

# Principios fundamentales de protección y seguridad para la energía nucleoelectrica

*Base propuesta para un enfoque armonizado de la protección radiológica y la seguridad nuclear*

por  
Abel J. González

La finalidad de este artículo es presentar un proyecto de un conjunto coherente de principios fundamentales de protección y seguridad para la energía nucleoelectrica, que podría ser considerado como una base para elaborar principios formales para su posible adopción *de jure* por los Gobiernos. El objetivo es facilitar acuerdos para una armonización global de criterios con miras a contrarrestar las amenazas que se perciben de la energía nucleoelectrica para la salud y el medio ambiente.

## Prólogo

Durante todo este siglo se ha ido acumulando una vasta cantidad de información sobre los efectos para la salud de la exposición a la radiación nuclear (que en adelante se denominará radiación) y sobre las tecnologías para protegerse contra la radiación y para la seguridad de la energía nucleoelectrica. Este amplio acervo de conocimientos deriva de extensos programas de investigación y desarrollo y de la experiencia obtenida en todo el mundo. Los resultados de este esfuerzo sin precedentes han sido compilados regularmente por un singular órgano internacional —el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR)— así como por organizaciones profesionales científicas y técnicas, tanto a nivel nacional como internacional.

Sobre esta base, las llamadas comunidades de seguridad nuclear y protección radiológica —compuestas por un gran número de científicos y técnicos con experiencia teórica y práctica en radiobiología, radiaciones y física e ingeniería nucleares— han elaborado objetivos básicos de seguridad y protección. El objetivo común de la protec-

ción contra la radiación y la seguridad nuclear es proteger a los individuos, a la sociedad y al medio ambiente —incluidas las poblaciones de especies distintas de la humana— contra los efectos adversos de la radiación. Como objetivos complementarios figuran mantener el riesgo causado por la exposición a las radiaciones lo más bajo que sea razonablemente posible y por debajo de límites prescritos, e impedir accidentes nucleares y, en caso de que se produzcan, mitigar sus consecuencias radiológicas. Los objetivos abarcan la protección y seguridad de todas las personas expuestas, o potencialmente expuestas, a las radiaciones causadas por la energía nucleoelectrica. Incluyen la obligación ética de proteger a las generaciones futuras y preservar el estado natural del medio ambiente, y abarcan todo el ciclo de actividades requeridas para la generación de energía nucleoelectrica, desde la adquisición de materias primas hasta la evacuación definitiva de los desechos.

Para lograr estos objetivos, se han elaborado a nivel internacional principios generales y fundamentales. En órganos de expertos internacionalmente reconocidos se ha logrado un consenso global *de facto* respecto de tales principios: entre estos órganos figuran la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR), establecida hace mucho tiempo, que ha publicado recomendaciones sobre protección contra la radiación desde su creación en 1928, y el relativamente nuevo Grupo Internacional Asesor en Seguridad Nuclear (GIASN), el cual, bajo los auspicios del OIEA, viene formulando conceptos de seguridad nuclear desde 1985. Tales recomendaciones y conceptos constituyen la base de normas internacionales de seguridad tales como las Normas Básicas de Seguridad (NBS) OIEA/OIT/AEN-OCDE/OMS, las Normas de Seguridad Nuclear del Grupo Asesor sobre Normas de Seguridad Nuclear (GANUSS) del OIEA, el Reglamento para el transporte seguro de los materiales radiactivos del Grupo Asesor Permanente sobre Seguridad en el Transporte de Materiales Radiactivos (SAGSTRAM) del OIEA, y las próximas normas sobre gestión de desechos del Grupo Asesor en Gestión de Desechos Radiactivos (GAGDR) del OIEA.

El Sr. González es el Director adjunto de la División de Seguridad Nuclear del OIEA. Las opiniones expresadas son las del autor y no representan necesariamente las del OIEA ni las de los gobiernos de los Estados Miembros.

Los principios que se presentan en este artículo se basan principalmente en las recomendaciones de la CIPR y del GIASN pero incorporan también novedades que se han discutido recientemente en foros internacionales sobre protección y seguridad.

Los principios están relacionados entre sí y su enumeración no implica ningún orden de precedencia.

La filosofía de protección y seguridad consagrada en los principios introduce una nueva ética de coexistencia individual y colectiva en relación con los contaminantes ambientales, ética que muy bien puede llegar a ser indispensable ante el crecimiento y la interdependencia de la población global. Los principios pueden aplicarse también —*mutatis mutandis*— a otros peligros potenciales del mundo industrial moderno, incluidos aquellos causados por medios alternativos de generación de energía.

## Principios fundamentales

**Primer principio: Reglamentación por los gobiernos.** *Los gobiernos deben establecer un marco jurídico y organizaciones reglamentadoras independientes para asegurar la protección y la seguridad en la energía nucleoelectrica.*

Corresponde a los gobiernos la responsabilidad fundamental de adoptar y continuar utilizando la energía nucleoelectrica y de controlar las instalaciones nucleares y la exposición a la radiación que estas instalaciones pueden provocar. Deberán establecer un marco jurídico de protección y seguridad y proporcionar la infraestructura necesaria para la aplicación de los requisitos jurídicos, incluida la asignación de recursos suficientes. Asimismo, deberán promover las actividades necesarias de investigación y desarrollo y fomentar el intercambio y la difusión de la información pertinente. Los Gobiernos deberán establecer mecanismos formales para el cumplimiento de tales responsabilidades introduciendo legislación que cree organizaciones reglamentadoras y asigne la responsabilidad principal de la protección y la seguridad a los *explotadores* de instalaciones nucleares. Las organizaciones reglamentadoras deberán establecer normas, reglamentos, reglas y estándares de protección y seguridad —incluidas las exclusiones y exenciones— y deberán disponer lo necesario para asegurar su cumplimiento. Deberán establecer sistemas formales para el registro y otorgamiento de licencias gubernamentales, u otros medios estatutarios, y para la vigilancia, monitoreo, examen, verificación e inspección de las instalaciones nucleares. También deberán adoptar medidas para asegurar su cumplimiento y exigir la aplicación de medidas correctivas viables por los *explotadores*. Las organizaciones reglamentadoras deberán actuar en forma independiente de los proveedores de instalaciones nucleares y sus *explotadores*; la separación de las responsabilidades de las organizaciones reglamentadoras y aquellas de las otras partes deberá ser clara, de modo que los reglamentadores mantengan su independencia como autoridad de protección y seguridad y estén protegidos contra influencias externas indebidas. Los gobiernos también deberán prescribir la *intervención* para

reducir exposiciones existentes debidas a sucesos anteriores relacionados con la energía nucleoelectrica.

**Segundo principio: Justificación de la energía nucleoelectrica.** *Se deberá justificar la opción nucleoelectrica en relación con opciones alternativas de producción de energía.*

La energía nucleoelectrica —como todas las opciones alternativas de producción de energía— tiene efectos perjudiciales y entre éstos figura la exposición adventicia de las personas a la radiación. La adopción y continuación de un programa nucleoelectrico debe justificarse sobre la base de que debe producir beneficios suficientes a los individuos o a las sociedades expuestas para compensar el detrimento que pueda causar la radiación, y el beneficio neto debe ser mayor que el de las opciones alternativas. La *magnitud* y *probabilidad* de las exposiciones previstas de las instalaciones nucleares deberá ser explícitamente tenida en cuenta en el proceso de justificación.

**Tercer principio: Protección de los individuos.** *Se deberá limitar la exposición de los individuos causada por la energía nucleoelectrica.*

La energía nucleoelectrica puede causar la exposición adventicia de personas a la radiación y, por lo tanto, *riesgo* de radiación atribuible a la exposición. A fin de asegurar que ninguna persona esté sujeta a un riesgo atribuible que pueda ser considerado inaceptable, se deberán limitar la magnitud y la probabilidad de la exposición de cualquier *individuo* causada por la energía nucleoelectrica. Dado que cada instalación nuclear puede contribuir a la magnitud y probabilidad totales de la exposición del individuo, la exposición debida a cada instalación se fijará en un nivel que asegure el cumplimiento de la limitación. Además, dado que algunas instalaciones pueden liberar materiales radiactivos de período largo que se desplazan por el medio ambiente y pueden exponer a personas en lugares distantes de la instalación y a personas de generaciones futuras, deberá asegurarse el cumplimiento de la limitación donde y cuando sea que se prevea la exposición. En particular, y a fin de cumplir con una obligación ética frente a las generaciones futuras, la exposición acumulativa causada por la descarga de materiales radiactivos en el medio ambiente por la continuación de programas nucleoelectricos deberá limitarse a un nivel considerado aceptable en el momento en que se adopta la decisión de efectuar esa descarga.

**Cuarto principio: Preservación del medio ambiente.** *La energía nucleoelectrica debe preservar el estado natural general del medio ambiente.*

Deberán tomarse precauciones para asegurar que el estado natural del medio ambiente se conserve en general dentro de sus variaciones normales y que no se comprometa la disponibilidad de los recursos naturales necesarios para un desarrollo sostenible. Concretamente, la energía nucleoelectrica produce subproductos y desechos radiactivos que, a largo plazo, podrían no permanecer aislados de las regiones de la corteza terrestre y de la atmósfera ocupadas por formas vivientes, es decir, de la biosfera. Por lo tanto, la tasa prevista de entrada de materiales radiactivos a la biosfera a causa de la evacuación de estos subproductos y desechos debe ser una fracción pequeña de la tasa prevista de entrada a la biosfera

de materiales radiactivos de peligrosidad comparable (los que entrarían naturalmente a la biosfera desde la geosfera o que se producirían naturalmente en la biosfera). Además, dado que las concentraciones ambientales locales de materiales radiactivos podrían afectar a poblaciones de especies en la biota, la tasa de entrada de tales materiales al medio ambiente debe limitarse para asegurar que no se ponga en peligro a especies enteras ni se creen desequilibrios entre las especies.

**Quinto principio: Optimización de la protección y la seguridad.** *Las instalaciones nucleares deberán estar sujetas a las mejores medidas de protección y seguridad que puedan alcanzarse razonablemente en las circunstancias prevalecientes.*

A fin de reducir tanto como sea posible el riesgo de radiación debido a cualquier instalación nuclear determinada, es necesario considerar cuál es la mejor forma de utilizar los recursos para mejorar la protección y la seguridad. La opción a escoger entre las opciones disponibles de protección y seguridad deberá ser la óptima, de modo que la magnitud y probabilidad de la exposición a las radiaciones —donde sea y cuando quiera que se se prevean esas exposiciones— y el número de personas expuestas, se mantengan en los valores más bajos que puedan razonablemente alcanzarse, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales. La magnitud y probabilidad de las exposiciones individuales se deberán restringir a fin de reducir posibles desigualdades entre la población expuesta.

**Sexto principio: Procedimientos de defensa en profundidad.** *Se aplicarán procedimientos de defensa en profundidad para compensar posibles fallas en la protección y la seguridad.*

A fin de compensar posibles fallas humanas y mecánicas en el logro de la protección y la seguridad, se aplicarán procedimientos de defensa en profundidad en todas las etapas que vinculen a una instalación nuclear con la exposición de las personas. Deberán centrarse en varios niveles de disposiciones, de forma que fallas en un nivel se compensen o corrijan en los niveles subsiguientes, obteniéndose así un nivel de protección y seguridad mayor que el que se lograría con una disposición única. Los procedimientos deberán hacer especial hincapié en las medidas que sirvan para prevenir accidentes limitando la probabilidad de secuencias de sucesos que conduzcan a la exposición de personas o a liberaciones de materiales radiactivos al medio ambiente. Se deberá disponer de medidas adicionales para la mitigación de las consecuencias de un accidente, incluyendo procedimientos para la gestión de posibles accidentes, preparación para casos de emergencia y para la realización de actividades subsiguientes de corrección, y estas medidas deberán estar disponibles para reducir sustancialmente los efectos de un accidente.

**Séptimo principio: Aplicación de criterios técnicos bien fundados.** *La protección y la seguridad se basarán en diseños técnicos y gestión bien fundados, garantía de calidad, personal capacitado y cualificado, evaluaciones integrales, aprovechamiento de la experiencia e investigaciones.*

El emplazamiento, diseño, construcción, puesta en marcha, explotación, mantenimiento, gestión de desechos y clausura de instalaciones nucleares se

basarán en diseños técnicos bien concebidos, probados mediante ensayo y experiencia y reflejados en códigos y estándares aprobados y en otros instrumentos adecuadamente documentados, así como en características de organización y de gestión fiables, con el fin de asegurar la protección y la seguridad durante todo el ciclo de vida de la instalación. Un sistema de garantía de calidad de acciones planeadas y sistemáticas proporcionará la confianza adecuada en que se han satisfecho los requisitos especificados. Todo el personal del que dependen la protección y la seguridad deberá comprender sus responsabilidades y ser capacitado y cualificado para cumplir sus funciones en conformidad con los procedimientos definidos; no obstante, se deberá considerar la posibilidad de errores humanos, que son uno de los principales contribuyentes a los accidentes, y deberá preverse lo necesario para reducir esta contribución y proporcionar medios para detectarla y corregirla o compensarla. Se efectuarán evaluaciones independientes y bien documentadas en diferentes etapas de la vida de la instalación nuclear. Las organizaciones interesadas deberán asegurar que se preste la atención debida a la evolución futura de los criterios técnicos, que se efectúe un intercambio, examen, análisis y aplicación de los resultados de las investigaciones pertinentes a la protección y la seguridad, y que se aprendan las lecciones de la experiencia y se las aproveche.

**Octavo principio: Logro de una cultura de protección y seguridad.** *Una cultura establecida de protección y seguridad regirá las acciones e interacciones de todas las personas y organizaciones que llevan a cabo actividades relacionadas con la energía nucleoelectrónica.*

Elementos esenciales para el logro de la protección y la seguridad en las actividades relacionadas con la energía nucleoelectrónica son la dedicación y responsabilidad personal de todos aquellos que trabajan en ese sector, particularmente aquellos que se encuentran en los niveles superiores de decisión y gestión. Por consiguiente, debe inculcarse una cultura de protección y seguridad, incluida una muy difundida conciencia de la seguridad en las personas involucradas, lo que requiere una actitud inherentemente inquisitiva, la prevención de la complacencia, la dedicación al logro de la excelencia y la promoción tanto de la responsabilidad personal como de la autorreglamentación corporativa.

**Noveno principio: Responsabilidad de los explotadores.** *El explotador de una instalación nuclear tendrá la responsabilidad definitiva por la protección y la seguridad.*

La responsabilidad definitiva por la protección y la seguridad corresponde al explotador de la instalación nuclear y no debe diluirse en las actividades y responsabilidades de los diseñadores, fabricantes, proveedores o constructores ni de las autoridades reglamentadoras competentes. No obstante, los diseñadores, fabricantes, proveedores y constructores de la instalación deberán, como mínimo, suministrar un diseño y equipo bien concebidos que satisfaga las especificaciones en términos tanto de los detalles técnicos como de la realización de la función prevista, y cumpla con normas de calidad acordes con la importancia que revisten los componentes o sistemas para la protección y la seguridad. El explotador será

### Definición de términos

El término **energía nucleoelectrónica** significa la práctica de la generación de electricidad por medios nucleares. Incluye toda actividad conexa, tal como la explotación de instalaciones nucleares, que pueda aumentar la exposición de las personas a la radiación de fondo. Comprende el ciclo completo de actividades necesarias para la práctica, desde la extracción de las materias primas necesarias para el combustible nuclear hasta la evacuación definitiva de los desechos radiactivos.

El término **instalación nuclear** significa toda entidad física comprendida en la práctica de la energía nucleoelectrónica que pueda causar exposición a la radiación por la emisión de radiación ionizante o la liberación de materiales radiactivos. Ejemplos de instalaciones nucleares son las centrales nucleares y los repositorios de desechos radiactivos.

El término **exposición a la radiación** significa estar sometido a radiación ionizante; se refiere concretamente a la irradiación de personas, ya sea desde fuera del cuerpo o debida a materiales radiactivos incorporados en el cuerpo, y se mide en magnitudes radiológicas tales como dosis absorbida, dosis equivalente o dosis efectiva. La exposición a la radiación debida a la energía nucleoelectrónica no es deliberada sino adventicia (es decir, colateral a la finalidad).

El término **protección y seguridad** expresa la cualidad de la energía nucleoelectrónica y las instalaciones nucleares que hace improbable la producción de daño, peligro o lesiones debidos a la exposición a las radiaciones y, por lo tanto, la producción de riesgos inaceptables de radiación; el término se aplica también a los medios para lograr la protección y la seguridad, tales como diversos procedimientos y dispositivos para mantener el riesgo para las personas lo más bajo que sea razonablemente posible y dentro de límites prescritos, para prevenir accidentes y para mitigar las consecuencias de los accidentes, si éstos se producen. El término abarca las disciplinas técnicas de la seguridad nuclear y la protección radiológica (incluida la gestión y evacuación de los desechos radiactivos).

El término **explotador** significa toda persona o entidad jurídica con derechos y obligaciones reconocidos para explotar una instalación nuclear; el término se aplica a cualquier individuo, organización, corporación, sociedad, firma, asociación, fideicomiso, sucesión, institución pública o privada o grupo o cualquier entidad política o administrativa que haya aceptado la posesión de una instalación nuclear y la tenga completamente a su cargo, con plena responsabilidad y autoridad correspondiente para su explotación en actividades aprobadas.

El término **intervención** significa toda acción que tenga por objeto disminuir las exposiciones debidas a situaciones de *facto* heredadas en relación con la energía nucleoelectrónica, tales como residuos radiactivos de sucesos anteriores. La

intervención se puede producir mediante la alteración de la red de causas existentes de exposición, las vías de exposición y los individuos expuestos, por ejemplo, eliminando las causas de la exposición, modificando las vías de exposición existentes o cambiando los hábitos de las personas, las circunstancias o las acciones a fin de impedir su exposición.

El término **magnitud** de la exposición significa la cantidad de la unidad de medición de la exposición (por ejemplo, la dosis); el término probabilidad de la exposición significa la probabilidad de que se produzca la exposición, es decir, el grado de certidumbre de que la exposición se habrá de producir realmente, bajo la condición de que se hayan hecho supuestos razonables sobre la base de la información disponible.

El término **riesgo** de radiación significa una cantidad multidimensional que expresa el peligro o la posibilidad de consecuencias perjudiciales o lesivas que puedan atribuirse a la exposición a la radiación. Está relacionado con cantidades objetivas tales como la probabilidad de que se puedan plantear consecuencias perjudiciales específicas y con la magnitud y carácter de tales consecuencias; puede incluir también consideraciones subjetivas tales como la familiaridad con el peligro y el conocimiento de sus consecuencias, y con la disposición o voluntad de incurrirlos.

El término **individuo** significa un ser humano ideal representativo del grupo de personas que se prevé habrá de recibir las exposiciones a la radiación más altas, donde sea que esté ubicado este grupo y cuando sea que pueda ocurrir la exposición; el grupo debe ser razonablemente homogéneo con respecto a factores que afectan a la exposición de sus miembros.

El término procedimientos de **defensa en profundidad** significa un sistema de disposiciones de protección y seguridad aplicado a todas las etapas que vinculan a una instalación nuclear con la exposición de las personas, y en virtud del cual todas las actividades conexas, ya sean de organización, de comportamiento o relacionadas con el equipo, están sujetas a niveles de disposiciones que se solapan, de manera que si se producen fallas estas sean compensadas o corregidas.

El término **cultura de la protección y la seguridad** significa el conjunto de características y actitudes en personas y organizaciones que establece que, como prioridad suprema, las cuestiones de protección y seguridad reciben la atención que su importancia justifica.

El término **régimen internacional** significa un sistema internacional concebido para lograr la armonización global de la protección contra las radiaciones y la seguridad nuclear en virtud del cual los Estados mantienen la responsabilidad principal, la preeminencia y la hegemonía en su reglamentación.

responsable de especificar y asegurar que el diseño y la construcción de la instalación cumplen los requisitos pertinentes de protección y seguridad y de establecer y mantener procedimientos, disposiciones y personal competente plenamente capacitado a fin de garantizar el funcionamiento seguro de la instalación en todas las condiciones durante su vida útil. El explotador deberá establecer también una política para ajustarse a los requisitos y procedimientos de protección y seguridad y asegurará que las responsabilidades estén bien definidas y documentadas y que se disponga de recursos e instalaciones relacionados con la protección y la seguridad.

**Décimo principio: Reducción de las exposiciones de facto.** La exposición a las radiaciones debida a sucesos anteriores relacionados con la energía nucleoelectrica deberá reducirse, cuando sea justificable, mediante intervención.

Las personas pueden estar sujetas a exposición a la radiación debido a situaciones *de facto* heredadas. (Las exposiciones *de facto* relacionadas con la energía nucleoelectrica son las que se deben a los residuos radiactivos de sucesos pasados tales como la contaminación producida por accidentes anteriores.) A fin de reducir la magnitud y probabilidad de tales exposiciones, las organizaciones gubernamentales deberán adoptar medidas de protección por medio de intervención, siempre que la intervención propuesta produzca más beneficios que perjuicios y que su forma, escala y duración sean óptimas de modo que puedan considerarse como las más apropiadas en las condiciones económicas y sociales prevalecientes. La intervención debe incluir medidas para eliminar las causas de la exposición, modificar las vías de exposición existentes o cambiar los hábitos de las per-

sonas, las circunstancias o las acciones de modo que pueda impedirse su exposición.

## Epilogo

En septiembre de 1991, la Conferencia Internacional sobre la seguridad de la energía nucleoelectrica: Estrategia para el futuro, celebrada en Viena, declaró en su documento final que "existe la necesidad de considerar un enfoque internacional integrado a todos los aspectos de la seguridad nuclear ...". Al mismo tiempo, la Conferencia General del OIEA, en su 35ª reunión, al considerar medidas para fortalecer la cooperación internacional en cuestiones relacionadas con la seguridad nuclear y la protección radiológica *señaló*, entre otras cosas, el valor potencial de los enfoques para promover un *régimen internacional*, reafirmó la necesidad vital de *fortalecer la cooperación internacional* y *destacó* la necesidad de considerar un *enfoque internacional armonizado*.

Parece que ha llegado el momento de hacer una propuesta que pueda en el futuro convertirse en un nuevo principio fundamental de protección contra la radiación y seguridad nuclear, a saber:

*La institución de un régimen internacional para apoyar un enfoque globalmente armonizado a todos los aspectos de la seguridad nuclear y de las radiaciones.*

Una *convención internacional* podría ser el instrumento formal de tal régimen y disponer lo necesario para hacer cumplir *de jure* los *principios fundamentales de protección y seguridad* para la energía nucleoelectrica. □

Central nuclear de Cruas en el sureste de Francia. (Cortesía: EDF)

