

Protección Radiológica y la Seguridad Internacional

Padilla C.I.
Comisión Federal de Electricidad
Central Nuclear Laguna Verde

Resumen

La protección radiológica tiene como objetivo reducir la ocurrencia de los efectos estocásticos en el hombre por exposición a las radiaciones ionizantes, donde su probabilidad y no su gravedad es función de la dosis sin umbral y la de evitar los efectos determinísticos donde su gravedad es función de la dosis sobre un umbral. Ese trabajo presenta un resumen de medidas operativas de protección ante eventos nucleares y, que emanan del conocimiento y experiencias documentadas por Comité Internacional de Protección Radiológica (ICRP por sus siglas en inglés) en su publicación 146, y que libero debido a la creciente tensión que se registra en Ucrania, que involucran aspectos nucleares.

Introducción

La ionización es el proceso por el cual los átomos pierden electrones y, por lo tanto, se cargan eléctricamente, siendo conocidos como iones. La radiación ionizante es el término utilizado para describir la transferencia de energía a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas que son capaces de causar ionización en la materia. Cuando la radiación ionizante pasa a través de la materia, la energía se imparte a medida que se forman iones.

El proceso de ionización cambia necesariamente los átomos, al menos transitoriamente, y por lo tanto puede alterar la estructura de las moléculas que los contienen. Si las moléculas afectadas están en una célula viva, la propia célula a veces puede dañarse, ya sea directamente si la molécula es crítica para la función de la célula, o indirectamente al causar cambios químicos en moléculas adyacentes. por ejemplo, De las diversas formas de daño que la radiación puede causar en las células,

la más importante es la del ADN. El daño en el ADN puede impedir la supervivencia o reproducción de la célula, pero con frecuencia el daño es reparado. Si esa reparación no es perfecta, puede resultar en una célula viable pero modificada.

Si se matan suficientes células en un órgano o tejido o se impide que se reproduzcan y funcionen normalmente, habrá una pérdida de la función del órgano, un efecto determinista. La pérdida de función se volverá más grave a medida que aumente el número de células afectadas. Una célula somática modificada aún puede conservar su capacidad reproductiva y puede dar lugar a un clon de células modificadas que eventualmente puede resultar en un cáncer. Una célula germinal modificada, con la función de transmitir información genética a los descendientes de un individuo expuesto, puede transmitir información hereditaria incorrecta y puede causar daños graves a algunos de esos descendientes. Estos efectos somáticos y hereditarios, que pueden comenzar a partir de una sola célula modificada, se denominan efectos estocásticos.

Coeficientes de Probabilidad para Efectos Estocásticos				
Población Expuesta	Detrimento (10^{-2}Sv^{-1})			
	Cáncer fatal	Cáncer no-fatal	Efectos hereditarios severos	Total
Trabajadores adultos	4.0	0.8	0.8	5.6
Toda la población	5.0	1.0	1.3	7.3

La mayoría de los órganos y tejidos del cuerpo no se ven afectados por la pérdida de incluso un número sustancial de células, pero si el número perdido es lo suficientemente grande, habrá un daño observable que refleja una pérdida de la función del tejido. La probabilidad de causar tal daño será cero a dosis pequeñas, pero por encima de algún nivel de dosis (el umbral) aumentará abruptamente a la unidad (100%). Por encima del umbral, la gravedad del daño también aumentará con la dosis. Este tipo de efecto se denomina "determinista". El resultado es muy diferente si la célula irradiada se modifica en lugar de morir. A pesar de la existencia de mecanismos de defensa altamente efectivos, el clon de células resultante de la reproducción de una célula somática modificada pero viable puede resultar, después de un retraso prolongado y variable llamado período

de latencia, en la manifestación de una condición maligna, un cáncer. La probabilidad de un cáncer resultante de la radiación generalmente aumenta con incrementos de dosis, probablemente sin umbral, y de una manera que es aproximadamente proporcional a la dosis, al menos para dosis muy por debajo de los umbrales de efectos deterministas.

Rango de dosis asociado con el síndrome de radiación inducido y muerte del hombre expuesto a una radiación de bajo LET a cuerpo entero.

Dosis absorbida a cuerpo entero Gy	Principal efecto contribuyente	Tiempo de muerte después de la exposición (días)
3-5	Daño a la médula ósea ($DL_{50,60}$)	30-60
5-15	Daño al tracto gastrointestinal y los pulmones	10-20
>15	Daño al sistema nervioso	1-5

Umbrales de dosis para daño al tejido/órgano.

La información proporcionada entre paréntesis indica la cronología de la ocurrencia del efecto.

Efecto	Umbral
Fatalidad (cuestión de semanas)	2-3 Gy dosis aguda a todo el cuerpo con buena atención médica 4-8 Gy prolongado durante 1 semana 10-14 Gy en 1-3 meses suponiendo una buena atención médica
Quemadura de la piel en áreas grandes (2-3 semanas)	5 Gy dosis aguda a la piel
Esterilidad permanente (hombres) (3 semanas)	6 Gy dosis aguda a las gónadas
Esterilidad permanente (mujeres) (<1 semana)	3 Gy dosis aguda a los ovarios
Mayor riesgo de enfermedad circulatoria (>10 años)	0.5 Gy al corazón o al cerebro
Inducción de cataratas (>20 años)	0.5 Gy al cristalino del ojo

La gravedad del cáncer no se ve afectada por la dosis. Este tipo de efecto se llama "estocástico". Si el daño ocurre en una célula cuya función es transmitir información genética a generaciones posteriores, cualquier efecto resultante que se expresa en la progenie de la persona expuesta se denomina, estocástico "hereditario".

La probabilidad de efectos estocásticos depende, no solo de la dosis absorbida, sino también del tipo y la energía de la radiación que causa la dosis. Las principales magnitudes dosimétricas en protección radiológica son la dosis media absorbida en un tejido u órgano, D_T , la energía absorbida por unidad de masa; la dosis equivalente en un tejido u órgano, H_T , que resulta de la dosis absorbida por el factor de ponderación de la radiación, w_R ; y la dosis

efectiva, E , que resulta de ponderar la dosis equivalente por el factor de ponderación a tejido w_T , y sumando sobre los tejidos. La unidad de dosis absorbida es el gray (Gy), y la unidad de dosis equivalente y efectiva es el sievert (Sv).

La creciente tensión que se vive en Ucrania, las estructuras de seguridad deben atender y cuidar las recomendaciones de la protección radiológica, es importante enfatizar que ante un potencial evento nuclear, la protección radiológica tiene como fin reducir la probabilidad de los efectos estocásticos en el hombre por exposición a radiaciones ionizantes, donde la probabilidad de ocurrencia y no su gravedad es una función de la dosis sin umbral y la de evitar la ocurrencia de los

efectos determinísticos donde la gravedad es una función de la dosis sobre un umbral.

Desarrollo

En el ICRP-146 (Ref.1), los eventos o accidentes nucleares producen emisiones importantes de material radiactivo al medio ambiente, que afectan a zonas extendidas y a poblaciones extensas. Son eventos inesperados que afectan a los individuos, la sociedad y el medio ambiente. Generan situaciones complejas y preocupaciones legítimas, particularmente en materia de salud, para todos los afectados por la presencia de fuentes indeseables de radiactividad. La gestión de estas situaciones requiere la movilización a largo plazo de considerables recursos humanos y financieros. La protección radiológica, debe movilizarse para hacer frente a los problemas a los que se enfrentan todas las personas y organizaciones afectadas.

Causa un colapso en la sociedad que afecta a todos los aspectos de la vida individual y comunitaria. Tiene consecuencias sociales, ambientales y económicas grandes y duraderas. La caracterización de la situación radiológica in situ y fuera del emplazamiento es esencial para orientar las medidas de protección, y debe llevarse a cabo lo antes posible. Se recomienda utilizar niveles de referencia para guiar la implementación de acciones de protección durante las fases temprana, intermedia y a largo plazo de un accidente.

El objetivo de la protección radiológica es mitigar las consecuencias radiológicas para las personas y el medio ambiente y, al mismo tiempo, garantizar condiciones de vida sostenibles para las personas afectadas, condiciones de trabajo adecuadas para los socorristas y mantener la calidad del medio ambiente.

En situaciones de emergencia y de exposición existentes, los objetivos de la protección radiológica se alcanzarán utilizando los principios fundamentales de justificación y optimización. El principio de justificación garantiza que las decisiones relativas a la aplicación de acciones de protección redunden en un beneficio para las personas afectadas y el medio ambiente, ya que estas acciones pueden inducir una perturbación significativa. El principio de optimización de la protección aplicado con niveles de referencia tiene por objeto limitar la desigualdad en la distribución de las exposiciones individuales y mantener o reducir todas las exposiciones al nivel más bajo que sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores sociales, medioambientales y económicos.

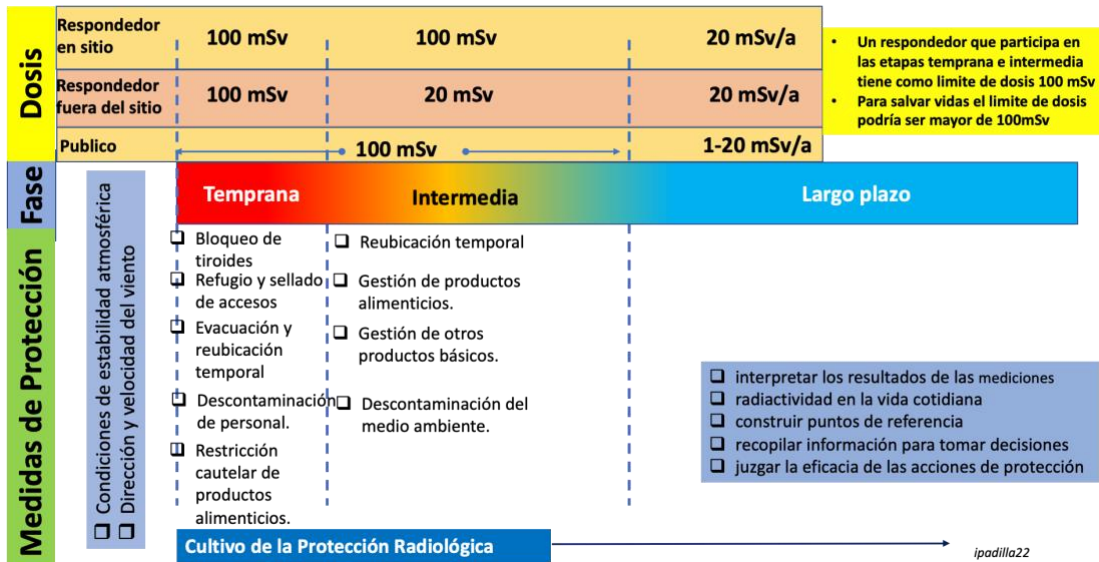
Las personas que participan en la gestión directa de las consecuencias de un accidente nuclear son diversas en cuanto a sus antecedentes, condición, grado de preparación y capacitación en materia de protección radiológica. Incluyen equipos de emergencia (bomberos, policías, personal médico, etc.), trabajadores (ocupacionalmente expuestos o no) y otras personas como representantes electos o ciudadanos que actúan como voluntarios. Se considera que todas estas categorías son «respondedoras». Merecen ser adecuadamente protegidos y provistos de condiciones de trabajo adecuadas.

Para la protección de los socorristas in situ, el nivel de referencia durante la fase inicial no debe exceder en general de 100 mSv, reconociendo al mismo tiempo que se pueden permitir niveles más altos, para salvar vidas o prevenir una mayor degradación en la instalación que conduzca a condiciones catastróficas. Podrán seleccionarse niveles de referencia más bajos en función de la situación, en función de la gravedad del accidente. Durante la fase intermedia, el nivel de referencia no debe superar los 100 mSv. Para la fase a largo plazo, el nivel de referencia no debe superar los 20 mSv anuales, con posibles disposiciones especiales limitadas en el tiempo.

En algunos escenarios de accidentes nucleares, la liberación de yodo radiactivo puede dar lugar a una alta exposición tiroidea debido a la inhalación o ingestión. Se deben hacer esfuerzos específicos para evitar, o al menos reducir, la ingesta de yodo radiactivo, particularmente en niños y mujeres embarazadas. Durante la fase temprana o justo después, las personas expuestas deben ser monitoreadas para detectar una posible exposición al yodo radiactivo.

Se recomienda que las autoridades, los expertos y las partes interesadas cooperen en el llamado "proceso de co-experiencia" para compartir experiencias e información, promover la participación en las comunidades locales y desarrollar una cultura práctica de protección radiológica para permitir a las personas tomar decisiones informadas. Las mediciones individuales con dispositivos adecuados, junto con información relevante, son muy útiles en la implementación de este proceso.

Gestión de un Evento Nuclear Severo



Cronología para la gestión de un accidente nuclear

El Bloqueo de tiroides se realiza con un compuesto de yodo estable para prevenir o reducir la exposición a la tiroides debido a la inhalación e ingestión de yodo radiactivo mediante la saturación de la tiroides con yodo no radioactivo. Como el yodo estable solo es beneficioso para proteger la tiroides contra el yodo radiactivo, debe ir acompañado de refugio o evacuación. La efectividad del yodo estable para el bloqueo de la tiroides depende de su administración oportuna. Debido al poco tiempo disponible, la distribución de yodo estable puede presentar un problema práctico, especialmente si se trata de grandes grupos de población.

El Refugio es permanecer en el interior de su casa habitación o resguardo de sellando ventanas y puertas, cerrando los sistemas de ventilación si es posible y esperando instrucciones.

La Evacuación y reubicación temporal representa el traslado rápido y temporal de personas de una zona fuera del del sitio en conflicto para evitar o reducir las exposiciones a la radiación a corto plazo

que podrían ser lo suficientemente elevadas como para provocar daños graves en los tejidos u órganos (efectos deterministas para la salud) y aumentar el riesgo a largo plazo de cáncer y enfermedades hereditarias (efectos estocásticos sobre la salud).

La descontaminación de personas es la eliminación total o parcial de material radiactivo de una persona mediante un proceso físico y químico deliberado. Se puede recomendar una descontaminación individual urgente para reducir la exposición a la radiación externa por contaminación de la ropa, el cabello y la piel, y para evitar la ingestión inadvertida de dicha contaminación.

Restricciones cautelares de los productos alimenticios. La ingestión de alimentos contaminados puede ser una vía de exposición importante poco después del accidente para las personas que residen en las zonas afectadas. Los consumidores fuera de estas áreas también pueden estar preocupados de que se estén comercializando productos contaminados. Por lo tanto, es prudente tomar medidas lo antes posible en la fase temprana en las áreas afectadas o potencialmente afectadas con el fin de proteger a las personas y la imagen de los productos. Las

medidas de protección en esta etapa implican principalmente la restricción del consumo de productos agrícolas y pesqueros, y el agua potable, así como la prohibición de la caza y la recolección de alimentos silvestres.

La gestión de productos alimenticios esta relacionada directamente a la caracterización radiológica de los productos alimenticios. Esto debe tener en cuenta la calidad radiológica y no radiológica de los productos, el restablecimiento de la confianza de los consumidores y la posibilidad de mantener actividades económicas sostenibles. El ICRP recomienda que se establezcan criterios radiológicos para el consumo de productos, basados en el nivel de referencia y expresados en niveles mensurables de radionucleidos en los productos alimenticios (Bq kg-1 o Bq L-1).

La Gestión de otros productos básicos se refiere a los productos distintos de los productos alimenticios que también pueden estar contaminados tras un accidente nuclear. Todos los productos almacenados en el exterior pueden estar contaminados, incluidos vehículos, embalajes y contenedores de transporte. Este es también el caso de materias primas como la madera y los minerales.

En la fase intermedia la Descontaminación del medio ambiente es la eliminación de la contaminación de las superficies y los suelos puede ser una acción muy eficaz para reducir la exposición. Hay muchas técnicas que se pueden aplicar para descontaminar edificios y superficies de carreteras, suelos y vegetación. La descontaminación del medio ambiente tiene el potencial de conducir a la producción de residuos contaminados, a menudo en grandes cantidades.

El Cultivo de protección radiológica se refiere a la presencia de expertos y autoridades para capacitar a las personas y comunidades afectadas por la radiación para que sepan cómo protegerse y, por lo tanto, para desarrollar una cultura práctica de

protección radiológica necesaria para hacer frente a las consecuencias del accidente nuclear. Esta cultura como los conocimientos y habilidades que permiten a los ciudadanos tomar decisiones bien informadas y comportarse con prudencia en situaciones que implican exposiciones potenciales o reales a radiaciones ionizantes.

CONCLUSIONES

Un gran accidente nuclear es un acontecimiento inesperado que, aunado a la tensión imperante en el entorno de instalaciones nucleares de Ucrania, desestabiliza profundamente a las personas y a la sociedad, genera una situación compleja y requiere la movilización de considerables recursos humanos y financieros. Más allá de las preocupaciones legítimas de todos los afectados con respecto a los efectos nocivos para la salud de la exposición a la radiación, las consecuencias sociales, ambientales y económicas de un accidente nuclear grave, y la respuesta a ese accidente, pueden ser considerables y durar mucho tiempo.

En tal contexto, el primer objetivo de la protección radiológica es prevenir la aparición inmediata de daños graves inducidos por la radiación en tejidos y órganos, y reducir el riesgo de cáncer y efectos hereditarios en el futuro al nivel más bajo que sea razonablemente posible, teniendo en cuenta consideraciones sociales, medioambientales y económicas.

La experiencia adquirida en los accidentes de Chernóbil y Fukushima ha demostrado que los expertos en protección radiológica y los profesionales que participan en las fases temprana, intermedia y a largo plazo deben, además de dominar la base científica de la protección radiológica y su aplicación práctica, cooperar con las personas afectadas en el marco de procesos de conocimientos especializados conjuntos de conformidad con los valores éticos básicos y de procedimiento que sustentan el sistema de protección radiológica.

Referencias.

1. ICRP, 2020. Radiological protection of people and the environment in the event of a large nuclear accident: update of ICRP Publications 109 and 111. ICRP Publication 146. Ann. ICRP 49(4).
2. ICRP 60. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication Ann. ICRP vol 21, No. 1-3. Oxford 1991.
3. Morgan K.Z. Turner J.E. Principles of Radiation Protection. Ed. R.Krieger. USA New