



GERENCIA DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD

REPO-17

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1985

06.85. 12

CNEA-NT49/85

CRITERIOS DE RADIOPROTECCION EN EL CASO
DE EVENTOS DISRUPTIVOS PROBABILISTICOS

Beninson, D.J.



COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
BUENOS AIRES - ARGENTINA

1985

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Dependiente de la Presidencia de la Nación
GERENCIA DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD*

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1985

REPO-17

06.85.12

CNEA-NT49/85

CRITERIOS DE RADIOPROTECCION EN EL CASO
DE EVENTOS DISRUPTIVOS PROBABILISTICOS

Beninson, D.J.

Este trabajo fue presentado en la "XII° Reunión Científica y III° Encuentro Latinoamericano" organizado por la AATN en Buenos Aires, entre el 6 y el 10 de diciembre de 1984.

* Casilla de Correo 40
1802 AEROPUERTO DE EZEIZA, Argentina

Buenos Aires
1985

INIS CLASIFICATION KEYWORDS

E52.00

RADIATION PROTECTION

DOSE LIMITS

OPTIMIZATION

FAILURES

COST-BENEFIT ANALYSIS

CRITERIOS DE RADIOPROTECCION
EN EL CASO DE EVENTOS DISRUPTIVOS PROBABILISTICOS

Dan J. Beninson
Gerencia de Protección Radiológica y Seguridad
Comisión Nacional de Energía Atómica
Avda. del Libertador 8250
Buenos Aires, Argentina

INTRODUCCION

El sistema de limitación de dosis está relacionado con la ocurrencia de exposiciones a la radiación en situaciones "normales". El sistema como tal no provee criterios de diseño para sistemas de seguridad que reduzcan la probabilidad de accidentes conducentes a exposiciones a la radiación. No obstante, la filosofía subyacente del sistema puede utilizarse con tal propósito.

Limitación del riesgo individual en relación con eventos probabilísticos

Debe reconocerse que, siempre que ocurre una exposición, la consiguiente ocurrencia de efectos biológicos dañinos es probabilística. A los efectos de la protección radiológica, se considera que la probabilidad de ocurrencia de efectos estocásticos -léase cáncer fatal y efectos genéticos graves- es del orden de 10^{-2} por sievert de dosis equivalente efectiva (1). La probabilidad de efectos no-estocásticos, por encima del umbral, aumenta de cero a uno en un rango de dosis generalmente pequeño. Por ejemplo, para el síndrome de irradiación aguda producido por una irradiación de todo el cuerpo, la probabilidad de muerte para dosis por debajo de 2 gray es prácticamente cero, mientras que llega casi a uno por encima de 6 gray.

Uno de los objetivos básicos del sistema de limitación de dosis es restringir el riesgo individual. En el caso de un evento aleatorio, el riesgo depende de la probabilidad del evento y de la dosis resultante en los individuos que reciben la mayor dosis. Respecto a los efectos de la radiación, tendremos, por lo tanto, efectos de una estocasticidad de segundo orden. Por ejemplo, la probabilidad de muerte (riesgo) para un miembro del público debida a un dado evento disruptivo potencial puede expresarse como

$$R = P_1 P_2$$

donde:

R es el riesgo;

P_1 es la probabilidad de ocurrencia de un evento que implicaría una dosis H en un individuo del público dado; y

P_2 es la probabilidad condicional de muerte, dada la dosis H.

Si se considera como posible que puedan ocurrir varios eventos potenciales, el riesgo, R, definido en el párrafo anterior, resulta:

$$R \cong \sum_i P_{1i} P_{2i}$$

Se debe tener en cuenta que todos los P_{2i} son proporcionales a la dosis para dosis bajas (en las que sólo son posibles los efectos estocásticos), pero que aumentan rápidamente debido a efectos no estocásticos agudos cuando las dosis en todo el cuerpo superan los 2 Gy. Deben asignarse valores probabilísticos a los eventos disruptivos de los que es dable esperar exposiciones significativas en caso de ocurrencia. Evaluaciones del "árbol de eventos" darán como resultado valores probabilísticos P_{1i} debidos a distintos eventos potenciales.

No hay razones que justifiquen limitar el riesgo debido a eventos probabilísticos al mismo nivel que el implicado por el valor "upper bound" seleccionado para una fuente en particular, especialmente si ese límite fue específicamente establecido para la operación normal. Sin embargo, si se asume que el objetivo es restringir el riesgo a un orden de magnitud similar, el mismo debería corresponder, para miembros del público, a un riesgo anual de 10^{-6} a 10^{-5} . Por ejemplo, seleccionando un valor anual de 10^{-6} , el diseño de las medidas de seguridad debería ser tal que

$$\sum_i P_{1i} P_{2i} < 10^{-6}$$

Si se consideran varias secuencias de eventos accidentales, por ejemplo del orden de magnitud diez, entonces, en promedio, la contribución en riesgo individual de cada uno de ellos no debería exceder el valor de $R_i = 10^{-7}$ por año. La probabilidad de ocurrencia "aceptable" de una secuencia que produjera la dosis H_i sería $< 10^{-7}/10^{-2} \text{ Sv}^{-1} H_i$ en la región de dosis en la que sólo pueden ocurrir efectos estocásticos. A valores de dosis mayores, la probabilidad de ocurrencia aceptable sería $< 10^{-7}/f(H_i)$, donde $f(H_i)$ es una función no-lineal de la dosis que es igual a 1 para dosis altas. Por lo tanto, la probabilidad anual de secuencias accidentales que produzcan dosis letales no-estocásticas no debería ser superior a 10^{-7} .

El procedimiento descripto para aplicar la limitación de dosis individual a eventos probabilísticos se ha expresado en

forma de "curva criterio" para el caso de repositorios de residuos radiactivos de alta actividad (4) y para seguridad nuclear (5).

Existe un problema conceptual interesante relacionado con la limitación del riesgo individual en casos de eventos aleatorios en repositorios de residuos radiactivos de alta actividad. Luego de un evento, las exposiciones a la radiación pueden persistir por períodos considerables y es esperable que cambien poco durante la vida de un individuo. Por otra parte, el evento disruptivo puede ocurrir en cualquier momento y su potencial ocurrencia durante un período muy considerable sería relevante para que un individuo dado incurra en la dosis.

Si $f(t)$ es la probabilidad de ocurrencia de un evento disruptivo por unidad de tiempo y $g(t)$ es la tasa de dosis máxima luego de ocurrido el evento, entonces el riesgo anual, R , para un individuo que viva en el tiempo T luego de instalado el repositorio estará dado por

$$R = r \int_0^T f(t) g(T-t) dt$$

donde r es el riesgo por unidad de dosis equivalente efectiva.

La condición de que R sea menor que el "upper bound" de riesgo seleccionado (por ejemplo, 10^{-7}) debe cumplirse para el tiempo T , que hace máximo el valor de la integral.

Algunos conceptos relacionados con el control del detrimento

La optimización de la protección es el requisito básico en lo que hace al control del detrimento. Este requisito implica que el detrimento producido por una fuente de radiación se reduzca, por medio de medidas de protección, a un valor tal que cualquier reducción ulterior resulte menos importante que los esfuerzos adicionales requeridos para lograrla.

Algunos problemas conceptuales hacen difícil la aplicación de los requisitos de optimización en caso de exposiciones probabilísticas.

Es posible calcular el valor esperado de la dosis colectiva total sumado a la dosis colectiva que puede determinarse a partir de una situación de exposición "normal". Si una posible secuencia con baja probabilidad, P_i , provoca una dosis colectiva S_i , el valor esperado será $\bar{S}_i = P_i S_i$. Sin embargo, la incertidumbre inherente al valor esperado es grande, siendo la desviación estándar igual a S_i / P_i . Por consiguiente, la utilización del valor esperado en la optimización de la protección puede ser invalidado en el caso de situaciones con baja probabilidad y grandes consecuencias (8). Esto sería más notorio a dosis altas, fuera del rango de linealidad estocástica.

Una solución posible podría hallarse en el uso de funciones "utilidad" con fundamento probabilístico. En ese caso, la optimización involucraría una minimización (o maximización) de un conjunto de probabilidades. Este enfoque clásico -que puede encontrarse en manuales de análisis de decisiones- se resume en los párrafos siguientes.

Siempre que se satisfaga el requisito de limitación del riesgo individual, el ulterior requisito de optimización de la protección implica el estudio de opciones de protección disponibles que reducirían el riesgo pero que también implicarían costos sociales.

Estas opciones pueden indicarse como O_i ($O_1, O_2, \dots, O_m$) y debben ser analizadas en relación con todas las posibles ocurrencias de eventos probabilísticos E_j ($E_1, E_2, \dots, E_n$), a cuyas probabilidades llamaremos P_j ($P_1, P_2, \dots, P_n$). Es obvio que, si se considera como un evento probabilístico la no-ocurrencia de los E_j eventos probabilísticos, y si la ocurrencia de un evento excluye a los demás,

$$\sum_j P_j = 1$$

Si se selecciona una opción en particular, O_i , ésta implica un costo social dado, que incluye costos monetarios, restricciones e inconvenientes en los que se debe incurrir para reducir los riesgos de algunos o de todos los posibles eventos $E_1, \dots, E_n$. En caso de que ocurra un evento dado, E_j , a pesar de los esfuerzos implícitos en O_i para reducir el riesgo, toda incertidumbre desaparecerá del sistema y la consecuencia resultante estará relacionada con la selección de la opción de protección. Dado que la acción de protección O_i puede no sólo haber tenido influencia sobre la probabilidad de ocurrencia del evento E_j (que de todos modos ocurrió) sino también sobre la consecuencia del evento cuando éste ocurrió, la consecuencia (C_{ij}) dependerá tanto de O_i como de E_j . Incluso, podemos extender la definición de esta consecuencia, incluyendo no sólo la consecuencia del evento E_j (posiblemente modificada por O_i), sino también el "costo" de la opción de protección O_i . No necesariamente los componentes de esta consecuencia total serán pasibles de agruparse en una única magnitud.

No obstante, resulta conceptualmente posible establecer una escala de todas las consecuencias definidas anteriormente (i.e., C_{ij} para todos los valores de i y de j), ordenándolas de la mejor a la peor, de acuerdo con las preferencias del analista. El ordenamiento debe ser coherente, en el sentido de que, si la consecuencia C_1 es preferible a la C_2 y la C_2 es preferible a la C_3 , entonces, la C_1 debe ser preferible a la C_3 . Es concebible, también, que dos consecuencias sean igualmente deseables (o indeseables).

Si es posible fijar un ordenamiento coherente de las consecuencias C_{ij} , será también posible establecer una serie de

valores de "Utilidad" asociados a esas consecuencias. Con este propósito, se postulan dos consecuencias de referencia, C_B y C_W , tales que C_B es igualmente o más aceptable que la "mejor" de las consecuencias, mientras que C_W es "peor" que todas las consecuencias posibles.

A través de estas consecuencias de referencia postuladas, C_B y C_W , resulta posible diseñar un experimento aleatorio teórico aleatorio para comparar, desde el punto de vista de las preferencias, las probabilidades experimentales de las consecuencias de referencia con la ocurrencia cierta de cada una de las distintas consecuencias realmente posibles, C_{ij} . En este experimento aleatorio, C_B y C_W son los dos únicos resultados, C_B con una probabilidad U y, consecuentemente, C_W con una probabilidad $(1 - U)$. Desde el punto de vista de las preferencias, habrá un único valor de la probabilidad U , para el cual se considerará que la ocurrencia cierta de una consecuencia particular, C_{ij} , es igualmente preferible (o indiferente a la ocurrencia de la consecuencia C_B con probabilidad U (ó C_W con probabilidad $1-U$) del experimento aleatorio considerado. Este valor de U puede llamarse "utilidad" de C_{ij} y se lo expresa como $U(C_{ij})$.

Debe hacerse notar que el hecho de asignar utilidades probabilísticas, así como el de establecer ordenamientos de preferencia, son básicamente el resultado de valuaciones sociales intrínsecas al concepto de preferencia. Lo mismo ocurre en el caso de la optimización de la protección en situaciones "normales" no probabilísticas, en las que las valuaciones sociales estarán dadas por los valores que se les asigne a α y a β .

Como fueran definidos, los valores "utilidad" son probabilidades y pueden utilizarse en expresiones probabilísticas. En el experimento aleatorio hipotético, $U(C_{ij})$ es la probabilidad condicional de obtener C_B (el "mejor" resultado), dadas tanto la opción de protección O_i como la ocurrencia cierta de un evento probabilístico particular, E_j , es decir:

$$U(C_{ij}) = p(C_B/O_i \text{ y } E_j)$$

Para una dada opción de protección, O_i , la probabilidad de que ocurra C_B en el experimento aleatorio debería ser, por lo tanto:

$$p(C_B/O_i) = \sum_j U(C_{ij}) P_j$$

ya que cada evento E_j excluye a todos los demás.

Cuanto mayor sea $p(C_B/O_i)$ y, por ende, cuanto menor sea $p(C_W/O_i)$, mejor será la opción de protección O_i , evaluada en el marco de las preferencias aplicadas a la asignación de valores "utilidad". Consecuentemente, la optimización de la protección debería lograrse a través de una opción O_i tal que:

$$\sum_j U(C_{ij}) p_j = \max$$

La selección de las consecuencias C_p y C_w en el diseño del experimento aleatorio-hipotético es bastante arbitraria. Sin embargo, siempre que esas consecuencias sean "mejores" y "peores", respectivamente, que todas las consecuencias reales posibles, la selección de la opción óptima de protección no dependerá de este elemento de arbitrariedad.

Puede demostrarse fácilmente que la optimización de la protección, mediante el análisis costo-beneficio utilizado en situaciones "normales", es sólo un caso restringido de esta técnica de análisis de las decisiones. Es factible que, en el futuro, la determinación de la optimización en protección radiológica se realice cada vez más por medio de técnicas asociativas y métodos multi-opcionales.

- REP01 - Beninson, D.; Migliori de Beninson, A.
"Radiological impact of radioactive waste management"
- REP02 - Lucero Michaut, H.
"Aplicación de la geoestadística a la resolución de problemas estructurales en macizos rocosos homogéneos"
- REP03 - Ventura, M.; Ferreri, J.C.
"Evolución temporal de un macizo granítico bajo cargas térmicas generadas por productos de fisión"
- REP04 - Ventura, M.; Ferreri, J.C.
"Evolución temporal de un macizo granítico bajo cargas térmicas generadas por productos de fisión (estudio paramétrico)"
- REP05 - Beninson, D.
"Radioactive emissions and radiation exposures resulting from nuclear power production"
- REP06 - Beninson, D.; Lindell, B.
"Application of ICRP recommendations to radioactive waste isolation"
- REP07 - Migliori de Beninson, A.; Cancio, D.
"Impacto radiológico de la gestión de residuos radiactivos del Programa Nuclear Argentino"
- REP08 - Migliori de Beninson, A.; Palacios, E.
"Política en materia de gestión de desechos y su aplicación en Argentina"
- REP09 - Palacios, E. y otros.
"Bases conceptuales para la construcción de un repositorio en la Argentina"
- REP010- Palacios, E. y otros.
"Estudios para la selección del emplazamiento de un repositorio en Argentina"
- REP011- Matar, J.A.; Girardi, J.P.; Sarquis, M.A. M. de
"Aplicación de técnicas geoestadísticas al estudio de una formación granítica destinada a la construcción de un repositorio"
- REP012- Ferreri, J.C.; VENTURA, M.
"Numerical aspects of the study of the regional thermal impact of a radioactive waste repository"
- REP013- Ferreri, J.C.; Caballero, C.H.
"Difusión de calor a partir de una fuente plana rectangular finita"
- REP014- Beninson, D.; González, A.J.
"Radiological protection criteria for radioactive waste repositories"
- REP015- Palacios, E.; Ferreri, J.C.
"Marco conceptual para el desarrollo de los modelos de predicción de los efectos locales de un repositorio de residuos radiactivos de alta actividad"
- REP016- Ferreri, J.C.; Ventura, M.
"Aspectos numéricos del modelado de los efectos locales de un repositorio de residuos radiactivos de alta actividad"
- REP017- Beninson, D.
"Criterios de radioprotección en el caso de eventos disruptivos probabilísticos"
- REP018- Ferreri, J.C.; Grandi, G.
"Models for the study of the local effects produced by a high-level radioactive waste repository"

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Gerencia Protección Radiológica y Seguridad

	Domicilio Postal Postal Address	Télex	Facsimil	Teléfono
Sede Central (Main Headquarters)	Av. Libertador 8250 1429 - Buenos Aires Argentina	21388 PREAT AR	701 - 2431 (int. 248) (ext. 248)	701 - 2431
Centro Atómico Ezeiza Ezeiza Atomic Center	Casilla de Correo 40 1802 - Aeropuerto Ezeiza Argentina	18079 CAE AR	620 - 0480	620 - 0160

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Gerencia Protección Radiológica y Seguridad

	Domicilio Postal Postal Address	Télex	Facsimil	Teléfono
Sede Central (Main Headquarters)	Av. Libertador 8250 1429 - Buenos Aires Argentina	21388 PREAT AR	701 - 2431 (int. 248) (ext.)	701 - 2431
Centro Atómico Ezeiza Ezeiza Atomic Center	Casilla de Correo 40 1802 - Aeropuerto Ezeiza Argentina	18079 CAE AR	620 - 0480	620 - 0160