

Experiencia regulatoria argentina en gammagrafía industrial en materia de radioprotección

Ermacora, M.G.

Presentado en: XXXII Reunión Annual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear.
Buenos Aires, Argentina, 21 al 25 de noviembre de 2005

45

EXPERIENCIA REGULATORIA ARGENTINA EN GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL EN MATERIA DE RADIOPROTECCIÓN

Ermacora, M.G.

Autoridad Regulatoria Nuclear

Argentina

RESUMEN

La gammagrafía industrial siempre fue responsable de los mayores índices de accidentes radiológicos en casi todo el mundo. Esto se debe principalmente a las altas actividades de las fuentes radiactivas utilizadas, las cuales son transportadas constantemente en los equipos que las contienen entre el depósito y las áreas de trabajo, y a presiones de carga de trabajo que pueden inducir a descuidos en el seguimiento de los procedimientos de operación, si no existe una cultura de la seguridad arraigada.

El propósito de este trabajo es presentar los aspectos principales de la reglamentación argentina en materia de radioprotección para controlar esta práctica y de esta manera contribuir a reducir los riesgos asociados. Asimismo, se describen algunos incidentes ocurridos en Argentina durante los últimos años, las causas que condujeron a dichos sucesos y su relación con el incumplimiento a la normativa vigente, sus consecuencias y las medidas adoptadas para remediarlas.

Por último, se destaca la importancia del rol que cumplen la capacitación y el entrenamiento en el fortalecimiento de la Cultura de Seguridad, elemento clave en todo emprendimiento.

ABSTRACT

Industrial gammagraphy has always been responsible for the highest rates of radiological incidents in almost every part of the world. This is mainly due to the high activities of the radioactive sources used, which are constantly transported in the equipment that contains them between the storage and the areas of work, and is also due to work load pressures which may induce to negligence in following the operational procedures, if a strong Safety Culture does not exist.

The purpose of this paper is to present the main aspects of the Argentine regulations relating to radiation protection to control this practice and to contribute in this way to reduce the associated risks. In addition, some incidents occurred in Argentina during the latest years, the causes that led to those events and their relation to the inobservance of the regulations in force, their consequences and the measures taken to repair them are described.

Finally, the importance of the role that education and training has in the strengthening of Safety Culture, key element of all undertaking, is highlighted.

INTRODUCCIÓN

La gammagrafía industrial es una técnica de ensayo no destructivo, destinada al control de calidad de materiales, muy utilizada en las industrias siderúrgica, naval, nuclear, petrolera, etc. Es empleada principalmente con el objeto de identificar y clasificar defectos de soldaduras. Esta técnica es llevada a cabo con fuentes selladas de radiación gamma de Iridio-192, Cobalto-60, Cesio-137, Se-75, Iterbio-169 y Tulio-170, siendo el primer radionucleido mencionado el de uso más extendido en nuestro país. Estas fuentes son alojadas en unidades fijas, móviles o portátiles.

Las unidades fijas no generan mayores problemas en radioprotección. Por el contrario, la gammagrafía con unidades portátiles puede conducir a un nivel de exposición más importante y presenta riesgos potenciales de sobre-exposición. En nuestro país, este tipo de unidades son las más utilizadas en las prácticas de gammagrafía.

46

Un ejemplo de una fuente de Iridio-192 de 3,7 TBq da una tasa de dosis de 20(Sv/min (1,2 mSv/h)

a 20 m, que representa un moderado nivel de exposición para una persona que pasara por el perímetro de seguridad. La misma fuente da 8 mSv/min a 1 m, que es el nivel de dosis potencialmente recibida por los operadores en el caso de un rescate de fuente. Pero a 1 cm la tasa de dosis de 80 Sv/min produciría exposiciones severas.

Debemos recordar el accidente ocurrido en nuestro país en el año 1968, en el que un trabajador encontró una fuente de Cs-137 de 0,5 TBq y sin reconocerla como tal la llevó en el bolsillo de su pantalón durante 18 horas. El operador del equipo no advirtió que había perdido la fuente en una destilería de petróleo. Como consecuencia de este hecho, una persona resultó irradiada habiendo sufrido lesiones severas, úlceras en la mano derecha y la amputación de ambas piernas. Se estimó una dosis máxima en piel de 17.000 Gy, en gónadas de 20 Gy y en todo el cuerpo de 0,5 Gy. La falta de seguridad de la fuente condujo a estos resultados.

El objetivo de este trabajo es presentar los aspectos principales de la reglamentación argentina para controlar esta práctica y reducir los riesgos asociados, describir algunos incidentes ocurridos en Argentina durante los últimos años y destacar la importancia de la capacitación y el entrenamiento en la promoción de una fuerte cultura de la seguridad.

DESARROLLO

EL CONTROL Y LA FISCALIZACIÓN EN ARGENTINA

NORMATIVA VIGENTE

La Ley N° 24804, denominada Ley Nacional de la Actividad Nuclear, sancionada el 2 de abril de 1997, y su Decreto Reglamentario 1390/98, establece que el Estado Nacional fijará la política nuclear y ejercerá las funciones de regulación y fiscalización por medio de la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN). Entre otras funciones, esta Ley confiere a la ARN la competencia de dictar normas regulatorias sobre seguridad radiológica y transporte de material radiactivo; otorgar, suspender y revocar licencias y permisos; y realizar inspecciones y evaluaciones regulatorias. En el caso particular de gammagrafía industrial, los requisitos que deben ser cumplidos en materia de seguridad radiológica en este campo de aplicación están establecidos en las Normas AR 7.9.1 Rev.1 "Operación de equipos de gammagrafía industrial", AR 7.11.1 Rev 1 "Permisos individuales para operadores de equipos de gammagrafía industrial", AR 10.16.1 Rev.1 "Transporte de materiales radiactivos" y AR 10.1.1 Rev. 3 "Norma Básica de Seguridad Radiológica".

A continuación se detallan los elementos principales sobre los que se centra la actividad regulatoria argentina relacionada con la gammagrafía industrial, y se describen algunos incidentes ocurridos relacionados con los mismos.

☺ EL EQUIPO

En general un equipo de gammagrafía industrial consta de un contenedor de alojamiento y transporte del material radiactivo, una fuente radiactiva, un telemando, y un tubo guía.

El proyector o contenedor debe estar correctamente identificado mediante dos o más placas metálicas con la siguiente información grabada o estampada en forma visible: marca, modelo y número de serie, radionucleido contenido, máxima actividad del radionucleido autorizado en el proyector, dirección del fabricante, símbolo normalizado de radiación y la palabra "RADIOACTIVO".

Otra placa, adosada al proyector o contenedor, debe mostrar el símbolo químico y número másico del radionucleido contenido, la actividad, fecha de calibración, nombre del fabricante, modelo y número de serie de la fuente.

El responsable de la Licencia debe contar con un certificado emitido por el fabricante del equipo que permita identificarlo, y con el manual de operación y mantenimiento, así como con un registro que incluya los controles realizados sobre cada equipo.

En muchos casos, es el mal estado de piezas mecánicas el que condujo a la pérdida de control de la fuente radiactiva con los consecuentes riesgos para una persona que pudiera tomar la fuente en su mano.

47

Existen escenarios que pueden presentarse y que pueden conducir la operación a este tipo de incidentes, algunos de ellos evitables y otros muy difíciles de evitar. Entre los primeros están:

☺ que se haga difícil el accionamiento de la manivela por falta de limpieza y lubricación inadecuada del cable flexible.

☺ que se debilite la sección del cable flexible debido al uso, con lo cual aumenta la probabilidad de un corte del mismo.

☺ que las conexiones entre cable y portafuente se encuentren desgastadas o dañadas con lo que existe la probabilidad de que una maniobra brusca produzca su desenganche.

☹ que la manguera se encuentre aplastada, con lo que se puede trabar el movimiento del cable flexible, tanto del telemando como del tubo guía. En este último caso la fuente radiactiva podría quedar atrapada sin poder ingresar a su blindaje.

Existen también los imponderables como puede ser la caída de un elemento pesado sobre la manguera que produzca su aplastamiento e impida el retorno de la fuente a su posición segura, pero este problema se encuentra acotado mientras se lleven a cabo los procedimientos de rescate adecuados.

Estos escenarios pueden provocar un incidente, pero su ocurrencia no necesariamente lleva a la ocurrencia de un accidente. Es la concomitancia de alguno de ellos con fallas en el procedimiento de monitoreo de las tasas de dosis en contacto con los equipos lo que puede producir una pérdida de control de la fuente sin el conocimiento de que ello haya ocurrido.

☹ LA FUENTE RADIATIVA

La fuente radiactiva está formada por material radiactivo de una alta actividad y se encuentra contenida dentro de cápsulas de acero inoxidable selladas, calificada como material radiactivo en forma especial y como fuente sellada para el uso específico. La misma se encuentra dentro de un portafuente, cuyo extremo no activo sobresale en parte del contenedor, y en el mismo se encuentra grabado el número de serie de la fuente.

Es fundamental efectuar el seguimiento de las fuentes. Es por ello que la Norma AR 7.9.1 establece un plazo de cinco días para que el titular de licencia comunique toda compra, venta, alquiler, préstamo o baja de las mismas. Se dispone de una base de datos, la cual permite conocer en cada momento en qué empresa se halla determinada fuente. De esta manera, la fuente es seguida desde la entrega hasta la disposición final en el área de gestión de residuos o hasta que sean exportadas a su destino de origen en el caso de las fuentes que hubieran sido importadas. Asimismo, el titular de licencia debe mantener un registro de movimiento que permita identificar en qué equipo se encuentra cada fuente y su ubicación en el lugar de las prácticas.

Por otra parte, cada pérdida o robo de fuentes debe ser declarado a la ARN, según lo requerido en el punto 62. a. de la Norma AR 7.9.1.

En la Argentina hay actualmente un fabricante y un importador de fuentes de Sudáfrica.

☹ EL INSTRUMENTAL DE RADIOPROTECCIÓN

La Norma AR 7.9.1 establece que el titular de la Licencia debe asegurar que los operadores tengan a su disposición medidores de radiación portátiles cuantitativos que puedan medir tasas de dosis equivalente ambiental entre 0 y 100 mSv/h como mínimo, monitores portátiles con indicación acústica, cuya tasa de repetición de pulsos sea proporcional a la tasa de dosis, dosímetros individuales integradores de lectura directa (tipo lapicera o similar), y dosímetros individuales de lectura diferida.

Asimismo, el titular debe llevar un registro del inventario del instrumental en su haber, y de las calibraciones, controles y mantenimientos efectuados.

48

☹ EL TRANSPORTE

El transporte de equipos de gammagrafía con sus fuentes de radionucleidos gamma emisores está bajo la reglamentación general sobre el transporte de materiales radiactivos contemplado en la norma AR.10.16.1.

Los contenedores con el material radiactivo se denominan bultos. Los bultos de transporte utilizados en gammagrafía industrial son del tipo B(U) o A. El tipo de bulto requerido es dependiente de la actividad que deba transportar y en cualquiera de los dos casos, tipo B(U) o A, antes de su aprobación como tales, especímenes de los mismos deben ser sometidos a exigentes ensayos que permiten inferir que son adecuados para resistir fuerzas de impacto grave, fuerzas de aplastamiento, inmersión en líquido y tensión térmica sin pérdidas de los contenidos radiactivos ni pérdida significativa del blindaje. El titular de licencia debe poseer el certificado de aprobación por parte de la autoridad competente.

El transporte de estos contenedores cargados debe realizarse de acuerdo a las normas de transporte vigentes, convenientemente etiquetados de acuerdo a las tasas de dosis que producen, con la documentación correspondiente y en vehículos señalizados y adecuados para tal fin, con las trabas mecánicas necesarias para evitar su desplazamiento.

El transporte más crítico es aquél que es realizado por el operador, que viaja de un sitio a otro, en general en su propio vehículo. Esta clase de transporte da lugar a riesgos de pérdida (o extravío) o robo. En un primer momento es el vehículo el que es objeto de robo y luego, cuando los ladrones comprenden que hay una fuente radiactiva en el equipo, la abandonan en cualquier sitio. Otro riesgo son los accidentes de tránsito, y en este caso, aún si el equipo no es

dañado, su presencia puede llevar a todo tipo de reacciones por parte de las personas que deben intervenir.

Cabe destacar dos episodios ocurridos en nuestro país en los años 2001 y 2003.

φ El 9 de junio de 2001, en la ciudad de Neuquén, se produjo el extravío en la vía pública de un equipo de gammagrafía industrial conteniendo una fuente radiactiva de Ir-192 con una actividad de 1,96 TBq (53 Ci). El equipo, que era transportado en la parte trasera abierta de una camioneta, sujetado a la caja del vehículo con una soga, cae del mismo sin que lo advierta el conductor mientras se dirigía a la obra donde prestaría servicios.

Poco después lo recoge un albañil en la vía pública, quien lo confunde con un aparato vibrador para compactar hormigón. Dicha persona no comprende el idioma (inglés) de las identificaciones del equipo y al cabo de dos horas y media lo deja depositado en el patio trasero de la vivienda de su hija.

Por ese entonces, hacía media hora que la empresa de gammagrafía había notificado del hecho a la ARN, por lo que ésta le requirió a la misma, propietaria del equipo, que diera alerta a la población a través de los medios de difusión masivos. También se le requirió a la empresa que iniciara una búsqueda sistemática del equipo de gammagrafía utilizando el equipamiento de medición de radiaciones ionizantes que disponía.

La familia que tenía el equipo toma conocimiento, a través de la televisión, del aviso de alerta a la población. Poco después un integrante de la familia se comunica con personal de la empresa de gammagrafía para informarle que tenía en su poder el equipo extraviado. Finalmente, ocho horas después del extravío, la empresa recupera el equipo.

La ARN a través del Sistema de Intervención en Emergencias Radiológicas (SIER), llega al lugar –a 1000 km de Buenos Aires- aproximadamente una hora después de haber sido recuperado el equipo y verifica el estado seguro del mismo y que la fuente radiactiva se encuentra alojada en su interior.

Se reconstruyen los hechos y preventivamente se toman muestras de sangre para efectuar dosimetría citogenética de las tres personas del público involucradas, sin que se hayan observado efectos de las radiaciones sobre las mismas.

φ El segundo caso ocurrió en la ciudad de Río Grande, Tierra del Fuego, el día 19 de noviembre de 2003. La ARN recibió un llamado telefónico de un operador de una empresa de gammagrafía industrial, que realizaba trabajos en un gasoducto del lugar, denunciando el extravío de un equipo de gammagrafía con una fuente de Ir-192 de actividad 0,24 TBq (6,5 Ci) a la fecha de ocurrido el hecho. El equipo era transportado en una camioneta alquilada, en la

caja abierta, y sobre un carro con ruedas. Personal del Sistema de Intervención en Emergencias Radiológicas (SIER) de la ARN se hizo presente en el lugar del hecho al día siguiente. Inmediatamente se realizó una conferencia de prensa para dar amplia difusión a todos los medios de comunicación locales. La ARN se abocó a la búsqueda del equipo, con la colaboración de la Policía de Tierra del Fuego, Gendarmería Nacional, Policía Federal, Defensa

Civil, Prefectura Naval, el Juzgado Provincial y el Juzgado Federal. Todos los llamados recibidos denunciando sobre el equipo en cuestión fueron investigados sin excepción. En todo momento se mantuvo contacto con el Centro de Control de Emergencias de la ARN en Buenos Aires, para evacuar consultas técnicas y jurídicas, así como para solicitar apoyo adicional. Paralelamente, se realizó el asesoramiento de todos los servicios médicos de la ciudad, públicos y privados, dejando copias de dos instructivos: “Cómo reconocer y dar una rápida respuesta a una radiolesión accidental” (OIEA-OMS) y “Guía práctica para la rápida identificación de fuentes radiactivas y equipos que las contienen” (ARCAL-OIEA). Las tareas estratégicas específicas coordinadas con la Brigada de Investigaciones de la Policía Judicial dieron los resultados esperados y se recibió un llamado telefónico a las 03:30 horas del domingo 23 de noviembre en la Seccional de la Policía Judicial, diciendo que había sido visto el equipo en cuestión en el Barrio Austral en Río Grande. Junto con personal policial, el grupo de intervención se dirigió allí y realizó una verificación visual reconociendo el equipo en un contenedor de residuos. La zona se encontraba vallada por la Policía 20 metros alrededor del contenedor. El grupo de la ARN procedió a realizar las mediciones correspondientes y verificó que el punto de máxima exposición era de 60 [Sv/h, valor compatible con la actividad de la fuente ubicada en su lugar de guarda dentro del equipo. Las mediciones de contaminación resultaron negativas. Se procedió a realizar una conferencia de prensa ante los medios de información periodísticos locales dando por finalizada la emergencia. La ARN realizó las actuaciones regulatorias del caso para deslindar las responsabilidades.

Estos hechos no condujeron a exposiciones peligrosas porque en todos estos casos la fuente permaneció confinada en el proyector/contenedor. Sin embargo, esta clase de incidentes puede tener serias consecuencias si la fuente fuera extraída del contenedor y tomada por una persona durante varias horas.

Una evaluación de estos eventos permite identificar como la causa principal la falta de acatamiento estricto de la reglamentación vigente en materia de transporte. Sin embargo, es importante destacar que el respeto de la normativa en relación con la inmediata comunicación a

la ARN sobre los mencionados incidentes ha permitido evitar consecuencias mayores. La implementación de la difusión a través de los medios de comunicación masiva con el fin de alertar a la población ha jugado un rol muy importante.

☺ LOS TRABAJADORES

La reglamentación relacionada con los trabajadores tiene en cuenta la capacitación y entrenamiento, el monitoreo de exposición y la aptitud psicofísica.

☺ El certificado de aprobación del curso habilitante es otorgado actualmente por una institución que dicta el curso para operadores de equipos de gammagrafía industrial. La mesa evaluadora está integrada por una persona con conocimientos en radioprotección, personal con experiencia en la operación de estos equipos, un médico y personal de la ARN. El certificado se entrega luego de haber aprobado una evaluación escrita y oral en los siguientes temas: Conceptos generales sobre las radiaciones ionizantes, interacciones de la radiación con la materia, principios de detección de la radiación, fundamentos de dosimetría de las radiaciones, efectos biológicos de las radiaciones, criterios y normas de protección radiológica, fundamentos de cálculo de blindajes, evaluación de accidentes y cultura de la seguridad. El examen también abarca el conocimiento de los diferentes tipos de equipos, la reglamentación sobre el uso de fuentes y su transporte y los procedimientos a seguir en caso de emergencias.

Es relevante resaltar la suma importancia que reviste la capacitación y el entrenamiento de los operadores, ya que gran parte de los incidentes que pueden derivar en accidentes se deben a factores humanos.

Por ejemplo, en el año 2004, en nuestro país, durante una de las inspecciones de rutina al depósito de una instalación se detectó que uno de sus equipos registraba una medición de tasa de exposición injustificadamente elevada, descubriéndose luego que se debía a que la fuente

50 de Ir-192 se encontraba en posición invertida dentro del canal en S del proyector, es decir que no se encontraba adecuadamente blindada. El responsable manifiesta haber solicitado a uno de sus operadores el trasvase de la fuente a un contenedor, y no haber chequeado el correcto trasvase, habiendo incurrido en incumplimiento de lo establecido en la norma "Operación de equipos de gammagrafía industrial". Esto evidencia asimismo la falta de entrenamiento por parte del operador que realizó la maniobra.

☺ El monitoreo de la exposición comprende el uso de dosímetros individuales integradores de lectura directa y diferida. Por otra parte, el titular de licencia debe notificar a cada operador de su correspondiente informe dosimétrico mensual y enviar a la ARN los informes anuales de dosimetría.

☺ Asimismo, es necesario asegurarse que el operador esté en buen estado de salud con una buena condición física y psicológica. La Norma AR 7.11.1. establece que para solicitar o renovar un permiso individual el operador debe presentar un certificado de aptitud psicofísica aprobado por el médico examinador. Es muy importante que las prácticas de gammagrafía se realicen en equipos de dos o tres personas por razones de seguridad. La Norma Argentina establece que como mínimo debe haber dos personas operando.

INSPECCIONES REGULATORIAS

Con el objetivo de verificar el cumplimiento de los requerimientos de la normativa vigente en materia de radioprotección la ARN lleva a cabo inspecciones. En el caso particular de gammagrafía industrial, se pueden clasificar las mismas en dos tipos:

Inspecciones de depósito: se verifica el lugar de almacenamiento de los equipos y contenedores.

Inspecciones de campo: se controla la práctica propiamente dicha donde se radiografían los tubos y cañerías.

A continuación se describen los principales aspectos verificados durante las inspecciones en los depósitos:

☺ Correcta señalización del depósito.

☺ Tasas de dosis en las inmediaciones del mismo.

- ⌚ Tasas de dosis en la superficie exterior de los contenedores.
 - ⌚ Estado de conservación del contenedor verificando su identificación y existencia de la placa identificatoria de la fuente que se aloja en su interior.
 - ⌚ Accionamiento de la llave de cierre del contenedor.
 - ⌚ Estado de los telemandos, tubos guía y demás accesorios.
 - ⌚ Instrumental de radioprotección.
 - ⌚ Estado del libro de registros de inventario y movimiento de fuentes y equipos, y de los registros dosimétricos del personal.
 - ⌚ Procedimientos de operación, de actuación en emergencias y de transporte.
- En las inspecciones de campo se efectúan algunos de los controles mencionados anteriormente y además se realiza:
- ⌚ Verificación del cumplimiento de las normas de transporte de material radiactivo.
 - ⌚ Verificación de que intervenga un mínimo de dos personas en la operación (un operador y un ayudante), y constatación de que al menos una de ellas posea permiso individual vigente para esta práctica, otorgado por la ARN.
 - ⌚ Verificación del uso del instrumental de protección radiológica tanto del operador como de su ayudante.
 - ⌚ Verificación del cumplimiento con los procedimientos de operación.
 - ⌚ Verificación de la señalización de la zona de trabajo.
 - ⌚ Monitoreo de los vallados.

51

El riesgo mayor en la operación normal en este tipo de prácticas es la irradiación externa de miembros del público o del personal ocupacionalmente expuesto.

Con el objeto de evitar los riesgos, que están relacionados con los altos niveles de radiación cuando las fuentes son proyectadas, existen procedimientos durante la operación que consisten en la demarcación y vallado de la zona de trabajo. El sistema consiste en alertar a los

miembros del público sobre el riesgo radiológico a que se someterían de acercarse, tratando asimismo de impedirlo. La señalización se realiza con carteles que indican el uso de material radiactivo y el vallado mediante soga o cinta. No obstante el operador deberá ejercer un control visual de manera de verificar que no haya ninguna persona no autorizada dentro de la zona controlada.

Con respecto a los dos últimos puntos mencionados, cabe aclarar que la normativa regulatoria argentina no establece un límite de tasa de dosis para la delimitación de áreas de vallado, sino que deja a criterio del operador el establecimiento de dicho límite para cada caso particular, teniendo en cuenta para los cálculos de distancias el factor de ocupación, que suele ser muy bajo en los sitios donde las prácticas son llevadas a cabo. Por otro lado, con la utilización de elementos blindantes, como colimadores, estas distancias se reducen considerablemente permitiendo asimismo disminuir las dosis recibidas por el personal ocupacionalmente expuesto. La frecuencia recomendable de la inspección, teniendo en cuenta que los equipos poseen fuentes radiactivas de considerable actividad y que en su mayoría son portátiles, es anual. Durante el año 2004 se han totalizado 72 inspecciones, habiéndose realizado 12 de ellas en campo y las restantes en los depósitos de las 63 empresas relacionadas con la operación de equipos o fabricación, importación, exportación y venta de fuentes radiactivas selladas para gammagrafía industrial habilitadas en ese período en nuestro país.

PUNTOS A DESTACAR

Todo el esfuerzo regulatorio descripto ha permitido evitar desde 1969 hasta el presente accidentes de gran envergadura en Argentina.

Sin embargo, es relevante destacar los siguientes puntos, que contribuyen a una mejora continua promoviendo el arraigo de la Cultura de la Seguridad.

Promoción de la comunicación de situaciones accidentales ocurridas por parte de los usuarios. Esto ha permitido intervenir y conducir las situaciones de emergencia eficientemente en el caso de involucrar áreas públicas.

Difusión de información radiológica, incluyendo lecciones aprendidas, en el ámbito de las actividades industriales, promoviendo de esta manera la integración de la radioprotección con la seguridad e higiene laboral en general. El entrenamiento permanente es esencial al mantenimiento de un alto nivel de seguridad, lo cual requiere facilitar a trabajadores y otros representantes de partes involucradas el acceso a cursos y talleres. Al respecto, la ARN realiza reuniones informativas dirigidas a personal supervisor de industrias contratistas de empresas de gammagrafía industrial.

La capacitación de los operadores de gammagrafía se realiza mediante la aprobación de un curso cuyo período de validez es de 2 años. Sin embargo, es importante reforzar el entrenamiento de los trabajadores en sus compañías. Se está evaluando solicitar a cada Entidad con Licencia la implementación de registros de entrenamiento del personal a su cargo (tanto operadores como ayudantes), en los que se incluyan copias de exámenes escritos, fechas y resultados de exámenes orales y prácticos y de las evaluaciones periódicas del trabajo, y nombres de las personas que condujeron los mismos. El entrenamiento podría tener una frecuencia anual como mínimo y es recomendable que el Responsable evalúe el trabajo de los operadores cada seis meses.

Por otra parte, es esencial destacar la capacitación y el re-entrenamiento de los reguladores.

52

CONCLUSIÓN

El análisis de las situaciones que han terminado en incidentes o accidentes demuestran que los mismos se producen principalmente por ignorancia de los efectos de la radiación, falta de mantenimiento preventivo, no seguimiento de los procedimientos de operación o falta de seguridad en el transporte. Todo esto está contemplado en la normativa argentina.

En conclusión, el respeto de la normativa vigente en nuestro país ha permitido limitar el número de accidentes relacionados con la práctica de gammagrafía industrial.

Se sugiere, sin embargo, prestar especial atención a los puntos destacados relacionados con la difusión de información, la capacitación continua y el re-entrenamiento, de modo de contribuir a una mayor conciencia de una Cultura de Seguridad.

REFERENCIAS

Ley N° 24804 "Ley Nacional de la Actividad Nuclear"

Norma AR 7.9.1 Rev.1 "Operación de equipos de gammagrafía industrial"

AR 7.11.1 Rev 1 "Permisos individuales para operadores de equipos de gammagrafía industrial"

Guía AR 5-Rev.0: "Recomendaciones generales para la obtención y renovación de permisos individuales para operadores de gammagrafía industrial"

Norma AR 10.16.1 Rev. 1 "Transporte de materiales radiactivos"

Norma AR 10.1.1 Rev. 3 "Norma Básica de Seguridad Radiológica"

Informe Anual 2001, Autoridad Regulatoria Nuclear, Buenos Aires, Argentina

Informe Anual 2003, Autoridad Regulatoria Nuclear, Buenos Aires, Argentina

Radiation Protection of the workers in industrial radiography: the point of view of the regulatory body in France, Alain BIAU

Algunas conclusiones de la conferencia internacional sobre protección radiológica ocupacional, Massera, G.E., Memoria Técnica 2003, Autoridad Regulatoria Nuclear, Argentina

Accidentes en gammagrafía industrial, Quijada R., Gironzini, E., Sociedad Peruana de Radioprotección, Lima, Perú, 1988

Accidentes radiológicos em gammagrafía industrial-Casos brasileiros, Da Silva, F.C.A., Instituto de Radioproteção e Dosimetria, CNEN

Code of Federal Regulations, 10, Parts 1 to 50, Energy, 2000, Subpart D-Radiation Safety Requirements

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a la Ing. Dora Vidal por la colaboración brindada en la revisión del presente trabajo.

Ente Nacional Regulador Nuclear

1. INTRODUCCIÓN

Las fuentes de riesgo y el concepto de riesgo han sido estudiados en forma creciente durante los últimos años. La esencia del riesgo consiste en una combinación de la noción de pérdida con la de azar o probabilidad. La idea de azar es crucial: lo inevitable puede ser ciertamente desagradable pero al no tener carácter probabilístico no constituye un riesgo.

Aún sin analizar los diferentes componentes del concepto de "pérdida", debería reconocerse que el estar expuesto a riesgos no es algo necesariamente malo. Los logros de la vida moderna implican la exposición a varias fuentes de riesgo, y la evolución que se ha producido a

través de la historia no hubiera sido posible sin los riesgos incurridos por nuestros antepasados.

Un tipo especial de riesgo, relacionado con nuestra discusión, está ejemplificado por las amenazas para la salud debidas a los bajos niveles de radiación y de concentración de sustancias químicas de origen natural o artificial. Este riesgo es muy difícil de analizar, no porque los efectos no sean conocidos sino, por el contrario, porque ellos son ya muy familiares y en los grupos expuestos sólo se manifiesta una frecuencia ligeramente incrementada de tales efectos.

2. RIESGO DE RADIACIÓN

A dosis elevadas la radiación ionizante es claramente perjudicial, prevaleciendo los efectos determinísticos, por ejemplo la muerte a través del síndrome agudo de radiación. No hay duda en este caso de la relación causal entre la exposición a radiaciones y sus efectos. A dosis algo más bajas los efectos determinísticos no se producen pero, si el grupo de individuos expuestos es suficientemente grande, puede evidenciarse claramente un incremento en la inducción de cáncer sobre la tasa espontánea. Si bien en estos casos la relación entre radiación y cáncer es bastante clara, no es posible establecer con certeza si un determinado individuo habrá de resultar afectado o si un dado caso de cáncer es consecuencia de una exposición.

A dosis aún menores la relación observada entre radiación y cáncer se torna imprecisa debido a que las incertidumbres son progresivamente mayores llegando a un punto en que el efecto, si existe, no puede ser detectado. Este hecho ha generado muchas discusiones, en las que los defensores de la existencia de una dosis umbral han afirmado que no existe ningún tipo de efecto por debajo de tal dosis. Esto podría ser cierto, por supuesto, pero la imposibilidad de su observación no constituyen una prueba de ello.

2.1 posibilidades de detección estadística y umbral

Aún suponiendo una relación lineal, sin umbral entre riesgo² y dosis, el número **N** de individuos requerido para lograr la detectabilidad es tanto mayor cuanto menor es la dosis **D** en que incurren dichos individuos. Si todos los demás factores que pueden influir se mantienen constantes, el número de casos de cáncer en exceso atribuibles a la radiación y su desviación estándar estarán por:

$$\text{Exceso} = rDN$$

$$\sigma = \sqrt{bN + rDN}$$

donde **b** es el riesgo "natural" de cáncer, apropiado para el grupo en estudio, y **r** es el riesgo por unidad de dosis en el grupo.

El exceso será detectable si es mayor que un número estipulado de desviaciones estándar (usualmente das para un nivel de significación del orden del 95%). Por lo tanto:

$$rDN \geq 2\sqrt{bN + rDN}$$

En la mayoría de los casos si el riesgo de cáncer "natural" es sustancialmente mayor que **rD** y por lo tanto (**b+rD**) es prácticamente constante. Mediante una simple operación algebraica, se puede demostrar que para es nivel de significación:

$$P = (aD + bD^2)e^{-cD}$$

Por ejemplo, supóngase que se ha evidenciado que un determinado tipo de cáncer está relacionado con la radiación en un grupo de población de unos pocos miles de personas que han incurrido en dosis del orden de 1 Gy; para mostrar la misma relación con dosis del orden de 100 mgy se requerirían grupos de algunos cientos de miles de individuos.

Este argumento es simplista dado que ignora la mayor parte de los factores que afectan los

estudios epidemiológicos, pero es suficiente para desestimar la mayoría de los esfuerzos reportados para probar umbrales significativos. Por otra parte debe reconocerse que los estudios epidemiológicos realizados a bajas dosis, especialmente de aquellos tipos de cáncer cuya incidencia "natural" es baja, pueden contribuir al progreso de nuestro conocimiento, pero se requiere una prudencia extrema cuando los resultados son negativos.

2- la expresión "riesgo" es utilizada aquí de manera no rigurosa significando probabilidad, dado que el único efecto considerado es cáncer.

2.2 Experimentación con animales y relación dosis efecto a bajas dosis

Los experimentos con animales, habitualmente de pequeño tamaño, ofrecen la posibilidad de incrementar el número de animales expuestos cuando es necesario y planificar las exposiciones a fin de cubrir el rango requerido. Obviamente los resultados no son directamente aplicables al hombre (por ejemplo las pendientes observadas), pero se puede obtener información general sobre la forma de la relación dosis-efecto y sobre la acción de los parámetros que se supone influyen en dicha relación.

Por otra parte, a bajas dosis aparece el mismo problema de detectabilidad. Para mejorar (pero no resolver) la situación, las experiencias requerirían, como usualmente se dice, demasiados "ratones", demasiado se dice, tiempo para ser realizables. Aún si los experimentos fueran posibles, quedaría siempre una región de dosis donde las observaciones directas no son factibles y es esa región la que nos interesa en mayor medida. La cuestión principal es la validez de las extrapolaciones de resultados obtenidos con altas dosis, a la región de bajas dosis.

2.3 Extrapolación a partir de dosis para las que se efectuaron observaciones

A veces se afirma que la búsqueda de la función que mejor se ajusta a las observaciones proporcionaría la solución al problema de la extrapolación. Esto, por supuesto, no tiene sentido; existen infinitas funciones que podrían pasar exactamente por todos los puntos que representan las observaciones.

Para efectuar un análisis de regresión es necesario en, primer lugar, elegir la función a ser probada. Es entonces posible obtener conclusiones sobre la bondad del ajuste, comparar las dos o mas funciones preseleccionadas, etc. Parece entonces inevitable concluir que:

a) ni las experiencias epidemiológicas, ni las que se realizan con animales determinaran la forma de la relación dosis efecto a bajas dosis;

b) si se selecciona una función en base a otras consideraciones, esas experiencias ayudarán a obtener valores de los parámetros aplicables al hombre y a probar el modelo cuando se obtengan nuevos datos por debajo del juego de datos existente.

2.4 Radiobiología molecular y celular y el modelo para la relación dosis efecto

Una crítica común que se hace al uso de la modelización de la relación dosis efecto (sobre la base de los resultados de la investigación radiobiológica básica) es que las predicciones realizadas mediante dicha modelización no son científicas, debido a la falta de datos epidemiológicos en la región de dosis en que se efectúa la predicción.

Esta crítica es ciertamente no científica en si misma. Es suficiente mencionar el descubrimiento de un nuevo planeta y las observaciones que confirman las predicciones de la relatividad para desestimar dicha crítica. En tanto que algunas ciencias naturales consisten en una descripción de lo que se observa, la mayor parte de ellas resulta de la conjunción de modelizaciones a partir de algunas observaciones, predicciones que a veces conducen a otras observaciones, construcciones teóricas y la búsqueda de experimentos nuevos y cruciales.

Se cuenta con un amplio conocimiento sobre el efecto de las radiaciones en las células. En la actualidad existe consenso en que para todos los efectos de interés el blanco de la radiación es el ADN. La entrega por radiación ionizante ocurre por ionización y por excitación. Alrededor de la mitad de la energía depositada en las células es debida a excitaciones, pero tiene menores

consecuencias que la ionización. La energía depositada en el ADN afecta la molécula por ionización directa o por la acción de radicales libres que genera la ionización en la vecindad inmediata.

Los efectos inmediatos de tal deposición de energía son la pérdida o el daño de una de las bases o la pérdida de un segmento de la molécula de ADN. Existen mecanismos sofisticados y eficientes de reparación que usualmente contrarrestan el efecto, excepto en una pequeña proporción de casos, resultando lo que se llama una reparación fallida.

La existencia de la radiación natural de fondo reduce la importancia de la relación dosis respuesta para dosis cercanas a cero. Casi toda la información sobre cambios estocásticos en células irradiadas "in vitro", con radiaciones de bajo LET, puede ser resumida e interpretada del siguiente modo:

a) a bajas dosis (y aún a mayores dosis pero con baja tasa de dosis) es muy improbable que ocurra más de un evento ionizante, en las partes relevantes de la molécula de ADN, durante el lapso en que actúa el mecanismo de reparación. Teniendo en cuenta la distribución de Poisson de los eventos ionizantes, el pequeño exponente involucrado y una pequeña fracción de reparaciones fallidas, la relación dosis efecto resultará lineal, como es en realidad.

b) Con dosis y tasas de dosis mayores dos eventos ionizantes pueden combinar sus efectos antes de que el mecanismo de reparación pueda cancelar el efecto del primer evento, dando lugar a un incremento en la probabilidad de transformación del ADN que se refleja, en la relación dosis - respuesta, mediante en termino cuadrático en dosis.

Obviamente hay bastante distancia entre una célula transformada y un cáncer clínico. En la actualidad existe consenso en que el cáncer se inicia en una única célula. Cuando las células progenitoras de un tejido son irradiadas, es probable que ocurra mas de una transformación y el numero de tales transformaciones es una variable aleatoria Poissoneana con un valor promedio NP , donde N es el numero de células progenitoras y P es la probabilidad de transformación por célula. A su vez, esta probabilidad es una función lineal cuadrática de dosis.

Se puede demostrar que, si la célula modificada posee alguna ventaja en su desarrollo (un tiempo de división menor), la probabilidad total de que al menos una célula modificada resulte en una colonia de células que crezca sin límite, está también relacionada con dosis por una relación lineal cuántica.

Debería advertirse que a medida que la dosis aumenta, otro efecto sobre la célula se toma competitivo con las modificaciones: la interferencia con la división celular y muerte de la célula. Esto resultaría en una disminución de la probabilidad de inducción de cáncer.