varilla corrugada contaminada con cobalto-60

objetivo

Este procedimiento tiene como finalidad indicar a los técnicos los pasos a seguir para poder analizar si alguna construcción o parte de ella debe ser demolida debido a la radiación emitida por las varillas corrugadas contaminadas con Cobalto-60.

1. En la institución que proporciona el equipo se deberá verificar que éste cuente con el factor de calibración en cada una de las escalas que se van a utilizar, además se debe revisar que las baterías estén en condiciones de servicio y, asimismo, verificar el funcionamiento del equipo con la ayuda de alguna fuente de radiación.

2. Una vez que se llegó a la población donde se localiza la construcción y antes de efectuar cada uno de los levantamientos de niveles de radiación, se deberá revisar el correcto funcionamiento de las baterías y del equipo.

3. Una vez comprobado lo anterior, se deberá medir el fondo de radiación natural a una distancia no menor de 20 m de la construcción que se va a inspeccionar.

4. El inspector debe identificarse con el propietario o inquilino indicando el objetivo de la visita sin provocar ningún tipo de alarma.

5. Para cada habitación se debe elaborar un croquis indicando los puntos donde se efectuará la medición de rapidez de exposición.

Estos puntos deberán estar a 1 metro de distancia del nivel del piso o de la superficie por medir.

El mínimo de puntos será aquel que resulte de cuadricular imaginariamente la superficie de la habitación formando una rejilla con líneas separadas por distancias de aproximadamente 1 metro. En el cruce de estas líneas deberá efectuarse una medición.

6. En el croquis de la habitación deberán anotarse los valores obtenidos en cada punto.
7. Si las lecturas obtenidas en estos puntos son menores a la suma del fondo natural más 0.06 mR/h, el procedimiento finaliza.
8. En este caso, se deberá indicar al propietario o inquilino que la varilla utilizada no ofrece ningún peligro.

9. Si en alguno de los puntos la lectura es mayor a la suma del fondo natural más 0.06 mR/h, se deberán localizar los "puntos calientes" en la superficie, paredes, pisos o techos.

10. En las superficies se deberán marcar los puntos calientes con el objeto de indicarle al propietario o inquilino las partes que deban ser demolidas.

11. Explicar al propietario o inquilino que los niveles de radiación encontrados no ofrecen peligro debido a la radiación y que el riesgo de sufrir daño por radiación sería cuando la habitación fuera ocupada por cinco o más años.

12. Elaborar el informe correspondiente y pedirle a la SSA que levante el acta correspondiente.

anexo c

efectos biológicos de la radiación

Los efectos de la radiación en seres humanos se conocen debido a varios grupos de personas expuestos, siendo el grupo más importante el de los sobrevivientes de las bombas nucleares lanzadas sobre Hiroshima y Nagasaki.

Cuando ocurren accidentes en donde se irradian personas, los efectos observados sirven para aumentar los conocimientos de los efectos de la radiación en seres humanos. La investigación con otros seres vivos ha sido extensa y los conocimientos se han extrapolado para estimar los efectos en humanos.

Se pueden clasificar los efectos de la exposición a las radiaciones en:

- a) Somáticos, si se presentan en el individuo expuesto.
- b) Genéticos, cuando afectan a sus descendientes.

Considerando la frecuencia con que se presentan los efectos de las radiaciones, éstos los podemos clasificar como estocásticos y no estocásticos. Los efectos genéticos son siempre estocásticos, los efectos somáticos pueden ser estocásticos o no.

A nivel molecular, el mecanismo de interacción de la radiación con los tejidos hasta producir un daño, puede resumirse en los siguientes pasos:

1) **Reacciones elementales:** La absorción de la energía de la radiación ionizante se efectúa con la excitación y la ionización de las moléculas en la trayectoria de la radiación. Esta reacción es esencialmente física y requiere de 10^{-17} a 10^{-15} segundos y, las moléculas ionizadas o excitadas son muy inestables y reactivas. Es necesario notar que sustancias químicas muy reactivas, como el ozono, causan el mismo efecto.

2) **Reacciones primarias:** Los radicales y moléculas excitadas, que se formaron a partir de las reacciones elementales, reaccionan entre ellas, o con otras moléculas, en reacciones esencialmente químicas y toma de segundos a minutos, pudiendo durar horas.

3) **Reacciones secundarias:** El rearreglo de moléculas que sigue a las reacciones primarias, causa interacciones entre macromoléculas de significado biológico, que pueden llevar a alteraciones y daños de sistemas biológicos a nivel celular o subcelular. Estos mecanismos se completan en el término de pocos días, pudiendo durar una pequeña fracción de ellos muchos años.

Los tres pasos anteriormente descritos, de la interacción de la radiación con sistemas biológicos, son llamados: físico, químico y biológico, respectivamente.

Si la interacción tiene lugar en células somáticas, el daño lo sufrirá el individuo expuesto, pero si se altera la información genética de células reproductoras, éstas pueden transmitir este daño a generaciones futuras. Sin embargo, es necesario reconocer que una célula dañada muere tempranamente, porque el daño le impide sobrevivir en la mayoría de los casos; sólo una fracción pequeña de las células con daño genético puede sobrevivir y provocar daños en futuras generaciones.

No ha sido posible cuantificar la frecuencia de efectos genéticos en el hombre debidos a radiaciones, a pesar de los estudios intensivos que se han efectuado a los sobrevivientes de Hiroshima y Nagasaki. La razón de esto es que no se tiene un número suficientemente grande de casos como para obtener una precisión estadística adecuada. Se han extrapolado los resultados de estudios con animales, especialmente con ratas, para calcular los efectos en el hombre; sin embargo, es evidente que la aplicabilidad de estos resultados puede no ser buena. Para ratas, la dosis necesaria para doblar la frecuencia de defectos genéticos es de aproximadamente 1 Gy (1-3 Gy UNSCEAR 1982).

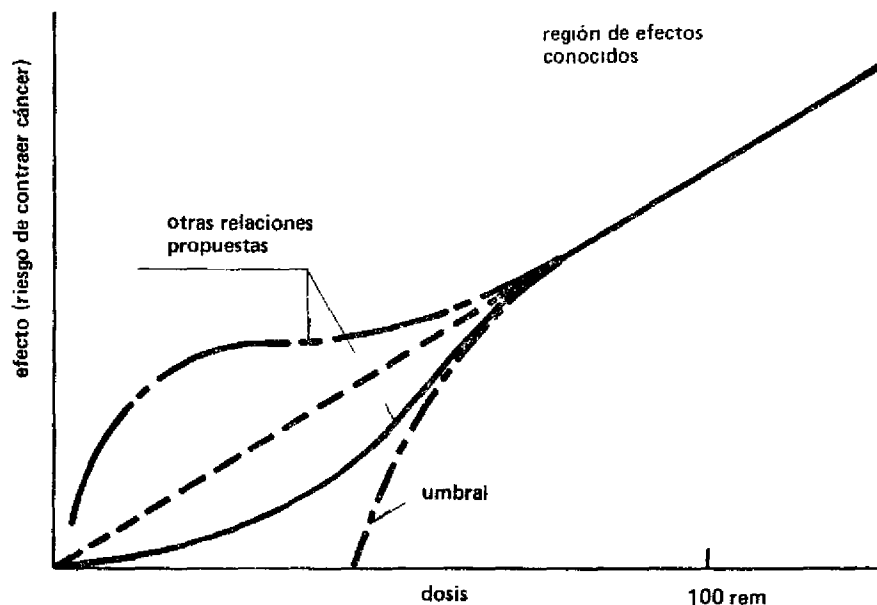
Dosis agudas: Los efectos somáticos empiezan a observarse para equivalentes de dosis efectivos de entre 0.25 y 0.5 Gy(1) y, estos efectos son los cambios en la composición de la sangre. A dosis más elevadas (0.5 Gy), los cambios son siempre observables. A 2.0 Gy ocurren cambios en la médula de los huesos y sus consecuencias en la renovación de las células de la sangre y, varias horas des-

pués de la exposición el paciente sufre de náuseas y vómitos. A dosis de 4.0 a 6.0 Gy, la médula es esencialmente destruida, aunque bajo ciertas circunstancias el paciente puede sobrevivir. A más de 7.0 Gy la médula es irreversiblemente destruida y el paciente no puede sobrevivir. A 10.0 Gy se presentan síntomas de náuseas, diarrea y vómitos y la muerte sobreviene en el término de 5 a 15 días. A dosis de 20 Gy, sobreviene la inconciencia como resultado del daño al sistema nervioso y la muerte en horas o días.

Para dosis no agudas, es decir, dosis recibidas de manera continua en el tiempo, el cuerpo tiene tiempo para recobrase de los daños causados, dependiendo de la dosis recibida. En este modo de exposición los efectos estocásticos se han estudiado y encontrado relaciones entre la frecuencia del daño y la dosis recibida; sin embargo, para bajos niveles de radiación, no existen valores conocidos del daño, lo que se ha hecho, es extrapolar los resultados de niveles altos.

La incertidumbre de los efectos de la radiación a bajos niveles de radiación es difícil de eliminar, ya que para efectuar estudios del daño, sería necesario efectuar éstos con muestras grandes de población, bajo condiciones controladas, antes y después de la prueba. Las variaciones en la radiación natural, los agentes físicos y químicos y los factores hereditarios causan que los daños a estudiar se vean afectados por todas estas variaciones y no se pueda correlacionar (hasta el momento) el daño con la dosis. La linealidad propuesta para la relación

figura 1 c-relación dosis-efecto



daño-dosis se considera sobreestimada para científicos que consideran que los daños comienzan en un valor de dosis (teoría del umbral), e incluso se han presentado argumentos de que existe un efecto benéfico de la exposición a niveles bajos de radiación.

Los efectos estocásticos conocidos para dosis altas de radiación a largo plazo se han cuantificado, abajo de 100 rems, los estudios no han podido medir

con precisión el riesgo, medido en probabilidad de aparición de cánceres fatales. Se han propuesto relaciones dosis-efecto para bajas dosis de radiación. A dosis altas, los estudios de probabilidad muestran una relación lineal. En la figura 1 c se muestra la relación dosis-efecto.

Reducción de fertilidad: la espermatogonia es el primer paso en la formación de los espermatozoides y es el mecanismo más sensible a la radiación y por ende, a la fertilidad del individuo irradiado.

tabla 1 c

efectos de 1 rad por generación a bajas dosis de radiación de baja tle*				
tipo de defecto	incidencia normal por 10 ⁶ nacimientos vivos.	efectos por 10 ⁶ embriones fertilizados con irradiación en espermatogonía.	número de efectos por 10 ⁶ nacimientos vivos en la primera generación	
			bases	
			experimentación directa	dosis de duplicación = 100 rad
mutaciones letales y dominantes	11 000	64	20	20
padecimientos cromosómicos	4 000	51-261	2-10	38
afecciones congénitas de constitución degenerativa.	90 000	bajo	bajo	5
total	105 000	115-325	22-30 más 11-55 abortos reconocidos y 22-109 pérdidas tempranas del embrión.	63
porcentaje	100	0.1-0.3	0.02-0.03	0.06
* tle - transferencia lineal de energía.				

La reducción de la fertilidad para individuos que reciben dosis únicas de 500 a 600 rem es tal, que el conteo de espermatozoides se reduce a cero. Eventualmente, después de un periodo de tres a cinco años, el conteo de espermatozoides retornaría con la regeneración del epitelio seminífero.

Una dosis única de 25 rem, reducirá el conteo de espermatozoides en aproximadamente 30 por ciento a las seis semanas de la exposición y la recuperación tardaría 40 semanas. Una dosis única de 50 rem puede causar una esterilidad temporal.

Los órganos reproductores femeninos son en términos generales, más resistentes que los masculinos.

Efectos genéticos: como se mencionó al inicio de este anexo, no ha sido posible cuantificar con precisión los efectos genéticos en seres humanos. Sin embargo, existen estimaciones de estos efectos que han sido publicadas por organismos internacionales como el UNSCEAR (dependiente de Naciones Unidas) y el ICRP (Comisión Internacional de Protección Radiológica).

En el reporte UNSCEAR de 1977, se presentan en forma detallada los efectos causados por 1 rad, en donde se muestra el número de efectos genéticos que podrían ser observados por un millón de nacimientos vivos en la primera generación (ver tabla 1 c).

Puede observarse que en la cuarta columna se presentan las deducciones basadas en experimentos o en la consideración de que 100 rad es la dosis que dobla la incidencia de cada tipo de defecto (quinta columna). También puede observarse que 1 rad por generación podría incrementar el porcentaje de defectos genéticos en niños vivos hasta en 0.06 por ciento. Del total de efectos producidos en embriones, el 80 por ciento de éstos se pierden por aborto espontáneos o en estados embrionarios tempranos.

El ICRP en la Publicación No. 26 (1977), considera para bajas dosis de radiación el valor de $4 \times 10^{-3} \text{ Sv}^{-1}$ expresado para efectos hereditarios en las primeras dos generaciones. Esto es equivalente a $4 \times 10^{-5} \text{ rem}^{-1}$.

referencias

1. ICRP No. 26 Internacional Commission on Radiation Protection.- Pergamon Press, New York, 1977.
 2. NUREG - 1103 Contaminated Mexican Steel Accident, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C. 20555, 1985.
 3. Radiological Health Handbook, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Enero de 1970.
 4. Guía para la selección del sitio y los requisitos de licenciamiento del cementerio para los desechos radiactivos contaminados con Co-60 en Chihuahua, Chih. CNSNS, 1984.
 5. Engineering Compendium on Radiation Shielding, Vol. I, Edited by R.G. Jaeger, E.P. Blizard, A.B. Chilton, M. Grotenhuis, A. Henig, Th. A. Jaeger, H.H. Eisenlohr.
-