

Seguridad nuclear y radiológica: Orientación para la respuesta a emergencias

Se han establecido criterios a nivel internacional que guiarán las decisiones sobre medidas protectoras tras una emergencia nuclear o radiológica

En los últimos años, los accidentes relacionados con materiales radiactivos han tenido consecuencias para la salud del público. Estos accidentes han comprendido desde el importante accidente de Chernobil, ocurrido en 1986, hasta la dispersión accidental de fuentes radiactivas médicas e industriales.

Las respuestas a estos accidentes han sido diferentes según los países. Más adelante, se hizo evidente que se tomaron algunas medidas protectoras que, en los casos más extremos, pueden haber empeorado, en lugar de mejorar, el bienestar de las poblaciones afectadas y su medio ambiente circundante. En otros casos, las medidas ocasionaron grandes gastos, aunque improductivos, de recursos nacionales. Además, cuando el accidente entrañaba la exposición transfronteriza de poblaciones, hubo muchos casos en los que las respuestas nacionales a cada lado de las fronteras eran contradictorias.

Durante el pasado decenio se han hecho considerables progresos en la formulación de principios internacionalmente reconocidos para adoptar decisiones sobre medidas protectoras después que ocurren accidentes relacionados con materiales radiactivos, y en la elaboración de una orientación cuantitativa para aplicar estos principios. En estas actividades han participado el OIEA, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR), la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la Comisión de las Comunidades Europeas (CCE), y la Agencia para la Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (AEN/OCDE).

En el presente artículo se resume la orientación sobre los criterios de protección radiológica que se han adoptado para hacer frente a accidentes nucleares o emergencias radiológicas, y los principios para establecer niveles de intervención.

La orientación se elaboró para ayudar a los responsables de la planificación de medidas para casos de emergencia en los organismos nacionales y regionales y en las instalaciones nucleares.

por
Malcolm Crick

Logro de un consenso internacional

En 1985 el Organismo publicó el Vol. N° 72 de la *Colección Seguridad* que ofrece orientación sobre los principios relativos al establecimiento de niveles de intervención para la protección del público en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica. Esa orientación tenía el propósito de ayudar a las autoridades nacionales y regionales encargadas de la planificación de medidas para casos de emergencia a establecer los niveles de dosis proyectadas en los que sea necesario implantar las medidas protectoras pertinentes. En ella se reconoció la necesidad de que hubiera cantidades prácticas que pudieran compararse rápidamente con los resultados de mediciones de materiales ambientales y alimentos, los llamados niveles de intervención derivados (NID). Poco después del accidente en la central nuclear de Chernobil, en 1986, el Organismo publicó el Vol. N° 81 de la *Colección Seguridad* en que se abordaban los principios, procedimientos y datos necesarios para establecer estos NID, y se ofrecía orientación sobre la medida en que los datos numéricos de apoyo y los NID ilustrativos podrían tener una aplicación más genérica.

Además, durante el decenio pasado, la CIPR publicó nuevas recomendaciones para la protección radiológica; la Comisión FAO/OMS del Codex Alimentarius publicó los Niveles Indicativos de Radionucleidos en los Alimentos que se Mueven en el Comercio Internacional; la OMS publicó recomendaciones sobre los Niveles de Intervención Derivados para la Protección del Público; y el Proyecto Internacional de Chernobil formuló una serie de recomendaciones importantes.

En 1991, el OIEA revisó el Vol. N° 72 de su *Colección Seguridad* para esclarecer la orientación sobre la intervención y proporcionó ejemplos ilustrativos sobre cómo se establecen los niveles de intervención en los planes de emergencia. Con todo,

El Sr. Crick es funcionario de la División de Seguridad de las Radiaciones y los Desechos del Departamento de Seguridad Nuclear del OIEA.

no suministró niveles de intervención numéricos que pudieran tener alguna aplicación genérica.

La respuesta de emergencia al accidente de Chernobil subrayó la necesidad de disponer de un conjunto sencillo de niveles de intervención coherentes a nivel internacional. La existencia de ese conjunto de valores se consideró conveniente para acrecentar la confianza del público en las autoridades encargadas de hacer frente a las secuelas de un accidente. Por otra parte, como muchos países no tienen instalaciones nucleares y, por tanto, carecen de planes detallados de emergencia, un conjunto sencillo internacionalmente acordado puede ayudarlos en caso que se produzcan emisiones transfronterizas.

En el proceso de lograr un consenso internacional sobre los valores de estos niveles de intervención genéricos, el OIEA convocó una serie de reuniones técnicas. El ejercicio se tradujo en la preparación, en 1993, del Vol. N° 109 de la *Colección Seguridad, Criterios de intervención en caso de emergencia nuclear o radiológica*. Esta Guía de Seguridad, publicada en 1994, evidencia el consenso internacional alcanzado respecto de los principios de intervención y los valores numéricos para los niveles de intervención genéricos. Estos principios y valores se convirtieron posteriormente en la base de la orientación para la intervención contenida en las *Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación*, publicadas conjuntamente por el OIEA, la AEN, la FAO, la OIT, la OMS y la OPS.

Resumen de la orientación

Efectos inmediatos y retardados de las radiaciones en la salud. En la mayoría de los efectos inmediatos (o deterministas) en la salud, la gravedad está en relación con el nivel de dosis para el individuo y existe una dosis de radiación umbral práctica por debajo de la cual no se pueden observar los efectos desde el punto de vista clínico. La consecuencia más grave es la muerte, que puede ocurrir en individuos sensibles, debido a deficiencias de la médula ósea, a dosis superiores a un gray (Gy) recibidas instantáneamente sobre todo el cuerpo. También puede haber efectos inmediatos graves en otros órganos. La mayoría de las dosis umbrales para éstos están por encima de la dosis umbral para la médula ósea y se evitarán si la dosis para el cuerpo entero es inferior a un Gy. Sin embargo, algunos órganos particulares, como la tiroides y el pulmón, pueden recibir altas dosis por la respiración o ingestión de determinados radionucleidos y deben analizarse por separado.

Los efectos retardados (o estocásticos) incluyen una gran variedad de tipos de cáncer y de efectos hereditarios, en los que la probabilidad de manifestación (no la gravedad) aumenta con la dosis. Generalmente se manifiestan muchos años después de la exposición y, aunque no se producen en todos los individuos expuestos, no existe umbral para su inducción. Debido a la supuesta relación lineal (proporcional) entre la dosis y la probabilidad de ocurrencia de estos efectos, es posible calcular el

número de posibles manifestaciones en una amplia población expuesta, aun cuando la posibilidad de que se produzca un efecto sea muy pequeña para la mayoría de los individuos. Como otras causas (la mayoría no identificadas) pueden ocasionar los mismos efectos, por lo general será imposible identificar los provocados por las radiaciones.

Normalmente, incluso en un accidente grave se producirán dosis elevadas que recibirán relativamente pocas personas y dosis pequeñas que llegarán a muchas personas. La mayoría de los tipos de cáncer y los efectos hereditarios ocurrirán en poblaciones grandes que reciben pequeñas dosis, las que casi nunca pueden evitarse totalmente y el objetivo de la intervención es reducir su cantidad hasta donde sea razonablemente posible.

Vías de exposición y proyecciones de dosis.

Aunque pueden ocurrir liberaciones accidentales al aire, el agua o la tierra, las que con mayor probabilidad requerirán la adopción de medidas protectoras urgentes son las grandes liberaciones al aire. Después de una liberación de este tipo, las personas pueden quedar expuestas a las radiaciones provenientes de la nube radiactiva en suspensión en el aire y mediante la inhalación del polvo radiactivo procedente de la nube. A medida que la nube se dispersa, las partículas caerán lentamente sobre la superficie terrestre o se depositarán rápidamente por la acción de la lluvia. Las personas pueden después quedar expuestas a las radiaciones provenientes de estos depósitos, al inhalar el polvo resuspendido, o al ingerir alimentos y agua contaminados.

Por lo general, profesionales bien calificados calcularán, durante un accidente, las dosis potenciales a la población. No obstante, al principio hay muchas incertidumbres (por ejemplo, en cuanto a la cantidad y a la tasa a que se libera el material radiactivo y en cuanto a la situación meteorológica). Por eso y por la necesidad de usar modelos matemáticos sencillos para obtener resultados útiles con suficiente rapidez, habrá grandes incertidumbres en las estimaciones iniciales de las dosis.

Los encargados de adoptar decisiones tienen que conocer esta situación y asegurarse de que los especialistas que los asesoran incluyan una expresión de las incertidumbres en las estimaciones iniciales de las dosis proyectadas. No deben depender únicamente de las estimaciones "más probables" (que podrían llevar a conclusiones desacertadas con graves repercusiones para la población) y sí tener en cuenta las incertidumbres para adoptar una decisión apropiada sobre las medidas protectoras urgentes. En una etapa posterior, a medida que la situación se torne más clara, se podrá modificar esas medidas protectoras y aplicar otras nuevas con una idea mucho más clara de las dosis proyectadas.

Situaciones normales y de emergencia. En condiciones normales, las dosis provenientes de fuentes artificiales (por ejemplo, de la energía nucleoelectrónica o la práctica médica) se mantienen dentro de niveles especificados, que son mucho más bajos que los que obligarían a adoptar medidas protectoras; estos niveles suelen ser comparables a las variaciones locales de la radiación natural de fondo. Se logran mediante el control de la fuente radiactiva y no

requieren la imposición de limitaciones directas a las personas.

Cuando ocurre un accidente, se pierde el control del material radiactivo que se libera al medio ambiente; las dosis sólo se pueden reducir con medidas protectoras como la evacuación, el uso de refugios, la reubicación, el reasentamiento, el uso profiláctico del yodo y la aplicación de restricciones sobre los alimentos y el agua, todo lo cual impone limitaciones a las actividades de las personas. Estas medidas también pueden entrañar otros riesgos. Por tanto, al determinar el nivel a que se debe aplicar una medida protectora, es necesario considerar los efectos de las limitaciones impuestas a las actividades de las personas y cualesquiera otros riesgos resultantes de la propia medida protectora.

Por las razones antes mencionadas, los niveles de dosis para la intervención después de un accidente y los niveles para el control de las dosis en condiciones normales serán diferentes y es importante evitar la confusión entre las funciones de estos dos tipos distintos de niveles.

Medidas protectoras. Existen pocas opciones básicas para proteger al público después de un accidente. Las más importantes son las siguientes:

Para la respuesta inicial o urgente: 1) uso de refugio, mediante advertencia a las personas de que deben permanecer en el interior de los edificios y cerrar puertas y ventanas, usualmente por menos de un día; 2) evacuación, el traslado urgente de las personas de una zona específica por algunos días; y 3) administración profiláctica de yodo, si ha ocurrido o se prevé que ocurra la absorción elevada de yodo radiactivo.

Para fases posteriores de la respuesta: 1) reubicación temporal de las personas en un nuevo hábitat, generalmente por uno o dos años a lo sumo; 2) reasentamiento permanente de las personas por el futuro previsible en asentamientos nuevos o existentes; y 3) control de los alimentos y el agua contaminados por encima de los niveles especificados.

Principios y niveles de intervención

La comunidad internacional ha acordado tres principios básicos generales para cualquier intervención, que pueden parafrasearse de la manera siguiente: 1) La intervención para evitar efectos graves e inmediatos para la salud debe llevarse a cabo como cuestión de máxima prioridad; 2) Las medidas protectoras destinadas a evitar efectos retardados en la salud deben aplicarse cuando vayan a producir más bien que mal en la población afectada; y 3) Estas medidas deben implantarse y retirarse en los niveles en que la población obtenga el máximo beneficio neto.

El primer principio es crítico para responder a un accidente que produzca cualesquiera dosis elevadas. Significa que cualquier amenaza inmediata para los individuos debe contrarrestarse mediante la evacuación (o, lo que no es frecuente, el uso de refugio) (y, cuando proceda, con la profilaxis de yodo) como prioridad principal, y utilizando al máximo los recursos inmediatamente disponibles. Puede haber casos aislados en que la evacuación no sea

conveniente para cumplir este primer principio porque podría ser más perjudicial (por ejemplo, trasladar a las personas en sistemas sustentadores de la vida, o ante un desastre concurrente).

Los niveles de intervención para minimizar los efectos retardados en la salud se basan en los principios segundo y tercero. Al aplicar estos principios, los términos "bien," "mal," y "beneficio" incluyen -además de la salud, la seguridad y los costos tangibles de las medidas protectoras- factores no cuantificables como la tranquilidad, la tensión y la atención a los valores de la sociedad. Esos factores no son de la competencia profesional fundamental del experto en protección radiológica, sino responsabilidad del encargado de adoptar decisiones. Este podrá optar por examinar estos factores, además de los abordados en esta recomendación de protección radiológica, para adoptar decisiones que aporten el máximo beneficio a la población afectada.

Además, los principios segundo y tercero se refieren solamente al riesgo que entrañan los efectos retardados en la población en general, y ello significa que no limitan explícitamente los riesgos individuales. Un riesgo significativamente superior al normal de efectos retardados para incluso unos cuantos individuos puede ser un factor importante para la adopción de decisiones a nivel nacional. Por esta razón, las autoridades pueden seleccionar un nivel de intervención que evite riesgos individuales inaceptablemente altos. El que la intervención a ese nivel sea siempre posible dependerá de la gravedad y la naturaleza del accidente y de los recursos con que cuente el país. Esa clase de niveles de intervención no se tuvieron en cuenta al derivar los niveles de intervención genéricos que figuran en el Vol. N° 109 de la *Colección Seguridad* y pueden traer como resultado valores de intervención inferiores, particularmente en el caso de las medidas protectoras para las fases posteriores de una respuesta.

Medidas protectoras para una respuesta inicial o urgente. Estas medidas tienen que aplicarse con rapidez para que sean efectivas. Las demoras pueden traducirse en dosis a la población que podrían haberse evitado y, en el peor de los casos, podrían producir efectos inmediatos en la salud. Las decisiones rápidas son difíciles porque generalmente se dispone de muy poca información inicial sobre un accidente y hay mucha incertidumbre sobre sus consecuencias. Por eso la planificación previa se debe efectuar siempre que sea posible para poder adoptar decisiones rápidamente, atendiendo a las condiciones de la instalación y a pautas preconvenidas de respuesta, y no solamente a las mediciones que se realicen y a las medidas organizadas precipitadamente durante la fase inicial de un accidente. En el caso de instalaciones permanentes con características bien conocidas, los planes de respuesta deben establecer la intervención para poner en práctica medidas protectoras urgentes atendiendo a las condiciones de la instalación, y no depender de la confirmación de una liberación real mediante mediciones en la instalación o fuera de ella, siempre que sea razonablemente factible hacerlo.

El uso de refugio significa permanecer en el interior de los edificios para reducir la exposición a la contaminación en suspensión en el aire y en depósitos

Niveles de intervención genéricos en situaciones de respuesta a emergencias

Medidas protectoras urgentes		
Medidas	Dosis prevenible (Nivel de intervención genérico)	
Refugio	10 mSv por un período no mayor de 2 días	
Profilaxis con yodo	100 mGy (dosis absorbida integrada impartida a la tiroides)	
Evacuación	50 mSv por un período no mayor de 1 semana	
Niveles de intervención genéricos para productos alimenticios (De los niveles rectores de la Comisión del Codex Alimentarius para los radionucleidos en los alimentos que se mueven en el comercio internacional después de una contaminación accidental)		
Radionucleidos	Alimentos destinados al consumo general (kBq/kg)	Leche, alimentos para niños lactantes y agua potable (kBq/kg)
Cesio 134, cesio 137, rubidio 103, rutenio 106, estroncio 89	1	1 0,1
Yodo 131		
Estroncio 90	0,1	
Americio 241, plutonio 238, plutonio 239	0,01	0,001
Medidas a largo plazo		
Medida	Dosis prevenible (nivel de intervención genérico)	
Inicio de la reubicación temporal	30 mSv en un mes	
Terminación de la reubicación temporal	10 mSv en un mes	
Análisis del reasentamiento permanente	1 Sv durante toda la vida	

sobre superficies, cerrar puertas y ventanas y apagar los sistemas de ventilación para reducir la inhalación del material radiactivo procedente del aire exterior. El uso de refugio también puede facilitar la organización de la evacuación y el uso profiláctico de yodo. Debido a que sólo reduce en forma parcial la dosis, el uso de refugio puede justificarse en niveles de dosis bajos. No obstante, su eficacia disminuye rápidamente con el tiempo en el caso de la mayoría de las estructuras (por lo general, reduce las dosis a partículas en suspensión en el aire por un factor de dos o tres en pocas horas) y es insuficiente para estructuras ligeras o con altos índices de intercambio de aire. Además, existe un límite para el tiempo que las poblaciones pueden permanecer en interiores sin que surjan complicaciones indeseables.

El nivel de intervención genérico para el uso de refugio es de 10 mSv. Este valor fue seleccionado sobre la base del tiempo máximo previsto en el refugio (2 días). El uso de refugio puede recomendarse a niveles más bajos por períodos más cortos o para facilitar la aplicación de otras medidas protectoras.

El refugio puede ser eficaz si la exposición es de corta duración y los edificios tienen una estructura maciza y bien hermética, como en algunos países de las zonas septentrionales. Sin embargo, en muchos países cálidos la mayoría de las viviendas están construidas con materiales ligeros y las personas no pueden permanecer en el interior de casas herme-

tizadas durante largos períodos. Es preciso tener en cuenta estos factores al escoger entre el uso de refugio y la evacuación.

La **evacuación** es el traslado urgente de las personas de sus viviendas habituales por un período limitado. Su uso debe basarse en la dosis que puede evitarse mediante la evacuación y que no se evitaría con el uso de refugio. El nivel de intervención genérico para la evacuación es 50 mSv. Este valor se ha seleccionado sobre la base del período máximo de evacuación previsto (7 días). La evacuación se puede iniciar a niveles más bajos por períodos más cortos o cuando pueda realizarse fácilmente, por ejemplo en el caso de pequeños grupos de personas. En circunstancias excepcionales (como condiciones meteorológicas peligrosas o la ocurrencia de un desastre concurrente) o cuando la evacuación fuera extraordinariamente difícil (en el caso de poblaciones muy grandes o en ausencia de transporte adecuado) el inicio de una evacuación inmediata puede aplazarse hasta que se establezca un nivel de intervención más alto.

Cuando no se haya producido todavía una liberación real y las dosis proyectadas que sobrepasen este nivel tengan una probabilidad relativamente alta de ocurrencia, normalmente será recomendable proceder a la evacuación preventiva. La evacuación, como medida protectora, se usa comúnmente cuando las personas están amenazadas por otros peligros no

naturales (por ejemplo, incendios o derrames de sustancias químicas) o por fenómenos naturales (por ejemplo, huracanes, tornados, terremotos e inundaciones). En la mayoría de los casos, las personas regresan al poco tiempo, generalmente al cabo de uno o dos días, si sus hogares no requieren un saneamiento prolongado. Debido a la corta duración de esta medida, lo usual es alojarlas en escuelas y otros edificios públicos.

El uso profiláctico de yodo es la administración de yodo estable (no radiactivo) para bloquear la ingestión de yodo radiactivo por la tiroides. Debe realizarse con prontitud para que sea efectivo (lo ideal sería varias horas antes y no después de algunas horas de haber ocurrido la exposición). Por esta razón, esta medida protectora suele ser más práctica sólo cuando en la planificación para casos de emergencia se ha incluido la distribución previa de yodo estable a la población en riesgo. Por lo general, esta medida irá acompañada de la evacuación o el uso de refugio. El nivel de intervención genérico para el uso profiláctico de yodo es 100 mGy. Este nivel corresponde a la dosis que la tiroides recibiría como resultado de la ingestión de yodo radiactivo. Como puede haber complicaciones en dependencia de la dieta local y otros factores, las autoridades de salud pública deberían participar en la aplicación de esta medida.

Medidas protectoras para las fases finales de una respuesta. El uso de refugio y la evacuación son medidas protectoras de corto plazo. Si las mediciones confirman que las dosis justifican la adopción de otras medidas, puede ser necesario realizar la reubicación temporal o el reasentamiento permanente, y el control de los alimentos y del agua.

En el caso de las medidas protectoras iniciales, es probable que se obtengan los mayores beneficios si la medida se adopta con un mínimo de demora, sobre la base de predicciones aproximadas de la evolución del accidente. En el caso de las medidas protectoras de largo plazo, casi siempre habrá que pagar un pequeño precio en materia de salud radiológica por la demora en obtener mediciones exactas para hacer las proyecciones de las dosis. Además, el precio social y económico que haya que pagar por adoptar decisiones imprudentes puede ser alto, debido al largo tiempo en que las medidas protectoras pueden permanecer en vigor. Es importante que la decisión de aplicar estas medidas se ejecute sobre la base de la mayor cantidad de información posible, utilizando las estimaciones más optimistas para las consecuencias de diferentes opciones.

La reubicación temporal significa el traslado organizado de personas por un plazo prolongado, aunque limitado (por ejemplo, varios meses) para evitar dosis procedentes de materiales radiactivos depositados en el suelo, incluidos los materiales resuspendidos, y en algunos casos, de los alimentos y el agua locales. Generalmente las personas son albergadas en alojamientos temporales con un mínimo razonable de comodidad e intimidad. Los niveles de intervención genéricos para iniciar y terminar la reubicación temporal son 30 mSv en un mes y 10 mSv en un mes, respectivamente; es decir, se debe reubicar temporalmente a las personas si se espera que la dosis prevenible al mes siguiente será mayor de 30 mSv.

Pueden regresar cuando esta dosis sea inferior a 10 mSv al mes. No obstante, si no se prevé que la dosis acumulada en un mes esté por debajo de este nivel dentro de un año o dos, la población debe ser reasentada con carácter permanente. Se especifican dos niveles porque se pagan precios relativamente altos por iniciar la reubicación en vez de mantenerla. También es necesario especificar el plazo razonable de estancia en un albergue temporal.

Reasentamiento permanente significa el traslado completo de las personas de la zona, sin esperanza de regresar hasta pasados, por lo menos, varios años. Por regla general, las personas son reasentadas en alojamientos comparables a los evacuados. Ello puede entrañar la construcción de nuevas viviendas e infraestructura. Los niveles de intervención genéricos para el reasentamiento permanente son 1 Sv durante toda la vida, o una dosis que sobrepase los 10 mSv mensuales y siga siendo la misma después de uno o dos años (es decir, que no permita el regreso de la reubicación temporal dentro del plazo de uno o dos años). Se debe reconocer que las dosis proyectadas por debajo de los niveles de intervención para la evacuación o para terminar la reubicación temporal podrían también, durante toda la vida, llegar a ser bastante altas (es decir, exceder de 1 Sv) que justifique el reasentamiento permanente.

El control de los alimentos y el agua puede que deba considerarse en relación con tres circunstancias diferentes: cuando se dispone de suministros sustitutos; cuando escasean los suministros sustitutos; y para la distribución de alimentos en el comercio internacional. Se han establecido niveles de intervención genéricos que las autoridades nacionales deben emplear cuando se dispone de suministros sustitutos de alimentos. (Véase el cuadro.) Los valores dependen del tipo de alimento y del tipo de radionucleido contaminante. Estos radionucleidos son los que tienen mayor probabilidad de despertar preocupación en relación con los alimentos después de un accidente.

En situaciones en que la amplitud de las restricciones sobre los suministros de alimentos pueda traer como resultado deficiencias nutricionales o, en caso extremo, hambre, se requerirá la evaluación de cada caso. En la mayoría de esas situaciones se recomendará la reubicación, y se proporcionarán alimentos sustitutos. Sin embargo, cuando esto no sea posible, el peligro de las radiaciones tiene que considerarse de manera realista en comparación con los peligros concurrentes para la salud, e invariablemente deben establecerse niveles de intervención más altos.

A raíz de cualquier suceso que pueda contaminar los alimentos, se puede instituir una diversidad de contramedidas en diversas etapas de la producción y la comercialización, que deben ejecutarse para asegurar que, en la medida más viable posible, los productos alimenticios se mantengan por debajo de los niveles de intervención. Los niveles de intervención genéricos para los alimentos también cumplirán los requisitos de la distribución de alimentos en el comercio internacional para su consumo en países no afectados por un accidente.