

# ¿QUE PASA SI...?

## ORIENTACION DE LA CIPR SOBRE EXPOSICION POTENCIAL A LAS RADIACIONES

POR JACK VALENTIN

Los reglamentos internacionales de seguridad radiológica se basan en las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR), con sede en Suecia. En los años noventa, los expertos han prestado especial atención a lo inesperado, es decir, al análisis (¿qué sucede si...?) de situaciones hipotéticas que teóricamente pudieran exponer a las personas a fuentes de radiación potencialmente peligrosas.

No es normal esperar que se produzcan exposiciones potenciales, pero éstas pueden preverse, y puede pronosticarse la probabilidad de que ocurran. Los criterios iniciales de la CIPR en cuanto a este concepto se formularon atendiendo a la disposición final de los desechos radiactivos de período largo, y a grandes accidentes como, por ejemplo, los desastres nucleares.

La CIPR ha examinado ahora una tercera situación: los accidentes que afectan solamente a una o a algunas personas (aunque, a veces, con graves consecuencias para ellas). Si bien esos accidentes no tienen el efecto perturbador en la sociedad del temido gran accidente nuclear, sí se producen con alarmante regularidad y pueden tener efectos devastadores en las personas afectadas.

En el presente artículo se examina el marco conceptual de la CIPR, los criterios y la metodología de la protección radiológica contra las exposiciones potenciales en determinados casos. La protección contra esas exposiciones potenciales "restringidas" comienza con un

análisis estructurado de los escenarios, utilizando métodos que, hasta ahora, pueden haber sido más conocidos por los ingenieros de la esfera de la seguridad que por los especialistas en protección radiológica. Dadas las probabilidades derivadas de esos análisis, puede calcularse el detrimento esperado, resultante de las exposiciones potenciales. Este riesgo puede compararse con una restricción aplicable al riesgo, que no tiene que ser particularmente complicada respecto de los accidentes en pequeña escala que se consideran en este artículo. Después de este análisis inicial, puede aplicarse un proceso iterativo de optimización, a fin de asegurar que el riesgo o la exposición potencial, así como las dosis recibidas sean del valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse.

### MARCO CONCEPTUAL

Según la Publicación 60 de la CIPR --titulada *1990 Recommendations of the ICRP*-- es casi seguro que ocurra la exposición normal a causa de una práctica, a causa de operaciones realizadas según lo planificado, o como resultantes de sucesos imprevistos de alta probabilidad, aunque con pocas consecuencias. A diferencia de lo anterior, la exposición potencial no es seguro que tenga lugar. Esta exposición resulta de sucesos involuntarios como fallos de equipo o desviación de los procedimientos de explotación previstos. Esos sucesos no pueden predecirse en detalle, pero sí teóricamente, y

puede estimarse esa probabilidad.

Los límites de dosis no se aplican a las exposiciones potenciales, éstas deben complementarse con restricciones aplicables al riesgo. El fundamento teórico de ese instrumento fue desarrollado en la Publicación 64 de la CIPR titulada *Protection from Potential Exposure: A Conceptual Framework*. Un informe más reciente, la Publicación 76 de la CIPR, titulado *Protection from Potential Exposures: Application to Selected Radiation Sources*, está orientado a demostrar cómo ese instrumento pudiera aplicarse en la práctica a "accidentes limitados" como la entrada no segura a una sala de irradiación. En esos casos, el número de individuos afectados es pequeño. El detrimento se limita, en gran medida, a efectos en la salud de las personas realmente expuestas. Los procesos que provocan una exposición potencial son relativamente sencillos, y pueden constituir la amenaza predominante asociada a la práctica.

A diferencia de esto, los grandes desastres, como los accidentes nucleares de envergadura, provocan un detrimento más allá de los efectos en la salud de las

---

*El Sr. Valentin es Secretario Científico de la Comisión Internacional de Protección Radiológica, con sede en Estocolmo, Suecia. El artículo se basa en un informe anteriormente publicado por la National Radiological Protection Board, Reino Unido, en su Radiological Protection Bulletin.*

personas expuestas (restricciones agrícolas, controles sobre el consumo de alimentos, y otros, y enormes costos). El Grupo Internacional Asesor en Seguridad Nuclear (INSAG) ha analizado esos problemas. La disposición final de los desechos de período largo añade una dimensión más a las exposiciones potenciales en el futuro lejano. Ello se examinó en la Publicación 46 de la CIPR titulada *Radiation Protection Principles for the Disposal of Solid Radioactive Waste*, y la CIPR está dando ahora los toques finales a una enmienda introducida en ese informe.

## CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD

En sus *Publicaciones 60 y 64*, la CIPR recomendó que los riesgos para la salud debidos a las exposiciones potenciales se limitaran y restringieran en el mismo orden de magnitud que el supuesto por los límites de dosis y las restricciones de las exposiciones normales. Estos riesgos para la salud suponen la existencia de dos tipos de probabilidades diferentes. En primer lugar, la exposición ocurre con una probabilidad específica, digamos,  $P$ . Dada la exposición, la probabilidad condicional del detrimento para la salud estocástico y/o determinista es una función de la dosis, digamos,  $f(E)$ . La probabilidad incondicional del detrimento para la salud es, por tanto, el producto de esas dos probabilidades, es decir,  $P \cdot f(E)$ . Esta cantidad debe mantenerse a un nivel de riesgo de referencia, o por debajo de éste, digamos  $R$ . En el caso de los "accidentes limitados" que aquí se analizan,  $R$  puede considerarse una restricción del riesgo individual relacionado con la fuente.

La magnitud de la restricción aplicable al riesgo no se fijará, necesariamente, con carácter definitivo. Pudiera ser específica por casos y ajustarse por diversas

## LA MISION DE LA CIPR

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR), cuyos orígenes se remontan a 1928, es una organización no lucrativa que proporciona orientaciones generales sobre el uso extendido de fuentes radiactivas a partir de los adelantos que se han registrado en las diversas esferas de la energía nuclear. Sus recomendaciones abarcan todos los aspectos de la protección contra la radiación ionizante y actualmente constituyen la base de la seguridad radiológica en todo el mundo, incluidas las normas y orientaciones publicadas por el OIEA. Puede obtenerse más información, solicitándola a la Secretaría Científica de la CIPR, con sede en Estocolmo, Suecia, en SE-171, 16 Stockholm. El número de fax es +46-8-729-729-8 y el del correo electrónico es [scient.secretary@icrp.org](mailto:scient.secretary@icrp.org). En Internet, el espacio Web está en [www.icrp.org](http://www.icrp.org).

razones. Sin embargo, la *Publicación 76* de la CIPR establece una restricción genérica aplicable al riesgo que pudiera utilizarse como punto de partida al seleccionar restricciones específicas por casos. En el caso de las exposiciones ocupacionales, esta restricción genérica se basa en una dosis efectiva anual de 5 mSv. En muchas operaciones optimizadas, las dosis anuales normales máximas son de ese orden. Al utilizar el coeficiente de riesgo de muerte por cáncer de  $4 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$  para la exposición ocupacional, el riesgo de referencia genérico de muerte  $R$  llega a ser  $2 \cdot 10^{-4} \text{ a}^{-1}$ .

Por tanto, es posible evaluar si la probabilidad  $P$  de sucesos peligrosos es aceptablemente baja, y si la seguridad tecnológica y los procedimientos operacionales de la instalación son aceptables. Por ejemplo, si el suceso objeto de estudio es una entrada no segura a una sala de radiación, donde las tasas de dosis son suficientemente altas para que la muerte siempre sobrevenga después de la entrada (es decir,  $f(E) = 1$ ), la probabilidad  $P$  deberá mantenerse menor que  $R$ . Si durante el análisis, se halla que  $P$  es mayor que  $R$ , es necesario tomar otras medidas para aumentar la seguridad.

Dado el carácter restringido de los accidentes que aquí se analizan, la exposición del público no siempre es un

problema. Sin embargo, en algunos escenarios, por ejemplo, en los que intervengan fuentes selladas de radiación, perdidas o robadas, la exposición de una o de algunas personas puede ser el principal suceso que se estudie. Las dosis normales máximas para el público estarán generalmente limitadas por debajo del orden de  $10^{-4} \text{ Sv a}^{-1}$ , y el coeficiente de riesgo de muerte por cáncer por exposición del público es de  $5 \cdot 10^{-2}$ , por tanto, el riesgo de referencia genérico de muerte  $R$  que se aplicará a la exposición del público sería de  $5 \cdot 10^{-6}$ .

En el análisis, cabe recordar que, en algunos casos, según las características físicas de la fuente, la pérdida del control sobre una fuente también entraña el riesgo de contaminación generalizada y de exposición de muchas personas. Si ese escenario parece posible, la situación psicológica y económica puede asemejarse más a la de los desastres nucleares (aunque menos trágica) y los métodos que aquí se describen pueden ser demasiado simplistas.

## IDENTIFICACION DE LOS ESCENARIOS

El análisis para estimar la probabilidad  $P$  de que se produzcan sucesos no seguros, debe identificar todos los tipos de escenarios que pudieran contribuir, de manera

significativa, a una exposición potencial. En principio, eso es algo bastante directo; uno se sienta y enumera las diversas formas en que se piensa que pueden ocurrir los accidentes. Sin embargo, resulta fácil, por supuesto, pasar por alto alguna posibilidad, y es conveniente adoptar un enfoque estructurado. Existen varias técnicas para formalizar el análisis, como por ejemplo: estudios sobre riesgo y explotación, modos de fallas y análisis de efectos, etcétera. Estas variadas técnicas abordan diversas cuestiones como: la forma de asegurar la integridad, las palabras guía que deberán utilizarse al compilar las listas de sucesos, y otras, es decir, las cosas que pueden parecer "sencillamente lógicas", que son exactamente las cosas en las que los fallos, con tanta frecuencia, han ocasionado accidentes en el pasado.

En cada escenario, se plantearán algunas exigencias al sistema de protección. Con el análisis se intenta determinar si el sistema falla cuando es demandado; éstas serán acciones "normales", que habitualmente someten a prueba al sistema, y sucesos "aleatorios" (fallos humanos o de equipo).

Cuando se considere que todos los escenarios pertinentes se han enumerado, se debe determinar su estructura lógica. Este tipo de análisis es harto conocido en ingeniería. Generalmente, esa estructuración se presenta en árboles de sucesos o árboles de fallos.

Los árboles de sucesos comienzan con una demanda inicial al sistema, recorren las sucesivas respuestas de éste, y describen el resultado en función del éxito o el fracaso de cada paso y dispositivo. Los árboles de fallos comienzan por el otro extremo, con un resultado no deseado específico, y funcionan a la inversa para analizar las posibles formas en que pudiera haberse llegado a este resultado. A modo de ejemplo, considérese un sistema

de enclavamiento muy sencillo con dos sensores independientes y un mecanismo que controla el acceso a una sala de irradiación. La posición normal del mecanismo mantiene la puerta cerrada. La puerta sólo puede abrirse, si alguno de los dos sensores notifica la presencia de radiación. El propósito de tener dos sensores es proporcionar redundancia, es decir, tener una reserva en caso de que el primer sensor falle. Este sencillo sistema puede describirse fácilmente mediante un árbol de sucesos o un árbol de fallos.

Desde el punto de vista conceptual, el análisis matemático de los árboles de sucesos o de fallos es sencillo, y se basa en la teoría elemental de las probabilidades. Sin embargo, la aplicación práctica de esta teoría es, a menudo, bastante difícil debido a los muchos resultados alternativos que se estudian, y en casi todos los casos más sencillos se recomienda el tratamiento por computadora para realizar un cálculo correcto.

## OPTIMIZACION DE LA PROTECCION

Los métodos formales y analíticos de optimizar la protección contra la exposición potencial, aún están, en gran medida, sin resolver particularmente cuando las probabilidades son bajas y grandes las consecuencias. En la *Publicación 76*, la CIPR recomendó, por tanto, que el analista se valga de un método indirecto para fijar el objetivo de optimización.

Según este procedimiento, la protección contra las exposiciones normales se consigue, en primer lugar, utilizando los métodos convencionales (que van desde el simple sentido común hasta las complejas técnicas cuantitativas). Ello generará la dosis normal media esperada. El riesgo de muerte por cáncer asociado a esta dosis normal optimizada se utiliza después como un valor del riesgo

de referencia, que deberá emplearse en la optimización contra la exposición potencial. La optimización real entrañará un proceso iterativo de investigación de la eficacia en función de los costos y la viabilidad de las diversas modificaciones al diseño operacional, dispositivos de seguridad y procedimientos.

En este marco, es útil seguir un "orden de precedencia desde el punto de vista de la seguridad". El orden que se restablece es:

- 1) diseño para un riesgo mínimo,
- 2) reducción de los riesgos mediante dispositivos de seguridad (por ejemplo, enclavamientos),
- 3) dispositivos de alarma de seguridad (por ejemplo, alarmas para las radiaciones),
- 4) procedimientos y capacitación para los trabajadores y
- 5) determinación de los riesgos residuales para el examen de la gestión.

## ERROR HUMANO Y DEFENSA EN PROFUNDIDAD

El orden de precedencia desde el punto de vista de la seguridad indica que suelen preferirse las barreras técnicas de defensa --partiendo, por supuesto, de la posibilidad reducida al mínimo de que ocurran accidentes-- a la dependencia de las acciones de los seres humanos. Ello obedece a que los errores humanos son, con frecuencia, los factores más importantes que contribuyen a la exposición potencial.

Lamentablemente, se encuentran también entre los más difíciles de cuantificar. Dependen muchísimo de la situación y de los llamados "factores de forma de desempeño" (disposición de los puestos de trabajo, magnitud del ruido y de la distracción, nivel de estrés, etc.). La probabilidad de la repetición del error humano también puede aumentar con el tiempo, si, en una primera ocasión, un determinado error no condujo a consecuencias adversas.

La defensa en profundidad es un principio importante de la seguridad radiológica, según el cual se imponen a un sistema las disposiciones relativas a la seguridad que se solapan y son proporcionales al riesgo que plantea la fuente. La aplicación práctica de este principio incluye la "redundancia", en la que se cuenta, en paralelo, con copias o versiones múltiples de la misma barrera protectora, y la "diversidad", en la que se cuenta con modos opcionales de protección contra un problema específico.

Este principio bien establecido es tan válido en las instalaciones de explotación más pequeñas como en las grandes. Considérese, por ejemplo, la gammagrafía industrial móvil, que perfectamente puede ser una operación dirigida por una sola persona empleada por cuenta propia, que utiliza un solo grupo de equipos. La fuente se concibió para que después de la explotación de este equipo, se la retirara y colocara en una estructura protectora como una primera barrera de defensa contra la exposición accidental.

Como segunda barrera de defensa, generalmente se cuenta con un indicador de posición que tiene la finalidad de mostrar el éxito o fallo de la retirada de la fuente. En algunos casos, puede haber dos indicadores independientes que proporcionan redundancia en esta etapa. Un tercer nivel de defensa es que, incluso, aunque no hubiera ninguna indicación de fallo, el operador debe, por procedimiento, controlar la zona de trabajo con un instrumento de vigilancia.

Como aplicación de la diversidad, el operador también debe llevar un dosímetro con una alarma audible. Por último, si los indicadores o la vigilancia de la zona señalan que la fuente no ha sido retirada como corresponde, el operador dejará la zona

temporalmente aislada hasta que la fuente haya sido recuperada.

## ALGUNAS COMPLICACIONES

Si está previsto hacer modificaciones "en el terreno" de diseños probados, se corre un gran riesgo de exposición potencial debido a la elevada probabilidad de error humano. Salvo que se trate de circunstancias apremiantes en las que es necesario actuar de inmediato, no debe realizarse ninguna modificación hasta que se haya llevado a cabo una evaluación minuciosa de la seguridad, y la modificación propuesta y la evaluación estén claramente documentadas.

Algunas veces, la reducción de un tipo específico de exposición puede estar asociada a la compensación en la forma de crecimiento de otra exposición. Por ejemplo, las inspecciones se realizan regularmente para detectar defectos antes de que ocasionen fallos en los componentes. El aumento de la frecuencia de inspección de un acelerador, por ejemplo, puede mejorar la tasa de detección temprana de los defectos y, por tanto, disminuir la probabilidad de exposición potencial.

Sin embargo, debido a los campos de radiación presentes en esa clase de instalación, también entrañaría el aumento de la exposición ocupacional. Por consiguiente, los dos tipos de exposición deben tenerse en cuenta al optimizar la protección.

En el empleo de las radiaciones con fines médicos, hay una complicación adicional, la de que no sólo las dosis excesivas que recibe el paciente pueden ser peligrosas, también pueden serlo las dosis demasiado pequeñas. Ello puede excluir la posibilidad de comparar el detrimento previsto con el criterio de riesgo R. Sin embargo, el análisis estructurado sigue siendo útil para determinar los principales factores

que contribuyen al riesgo. En consecuencia, puede contemplarse la posibilidad de adoptar medidas para reducir los riesgos para el paciente.

Los criterios mencionados se refieren a la probabilidad P de exposición. La probabilidad f(E) de detrimento, dada la dosis, también puede entrañar complicaciones. Por ejemplo, las situaciones de exposición potencial pueden implicar dosis bastante altas para ocasionar una muerte inevitable debida a efectos deterministas. Ello introduce la posibilidad de una mayor pérdida de tiempo de vida que la asociada a la muerte causada por efectos estocásticos, la que ocurre en una etapa posterior de la vida. Sin embargo, no parece justificado hacer ponderaciones adicionales de muerte temprana, en vista de la incertidumbre general de los cálculos de probabilidad.

Además, en algunas prácticas y situaciones operacionales, los efectos deterministas localizados resultantes de las exposiciones potenciales constituirán la amenaza principal. En cuanto a las exposiciones comprendidas dentro de los límites de dosis actuales, los efectos deterministas son casi imposibles. Por tanto, la CIPR ha optado por no tomar ese detrimento expresamente en consideración respecto de las exposiciones normales.

Sin embargo, para la exposición potencial, será inevitable evaluar el detrimento a partir de los efectos deterministas. Al mismo tiempo, aunque la evaluación valga sin duda la pena, es obvio que la pérdida de un dedo, por ejemplo, no puede igualarse con la muerte. Por consiguiente, se requiere ponderar la gravedad. En la Publicación 76 de la CIPR, se indica un factor genérico de ponderación de 0,25, basado en diversos planes de seguro e indemnización y en el que tiene en cuenta la necesidad de factores de ponderación genéricos simples y razonables. □