

Métodos para determinar la descarga de sustancias radiactivas en el medio ambiente

por Louis Farges y Hussein Talaat Daw

Los actuales procedimientos de descarga de efluentes radiactivos exigen el confinamiento de los desechos radiactivos en la mayoría de los casos. Muchos estudios hasta ahora efectuados han demostrado que las dosis resultantes para los individuos y las poblaciones son muy pequeñas (Informe del Comité Científico, 1972). Sin embargo, durante el funcionamiento normal de las instalaciones nucleares se descargan en el medio ambiente pequeñas cantidades de sustancias radiactivas. Siempre que se permite la descarga de efluentes radiactivos en el medio ambiente se estudian cuidadosamente todos los factores pertinentes que podrían provocar la exposición del hombre. Sin embargo, como resultado de la expansión de los programas nucleoelectrónicos es preciso efectuar cálculos más complicados para establecer límites a tales descargas en el medio ambiente, y tener en ellos en cuenta tanto las fuentes futuras como las actuales.

Las recomendaciones del OIEA están en armonía con el sistema de dosis límite establecido por la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones (CIPR). Ese sistema implica que nunca se excederán las dosis límite para los individuos. Además, las directrices de la CIPR exigen que las dosis se mantengan lo más bajo que sea razonablemente posible teniendo en cuenta ciertos factores sociales y económicos. Este segundo objetivo, generalmente denominado "optimización", entraña el empleo del análisis diferencial de costo-beneficios.

Actualmente las decisiones se toman siguiendo otros procedimientos, por ejemplo aplicando factores de seguridad a los límites de las descargas calculados únicamente a partir de las dosis límite. Sin embargo, el sistema de la CIPR de dosis límite, incluida la optimización, representa un enfoque más racional que el establecimiento de límites para las descargas. Por tanto, es necesario facilitar datos básicos sobre conceptos destinados a su empleo y facilitar la adopción de decisiones por las autoridades nacionales; por ello el OIEA proyecta publicar una serie de documentos complementarios sobre la aplicación de estos conceptos a diversos casos concretos.

CONCEPTOS GENERALES

Conviene subrayar una vez más que, excepto una fracción muy pequeña, todos los desechos radiactivos de la industria nuclear quedan confinados y no se liberan en el medio ambiente. En cualquier descarga que se efectúe deben observarse las reglamentaciones nacionales o locales pertinentes sobre seguridad radiológica.

Antes se consideraba suficiente restringir la liberación de sustancias radiactivas en el medio ambiente limitando las concentraciones de varios radionucleidos en los efluentes atmosféricos y acuosos, representando usualmente ese límite una fracción de la concentración máxima admisible recomendada por la CIPR en 1959. Es evidente que este procedimiento por sí mismo no impide que lleguen hasta el medio ambiente grandes volúmenes de sustancias radiactivas si son elevados los caudales de efluentes. Tampoco garantiza que debido a procesos ecológicos no se alcancen altas concentraciones en ciertos materiales

El Sr. Farges es miembro de la Sección de Tratamiento y Evacuación; el Sr. Daw es miembro de la Sección de Seguridad Radiológica, División de Seguridad Nuclear y Protección del Medio Ambiente.

ambientales, con las subsiguientes e imprevistas altas dosis para los miembros de la población. En muchos casos, esas eventualidades se tuvieron en cuenta explícitamente o introduciendo factores de seguridad en los límites de las concentraciones o, a veces, en las cantidades autorizadas de descarga.

OBJETIVOS DE LA PROTECCION RADIOLOGICA

Los objetivos básicos de la protección radiológica consisten en impedir efectos agudos y reducir las probabilidades de producción de efectos somáticos y genéticos retardados. Es fácil alcanzar el primero de estos objetivos puesto que los efectos agudos solo se producen mediante una exposición a altas dosis de sustancias radiactivas y a altas intensidades de dosis. El segundo objetivo plantea más dificultades, sobre todo debido a la escasez de datos relativos a los efectos sobre el ser humano con las bajas probabilidades de riesgo que entran en juego. Ha sido práctica normal en protección radiológica partir de supuestos prudentes, a saber, la existencia de una relación lineal, sin umbral, entre la dosis y la probabilidad de efectos retardados, tales como la inducción de tumores malignos y cambios genéticos perjudiciales. Además, se parte del supuesto de que el riesgo por unidad de dosis deducido de observaciones sobre los efectos de altas dosis e intensidades de dosis es aplicable a dosis y a intensidades de dosis bajas. Por tanto, para pequeños incrementos de dosis por encima de la radiación de fondo natural, puede suponerse, en primera aproximación, que el aumento de riesgos es proporcional al de la dosis.

Sin embargo, este método prudente puede no ser necesariamente el más adecuado para estimar los riesgos reales resultantes de dosis bajas, puesto que la extrapolación lineal de los riesgos al intervalo de dosis bajas puede sobrestimar los riesgos (publicación 22 de la CIPR).

Los principios básicos de protección contra las radiaciones figuran en recomendaciones publicadas por la CIPR, que han servido para establecer la mayoría de las normas básicas de seguridad internacionales y nacionales. Con respecto a las descargas de radiactividad en el medio ambiente, se aplican las siguientes condiciones de protección radiológica:

1. La dosis total* procedente de todas las fuentes, excluida la radiación de fondo natural y la exposición de pacientes con fines médicos, a que estarán expuestos los individuos no excederá las dosis límite recomendadas por la CIPR. Respetando estas dosis límite, u otros límites más rigurosos fijados por los reglamentos nacionales, los riesgos individuales se mantienen dentro de valores razonables.
2. Los inconvenientes totales atribuibles a las radiaciones y derivados de prácticas u operaciones corrientes no han de ser injustificables en relación con las ventajas que no se habrían obtenido de otra manera de dichas prácticas u operaciones. Como las ventajas e inconvenientes no se distribuyen por igual entre la población, las desventajas pueden servir para justificar los inconvenientes únicamente si todos los inconvenientes causados a los individuos son suficientemente pequeños para ser aceptables. Esta condición se cumple si todas las dosis a que están sometidos los individuos son inferiores a las dosis límite recomendadas.
3. Todas las dosis de radiación procedentes de una exposición justificable deberían mantenerse por debajo de las dosis límite recomendadas y todo lo bajas que fuere racionalmente posible, teniendo en cuenta factores sociales y económicos.

DOSIS LIMITE

Las dosis límite dadas por la CIPR se expresan en dosis equivalentes cuya unidad es el rem. Estas dosis límite se refieren a individuos, con excepción de los efectos genéticos,

* En el presente documento, por "dosis" se entiende el "equivalente de dosis", cuya unidad es el rem, cuando no se indica otra cosa.

en los que las dosis límite se refieren a toda la población. Se aplican a circunstancias en las que la fuente de exposición está sometida a control. Facilitan normas que reducen la probabilidad de que los individuos o las poblaciones reciban más de una dosis especificada procedente de todas las fuentes (aparte de las fuentes naturales y aplicaciones médicas). La exclusión de estas dos últimas fuentes de exposición está justificada porque el supuesto implícito de una relación lineal entre el riesgo y la dosis acumulada implica también que un incremento de dosis lleva consigo un riesgo que es independiente de dosis previas.

Para comprobar si en la exposición del público se observan los límites recomendados por la CIPR no se recurre a la observación radiológica de todos los individuos, sino a la evaluación del medio ambiente mediante muestreo y a la verificación de las suposiciones del modelo de exposición que relaciona las descargas y las dosis. Las dosis reales recibidas por los individuos variarán según diversos factores, por lo que es difícil determinar la dosis máxima que pueda recibir uno de ellos. En la práctica, es posible asegurar que esta variabilidad no provoque una subestimación del riesgo seleccionando apropiados "grupos críticos" de una población. Un grupo de esta índole debe ser representativo de aquellos individuos de la población que probablemente estarán expuestos a las dosis más altas; según la CIPR es razonable aplicar las dosis límite apropiadas a la dosis media de este grupo.

Además de las dosis límite para individuos, la CIPR ha recomendado que la dosis genética para poblaciones enteras se mantenga baja, sugiriendo que no debería aproximarse a 5 rems en una generación (30 años), además de las dosis procedentes de fuentes naturales y de la exposición de pacientes para fines médicos.

DOSIS COLECTIVAS Y SUS INCONVENIENTES

Para aplicar ciertas medidas de protección contra las radiaciones es necesario evaluar las dosis colectivas a que están expuestos un órgano dado o todo el cuerpo. Las dosis colectivas de una población formada por N individuos se define como $S = \bar{H}.N$, donde \bar{H} es la dosis equivalente media para un órgano per caput recibida por los individuos de la población interesada. La unidad de la dosis colectiva es el producto de la unidad de dosis (rad o rem) por el número de individuos (hombre); las unidades resultantes son rad-hombre o rem-hombre.

Los "inconvenientes" para la población son definidos por la CIPR como la probabilidad de daños causados por una fuente radiactiva, teniendo en cuenta no solo las probabilidades de cada tipo de efectos perjudiciales sino además su gravedad.

En un análisis conceptual, los beneficios probables netos (B) de una decisión u operación pueden expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$B = V - (P + X + Y)$$

donde V es el valor añadido resultante de la operación

P el costo de producción,

X el costo de la protección,

Y el costo de los inconvenientes.

La exposición se justifica si el resultado son beneficios netos.

OPTIMACION DE LA PROTECCION CONTRA LAS RADIACIONES

A fin de determinar si un nivel dado de protección radiológica es tan adecuado como sea razonablemente conseguible, es necesario considerar los beneficios que la sociedad obtendría de ulteriores reducciones de los inconvenientes radioinducidos y el costo adicional de tales reducciones. El nivel óptimo de protección se obtiene cuando el costo adicional de ulteriores reducciones en la dosis colectiva supera el costo para la sociedad de los incon-

venientes resultantes de esa dosis. Ello tiene lugar cuando el costo de la protección más el de los inconvenientes alcanza el valor mínimo.

MODELOS AMBIENTALES

La transferencia de radiactividad desde una fuente a los individuos de una población puede describirse mediante modelos ambientales. Estos modelos son de una complejidad variable, utilizándose a menudo modelos compartimentados en los que la velocidad de transferencia de la radiactividad entre compartimentos está especificada por constantes o funciones de tiempo. Esta modelación es análoga a la usada en muchas actividades de ingeniería y se denomina "análisis de sistemas". El empleo de modelos compartimentados, incluso muy complejos, supone normalmente considerables simplificaciones de los procesos reales de transferencia. Sin embargo, esto no reduce su utilidad, a condición de que se elijan adecuadamente las funciones que especifican la velocidad de transferencia.

Mediante un análisis de sistemas es posible pronosticar la intensidad de la radiactividad en el medio ambiente y, si se dispone de datos suficientes acerca de las características de la población, la intensidad de dosis para individuos de la misma en función del tiempo, en el caso de descargas únicas, prolongadas y continuas de sustancias radiactivas.

LIMITES DERIVADOS

El requisito básico que establece que no se debe exceder las dosis límite para individuos (es decir que la dosis media del grupo crítico no exceda la dosis límite) se observa aplicando los límites derivados. El límite derivado para una descarga en el medio ambiente se define como la liberación anual de radiactividad de composición especificada, cuyo efecto será una dosis resultante para el grupo crítico igual a la dosis límite anual recomendada.

Los límites derivados para la contaminación del medio ambiente se definen, de modo análogo, como la intensidad media de contaminación anual que, en condiciones constantes y estacionarias, da una dosis anual media para el grupo crítico igual a la dosis límite anual recomendada.

En la práctica, los límites de las descargas suelen fijarse en valores que solo corresponden a pequeñas fracciones de los límites pertinentes derivados para el medio ambiente.

Al establecer los límites reales para las descargas, es preciso respetar las siguientes condiciones:

1. Deben observarse las dosis límite para individuos de la población (es decir, el grupo crítico). Por tanto, la descarga anual no debe superar los límites derivados para la misma.
2. Las dosis deberán mantenerse "tan bajas como sea razonablemente posible". Esto entraña optimar la protección; el valor de la descarga anual que satisface este requisito se obtiene mediante un análisis diferencial de costo-beneficios. Una condición necesaria es que la descarga sea, como máximo, igual al límite derivado; generalmente es mucho más baja, lo que supone que la dosis para el grupo crítico es menor que la dosis límite.
3. Al establecer valores optimados para dosis colectivas y los correspondientes límites para las descargas hay que tener en cuenta igualmente las futuras instalaciones. Habrá que considerar dos condiciones: a) en un sector localizado del medio ambiente, el total de las descargas anuales "optimadas" a partir de una fuente dada debe ser inferior al límite derivado para las descargas anuales, ya que deben tenerse también en cuenta las demás fuentes; b) será necesario controlar la dosis media resultante de cualquier operación.

Los métodos descritos están destinados a proteger al hombre contra los peligros de la radiactividad. También podrían utilizarse técnicas análogas para los contaminantes radiactivos, a fin de minimizar los daños que provocan.