

# EMERGENCIAS EN GAMMAGRAFÍA PREVENCIÓN Y MEDIDAS

**Autor: J.Alfredo Piera Pellicer**

**Conceptos generales.-** Se denominan situaciones de emergencia en gammagrafía a los accidentes que surgen en el trabajo rutinario, que tienen en común la imposibilidad de retornar la fuente a su blindaje por medios normales. Tales situaciones, en general, pueden y deben resolverse siguiendo pautas que implican la recepción de dosis de radiación bajas, pero la solución correcta supone un conjunto de experiencias y conocimientos, que en ocasiones rebasan los niveles profesionales que adquieren los operadores en Cursos de Gammagrafía, en los que se suelen enfatizar temas relacionados con la técnica, dejando los restantes en nivel inferior.

En muchas situaciones de emergencia, la recuperación de fuentes requiere no solamente un conocimiento detallado del sistema gammagráfico utilizado, sino también conocimientos y experiencia en Radioprotección, propios de expertos cualificados. Por esta razón, en situaciones de emergencia, es recomendable contar con la ayuda de tales técnicos, para lo cual, muchas firmas suministradoras tienen personal experto en emergencias, para facilitar este tipo de ayuda.

En general, la acción de los operadores en situaciones de emergencia, debería limitarse a establecer y mantener un área de acceso restringido en condiciones de seguridad, y notificar el incidente al supervisor. Sin embargo, existen ocasiones en las que resulta improbable recibir auxilio exterior en un tiempo razonable, en cuyos casos se requiere conocer y aplicar una serie de principios básicos, conducentes a la recuperación de la fuente.

El reconocimiento de la existencia de una situación de emergencia, se alcanza a través del manejo correcto del radiómetro o monitor de radiación, estableciendo los valores de la tasa de exposición que existe en los puntos clave de la instalación. Precisamente, la mayor parte de accidentes más frecuente son consecuencia inmediata de la inexistencia o ejecución defectuosa de la secuencia de comprobación radiométrica.

La adecuada serie de medida de niveles de radiación suministra un conjunto valioso de datos útiles para planificar las etapas de recuperación de la fuente, cuya localización es imprescindible, antes de proceder a cualquier otra operación.

**Existen tres situaciones típicas de emergencia:**

- Si en una gammagrafía convencional en la que se utiliza colimador, al comienzo de una etapa de retracción de fuente, no se aprecia un aumento brusco de la tasa de exposición (medida en la

unidad de control), la consecuencia es que la fuente se ha desconectado del cable propulsor, y en consecuencia permanece en el colimador.

- Si al retraerse la fuente se observa inicialmente un aumento paulatino de la tasa de exposición, pero en un momento dado se aprecia una gran resistencia al giro de la manivela en la unidad de control, persistien un nivel elevado de radiación, la consecuencia es que la fuente se encuentra bloqueada en el tubo guía, debido a cualquier tipo de obstrucción.
- Si la fuente se retrae normalmente, y al realizar la comprobación del nivel de radiación en la superficie del contenedor, se observa que la tasa de exposición es mucho mayor en la parte frontal de entrada, permaneciendo en su valor normal en las zonas laterales, el hecho significa que la retracción de la fuente en el blindaje no ha sido completa.

La etapa siguiente al reconocimiento de la situación de emergencia es la recuperación del control de la fuente. Esta fase requiere una planificación minuciosa y completa, que incluye un estadio cuidadoso de la situación entre los operadores y el supervisor.

Se debe evitar la toma precipitada de decisiones y acciones (lo cual no se hace en muchas ocasiones), ya que supone por lo general mayores esfuerzos, más tiempo, y dosis de radiación más elevadas. Por ejemplo, en cierta situación de emergencia se llegó a la conclusión que la causa de la imposibilidad de retracción de la fuente era la deformación de una sección del tubo guía. Los técnicos implicados en la tarea de recuperación decidieron usar una grúa manual para elevar el sistema gammagráfico, incluida la unidad de control y el tubo guía, para introducirlos en un bidón blindado. La idea motriz, en principio buena, era situar la fuente bajo un blindaje adecuado, pero la planificación fue defectuosa, ya que el sistema quedó en tal posición que resultaba imposible la reinscripción de la fuente en el contenedor.

Por ello, no quedó más solución que volver a sacar el gammógrafo del bidón, incrementando intolerablemente la dosis recibida por el personal de operación. Finalmente, se advirtió que en la operación precedente, se había deformado el tubo guía, lo que complicó adicionalmente la recuperación.

Al planificar la recuperación de una fuente en una emergencia, resulta de gran utilidad en muchas ocasiones realizar un simulacro *en frío*, en una zona adecuada apartada del área restringida. En este caso se debe medir la duración de cada una de las etapas previstas, para calcular así la cuantía de la dosis que recibirían los operarios en el trabajo real. Se debe tratar de realizar el simulacro, teniendo en cuenta todas las posibles variantes razonables, para elegir entre ellas la que conduzca a la recepción de dosis mínimas al personal de operación. Se debe igualmente ponderar las ventajas o desventajas de instalar blindajes adicionales.

En las operaciones de recuperación, es ventajoso blindar la fuente de la forma más eficaz posible. Es frecuente que en el área de operación existan materiales que puedan ser utilizados en estos casos. Por ejemplo, es posible a menudo colocar el tubo guía, de forma que la fuente expuesta se pueda mover tras la esquina de un edificio o cualquier tipo de material apilado. En otros casos más desfavorables, se requiere montar un blindaje adecuado para la protección del personal de operación.

El blindaje puede colocarse respecto a la fuente, directamente encima, o bien en posición lateral. En el primer caso y en especial si se utiliza material pesado, la operación debe hacerse siempre con gran precaución, pues caso contrario pueden dañarse componentes del sistema, o bien se puede disponer el material en forma inadecuada.

El blindaje debe estar constituido por una substancia, cuya densidad sea lo más elevada posible. En la práctica, se usan materiales tales como cemento, arena, viruta metálica, o bien lingotes o placas de hierro o plomo, cuyo espesor deberá calcularse previamente en función de la naturaleza y actividad de

la fuente, la distancia de operación y la dosis equivalente máxima autorizada, 100 mSv.

A menos que las circunstancias especiales de la operación requiera un blindaje total, es mejor disponer un blindaje parcial entre la fuente y el operador, de suerte que se produzca una zona de *sombra* que cubra el área de trabajo.

Las operaciones de materiales pesados con destino al montaje de blindajes, suelen realizarse con grúas, manuales o carretillas de carga. Los materiales más ligeros pueden transportarse entre dos operarios, sobre un tablón o en una carretilla manual.

En la realización de trabajos en condiciones de emergencia, puede ser necesario actuar en áreas en las que existan tasas elevadas de exposición. En tales casos, es imprescindible estimar la duración del trabajo para calcular previamente la dosis que se pueda recibir en la operación.

En ciertos casos puede ser necesario la medida de tasas de exposición, más elevadas que las incluidas en la escala más alta de los radiómetros.

Si no se dispone de un instrumento idóneo, la medida en principio puede realizarse colocando durante un cierto tiempo un dosímetro de lectura directa en la zona de trabajo, operación que puede realizarse montando el dosímetro en el extremo de una pértiga de longitud adecuada. La operación descrita posibilita el cálculo de tasas de exposición en áreas próximas a la fuente, sin que el operador reciba una dosis excesiva.

Es muy importante elegir unas condiciones de trabajo, de forma que la distancia entre la fuente y el operador sea la mayor posible. En especial, debe tenerse muy en cuenta que si la fuente o el tubo guía que la mantenga debe desplazarse, la manipulación en ninguna circunstancia debe hacerse manualmente, pues en caso contrario se podría recibir en las manos dosis muy elevadas.

En estos casos debe usarse una pértiga, lo más larga posible: *un clavo en un extremo puede actuar como gancho*.

Si el tubo guía está forrado por algún tipo de cinta adhesiva, ésta puede cortarse con una cuchilla de afeitar convenientemente sujeta en el extremo de una pértiga. Se puede suplir una cinta larga, mediante unos alicates a cuyos brazos se unen sendas pértigas.

En general resulta difícil una enumeración exhaustiva de materiales y herramientas que deban ser transportados en el vehículo para afrontar posibles emergencias. En cada instalación, el Plan de Emergencia debe incluir, mínimo necesario para afrontar con éxito tales operaciones.

**Los accidentes en gammagrafía.**- A lo largo de la descripción de los instrumentos y técnicas utilizadas en gammagrafía, y teniendo en cuenta la actividad elevada de las fuentes radiactivas utilizadas, se ha insistido reiteradamente en la importancia de seguir fielmente la normas de Protección Radiológica por una parte, y por otra el Reglamento de Funcionamiento y el Plan de Emergencia de la Instalación. Tales condicionamientos explican la necesidad de un entrenamiento adecuado del operador, tanto en el trabajo rutinario, como en situaciones de emergencia.

Este preámbulo es tanto más pertinente, cuanto la estadística de accidentes radiológicos con superación de alguno de los límites anuales muestra, en el caso de la gammagrafía industrial, un porcentaje superior al de otros trabajadores profesionalmente expuestos a la radiación.

El porcentaje en el caso de exposiciones graves ( $H > 0,25$  Sv en todo el cuerpo ó 3,8 Sv en manos) es igualmente significativo, ya que aproximadamente el 70% de tales accidentes, se deben a manejo

inadecuado de sistemas gammagráficos industriales.

Estos valores elevados de los porcentajes de accidentes pueden llevar a la conclusión errónea de que la gammagrafía industrial se realiza en condiciones pobres de radioprotección. Por el contrario, la disminución de esperanza de vida es aquí inferior a la de otras profesiones consideradas tradicionalmente seguras.

A nivel mundial, se realizan unos 10 millones de gammagrafías anuales por unos miles de operadores, lo cual indica que el porcentaje de accidentes mortales es realmente muy bajo. Sin embargo, el hecho de que el riesgo de daño grave, no mortal, pueda ser alto, obliga a revisar las circunstancias en que tienen lugar, a fin de realizar un esfuerzo exhaustivo para reducir su número a cifras tan bajas como sea razonablemente posible.

**Las causas de los accidentes en gammagrafía.-** Un estudio minucioso de los accidentes en gammagrafía, tanto de causas como de circunstancias, ha puesto de manifiesto que, en los casos más habituales, son consecuencia de los siguientes fallos:

- Retracción insuficiente de la fuente hasta su posición de seguridad en el contenedor.
- El operador no realiza, o lo hace de forma incompleta, las medidas de nivel de radiación en el contenedor y en tubo guía.
- El operador no bloquea eficazmente la fuente, una vez alcanzada la posición de seguridad.

La consecuencia común de los accidentes descritos es que la fuente queda expuesta o incompletamente blindada, aún cuando el operador supone que se encuentra en la posición segura.

Los accidentes más repetidos proceden de la retracción incompleta de la fuente, la cual queda en posición más o menos próxima a la boca de salida del contenedor. Este caso se presenta aproximadamente en la cuarta parte de los accidentes; entre las posibles causas, las más repetidas son:

- La fuente queda trabada en la zona vecina a la unión entre el tubo guía y la boca de entrada del blindaje.
- La fuente queda correctamente retraída en su posición de seguridad, pero la manivela de mando retrocede indebidamente, al llegar el tope de bola del cable a la posición de parada.
- Tensión anormal en el cable de control, que ocasiona empuje de la fuente hacia el exterior.
- Curvatura excesiva en el tubo guía cerca del contenedor que da lugar a que la fuente quede trabada antes de alcanzar la posición de seguridad.

La siguiente causa de accidentes resulta del olvido del operador de retraer la fuente al concluir una gammagrafía. Tal fallo genérico, olvido de realizar alguna de las etapas en una operación secuencial, es menos frecuente aquí que en otras operaciones industriales, pues la gravedad de esta emisión hace que, en condiciones normales, el operador mantenga un adecuado nivel de vigilancia.

La tercera causa de accidentes es el debido a que la fuente radiactiva se bloquea en algún punto a lo largo de su recorrido. Esta situación se produce cuando el tubo guía se deforma como consecuencia del impacto o aplastamiento por un objeto pesado, o cuando forma una curvatura excesivamente cerrada. Los tubos guías rígidos, usados en circunstancias especiales, se deforman fácilmente si se los curva, lo que ocasiona dificultad o incluso imposibilidad de paso de la fuente cuando alcanza una zona deformada.

En cuarto lugar, se origina una emergencia cuando la fuente se desconecta del cable de control, lo cual puede suceder si la conexión de la fuente no se realiza correctamente al comenzar el trabajo, o el conductor se encuentra desgastado o bien se rompe el cable de control.

Entre otros casos de accidentes más infrecuentes, se encuentran los ocurridos en instalaciones gammagráficas en recinto blindado, donde en ocasiones los operadores deben manejar dos fuentes de distintas energías y, equivocan la secuencia de maniobra, al exponer una fuente, en vez de retraer la fuente previamente expuesta. En estas circunstancias, al efectuar el control de nivel de radiación no pueden comprender como al exponer y retraer repetidamente la fuente supuestamente culpable, no desciende la tasa de exposición y así llegan a la conclusión errónea de que el monitor de radiación se encuentra averiado, y siguen efectuando su trabajo.

Finalmente, y dentro de los casos infrecuentes, existe el fallo debido a fatiga o distracción, al confundir la posición *fente retraída* con la de *fente expuesta*. Finalmente, en algunos casos se dejaron fuentes expuestas intencionadamente por operadores disconformes con superiores, otros trabajadores, o con el trato o salarios recibidos.

**La importancia del control de nivel de radiación.-** Una fuente radiactiva que se encuentra fuera del blindaje, puede ser localizada con prontitud si se usa correctamente y se dispone de un monitor de radiación: en tos casos, la pronta detección de un nivel elevado de radiación, hace improbable que el operador sufra una sobreexposición.

Para que se valore debidamente la importancia de este control, se debe decir que en los estudios realizados sobre exposiciones elevadas de personal en gammagrafía, aproximadamente la mitad se debieron al fallo del operador, al omitir la importante etapa de comprobación. Aunque es difícil establecer las causas de este fallo, cabe hacer notar que el operador, en muchos casos, descuida controles que supone no muy necesarios, debido a que conoce la baja probabilidad de los fallos a detectar. Hay que insistir, no obstante, que estas omisiones pueden ser causa de accidentes muy graves.

Otra causa de sobreexposición está relacionada con la realización de comprobaciones incompletas del nivel de radiación. Tal situación presenta, por ejemplo, en la retracción incompleta de la fuente, de forma que ésta quede próxima a la boca de salida del contenedor. Si se omite la inspección del nivel de tasa de exposición en la parte delantera del contenedor, no será posible detectar el fallo indicado.

Las averías en los monitores de radiación, y las confusiones de interpretación de lectura de instrumentos que funcionan correctamente, pueden igualmente ser causa de sobreexposiciones. Por ejemplo, ante la lectura de un instrumento que indica un nivel nulo de radiación, el operador puede concluir que la fuente está situada en su posición de seguridad en el blindaje. Se debe tener muy presente que la lectura del monitor nunca será nula con la fuente retraída, y de ser así, es seguro que el instrumento utilizado sufre algún tipo de avería, en cuyo caso el operador deberá sustituirlo por otro de funcionamiento correcto, antes de seguir la tarea en curso.

Hay otro caso que conduce a sobreexposiciones, consistente en que ante una lectura elevada del monitor, el operador supone que se trata de funcionamiento anómalo del instrumento, al creer erróneamente en la imposibilidad de un nivel tan elevado de radiación. Ante una lectura elevada, el operador debe concluir siempre que la causa es una fuente expuesta y nunca supone avería del monitor, en cuya posibilidad sólo se debe pensar cuando se conozca con seguridad que no se encuentre expuesta ninguna fuente.

En general, los operadores de gammagrafía en su mayoría conocen su profesión a nivel adecuado en condiciones normales de operación, pero encuentran dificultades cuando se encuentran en condiciones inusuales o inesperadas. Tal situación tiene su origen, en general, a que en muchos cursos de entrenamiento no se contemplan, ni descripciones de accidentes en instalaciones con discusión de causas, ni formas genéricas de actuación en caso de emergencia, ni tampoco comprenden sesiones prácticas que cubran razonablemente la formación completa del operador.

**El sistema de seguridad de bloqueo de la fuente en el contenedor.-** El sistema de bloqueo de

la fuente en el contenedor, no puede ser accionado en la mayor parte de equipos, a menos que la fuente se encuentre situada en la posición de seguridad en el blindaje. De esta forma, la facilidad de retirar el cierre de protección, o en hacer girar el anillo de bloqueo ya indican que la fuente se encuentra en su posición, lo cual constituye un tercer nivel de protección. Así, un primer nivel viene establecido por la facilidad de operación de retracción de la fuente; un segundo nivel, por las indicaciones correctas del monitor al comprobar el nivel de tasa de exposición en todas las superficies del contenedor. El tercer nivel sería el citado, de bloqueo de movimiento de la fuente.

Otra ventaja del bloqueo correcto de la fuente, es que ésta no puede moverse durante el transporte, circunstancia que evita que se pueda desplazar y situar en posición tal, que produzca exposiciones anormales a personal de operación o incluso al público en general.

**La causa de los accidentes.-** Hemos descrito unas situaciones que pueden conducir a distintos accidentes, pero es importante conocer las causas a nivel de los propios operadores, que conducen a exposiciones excesivas.

En muchas ocasiones es prácticamente imposible llegar a conocer con certeza la participación del operador, en lo referente a la acción u omisión causante de la sobreexposición. Los preceptivos informes sobre accidentes, no dan indicaciones sobre este punto, a causa de que las motivaciones íntimas del operador no pueden ser realmente conocidas, ya que éste o no las conoce conscientemente, o no quiere comunicarlas. Con todo, la investigación realizada sobre un gran número de accidentes, ha podido establecer un cuadro general de las causas que los han producido.

Con relación a los fallos de equipo, se debe decir que un sistema de gammagrafía correctamente mantenido y operado no suele ser la causa primaria del accidente., sin que medie algún error por parte del operador. Se puede, en general, concluir que los fallos de equipo no son causa preponderante en las sobreexposiciones de operadores.

En segundo lugar, se discuten los fallos debidos a un entrenamiento inadecuado, siendo ésta la causa a la que se atribuyen la mayor parte de accidentes. Esto no es completamente cierto; por ejemplo, si la causa de un accidente es que el operador no efectuó el control de nivel de radiación, tal fallo suele atribuirse a insuficiencia de entrenamiento. Sin embargo, si se envía a este operador a un curso de postformación, al tratarse de temas sobre la forma e importancia de realizar controles de nivel de radiación, el técnico no suele concentrar su interés sobre estas lagunas de su formación, ya que suele actuar el prejuicio de suficiencia, de que los temas expuestos ya los conoce, y en consecuencia su deficiencia básica se mantiene.

En estudios comparativos realizados sobre un cierto número de accidentes, se ha comprobado que es circunstancia poco frecuente que el operador tenga un grado muy deficiente de entrenamiento básico, pero si es mucho más frecuente su incapacidad de reacción correcta en situaciones de emergencia. Por esta razón, se debe insistir que en los cursos de entrenamiento deben existir sesiones teóricas y prácticas que planteen casos de emergencia escogidos, con discusión de planificación y metodología de operación. Tal método pedagógico puede contribuir de forma importante a la reducción del número e importancia de los posibles accidentes.

**El factor humano.-** Del conjunto de casos y situaciones citadas puede inferirse que las sobreexposiciones se producen cuando una fuente no queda suficientemente blindada, y no se realiza correctamente la medida de la tasa de exposición en los puntos requeridos. Sin embargo, estas causas primarias van ligadas a otras secundarias, que dependen en gran medida de alteraciones físicas y psíquicas de los propios operadores.

Las causas personales que contribuyen de forma importante a un gran número de accidentes, corresponden

a estados variables de tensión emocional de los operadores, que no les permite alcanzar la necesaria concentración en su trabajo. La razón primaria puede ser cansancio, enfermedad, preocupación, prisa o atención a otras cosas ajenas al propio trabajo. Muchos estudios han puesto de manifiesto la vulnerabilidad a fallos de operadores tras una disputa o desavenencia familiar.

Conviene prestar atención a determinadas señales de alerta en la conducta de los operadores, que pueden ser causa de fallos y accidentes. Entre estas se encuentran la irritabilidad persistente, hiperexcitación, consumo excesivo de bebidas alcohólicas o drogas, la tendencia dominante de ser el mejor, comportamiento impulsivo, incapacidad de concentración, evasión de la realidad, fatiga, temor indeterminado, insomnio, incapacidad de permanecer sentado durante largo tiempo, sufrir frecuentes pesadillas o, finalmente, ser persona propensa a sufrir accidentes.

Igualmente, debe saberse que la estimulación excesiva puede ser causa de accidentes, como lo es igualmente la baja estimulación o carencia en incentivos profesionales. Si el trabajo es monótono, repetitivo o tedioso, disminuye el grado de atención y crece la probabilidad de accidente.

Si un operador advierte que se encuentra por alguna razón con excesiva tensión emocional, o que no puede concentrarse en su trabajo, debe afrontar la situación inmediatamente, tomando un descanso, o solicitando ayuda a otros compañeros y al supervisor. El operador debe identificar cualquier tipo de circunstancias inusuales que pueden potencialmente ser causa de accidentes, y en tales casos adoptar las medidas más convenientes.

El operador debe tener muy presente que su actuación dependerá siempre de lo que cree conocer o saber, y no de lo que realmente conoce. Por ejemplo, si un operador cree que la fuente se encuentra en posición segura, tenderá a desatender toda señal que le advierta de su errónea operación. Un operador oye sonar una alarma, y en algunos casos opina que funciona indebidamente, en lugar de adoptar la posición conservadora de suponer que la fuente se encuentra expuesta. Una lectura excesiva de un dosímetro es interpretada como una avería del instrumento. Los radiómetros con alarma acústica no se escuchan, aunque si se oyen. La imposibilidad de liberar el sistema de bloqueo de la fuente, se interpreta como un fallo en este mecanismo.

Una norma de actuación, se debe seguir siempre, es que en todos los casos expuestos y en otros análogos, se debe siempre suponer que sucede lo peor y actuar en consecuencia. Hasta que la situación se encuentre con seguridad bajo control, hay siempre el riesgo de que el incidente sea serio, y en caso de ser desatendido, puede causar una sobreexposición grave.

Véase como ejemplo, el caso del operador que trabajaba en una central térmica, en la que existía un ambiente muy contaminado con ceniza en polvo muy fino. En un instante determinado, la indicación de su monitor de radiación alcanzó el fondo de escala, aunque no se oía sonar el zumbador del instrumento, indicador de franqueo del nivel de alarma. El operador interpretó el comportamiento del monitor como avería debida al polvo ambiental.

A continuación el operador procedió a efectuar la maniobra de retracción de la fuente, pero al intentar realizar el bloqueo con el contenedor, la operación resultó imposible, por lo que procedió de nuevo a la exposición y retracción de la fuente, observando durante la maniobra que la indicación del monitor de radiación se mantenía fuera de la escala, lectura que persistió incluso cuando el operador se alejó 10 metros del contenedor.

Estas circunstancias llevaron al operador a confirmar su primera idea, de que el monitor se encontraba averiado, pero que la fuente se encontraba en posición segura, achacando la imposibilidad de rotación del anillo de bloqueo como agarrotamiento mecánico debido al polvillo ambiental. Entonces con objeto de asegurar la fuente, procedió a desconectar el tubo guía del contenedor, advirtiendo entonces que la fuente

se encontraba fuera del blindaje.

Lamentablemente, las conclusiones del operador eran erróneas. Como se demostró en la reconstrucción del incidente descrito, tanto el monitor de radiación como el mecanismo de bloqueo funcionaban perfectamente. Como se comprobó posteriormente, el polvo en suspensión había avía averiado el zumbador del monitor, impidiendo el funcionamiento de la señal acústica de alarma, y además había dificultado el movimiento del sistema de cable de transporte, con el resultado de que la fuente no alcanzaba la posición de seguridad. Finalmente se estimó que como consecuencia de su error, el operador recibió en manos una dosis de 1,25 Vs y en cristalino 19 mSv.

La sobreexposición del operador protagonista del accidente, fue debida al fallo de no confirmar la supuesta avería de su monitor de radiación, y el suceso pudo haber sido evitado si el operador hubiera usado otro de los monitores de que disponía, para confirmar la realidad de las lecturas elevadas.

No conviene olvidar nunca que es un defecto humano muy extendido, el que afirmamos ver lo que creemos ver, si nuestros ojos no coinciden con nuestra apreciación, entonces ignoramos simplemente lo que vemos.

**La actuación de operadores en situación de emergencia.-** Como resumen de la actuación de operadores de gammagrafía en situación de emergencia, en condiciones genéricas, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Una vez el operador compruebe que se encuentra en situación de emergencia, procederá en primer lugar a alejarse de la fuente expuesta hasta una distancia en la que la tasa de exposición sea del orden de 2,5 mR/h, procediendo seguidamente a la acotación de la zona controlada. Una vez concluida esta fase, el operador deberá planificar cuidadosamente su actuación posterior, delimitando las acciones que pueda realizar a nivel de su capacitación y comunicando inmediatamente el suceso al supervisor, a fin de que éste, a ser posible, sea el coordinador de las operaciones de emergencia.
- La preparación del plan de acción debe realizarse, manteniendo vigilancia para impedir el acceso a la zona controlada de personal no autorizado. El plan de actuación se basará en el conocimiento de las peculiaridades de la instalación, tales como naturaleza y actividad de la fuente radiactiva y fabricante del equipo gammagráfico.
- Se deben buscar todo tipo de recursos de disponibilidad local, tales como hombres, máquinas, equipo y blindajes.
- Se deben estudiar las posibles técnicas adecuadas para reintroducir la fuente en su blindaje. Si la fuente se encuentra aún en el tubo guía, se debe ponderar la alternativa de elevar el extremo del tubo mediante telemanipulación o bajando el nivel del contenedor para facilitar que la fuente retorne a su blindaje por la acción de la gravedad. En contenedores con el canal de blindaje lineal, la acción descrita puede ser suficiente para llevar a la fuente a su posición segura, pero en los blindajes de conducto sigmoidal, no es probable que esta acción se pueda realizar de forma completa, ya que para alcanzar la posición segura se requiere efectuar una cierta presión sobre la fuente. No obstante, siempre será posible lograr una posición de blindaje parcial, situación que puede simplificar cualquier actuación posterior.
- Si no es posible usar el contenedor original y se prevé que debe transcurrir un cierto tiempo hasta disponer de un blindaje alternativo, se deben concentrar los esfuerzos iniciales en reducir el área de la zona controlada.
- Se deben considerar todos los medios para mantenerla fuente bajo un blindaje provisional, o si la fuente se encuentra en el tubo guía, situar el conjunto gammagráfico completo en un blindaje adecuad. Todas las posibles acciones para alcanzar estos objetivos deben ser ensayadas en áreas frías y medidos los tiempos mínimos de operación alcanzados, a fin de evaluar las posibles dosis que serían recibidas en la operación real.

- Se pueden alcanzar reducciones significativas en las dosis recibidas por los operadores en situaciones de emergencia, mediante el uso de equipos simples, tales como guantes y mandiles plomados y herramientas, hachas o cizallas de mango largo, para cortar el tubo guía y liberar así la fuente. Unos gemelos o prismáticos pueden ser también de gran utilidad.
- El blindaje dispuesto inicialmente para apantallar la radiación en una dirección, puede usarse como base para ampliarlo convenientemente con vistas a otras operaciones. Para este propósito, se pueden usar tanto los colimadores como el propio contenedor. Para la manipulación de fuentes se debe disponer de pinzas con mango de unos 2 metros; este útil deberá ser parte integrante en el equipo mínimo requerido para el trabajo rutinario. Es necesario que los operadores practiquen su manejo hasta lograr soltura en la sujeción y manejo de la fuente, entrenamiento que debe ser realizado con una fuente inactiva.

## **FACTORES QUE REDUCEN EL RIESGO DE ACCIDENTES**

**La seguridad del equipo como resultado del diseño.-** Un criterio básico de seguridad que deben seguir el diseñador, el fabricante y el vendedor de cualquier dispositivo requerido en cualquier trabajo estipula que *debe asegurar, hasta un límite razonablemente posible, que el producto ha sido diseñado y fabricado en condiciones de que su funcionamiento sea seguro, sin riesgos significativos para la salud, cuando se usa adecuadamente según normas prefijadas.*

La seguridad inherente de los sistemas de gammagrafía presupone no solamente el seguimiento completo de las normas de funcionamiento, sino también todas las operaciones de mantenimiento y comprobación que deben realizarse en los plazos previstos en los manuales de operación.

Se debe aquí indicar que en las operaciones de mantenimiento hay un cierto número de casos sencillos que los propios operadores pueden realizar tras una fase de adiestramiento. En cambio, otras más complejas deben ser confiadas únicamente a expertos de la empresa fabricante.

**El entrenamiento de los operadores.-** Se ha visto en el capítulo precedente la importancia del entrenamiento a nivel adecuado de operadores, que conduce a la minimización de los fallos personales en las operaciones habituales, y que evita que muchos incidentes se conviertan en accidentes. Igualmente, tiene gran interés la formación lo más completa posible, del operador, en situaciones de emergencia, y la formación continuada destinada a la actualización de conocimientos.

## **LA EXPERIENCIA ADQUIRIDA EN ACCIDENTES DE RADIACIÓN**

En general, uno de los más eficaces sistemas de disminuir los accidentes, tanto en número como en gravedad, consiste en el estudio detallado de casos en los que se conocen razonablemente las causas y circunstancias que los motivaron. Los accidentes de gammagrafía, igualmente, han proporcionado una experiencia conducente a normas de operación más eficaces y seguras.

Una de las mayores dificultades que presenta la evaluación de accidentes de irradiación es la identificación de su causa. Esta evaluación debe realizarse teniendo en cuenta muchos factores, pero en forma primaria depende de la capacidad profesional del investigador, quien debe actuar basándose en principios tanto objetivos como subjetivos. En general, se deben distinguir las causas asociadas con la pérdida de control de fuentes radiactivas y las causas ligadas a la exposición accidental de individuos.

**Las causas más frecuentes se agrupan en las siguientes clases:**

**Fallos de gestión.-** Este tipo de fallos, aproximadamente un 6% del total, comprende las siguientes variantes:

- Carencia de procedimientos.
- Procedimientos inadecuados o insuficientes.
- Equipos de trabajo inadecuados (herramientas, dispositivos, máquinas).
- Equipos de protección inadecuados
- Formación y entrenamiento incompletos.
- Supervisión y control inadecuados.

**Fallos de operación.-** Este tipo de fallos personales son los más numerosos, ya que alcanzan a una medida del 52% de los casos. Las causas más frecuentes se distribuyen en las siguientes clases:

- Errores genéricos en la planificación y ejecución de operaciones (técnicas pobres o inadecuadas).
- Errores específicos en la observación de tareas de protección y comprobación (fallo en uso de métodos de protección, errores en estimaciones dosimétricas).

**Fallos de equipo.-** Este tipo de fallos es el más frecuente después del fallo personal; pues abarca el 28% de casos en medida. Entre los fallos de este tipo destacan:

- Fallos básicos en la planificación, diseño y construcción de equipos.
- Fallos en la ingeniería de seguridad, debido a defectos consecuencia del uso (material, desgastes).
- Fallos de comprobación de niveles de radiación en sistemas en operación (avería en sistemas de señalización o monitores).

**Otros fallos.-** En esta categoría se abarcan los casos no catalogables en las anteriores que comprenden en media un 14% de casos, se incluyen otros accidentes, tales como aplastamiento de contenedores o tubos guía.

No se pretende que esta clasificación sea completa, aunque si es cierto que constituye en el momento actual una base adecuada para la caracterización de accidentes.

Por otra parte, conviene advertir que no todos los accidentes tienen una sola causa, ya que no es infrecuente que confluyan dos o más causas a la vez. Por esta razón, las causas se clasifican en primarias y secundarias.

Las causas primarias son las predominantes en un accidente y pueden ser únicas. Las secundarias son las de menor importancia, asociadas a causas primarias.

Las causas primarias en accidentes de radiación se deben a un fallo del operador, seguida en cuantía muy inferior por fallos de equipo, fallos de procedimiento y otros fallos.

## **CONSECUENCIA DEL ESTUDIO DE ACCIDENTES**

De la consideración de la naturaleza e importancia de los accidentes de sobreexposición, se han alcanzado ciertas conclusiones que permiten reducir el riesgo en las operaciones.

La primera conclusión ha sido la gran importancia de la experiencia conjuntada del diseñador y del fabricante de los equipos y del supervisor y del operador, de cuya complementación de tareas depende en gran extensión la minimización del riesgo.

Igualmente, se ha demostrado que, mediante adecuados planes de seguridad, se pueden evaluar *a priori* los riesgos de accidentes potenciales. Obviamente, es imposible llegar a la predicción de cualquier accidente posible, pero, en todo caso, el estudio de los casos más frecuentes permite una reducción

substancial del riesgo.

Otra forma importante de la reducción de la cuantía del riesgo, se basa en la actuación correcta del propio trabajador, ya que no debe olvidarse que la causa principal del fallo personal es la inadecuada comprensión de las normas de actuación en relación con el trabajo específico realizado. Por ejemplo, en un porcentaje elevado de accidentes, el operador falla en alguna de las preceptivas inspecciones del nivel de radiación, aunque dispone de instrumental necesario y conoce la normativa de utilización. De esta forma, ocurren los accidentes en el fallo de retracción de fuentes, al ignorar o menospreciar la comprobación de la tasa de dosis al terminar la operación, lo que hubiera permitido conocer la anomalía antes que la dosis recibida por el trabajador alcance valores críticos.

Se debe aún insistir en que el estudio de un gran número de accidentes en gammagrafía, ha puesto de manifiesto que el esfuerzo más promisorio en la reducción global de sobreexposición viene directamente ligado a la reducción de errores del operador. De este hecho se concluye la gran importancia y la necesidad de una formación profesional cuidadosa y a nivel adecuado del trabajador, para así realizar con seguridad su trabajo rutinario.

Sin embargo, esta formación exclusivamente a nivel de trabajo en condiciones normales, puede resultar insuficiente al verse complicada la rutina al surgir un accidente. Esta circunstancia hace ver la necesidad de perfeccionar el entrenamiento del operador, al extender su efectividad para actuar correctamente en situaciones de emergencia.

El alto porcentaje de fallos atribuibles a errores del operador, sugiere que estos profesionales presentan carencias más o menos acentuadas en áreas tales como entrenamiento, comunicación, motivación y aptitud, parte de las cuales son imputables al propio trabajador, pero otras constituyen lagunas en la comunicación director-supervisor-operador.

Una de las mayores dificultades que se plantean en la evaluación global de accidentes de sobreexposición es la identificación de sus causas, tema difícil en muchos casos, ya que una acción impropia puede ser el resultado de otros fallos de más difícil detección.

La experiencia extraída hasta el momento en las causas de fallos y en las medidas prácticas para evitarlos, conduce a las siguientes normas generales:

- El mayor potencial en la reducción de accidentes de radiación se alcanza mediante la disminución del número de errores, en cuya consecución tiene un papel fundamental el establecimiento de un adecuado Reglamento de Funcionamiento y Plan de Emergencia. La continua labor del Supervisor, velando por el adecuado cumplimiento de la normativa, es la base para este propósito.
- La reducción de errores se alcanza mayoritariamente por la actuación correcta de los operadores, tanto en situación normal como en condiciones de emergencia. Tal condición supone, por una parte, una selección de personal, cuya aptitud física y psicológica sea adecuada y por otra, una formación profesional tanto inicial como continuada

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Barnet, M., y otros:** "Symposium on the perfection of the risk of radiation medical risk and the public". Am. Jour. of Roentgenology 140: 598, 1983.
  2. **Bok, B., y otros:** "Mutations technologiques et reductions de l'irradiation du malade". Journées de Radiologie 62, n° 11, 581-585, 1980.
  3. **Buchet, R., Fouré, C.:** "Comment lutter tous les jours contre l'irradiation abusive en radiodiagnostic". Journées de Radiologie 62, n° 11, 592-594, 1980.
  4. **Calzado A, Vaño E, Morán P, Castellote C, Ruiz Sanz S, González L.** Estimation of doses to patient from "complex" conventional X-ray examinations. Br J Radiol 1991; 64: 539-546.
  5. **Consejo de Europa.** Directiva 84/466/EURATOM.
  6. **Chaney, E.L.; Batchelor, D.A.:** "Analytic formulae for estimation of dose along the central ray of diagnostic X-Ray beams". Med. Phys. 8 (2), Mar/Apr, 225-227, 1981.
  7. **Dutreix, A.:** "Dosimetry of high energy photon beams in nonhomogeneous media". pag. 345-365. "Advances in radiation protection and dosimetry in medicine". Ed. R.H. Thomas and V. Pérez Méndez, 1980.
  8. **Foulkner, K y otros:** "Assesment of the radiation dose receive by staff using fluoroscopy equipament". Radiology, 146: 868, 1983.
  9. **Grossmendt, B.:** "Beckscatter factors for X-Ray generated al voltages between 10 and 100 Kv." Phys. Med. Biol., Vol. 29, n° 5, 579-591, 1984.
  10. **Heang-Ding Chan and Kumio Doi:** "Radiation dose in diagnostic radiology: Monte Carlo simulation studies." Med. Phys., Vol.2, n° 4, 1984.
  11. **ICRP 16:** "Protection of the patient in X-Ray diagnosis." Pergamont Press. Oxford, 1970
  12. **Jankowsky, J.:** "Organ doses in diagnostic X-Ray procedures." Health Physics. Vol. 46, n° 1, 228-234, 1984.
  13. Legislación Española. Real Decreto 1891/1991.
  14. Legislación Española. Real Decreto 53/92
  15. Legislación Española Real Decreto 2071/1995
  16. **Mazzaferro y cols.:** "The incidence and causes reapeated radiographic examinations in a community hospital." Radiology, 120, 227-229, 1976.
  17. **Piera Pellicer J.A.,** Protección Radiológica en Medicina. Valencia. 1988
  18. **Piera Pellicer J.A.** Contactoterapia. Clasificación y Legislación. Congreso Nacional de Dermatología. Libro de Actas, 1990
  19. **Piera Pellicer J.A.** Protección Radiológica en Radiología Básica. Congreso Nacional de Médicos Titulares. Libro de Actas, 1994
  20. **Piera Pellicer J.A.,** A New Radiological Imaging Technique Employing a Fluoroscopic Systema. Research In Surgery.133-136. 1994
- Piera Pellicer J.A.,** Visiografo Experimental. Policía Científica. 107 Policia. 51-53.1995
- Shrimpton PC, Wall BF, Jones DG, Fisher ES, Hillier MC, Kendall GM.** A national survey of doses to patients undergoing a selection of routine X-ray examinations in english hospitals. NRPB Report 1988.