

Protección radiológica

Vigilancia ocupacional de los trabajadores expuestos a un riesgo de contaminación interna por material radiactivo

(ISO 20553:2006)

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico CTN 73 *Energía nuclear, tecnologías nucleares y protección radiológica*, cuya secretaría desempeña UNE.

UNE-EN ISO 20553

Protección radiológica
Vigilancia ocupacional de los trabajadores expuestos a un riesgo de contaminación
interna por material radiactivo
(ISO 20553:2006)

Radiation protection. Monitoring of workers occupationally exposed to a risk of internal contamination with radioactive material (ISO 20553:2006).

Radioprotection. Surveillance professionnelle des travailleurs exposés à un risque de contamination interne par des matériaux radioactifs (ISO 20553:2006).

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 20553:2017, que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 20553:2006.

Las observaciones a este documento han de dirigirse a:

Asociación Española de Normalización

Génova, 6
28004 MADRID-España
Tel.: 915 294 900
info@une.org
www.une.org
Depósito legal: M 36282:2018

© UNE 2018

Publicado por AENOR INTERNACIONAL S.A.U. bajo licencia de la Asociación Española de Normalización.

Reproducción prohibida

ICS 13.280

Versión en español

Protección radiológica
Vigilancia ocupacional de los trabajadores expuestos a un riesgo
de contaminación interna por material radiactivo
(ISO 20553:2006)

Radiation protection. Monitoring of workers occupationally exposed to a risk of internal contamination with radioactive material (ISO 20553:2006).

Radioprotection. Surveillance professionnelle des travailleurs exposés à un risque de contamination interne par des matériaux radioactifs (ISO 20553:2006).

Strahlenschutz. Überwachung von beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen ein Risiko der Kontamination mit radioaktiven Stoffen besteht (ISO 20553:2006).

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2017-09-13.

Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional. Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales pueden obtenerse en el Centro de Gestión de CEN/CENELEC, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada al Centro de Gestión de CEN/CENELEC, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Antigua República Yugoslava de Macedonia, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Serbia, Suecia, Suiza y Turquía.



COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung
CENTRO DE GESTIÓN: Rue de la Science, 23, B-1040 Brussels, Belgium

© 2017 CEN. Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

Índice

Prólogo europeo	5
Declaración.....	5
Prólogo	6
0 Introducción.....	7
1 Objeto y campo de aplicación.....	7
2 Normas para consulta	8
3 Términos y definiciones.....	8
3.1 Tipos de absorción.....	8
4 Símbolos y abreviaturas	12
5 Objetivo y justificación de los programas de vigilancia	13
6 Niveles de referencia.....	16
7 Programas de vigilancia rutinaria (programas de vigilancia sistemática)	16
7.1 Aspectos generales	16
7.2 Vigilancia del entorno de trabajo	17
7.3 Vigilancia individual.....	18
7.4 Métodos e intervalos de tiempo	20
8 Programas de vigilancia especial	23
8.1 Aspectos generales	23
8.2 Vigilancia del entorno de trabajo	23
8.3 Vigilancia individual.....	24
9 Programas de vigilancia asociada a una tarea.....	26
9.1 Aspectos generales	26
9.2 Vigilancia del entorno de trabajo	26
9.3 Vigilancia individual.....	27
10 Casos especiales de vigilancia individual	27
10.1 Actínidos.....	27
10.2 Contaminación de heridas	28
10.3 Contaminación cutánea.....	28
11 Registros, documentación e información de resultados.....	28
11.1 Registros y documentación.....	28
11.2 Información de los resultados	30
12 Gestión de calidad	31
Bibliografía	32

Prólogo europeo

El texto de la Norma ISO 20553:2006 del Comité Técnico ISO/TC 85 *Energía nuclear, tecnologías nucleares y protección radiológica*, de la Organización Internacional de Normalización (ISO), ha sido adoptado como Norma EN ISO 20553:2017 por el Comité Técnico CEN/TC 430 *Energía nuclear, tecnologías nucleares y protección radiológica*, cuya Secretaría desempeña AFNOR.

Esta norma europea debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a ella o mediante ratificación antes de finales de abril de 2018, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de abril de 2018.

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de este documento estén sujetos a derechos de patente. CEN no es responsable de la identificación de dichos derechos de patente.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, están obligados a adoptar esta norma europea los organismos de normalización de los siguientes países: Alemania, Antigua República Yugoslava de Macedonia, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Serbia, Suecia, Suiza y Turquía.

Declaración

El texto de la Norma ISO 20553:2006 ha sido aprobado por CEN como Norma EN ISO 20553:2017 sin ninguna modificación.

Prólogo

ISO (Organización Internacional de Normalización) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización (organismos miembros de ISO). El trabajo de preparación de las normas internacionales normalmente se realiza a través de los comités técnicos de ISO. Cada organismo miembro interesado en una materia para la cual se haya establecido un comité técnico, tiene el derecho de estar representado en dicho comité. Las organizaciones internacionales, públicas y privadas, en coordinación con ISO, también participan en el trabajo. ISO colabora estrechamente con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en todas las materias de normalización electrotécnica.

Las normas internacionales se redactan de acuerdo con las reglas establecidas en la Parte 2 de las Directivas ISO/IEC.

La tarea principal de los comités técnicos es preparar normas internacionales. Los proyectos de normas internacionales adoptados por los comités técnicos se envían a los organismos miembros para votación. La publicación como norma internacional requiere la aprobación por al menos el 75% de los organismos miembros que emiten voto.

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de este documento puedan estar sujetos a derechos de patente. ISO no asume la responsabilidad por la identificación de cualquiera o todos los derechos de patente.

La Norma ISO 20553 fue preparada por el Comité Técnico ISO/TC 85 *Energía nuclear*, Subcomité SC 2, *Protección radiológica*.

0 Introducción

En el curso de su actividad profesional, los individuos podrían trabajar con material radiactivo que, en determinadas circunstancias, podrían incorporarse al organismo. La protección de los trabajadores contra los riesgos de radionucleidos incorporados requiere la vigilancia de las incorporaciones potenciales y/o la cuantificación de las incorporaciones y exposiciones reales. La selección de las medidas y de los programas con dicho objetivo requiere decisiones en cuanto a los métodos, técnicas, frecuencias, etc. de las mediciones y de la evaluación de dosis. Los criterios que permiten evaluar la necesidad de llevar a cabo un programa de vigilancia o seleccionar los métodos y frecuencias de vigilancia dependen, en general, de la legislación, del objetivo del programa de protección radiológica, de la probabilidad de las posibles incorporaciones de radionucleidos y de las características de los materiales manipulados.

Esta norma internacional ofrece directrices para decidir si es necesario implementar un programa de vigilancia y cómo debería diseñarse. Su objetivo es optimizar los esfuerzos de tal forma que el programa de vigilancia cumpla tanto los requisitos legales como el objetivo del programa de protección radiológica. En el desarrollo de esta norma internacional se han tenido en cuenta las recomendaciones efectuadas por organismos internacionales expertos así como la experiencia internacional en la aplicación práctica de estas recomendaciones en los programas de protección radiológica. Su aplicación facilita el intercambio de información entre las autoridades, las instituciones de control y los empleadores. Esta norma internacional no sustituye a los requisitos legales.

En esta norma internacional, la forma verbal "debe" se utiliza para especificar un requisito, por lo que no admite variaciones. La forma verbal "debería" se utiliza para formular recomendaciones, por lo que se admiten variaciones justificadas. La forma verbal "puede" se utiliza para expresar permiso.

1 Objeto y campo de aplicación

Esta norma internacional especifica los requisitos mínimos a aplicar en el diseño de programas de vigilancia ocupacional de los trabajadores expuestos al riesgo de contaminación interna por sustancias radiactivas y establece los principios para el desarrollo de programas de vigilancia con objetivos y requisitos compatibles entre sí.

Esta norma internacional aborda los

- a) objetivos de la vigilancia y de los programas de vigilancia;
- b) descripción de las distintas categorías de programas de vigilancia;
- c) criterios cuantitativos para llevar a cabo programas de vigilancia;
- d) métodos adecuados para la vigilancia y criterios para su selección;
- e) información que tiene que ser recabada para el diseño de un programa de vigilancia;
- f) requisitos generales de los programas de vigilancia (por ejemplo, límites de detección, incertidumbres admisibles);
- g) frecuencia de las mediciones;

- h) casos especiales;
- i) garantía de calidad; y
- j) documentación, información de resultados y mantenimiento de registros.

Esta norma internacional no aborda

- la vigilancia de la exposición al radón y sus productos de desintegración radiactiva;
- descripciones detalladas de los métodos y técnicas de medición;
- procedimientos detallados para las mediciones *in vivo* y los análisis *in vitro*;
- interpretación de los resultados de la vigilancia en términos de dosis;
- datos biocinéticos y modelos matemáticos para convertir la actividad medida en dosis absorbida, dosis equivalente y dosis efectiva; o
- la investigación de las causas o implicaciones de una exposición o incorporación.

2 Normas para consulta

En el texto se hace referencia a los siguientes documentos de manera que parte o la totalidad de su contenido constituyen requisitos de este documento. Para las referencias con fecha, solo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición (incluida cualquier modificación de esta).

ISO 5725-1:1994, *Exactitud (veracidad y precisión) de resultados y métodos de medición. Parte 1: Principios generales y definiciones.*

ISO 12790-1:2001, *Radiation protection. Performance criteria for radiobioassay. Part 1: General principles.*

BIPM/IEC/IFCC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML, *International vocabulary of basic and general terms in metrology (VIM), 1993.*

3 Términos y definiciones

Para los fines de este documento se aplican los términos y definiciones incluidos en las Normas ISO 5725-1 e ISO 12790-1, en el *Vocabulario Internacional de términos básicos y generales en Metrología (VIM)* además de los siguientes.

3.1 Tipos de absorción

3.1.1 tipo F, F:

Materiales depositados que tienen tasa alta (rápida) de absorción hacia los fluidos corporales desde el tracto respiratorio.

3.1.2 tipo M, M:

Materiales depositados que tienen tasa intermedia (moderada) de absorción hacia los fluidos corporales desde el tracto respiratorio.

3.1.3 tipo S, S:

Materiales depositados que tienen tasa baja (lenta) de absorción hacia los fluidos corporales desde el tracto respiratorio.

3.2 exactitud de la medición:

Características de un análisis o determinación que aseguran que tanto la desviación como la precisión de la magnitud resultantes permanecen dentro de límites especificados.

3.3 actividad:

Tasa de desintegración.

NOTA La actividad se expresa en bequerelios (Bq).

3.4 diámetro Aerodinámico de la Mediana de Actividad, AMAD:

Valor del diámetro aerodinámico tal que el 50% de la actividad presente en un aerosol radiactivo determinado se asocia con partículas más pequeñas que el AMAD, y el 50% de la actividad se asocia con partículas más grandes que el AMAD.

NOTA El diámetro aerodinámico de una partícula de aerosol es el diámetro que una esfera de densidad unitaria necesitaría tener para tener la misma velocidad terminal que la partícula de interés al depositarse en el aire.

3.5 eliminación:

Efecto neto de los procesos biológicos por los que los radionucleidos son eliminados del organismo o de un órgano, tejido o región del mismo.

NOTA La tasa de eliminación es la tasa a la que esto tiene lugar.

3.6 contaminación:

Actividad de los radionucleidos presente sobre superficies, o en sólidos, líquidos o gases (incluido el cuerpo humano), donde la presencia de tal material radiactivo es indeseable o no intencionada.

3.7 dosis:

[ICRU Report 60:1998].

3.7.1 dosis anual:

Dosis efectiva comprometida resultante de todas las incorporaciones ocurridas durante un año natural.

3.7.2 dosis efectiva comprometida:

Integral en el tiempo de la tasa de dosis equivalente a lo largo de un periodo de integración.

NOTA En esta norma internacional, el tiempo de integración es de 50 años posteriores a cualquier incorporación.

3.7.3 dosis efectiva:

Suma ponderada de las dosis equivalentes en todos los órganos y tejidos del cuerpo.

NOTA La dosis efectiva se expresa en unidades de julios por kilogramo (nombre especial: sievert, Sv).

3.7.4 dosis total:

Suma de la dosis efectiva debida a la radiación externa y la dosis efectiva comprometida debida a la radiación interna.

3.8 función de excreción:

Fracción de una incorporación que se excreta al día transcurrido un tiempo dado desde el momento de la incorporación.

3.9 incidente:

Cualquier suceso no intencionado, incluyendo error de operación, fallo de quipo u otros percances, cuyas consecuencias reales o potenciales no son insignificantes desde el punto de vista de la protección o seguridad.

3.10 incorporación:

Actividad de un radionucleido que pasa al organismo en un periodo de tiempo dado o como resultado de un acontecimiento dado.

3.11 análisis *in vitro*:

Análisis incluyendo mediciones de la radiactividad presente en muestras biológicas tomadas de un individuo.

NOTA 1 Se incluyen muestras de orina, heces y mucosa nasal. En los programas de vigilancia especial, se pueden tomar muestras de otros tejidos como la sangre o el pelo.

NOTA 2 Estos análisis en ocasiones se denominan mediciones indirectas.

3.12 mediciones *in vivo*:

Medición de la radiactividad presente en el cuerpo humano, llevada a cabo mediante detectores que miden la radiación emitida.

NOTA 1 Normalmente los dispositivos de medición son contadores de radiactividad corporal o contadores específicos para una región corporal (por ejemplo, pulmón, tiroides).

NOTA 2 En ocasiones se denominan mediciones directas.

3.13 nivel de investigación:

Nivel de dosis, exposición o incorporación (especificada por el empleador o la autoridad reguladora) al que o por encima del que se lleva a cabo una investigación.

NOTA 1 Véase el capítulo 6.

3.14 límite de detección, LD:

Cantidad más pequeña de un mensurando que puede ser detectada por un método de medición.

NOTA Adaptado de la Norma ISO 11929-7:2005.

3.15 vigilancia:

Medición de dosis o de contaminación con el objeto de evaluar o controlar la exposición a la radiación o al material radiactivo, y la interpretación de los resultados.

3.15.1 categorías de programas de vigilancia:

NOTA Esta norma internacional distingue cuatro categorías diferentes de programas de vigilancia, denominados **programas de vigilancia rutinaria** (3.15.1.1), **programas de vigilancia especial** (3.15.1.2), **programas de vigilancia de confirmación** (3.15.1.3), y **programas de vigilancia asociados a una tarea** (3.15.1.4).

3.15.1.1 programa de vigilancia rutinaria; programa de vigilancia sistemática:

Programa de vigilancia asociado a operaciones continuas y destinado a demostrar que las condiciones de trabajo, incluidas las dosis individuales, permanecen satisfactorias, y cumplen los requisitos reguladores.

3.15.1.2 programa de vigilancia especial:

Programa de vigilancia desarrollado para cuantificar la exposición significativa tras incidentes reales o sospechosos.

3.15.1.3 programa de vigilancia de confirmación; programa de vigilancia de control:

Programa de vigilancia llevado a cabo para confirmar las hipótesis sobre las condiciones de trabajo, por ejemplo, que no se han producido incorporaciones significativas.

3.15.1.4 programa de vigilancia asociado a una tarea; programa de vigilancia específica:

Programa de vigilancia asociado a una operación específica, con el objetivo de aportar información sobre una operación específica de duración limitada, o tras modificaciones importantes en las instalaciones o procedimientos de trabajo, o para confirmar que el programa de vigilancia rutinaria es adecuado.

3.15.2 tipos de vigilancia :

NOTA Esta norma internacional distingue dos tipos diferentes de vigilancia dentro de cada categoría de vigilancia, **vigilancia individual** (3.15.2.2) y **vigilancia del entorno de trabajo** (3.15.2.3). Un tipo adicional de vigilancia, la **vigilancia colectiva** (3.15.2.1), es considerada como un tipo especial de vigilancia del entorno de trabajo.

3.15.2.1 vigilancia colectiva:

Vigilancia aplicada a miembros representativos de un grupo de trabajadores cuyas condiciones de trabajo no presentan diferencias significativas en términos de riesgo de incorporación.

3.15.2.2 vigilancia individual:

Vigilancia realizada por medio de un equipo portado por los trabajadores individualmente, o medición de la cantidad de materiales radiactivos presentes en o sobre el cuerpo de un trabajador, o medición del material radiactivo excretado por un trabajador.

3.15.2.3 vigilancia del entorno de trabajo:

Vigilancia a partir de mediciones realizadas en el ambiente de trabajo.

3.16 intervalo de vigilancia:

Periodo entre dos tiempos de medición.

3.17 garantía de calidad, QA (*quality assurance*):

Acciones planificadas y sistemáticas necesarias para asegurar que un proceso, medición o servicio satisfará, con un nivel adecuado de confianza, requisitos de calidad establecidos, por ejemplo, los especificados en una licencia.

3.18 control de calidad, QC (quality control):

Parte de la garantía de calidad destinada a verificar que los sistemas y componentes cumplen con los requisitos predeterminados.

3.19 gestión de calidad, QM (Quality management):

Todas las actividades de la función de gestión general que determinan la política de calidad, objetivos y responsabilidades, y que los implementan por medio de la planificación de calidad, control de calidad, garantía de calidad y mejora de la calidad dentro del sistema de calidad.

3.20 nivel de registro:

Nivel de dosis, exposición o incorporación (especificado por el empleador o por la autoridad reguladora) al que o por encima del cual los valores de exposición, incorporación o dosis recibida por los trabajadores han de ser introducidos en sus registros de exposición individual.

NOTA Véase el capítulo 6 sobre los niveles de referencia.

3.21 nivel de referencia:

Nivel de investigación o nivel de registro.

3.22 función de retención:

Fracción de una incorporación presente en el cuerpo o en un órgano, tejido o región del cuerpo transcurrido un tiempo dado desde que ocurrió la incorporación.

3.23 tiempo de medición:

En el caso de los análisis *in vitro*, el tiempo en el que se tomó la muestra biológica (por ejemplo, orina, heces) del individuo afectado. En el caso de las mediciones *in vivo*, el tiempo en el que empieza la medición *in vivo*.

4 Símbolos y abreviaturas

AMAD	Diámetro aerodinámico de la mediana de actividad
A_{DL}	Símbolo matemático del límite de detección utilizado en las fórmulas
LD	Límite de detección
$e(50)$	Coefficiente de dosis: dosis efectiva comprometida acumulada en 50 años después de una unidad de incorporación
$E(t)$	Valor de la función de excreción en un tiempo determinado, t , (en días) después de una unidad de incorporación
f_1	Factor de incorporación digestiva
OIEA	Organismo Internacional de Energía Atómica
ICRP	International Commission on Radiological Protection, equivale en español a «Comisión Internacional de Protección Radiológica»
QA	Garantía de calidad

QC	Control de calidad
QM	Gestión de la calidad
$R(t)$	Valor de la función de retención en un tiempo determinado, t , (en días) después de una unidad de incorporación
EPR	Equipo de protección respiratoria
ΔT	Intervalo de tiempo (en días) entre dos mediciones dentro de un programa de vigilancia rutinaria

5 Objetivo y justificación de los programas de vigilancia

El objetivo de la vigilancia es, en general, verificar y documentar que el trabajador está protegido convenientemente contra los riesgos derivados de la incorporación de radionucleidos y que protección cumple los requisitos legales. Por tanto, la vigilancia forma parte del programa de protección radiológica global, que comienza con una evaluación para identificar las situaciones laborales en las que existe riesgo de incorporación de radionucleidos por los trabajadores, y cuantificar la probabilidad de que dicha incorporación se produzca y la correspondiente dosis efectiva comprometida recibida. Las decisiones sobre la necesidad de llevar a cabo la vigilancia y el diseño del programa de vigilancia deberían tomarse a la luz de la citada evaluación de riesgos.

Los programas de vigilancia rutinaria se llevan a cabo para cuantificar la exposición cuando existe la posibilidad de que se hayan producido tanto incorporaciones accidentales no detectadas como incorporaciones crónicas. Los programas de vigilancia rutinaria tienen como base la asunción de la hipótesis de que las condiciones de trabajo, y consecuentemente, el riesgo de incorporación, permanecen razonablemente constantes. El diseño de tal programa basado en mediciones regulares depende considerablemente del nivel de dosis anual cuya cuantificación se asegura. Este nivel debería encontrarse suficientemente por debajo de los niveles reglamentarios; su definición debería tener en cuenta las incertidumbres, por ejemplo, en medición de la actividad y estimación de dosis. Si este nivel es demasiado alto, las incorporaciones que representan fracciones considerables de límites de dosis podrían pasar desapercibidas, mientras que un valor bajo puede conllevar esfuerzos innecesarios en el caso de exposiciones bajas.

Los programas de vigilancia especial se llevan a cabo para cuantificar exposiciones significativas tras incidentes sospechosos o anormales. Por tanto, en comparación con los programas de vigilancia rutinaria, el momento de la incorporación suele ser mejor conocido y puede disponerse de información adicional, lo que contribuye a reducir la incertidumbre en la evaluación. Los objetivos de la evaluación de dosis en tales casos incluyen asistencia en decisiones sobre contramedidas (por ejemplo, la terapia de decorporación), cumplimiento con los requisitos legales, y contribuir en las decisiones para mejorar las condiciones de trabajo. En la mayoría de los casos, se llevan a cabo programas de vigilancia individual especial. En aquellos casos en que existen motivos para suponer que se podrían haber superado los límites de exposición, puede resultar adecuado prolongar las mediciones para obtener las funciones individuales de retención y excreción, así como los parámetros de los modelos biocinéticos.

Los programas de vigilancia de control o de confirmación, pueden ser requeridos para verificar las hipótesis que se asumieron sobre las condiciones de exposición, y que condicionaron la definición de los procedimientos establecidos, por ejemplo, la eficacia de las medidas de protección. Pueden consistir en la vigilancia individual o del entorno de trabajo, por ejemplo, como mediciones ocasionales para analizar la potencial acumulación de actividad en el organismo.

Los programas de vigilancia asociados a una tarea se aplican a una determinada operación. Los objetivos y los criterios de dosis para implantar este tipo de programas son los mismos que para los programas de vigilancia rutinaria.

La vigilancia individual proporciona la información necesaria para evaluar la exposición de un trabajador en particular mediante la medición de la actividad presente en su organismo, de su tasa de excreción o de la actividad inhalada por el mismo (a partir de muestreadores personales de aire).

La vigilancia del entorno de trabajo, que incluye la vigilancia colectiva, proporciona evaluaciones de la exposición para un grupo de trabajadores asumiendo idénticas condiciones de trabajo, es decir, riesgos de incorporación así como todos los factores que influyen en la dosis resultante. Se usa principalmente en aquellos casos en que la vigilancia individual no resulta adecuada y puede también ser necesaria en aquellos casos en que la vigilancia individual no es suficientemente sensible. En algunos casos, los resultados de la vigilancia del entorno de trabajo son necesarios para apoyar la evaluación de dosis individual (por ejemplo, la vigilancia ambiental puede aportar información sobre el momento en que se produce la incorporación).

Los factores que determinan la necesidad de un programa de vigilancia son

- la magnitud de las exposiciones potenciales;
- la necesidad de identificar las incorporaciones, en caso de que éstas ocurran;
- la necesidad de evaluar la eficacia de los dispositivos de protección (EPR).

La tabla 1 contiene los criterios que justifican la implantación de un programa de vigilancia, y se representan en forma de diagrama en la figura 1.

Los números mostrados en esta norma internacional tienen en cuenta exclusivamente exposiciones por la incorporación de radionucleidos. En aquellos casos en que la exposición externa es susceptible de superar a la exposición interna, los valores de la tabla 1 y de la figura 1 han de reducirse por un factor dos.

Por lo tanto, es necesario evaluar la magnitud esperable de exposiciones sin tener en cuenta las medidas de protección personal. Dicha evaluación puede llevarse a cabo en virtud de los resultados de anteriores programas de vigilancia (vigilancia individual o del entorno de trabajo), siempre que éstos se encuentren disponibles. Si no se dispone o no puede obtenerse información adicional fiable, la dosis anual esperable se puede estimar de acuerdo con los criterios sugeridos en la publicación *Safety Reports Series No. 18* ^[3] del OIEA, u otras directrices nacionales.

Tabla 1 - Necesidad de programas de vigilancia en función de las situaciones de exposición

Tipo de vigilancia requerida	Normativa	Nivel recomendado
Vigilancia del entorno de trabajo	Si el trabajador está expuesto ocupacionalmente y si la contribución de la dosis estimada a partir de la incorporación de radionucleidos es susceptible de ser significativa	Si la dosis efectiva comprometida anual esperable es superior a 1 mSv
Vigilancia individual	Si el trabajador puede estar expuesto a más de un 30% del límite de dosis para exposición interna	Si la dosis total anual esperable es superior a 6 mSv

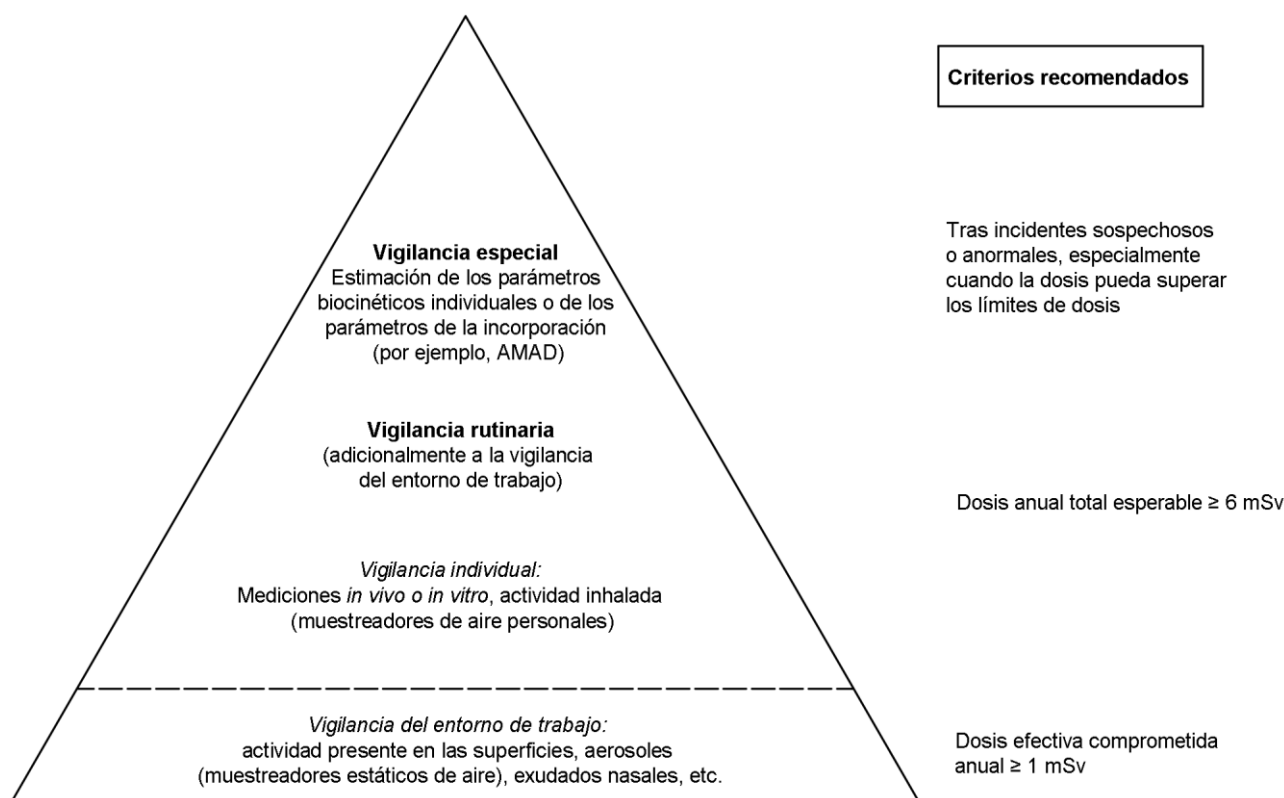


Figura 1 - Ilustración de la necesidad de programas de vigilancia en función de las condiciones de exposición

Si un trabajador está expuesto a más de un radionucleido, el diseño del programa de vigilancia puede no incluir aquellos radionucleidos cuya suma de contribuciones en orden creciente sea potencialmente inferior a 1 mSv al año.

En el caso de mezclas de radionucleidos cuya composición es bien conocida, es posible llevar a cabo la medición de un único radionucleido con objeto de inferir la actividad de los restantes. Este enfoque es aceptable si la incertidumbre añadida (en términos de dosis) derivada del conocimiento incompleto de la composición de radionucleidos no supera el 10%.

6 Niveles de referencia

Los niveles de referencia son los valores de las magnitudes por encima de los cuales debe tomarse una determinada acción o decisión. El objetivo de fijar estos valores es evitar la realización de un trabajo innecesario e improductivo y que los recursos se puedan destinar a donde son más necesarios. Los niveles de referencia incluyen el nivel de registro, por encima del cual cualquier evaluación de dosis tiene que ser registrada, los valores más bajos se ignoran; y el nivel de investigación, por encima del que la evaluación de una exposición tiene que ser confirmada mediante análisis adicionales (véase la tabla 2).

NOTA El objeto y campo de aplicación de esta norma internacional no incluye la investigación de las causas o implicaciones de una exposición o incorporación.

El nivel de registro debe fijarse en un valor correspondiente (teniendo en cuenta la duración del intervalo de vigilancia) a una dosis anual no superior al 5% del límite de dosis anual. El nivel de investigación debe fijarse a un valor correspondiente a una dosis anual no superior al 30% del límite de dosis anual.

Tabla 2 – Niveles de referencia para la vigilancia de la exposición interna

Nivel	Significado
Nivel de registro	El nivel de registro es el valor de dosis, exposición o incorporación al que o por encima del que la evaluación de dosis tiene que ser registrada en el historial dosimétrico individual. Debe fijarse a un valor correspondiente a una dosis anual no superior al 5% del límite de dosis anual. Los resultados inferiores a este nivel pueden ser informados como "por debajo del nivel de registro"
Nivel de investigación	El nivel de investigación es el valor de dosis, exposición o incorporación al que o por encima del que tiene que llevarse a cabo una investigación con el fin de disminuir la incertidumbre asociada a la evaluación de dosis. El nivel debe fijarse a un valor correspondiente a una dosis anual no superior al 30% del límite de dosis anual

7 Programas de vigilancia rutinaria (programas de vigilancia sistemática)

7.1 Aspectos generales

Los programas de vigilancia rutinaria se establecen con el objeto de cuantificar aquellas exposiciones donde existe la posibilidad de que se hayan producido incorporaciones accidentales o incorporaciones crónicas. Las mediciones en los programas de vigilancia rutinaria se realizan en momentos predeterminados y no están asociadas a ningún incidente conocido. Por tanto, las decisiones tienen que tomarse de antemano sobre los métodos, frecuencias y los modelos biocinéticos subyacentes. Asimismo, para evaluar los valores medidos en términos de actividad incorporada es necesario asumir hipótesis sobre el intervalo de tiempo transcurrido entre la incorporación y la medición.

Los programas de vigilancia rutinaria deben establecerse incluyendo la vigilancia del entorno del trabajo y la vigilancia individual conforme a los criterios establecidos en la tabla 1, tomando en consideración los requisitos de este capítulo.

Cuando se establezca un programa de vigilancia rutinaria deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

- las consecuencias resultantes de un intervalo de tiempo desconocido entre la incorporación y la medición deben ser limitadas de manera que
 - sobre la media de muchos intervalos de tiempo, no se subestimen las dosis, y
 - la máxima subestimación de la dosis resultante de una incorporación única no exceda en un factor de tres, y
- la detección de todas las exposiciones anuales que pueden exceder 1 mSv esté asegurada;

NOTA Para algunos radionucleidos, este requisito sólo puede lograrse mediante vigilancia del entorno de trabajo.

- deben realizarse al menos dos mediciones al año.

La máxima sobreestimación en la mayoría de los casos resulta mayor que la máxima subestimación. La restricción de la máxima subestimación en una incorporación única no excluye una sobreestimación considerable.

Estos requisitos junto con las hipótesis aceptadas para el patrón de incorporación y la sensibilidad de los métodos de medición seleccionados determinan la frecuencia de las mediciones rutinarias.

Los objetivos de un programa de vigilancia así como la manera en que tiene que organizarse deben documentarse de acuerdo con el capítulo 11 incluyendo los criterios para la interpretación de sus resultados. El programa de vigilancia debe ser revisado mediante un programa de vigilancia de confirmación o control después de cualquier modificación relevante que se haya realizado en la instalación, en los métodos de trabajo o en los requisitos reglamentarios.

7.2 Vigilancia del entorno de trabajo

La vigilancia del entorno de trabajo incluye la vigilancia colectiva (es decir, la vigilancia individual de una serie de trabajadores representativos del grupo de trabajadores), y las mediciones de la actividad presente en el aire y de la contaminación en superficies en el entorno de trabajo. La contaminación de superficies no está directamente relacionada con la exposición individual pero puede ser indicativa de un riesgo de incorporación incrementado.

La vigilancia de la radiactividad presente en el aire de manera continua es importante, porque la principal vía de exposición en los trabajadores es la inhalación. Los objetivos principales de la vigilancia de la actividad presente en el aire son

- contribuir en la evaluación de la exposición interna de los trabajadores por inhalación;
- detectar rápidamente situaciones atípicas o deterioradas en el entorno de trabajo, permitiendo así la adopción de medidas protectoras, por ejemplo, la utilización de equipos de protección respiratoria;
- proporcionar información para el establecimiento de programas de vigilancia individual para los trabajadores.

El establecimiento de un sistema de vigilancia del aire en el entorno de trabajo para detectar y evaluar la exposición individual y colectiva requiere conocer las condiciones del entorno de trabajo y los materiales que se manipulan en él. Se espera que el diseño del sistema se adapte específicamente al riesgo de incorporación.

Los resultados de la vigilancia del aire pueden utilizarse para estimar la incorporación de material radiactivo por los trabajadores, pero la utilización exclusivamente de las medidas de radiactividad presente en el aire para la estimación de la exposición, puede conducir a error. Esto es así cuando las fuentes de contaminación en el aire están localizadas o cambian su ubicación con el paso del tiempo, normalmente por acción o movimiento del trabajador.

Los resultados de la vigilancia del aire en el entorno de trabajo pueden considerarse representativos siempre que se cumplan dos criterios. En primer lugar, no deben subestimar de manera fiable las incorporaciones estimadas a partir de mediciones individuales *in vivo* o *in vitro*. En segundo lugar, deben confirmarse mediante programas de vigilancia de control o de confirmación, que conlleven la utilización de dispositivos de muestreo de aire individuales o la realización de mediciones individuales de excretas.

NOTA El requisito de evitar la subestimación puede satisfacerse mediante la aplicación de factores de corrección teniendo en cuenta la variabilidad espaciotemporal de las concentraciones de radionucleidos en la zona de respiración del trabajador

7.3 Vigilancia individual

La vigilancia individual de los radionucleidos puede llevarse a cabo mediante mediciones *in vivo* o análisis *in vitro*, mediante la toma de muestras de aire en continuo utilizando dispositivos de muestreo de aire individuales o mediante la combinación de todos estos métodos. La selección depende de una serie de factores, tales como los que se citan a continuación:

- radiación emitida por el radionucleido y su descendencia;
- tasa de desintegración del radionucleido;
- tasa de retención en el organismo o tasa de excreción del contaminante en función del tiempo transcurrido entre el momento de la incorporación y la medición;
- comportamiento biocinético, depósito en órganos y vía de excreción del contaminante;
- viabilidad técnica de la medición.

La frecuencia de medición requerida en un programa de vigilancia rutinaria depende de la retención y excreción del radionucleido, de la sensibilidad de las técnicas de medición disponibles y de la incertidumbre aceptable en la estimación de la incorporación anual y de la dosis efectiva comprometida anual, según se expresa en las fórmulas (1) y (2):

Para mediciones *in vivo*:

$$e(50) \cdot \frac{A_{DL}}{R(\Delta T)} \cdot \frac{365}{\Delta T} \leq 1 \text{ mSv} \quad (1)$$

Para análisis *in vitro*:

$$e(50) \cdot \frac{A_{DL}}{E(\Delta T)} \cdot \frac{365}{\Delta T} \leq 1 \text{ mSv} \quad (2)$$

Si no puede descartarse la exposición a más de un radionucleido, este requisito debe ajustarse convenientemente de manera que pueda detectarse con garantías suficientes una dosis anual total de 1 mSv. Las contribuciones pequeñas pueden ignorarse; véase el capítulo 5.

La máxima subestimación potencial no debe superar un factor de tres; asumiendo que una incorporación única tuvo lugar a la mitad del intervalo de vigilancia, este requisito supone que, según se muestra en las fórmulas (3) y (4):

Para mediciones *in vivo*:

$$\frac{R\left(\frac{\Delta T}{2}\right)}{R(\Delta T)} \leq 3 \quad (3)$$

Para análisis *in vitro*:

$$\frac{E\left(\frac{\Delta T}{2}\right)}{E(\Delta T)} \leq 3 \quad (4)$$

Los dispositivos individuales de muestreo de aire portados por los trabajadores pueden proporcionar una estimación adecuada de la incorporación de cada trabajador. No obstante, son susceptibles de incertidumbre derivada del muestreo de una partícula única no representativa. La interpretación de los resultados puede requerir un programa de vigilancia de confirmación para determinar la distribución del tamaño de las partículas en el aerosol. La presencia de algunos resultados altos aislados en un dispositivo individual de muestreo de aire indica la necesidad de implementar un programa de vigilancia especial.

El análisis de excretas requiere normalmente la toma de muestras durante 24 h siguiendo un procedimiento que evite la contaminación externa. Para algunos elementos, en los que se produce rápidamente el equilibrio entre la concentración en sangre y en orina, es posible tomar muestras en periodos más cortos (muestras puntuales o muestras *spot*) normalizando a excreción de 24 h sobre la base de la concentración de creatinina. El análisis de excreciones fecales es altamente recomendable que se lleve a cabo a lo largo de tres días consecutivos.

Los programas de vigilancia rutinaria en el caso de radionucleidos con periodos de semi-desintegración muy cortos (es decir, < 0,5 d), no son necesarios en la mayoría de casos, ya que la contribución de la exposición externa predomina sobre la dosis efectiva. En cualquier caso, debería haber un grado de confianza considerable en el sistema de vigilancia del entorno de trabajo.

La medición de la actividad en muestras de exudado nasal es otra forma de detectar la inhalación de radionucleidos emisores de partículas α ; un resultado positivo en una medición de tales características puede utilizarse como indicador de la necesidad de llevar a cabo análisis adicionales para el resto de trabajadores del mismo grupo. Dicha medición puede ser útil igualmente para reducir la incertidumbre en el establecimiento del momento de la incorporación con fines de evaluación de dosis.

7.4 Métodos e intervalos de tiempo

Los métodos e intervalos de tiempo que se resumen en este apartado fueron derivados de los principios establecidos en el apartado anterior y tienen en cuenta las siguientes hipótesis:

- modelos incluidos en la Publicación ICRP 66^[11] para la vía inhalatoria (valores por defecto para los trabajadores: AMAD = 5 μm);
- funciones de retención y eliminación específicas para cada elemento definidas en la Publicación ICRP 78^[12];
- incorporación aguda por vía inhalatoria en el punto medio del intervalo de vigilancia. Esta hipótesis es razonable para incorporaciones crónicas y, en general, previene la subestimación de las incorporaciones;
- valores de LD para mediciones rutinarias según la Publicación ICRP 78.

Los métodos e intervalos de tiempo para los programas de vigilancia rutinaria para los radionucleidos más comúnmente utilizados se resumen en la tabla 3. Pueden utilizarse otros métodos e intervalos de tiempo, siempre que cumplan los requisitos establecidos anteriormente (véase 7.1), y las hipótesis relacionadas en el párrafo anterior se demuestren inadecuadas para casos concretos. Para otros radionucleidos, los métodos e intervalos de tiempo de las mediciones deben seleccionarse teniendo en cuenta los requisitos establecidos en el apartado anterior (véase 7.1).

Tabla 3 - Métodos e intervalos máximos de tiempo para los programas de vigilancia rutinaria

Radionucleido	Tipo de absorción	Análisis <i>in vitro</i>			Mediciones <i>in vivo</i>	
		Orina días	Organismo total días	Tiroides días		
³ H	HTO	30	-	-		
¹⁴ C	Orgánico	7	-	-		
	Dióxido	180	-	-		
³² P	F	30	-	-		
³³ P	F	30	-	-		
³⁵ S	F	7	-	-		
³⁶ Cl	F	30	-	-		
⁵¹ Cr	F	(15)	15	-		
⁵⁴ Mn	M	-	90	-		
⁵⁹ Fe	M	-	90	-		
⁵⁷ Co	S	(30)	180	-		
⁵⁸ Co	S	(90)	180	-		
⁶⁰ Co	S	(180)	180	-		
⁶³ Ni	M	15	-	-		
⁷⁵ Se	M	-	180	-		
⁸⁹ Sr	F, S	30	-	-		
⁹⁰ Sr	F, S	F:30, S:180	-	-		
^{110m} Ag	S	-	180	-		
¹²⁵ I	F	(90)	-	90		
¹³¹ I	F	(15)	-	15		
¹³⁷ Cs	F	(180)	180	-		
²²⁶ Ra	M	180	-	-		

NOTA Cuando una cifra se encuentra entre paréntesis, se trata de una alternativa al valor en una columna diferente, para aquellos casos en los que no se pueden llevar a cabo mediciones *in vivo*.

Para los actínidos, las mediciones *in vivo* o determinadas técnicas *in vitro* sólo pueden cuantificar con suficiente fiabilidad exposiciones por encima de 6 mSv. Para la detección de exposiciones menores, si no se dispone de técnicas *in vitro* de mayor sensibilidad como la espectrometría de masas, debe llevarse a cabo vigilancia del entorno de trabajo.

Si la dosimetría de los actínidos se basa en la vigilancia continua de muestras de aire, deberían usarse bien muestreadores estáticos de aire o, cuando el riesgo de incorporación es alto, muestreadores personales de aire. Estas mediciones deben suplementarse con métodos de vigilancia individual, como muestras repetidas de exudado nasal, a fin de detectar incorporaciones que requieran de un programa de vigilancia especial. El análisis de muestras fecales o los métodos de contaje en pulmón con periodicidad anual son métodos válidos para demostrar que la vigilancia del aire no subestima las incorporaciones reales. Estos métodos se muestran en las tablas 4 y 5. En aquellos casos en los que se indica más de un método,

- el método de preferencia, debería ser la medición *in vivo*, si está disponible;
- los análisis de excreción urinaria y las mediciones *in vivo* deberían ser utilizados en caso de exposiciones antiguas, exposición crónica, o en aquellos casos en que no puede descartarse la acumulación de pequeñas incorporaciones;
- el análisis de excreciones fecales debería seleccionarse para las exposiciones recientes o en caso de que se hayan producido cambios en las condiciones de trabajo.

Tabla 4 - Métodos e intervalos máximos de tiempo para los programas de vigilancia rutinaria de los compuestos del uranio

Material	Tipo de absorción	Análisis <i>in vitro</i>		Mediciones <i>in vivo</i>
		Orina días	Heces días	Pulmón días
Hexafluoruro de Uranio	F	90	-	-
Peróxido de Uranio	F	30	-	-
Nitrato de Uranio	F	30	-	-
Diuranato de amonio	F	30	-	-
Tetrafluoruro de Uranio	M	90	180	180
Trióxido de Uranio	M	90	180	180
Octóxido de Uranio	S	90	180	180
Dióxido de Uranio	S	90	180	180

NOTA Se tiene en cuenta la toxicidad tanto radiológica como química de los compuestos del Uranio. Se recomienda la toma de muestra de heces para confirmar que el muestreo de aire no subestima las incorporaciones reales.

Tabla 5 - Métodos e intervalos máximos de tiempo para los programas de vigilancia rutinaria de los compuestos de actínidos (excepto el uranio)

Material	Tipo de absorción	Análisis <i>in vitro</i>		Mediciones <i>in vivo</i>
		Orina días	Heces días	Pulmón días
²²⁸ Th	S	-	180	-
²³² Th	S	-	180	-
²³² Th	M	-	180	-
²³⁷ Np	M	180	180	-
²³⁸ Pu	S	180	180	-
²³⁹ Pu	S	180	180	-
²³⁹ Pu	M	180	180	-
²⁴¹ Am	M	180	180	180
²⁴⁴ Cm	M	180	180	-

NOTA Se recomienda la toma de muestras con periodicidad anual para confirmar que el muestreo de aire no subestima las incorporaciones reales; en este caso un intervalo de 365 días es suficiente.

Las tolerancias para los intervalos de vigilancia teniendo en cuenta consideraciones prácticas se muestran en la tabla 6.

Tabla 6 – Tolerancias para los diferentes intervalos de vigilancia

Intervalo de vigilancia días	Tolerancia días
7	±1
15	±2
30	±4
60	±7
90	±14
180	±30
365	±30

8 Programas de vigilancia especial

8.1 Aspectos generales

Los programas de vigilancia especial deben llevarse a cabo tras incidentes con objeto de proporcionar datos para

- la evaluación de dosis requerida para evaluar el riesgo y determinar la necesidad de cualquier tratamiento;
- el proceso de optimización de la protección radiológica.

A diferencia de los programas de vigilancia rutinaria, en el caso de los programas de vigilancia especial se puede disponer de más información sobre las circunstancias en que se ha producido el incidente, especialmente en lo relativo al tiempo transcurrido entre la medición y la incorporación.

Los objetivos de un programa de vigilancia especial así como la forma en que éste se organiza, incluyendo los criterios para la interpretación de sus resultados, deben quedar documentados conforme al capítulo 11.

8.2 Vigilancia del entorno de trabajo

Los programas de vigilancia especial se refieren a mediciones efectuadas cuando hay sospecha de incorporación tras un incidente. La vigilancia especial del entorno de trabajo se basa en los mismos principios que la vigilancia rutinaria del entorno de trabajo y deben cumplirse los mismos requisitos (véase 7.2).

Las circunstancias de cada incidente son específicas, por ejemplo, en cuanto al nivel de actividad y duración de la exposición, por lo que resulta difícil estandarizar la vigilancia especial del entorno de trabajo. La distribución de la contaminación radiactiva debería ser evaluada mediante vigilancia del aire y de la contaminación superficial. En aquellos casos en que tanto en operación normal como tras el resultado de malas prácticas pueda existir posibilidad de liberación de una cantidad significativa de material radiactivo al entorno de trabajo, deberían usarse dispositivos que operen en continuo y que tengan la posibilidad de fijar alarmas. La ubicación de estos dispositivos debería escogerse de tal manera que puedan detectar de forma fiable la liberación de material radiactivo; esta ubicación no tiene por qué encontrarse en puntos representativos de la zona respiratoria del trabajador. La vigilancia debe cumplir los requisitos generales definidos en el apartado 7.2.

8.3 Vigilancia individual

El objetivo de la vigilancia individual especial es asegurar que cualquier incorporación es detectada en un estadio temprano, y que se evalúan las correspondientes dosis comprometidas. Los programas de vigilancia especial tienen fines de investigación; normalmente se basan en una combinación de mediciones *in vivo* y análisis *in vitro* en conjunción con el modelo biocinético adecuado.

- Muestras nasales: El análisis de muestras nasales (tomadas mediante frotis del exudado nasal o tras sonarse en pañuelos de celulosa) puede complementar a un programa de vigilancia especial, a fin de obtener una rápida estimación de la severidad de un incidente así como de aportar valiosa información sobre la naturaleza del contaminante inhalado. En cualquier caso, la actividad presente en estas muestras representa una actividad que se ha eliminado del cuerpo antes de ser parte de una incorporación sistémica.
- Mediciones *in vivo*: El contenido de radionucleidos en el organismo se encuentra disponible rápidamente y proporciona indicación sobre si se ha producido una incorporación significativa.
- Análisis *in vitro*: La elección entre el análisis de orina o de heces depende del comportamiento biocinético de los materiales incorporados, lo que a su vez depende directamente de la forma química. Las grandes fluctuaciones en la excreción fecal de los radionucleidos de un día para otro eleva la incertidumbre a la hora de interpretar los resultados. En consecuencia, las muestras fecales deberían recogerse preferiblemente durante un periodo aproximado de tres días para disminuir dicha incertidumbre. Las muestras de heces recogidas inmediatamente después de la incorporación incluyen actividad de origen no sistémico procedente de la eliminación pulmonar hacia el tracto digestivo o bien directamente de la ingestión. Puesto que las cantidades pueden oscilar considerablemente, la fracción de incorporación en dichas muestras es relativamente alta y hay una mayor probabilidad de detectar incorporaciones de pequeñas cantidades de actínidos y otros radionucleidos. El análisis fecal está indicado en el caso de que se sospeche una incorporación de compuestos con tipo de absorción M o S. En estos casos, el análisis de las excreciones fecales puede utilizarse para evaluar la transferencia desde el pulmón al intestino, y así estimar la incorporación. Para materiales con mayor retención pulmonar deberían llevarse a cabo análisis seriados a lo largo del año para confirmar los resultados, dado que la interpretación a partir de un único dato puede no ser fiable. Normalmente, una evaluación de dosis fiable a partir de análisis de orina requiere una toma de muestras de 24 h; pero en el caso de los programas de vigilancia especial, puede resultar de ayuda recoger muestras puntuales ("muestras *spot*").
- Vigilancia del aire exhalado: la medición de la exhalación de ^{220}Rn permite la determinación individual de la cantidad de ^{228}Th presente en el organismo sin preparación química. El límite de detección de este método es comparable al del análisis de la excreción urinaria. Las conclusiones sobre la cuantificación del ^{232}Th requieren la disposición de información adicional sobre el espectro de nucleidos.

La tabla 7 resume los métodos recomendados para la vigilancia individual; no tiene en cuenta los efectos del tratamiento que pueda administrarse para reducir la dosis efectiva comprometida.

Tabla 7 – Métodos recomendados para los programas de vigilancia especial tras inhalación

Radionucleido/ material	Nasal		Análisis <i>in vitro</i>			Mediciones <i>in vivo</i>		
	MN	AE	Orina		Heces	Órgano		
			Muestra puntual	24 h	72 h	CE	P	T
³ H			**					
¹⁴ C		**	**	*				
³² P			**	*				
³³ P			**	*				
³⁵ S			**	*				
³⁶ Cl†				**		**		
⁵¹ Cr	**			**		**		
⁵⁴ Mn	**			**	**	**		
⁵⁹ Fe	**			**		**		
⁵⁷ Co	**			**		**		
⁵⁸ Co	**			**	**	**		
⁶⁰ Co	**			**	**	**		
⁶³ Ni	**			**		**		
⁷⁵ Se	**					**		
⁸⁹ Sr	**			**				
⁹⁰ Sr	**			**				
^{110m} Ag	**			*	**	**		
¹²⁵ I	**			**				**
¹³¹ I	**			**				**
¹³⁷ Cs	**			**	*	**		
¹⁴⁷ Pm	**			**				
²²⁶ Ra	**			**				
Hexafluoruro de Uranio	**		**	**				
Peróxido de Uranio	**		**	**				
Nitrato de Uranio	**		**	**				
Diuranato de amonio	**		**	**				
Tetrafluoruro de Uranio	**		**	**	*		*	
Trióxido de Uranio	**		**	**	*		*	
Octóxido de Uranio	**			**	**		**	
Dióxido de Uranio	**			**	**		**	

Radionucleido/ material	Nasal		Análisis <i>in vitro</i>			Mediciones <i>in vivo</i>		
			Orina		Heces	Órgano		
	MN	AE	Muestra puntual	24 h	72 h	CE	P	T
²²⁸ Th	**	**		**	**		*	
²³² Th	**	*		**	**		*	
²³⁷ Np	**			**	**			
²³⁸ Pu	**			**	**			
²³⁹ Pu	**			**	**			
²⁴¹ Am	**			**	**		**	
²⁴⁴ Cm	**			**	**			

** = Recomendado; * = Complementario (útil pero no obligatorio).
Leyenda: MN = muestra nasal; AE = Aire expirado; CE = Cuerpo entero; P = Pulmón; T = Tiroides.
† La medición *in vivo* utiliza la radiación bremsstrahlung.

9 Programas de vigilancia asociada a una tarea

9.1 Aspectos generales

Los programas de vigilancia asociada a una tarea se requieren ante cambios en las condiciones de trabajo y ante operaciones de duración limitada (es decir, en aquellos casos en que la duración es más corta que los intervalos definidos para los programas de vigilancia rutinaria definidos en el capítulo 7, tablas 3, 4 y 5) con el objetivo de proporcionar datos para la evaluación de dosis y para el proceso de optimización de la protección radiológica. Los requisitos generales establecidos en el apartado 7.1 para los programas de vigilancia rutinaria deben aplicarse a los programas de vigilancia asociada a una tarea.

Cuando la operación esté planificada, debe diseñarse un programa de vigilancia adecuado. Esto se requiere asimismo tras modificaciones significativas en las instalaciones o en los procedimientos de operación.

La vigilancia asociada a una tarea (medición de la actividad presente en el aire, ensayos de frotis sobre superficies, etc.) complementa la vigilancia individual, ya que proporciona indicadores útiles en la predicción de las dosis así como en el establecimiento de medidas de protección específicas para la operación. En cualquier caso, la vigilancia individual proporciona estimaciones de dosis más fiables.

Al contrario que en los programas de vigilancia rutinaria, puede disponerse de más información sobre las circunstancias en que ocurre el incidente de incorporación, especialmente en lo relacionado con el tiempo transcurrido entre la medición y la incorporación.

Los objetivos de un programa de vigilancia asociada a una tarea así como la forma en que éste se organiza, incluyendo los criterios para la interpretación de sus resultados, deben quedar documentados conforme al capítulo 11.

9.2 Vigilancia del entorno de trabajo

La vigilancia del entorno de trabajo se basa en los mismos principios que la vigilancia rutinaria del ambiente de trabajo, y debe cumplir los mismos requisitos (véase 7.2).

El establecimiento de un sistema de vigilancia del aire con el objetivo de detectar y evaluar la exposición colectiva o individual requiere conocer las condiciones del entorno de trabajo y los materiales que se manipulan en él. El diseño del sistema requiere ser adaptado al riesgo de incorporación.

Puede haber diferencias significativas entre el nivel de contaminación radiactiva presente en el aire en el entorno de la zona de respiración del trabajador respecto al nivel medido en una ubicación puntual cercana, siendo normalmente mayor la contaminación en la zona de respiración. Es fundamental identificar este factor cuando se llevan a cabo programas de vigilancia de la contaminación presente en el aire del entorno de trabajo (véase también 7.2).

9.3 Vigilancia individual

La vigilancia individual como parte de un programa de vigilancia asociada a una tarea normalmente se implementa como un programa de vigilancia de control. Esto permite confirmar la adecuación de las medidas de protección y de las hipótesis asumidas en cuanto a los niveles de exposición. En condiciones normales, en el caso de la exposición interna, no es necesario un programa de vigilancia individual asociada a una tarea, ya que durante dicha exposición se utiliza protección individual adecuada. No obstante, puede requerirse un programa de vigilancia especial si existen evidencias de que las medidas de protección han fallado. Los programas de vigilancia especial asociada a trabajos de alto riesgo pueden requerir la realización de una serie de mediciones adecuadas combinando diversas técnicas de medición. Pueden realizarse mediciones periódicas para asegurar que las condiciones de trabajo son satisfactorias. En colaboración con los departamentos de protección radiológica, los resultados de la vigilancia del entorno de trabajo (frotis de superficies y mediciones de muestras de aire) pueden compararse con las mediciones de contaminación realizadas a los individuos, y si se considera necesario, puede modificarse el sistema de protección radiológica. Puede resultar adecuado el análisis de las excreciones fecales que se generen en la instalación durante los tres últimos días de trabajo.

10 Casos especiales de vigilancia individual

10.1 Actínidos

Los límites de detección asociados a determinadas técnicas analíticas y la incertidumbre asociada a la medición e interpretación hacen difícil que pueda llevarse a cabo la evaluación de una incorporación de forma rápida. Todo lo anterior también contribuye a la incertidumbre en la evaluación de las dosis recibidas por el trabajador. La vigilancia individual se lleva a cabo mediante contaje en pulmón y vigilancia de la excreción urinaria y fecal o de la exhalación.

La detección *in vivo* de una incorporación de actínidos mediante contaje en pulmón se basa en la detección de los fotones de rayos x con unas energías características. Sin embargo, este método tiene un nivel de sensibilidad pobre debido tanto a la baja intensidad de los fotones de rayos x emitidos como a la atenuación de los tejidos y al alto fondo radiactivo como consecuencia de la presencia de otros radionucleidos. En consecuencia, para muchos radionucleidos los límites de detección están por encima de los límites reguladores. El contaje en pulmón, por tanto, no es suficiente como método para la vigilancia rutinaria de pequeñas incorporaciones y se utiliza para complementar otros métodos, especialmente la vigilancia del aire en el entorno de trabajo; la vigilancia del aire en el entorno de trabajo es el método más fiable especialmente en aquellos casos en que el tamaño y solubilidad de las partículas no son bien conocidos.

10.2 Contaminación de heridas

Los cortes y rasguños en la piel así como las heridas punzantes permiten que el material radiactivo penetre en el tejido subcutáneo y posteriormente se infiltre al resto del organismo. Dependiendo de los radionucleidos y de la cantidad de material, puede ser necesario llevar a cabo una exploración médica y un programa de vigilancia especial. En este caso, debe medirse la actividad de material radiactivo en la región de la herida, teniendo en cuenta la atenuación de la radiación producida por el material y los tejidos extraños, con el fin de evaluar la dosis al tejido local y decidir si la escisión está o no indicada. Si se toma la decisión de intentar retirar el material de la herida, debe medirse la actividad retirada así como la actividad residual alrededor de la herida, para calcular un balance de actividad. Adicionalmente, debe realizarse una serie de mediciones para determinar la asimilación de actividad al resto del organismo. Si se necesita llevar a cabo una evaluación de dosis fiable, deben aplicarse todos los métodos disponibles para los radionucleidos incorporados, tanto mediciones *in vivo* como análisis *in vitro*. Si se llevan a cabo mediciones *in vivo* la actividad residual alrededor de la herida puede que tenga que ser blindada para evitar interferencias. Para evaluar la dosis efectiva comprometida, debería tenerse en cuenta el efecto de cualquier tratamiento administrado para acelerar la excreción de la actividad sistémica.

10.3 Contaminación cutánea

La contaminación cutánea puede tener como consecuencia la incorporación del radionucleido al organismo. Esto se debe tener en cuenta especialmente para el tritio, el yodo, el cesio y otros compuestos orgánicos. Por ello, para aquellos radionucleidos cuya contaminación es directamente medible, debe definirse un nivel para la contaminación presente en la piel por encima del cual debe llevarse a cabo un programa de vigilancia especial para evaluar la incorporación. Para otros radionucleidos que no son directamente medibles, debe llevarse a cabo un programa de vigilancia rutinaria de la incorporación.

11 Registros, documentación e información de resultados

11.1 Registros y documentación

11.1.1 Generalidades

La sistemática y los objetivos de la vigilancia ocupacional de los trabajadores expuestos a material radiactivo deben estar documentados. Para algunos materiales radiactivos, basta con un único método de medición. En tal caso, es suficiente fijar la frecuencia de la toma de muestras/medición y las hipótesis utilizadas en el cálculo de la dosis recibida a partir de los resultados de las mediciones. En otros casos, puede ser necesario un conjunto de métodos de medición, incluyendo el muestreo del aire del entorno de trabajo, la toma de muestras de orina y/o heces, y el conteo de regiones corporales o del cuerpo entero. En estos casos, la sistemática definida debe definir el objetivo y la frecuencia de cada tipo de medición así como la forma en que los resultados son utilizados para la evaluación de la dosis recibida.

Registros suficientes deben mantener detalles relativos a todas las mediciones, incluyendo resultados, equipos utilizados, calibraciones, condiciones ambientales, factores de corrección, mediciones del fondo radiactivo ambiental, etc. Debería realizarse de manera que se puedan reproducir en el futuro las condiciones exactas de la medición.

Todos los registros e informes deben ser validados por el responsable competente.

Deben tenerse en cuenta los requisitos reguladores a nivel nacional en relación al mantenimiento de los registros.

11.1.2 Para las muestras

El procedimiento de toma de muestras (por ejemplo, orina, heces, exudado nasal) debe estar documentado como parte de los procedimientos de QA. El procedimiento debe estar diseñado de tal manera que la muestra resulte convenientemente embalada y etiquetada y no se contamine.

A cada muestra debe asignársele una identificación única. Esta identificación debe utilizarse para denotar la identidad del trabajador, la fecha y hora en que la muestra fue tomada, la duración del muestreo y las mediciones que se lleven a cabo sobre la muestra.

11.1.3 Para las mediciones

El procedimiento de realización de las mediciones debe estar documentado como parte de los procedimientos de QA. El procedimiento debe estar diseñado para garantizar que el equipamiento utilizado funciona correctamente y se encuentra debidamente calibrado.

Cada medición debe estar identificada unívocamente. En el caso de mediciones de muestras, esta identificación debe utilizarse para denotar la identidad de la muestra medida y la fecha y hora de la medición. En el caso de mediciones directas sobre trabajadores individuales, la identificación debe denotar la identidad del trabajador y la fecha y hora de la medición.

Para cada medición, la naturaleza de la medición debe quedar registrada (por ejemplo, muestra de orina, medición de la concentración de tritio; contaje de cuerpo entero, medición de ^{60}Co ; contaje de tiroides, medición de ^{131}I).

Para cada medición deben registrarse las condiciones de la medición [por ejemplo, tiempo de contaje, equipo y método usado para la medición, límite de detección, nombre del operador del equipo, contaje de fondo, calibración (incluyendo los parámetros individuales que se han tenido en cuenta en la calibración)].

11.1.4 Para el cálculo de dosis

El procedimiento de cálculo de dosis debe estar documentado. Esto debe incluir las hipótesis asumidas en relación con la vía de incorporación, patrón temporal de la incorporación, valores por defecto o específicos para el AMAD y para el valor f_1 , naturaleza físico-química del aerosol radiactivo junto con las hipótesis asumidas sobre el tipo de absorción.

El cálculo de dosis debe quedar registrado si se hace manualmente. Si se utiliza un software informático para calcular la dosis, la identificación del software debe registrarse junto con todos los parámetros utilizados en el cálculo.

11.1.5 Para los equipos de medida

Debe mantenerse un inventario de los equipos disponibles para las mediciones. Para cada equipo, debería registrarse su identificación (por ejemplo, nombre, número o tipo de modelo, y número de serie), nombre del suministrador, y la fecha de adquisición.

Para cada equipo que requiera un mantenimiento periódico, debe conservarse un registro en el que se refleje cada intervención de mantenimiento efectuada así como la fecha en que debe efectuarse la siguiente.

Para cada equipo que requiera calibración periódica, deben documentarse el protocolo para llevar a cabo la calibración así como los medios para garantizar la trazabilidad a patrones nacionales.

Para cada equipo que requiera calibración periódica, la fecha y los resultados de la calibración así como la fecha en que debe efectuarse la siguiente deberían mostrarse en el registro disponible en cada equipo.

11.2 Información de los resultados

11.2.1 Para los programas de vigilancia rutinaria

Deben establecerse los acuerdos necesarios para asegurar que los resultados de todas las mediciones y evaluaciones de dosis se informan de manera precisa y en unos plazos razonables al servicio encargado del mantenimiento del historial dosimétrico del trabajador. Cuando los trabajadores no hayan suministrado las muestras o no hayan asistido a los contajes *in vivo* dentro de la tolerancia mostrada en la tabla 5, el informe debe indicar tal circunstancia.

Cada informe debe identificar los resultados sin ambigüedades de manera que la identidad del trabajador y la fecha a la que la(s) medición(es) se refiere(n) estén claras.

Los resultados deben expresarse en términos de dosis efectiva comprometida a 50 años derivadas de incorporación de material radiactivo acontecida durante el intervalo de vigilancia. Los resultados por debajo de un nivel de registro predefinido pueden informarse como "por debajo de nivel de registro".

Cuando se haya detectado presencia de material radiactivo durante el intervalo de vigilancia, la naturaleza del material radiactivo (cuando sea conocida) debe hacerse constar en el informe junto con las hipótesis sobre el tipo de absorción. Cuando no se haya detectado actividad, el informe debe contemplar el valor del límite de detección para el radionucleido, incorporaciones inferiores a cuyo valor pueden no descartarse.

11.2.2 Para los programas de vigilancia especial

Adicionalmente a los requisitos que se aplican a los programas de vigilancia rutinaria, deben establecerse los acuerdos necesarios para informar tan pronto como sea posible, y directamente al cliente, los resultados de la evaluación de dosis llevada a cabo tras cualquier accidente o incidente, cuando así sea requerido por el cliente. Deben establecerse acuerdos para informar los resultados a las autoridades reguladoras cuando la legislación nacional así lo requiera.

11.2.3 Información del trabajador

La gerencia del lugar de trabajo debe establecer los procedimientos y los mecanismos para informar a los trabajadores de los objetivos y de la necesidad de su programa de vigilancia. Debe informarse a los trabajadores sobre a quién dirigir las cuestiones que puedan surgirles relativas al programa de vigilancia, en la información facilitada. En función del número de trabajadores vigilados y de la magnitud y probabilidad de las exposiciones potenciales en el entorno de trabajo, la gerencia debería desarrollar documentación escrita con recomendaciones para los trabajadores a los que se hubiera detectado incorporación de material radiactivo significativa.

12 Gestión de calidad

La eficacia de cualquier programa de protección radiológica a lo largo del tiempo depende de las personas a cargo de implementar todos y cada uno de sus componentes. Debe adoptarse un programa de garantía de calidad eficaz. Este programa debería estar basado en las Normas ISO/IEC 17025 e ISO 12790-1:2001.

La naturaleza y extensión de un programa de QA deberían estar en consonancia con el número de trabajadores vigilados, y la magnitud y probabilidad de las exposiciones potenciales en los lugares de trabajo cubiertas por el programa de vigilancia. La garantía de calidad incluye el control de calidad, que abarca todas aquellas acciones por las que se evalúan la idoneidad del equipamiento, instrumental y procedimientos de los laboratorios respecto a requisitos previamente establecidos. Los requisitos de QA pueden ser definidos por la regulación nacional.

El programa de QA debería garantizar que las hipótesis relevantes (por ejemplo, radionucleido, AMAD, compuestos químicos) sobre las que se basan el programa de vigilancia y las correspondientes evaluaciones, se verifican mediante mediciones adecuadas (programa de vigilancia de confirmación).

Deben llevarse a cabo revisiones o auditorías cuando alguna de las siguientes condiciones tenga lugar:

- tras la implementación de un nuevo programa de vigilancia o la modificación de algún elemento sustancial del mismo;
- tras cambios significativos de alguna parte del programa de vigilancia, tales como una reorganización o una revisión de procedimientos significativas;
- para verificar la implantación de acciones correctivas identificadas con anterioridad.

Adicionalmente, los laboratorios que lleven a cabo mediciones *in vivo* o análisis *in vitro* y/o realicen evaluaciones de dosimetría interna deberían participar en intercomparaciones de ámbito nacional o internacional. Las intercomparaciones permiten a los participantes comparar en condiciones claramente definidas los resultados de sus mediciones o evaluaciones de dosis respecto a valores de referencia y respecto a los resultados de otros laboratorios. Los beneficios que pueden derivarse de esta participación incluyen

- mediciones de maniqués o muestras que contienen cantidades conocidas de radionucleidos, que permiten a los participantes determinar la precisión de sus procedimientos;
- intercomparaciones con cantidades desconocidas de radionucleidos en muestras biológicas reales o en humanos, que permiten a los participantes comparar sus resultados con los obtenidos por otros laboratorios o técnicas;
- intercomparaciones de las interpretaciones de los resultados de los datos de la vigilancia para los casos de estudio, lo que resulta útil en la mejora de la confianza sobre los resultados y favorecen la armonización de los métodos a nivel nacional e internacional.

Bibliografía

- [1] ISO 11929-7:2005, *Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements. Part 7: Fundamentals and general applications.*
- [2] International Atomic Energy Agency, *Direct methods for measuring radionuclides in the body* (1995). Safety Series No. 114, IAEA, Vienna.
- [3] International Atomic Energy Agency, *Indirect methods for assessing intakes of radionuclides* (2000) Safety Reports Series No. 18, IAEA, Vienna.
- [4] International Atomic Energy Agency, *Occupational radiation protection* (1999). Safety Standards Series No. RS-G-1.1, IAEA, Vienna.
- [5] International Atomic Energy Agency, *Assessment of occupational exposure due to intakes of radionuclides* (1999). Safety Standards Series No. RS-G-1.2, IAEA, Vienna.
- [6] International Commission on Radiological Protection (ICRP), *General principles for the radiation protection of workers* (1997). ICRP Report 75. Pergamon Press, New York.
- [7] International Commission on Radiological Protection (ICRP), *Report of the Task Group on Reference Man* (1975). ICRP Report 23. Pergamon Press, New York.
- [8] International Commission on Radiological Protection (ICRP), *Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: Reference values* (2002). ICRP Report 89. Pergamon Press, New York.
- [9] International Commission on Radiological Protection (ICRP), *Limits for intakes by workers* (1979) ICRP Report 30. Pergamon Press, New York.
- [10] International Commission on Radiological Protection (ICRP), *Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers* (1995). ICRP Report 68. Pergamon Press, New York.
- [11] International Commission on Radiological Protection (ICRP), *Human respiratory tract model for radiological protection* (1994). ICRP Report 66. Pergamon Press, New York.
- [12] International Commission on Radiological Protection (ICRP), *Individual monitoring for internal exposure of workers* (1997). ICRP Report 78. Pergamon Press, New York.
- [13] STRADLING, G.N., GOURMELON, P., LE GUEN, B., SHARP, C., WOOD, R., TAYLO, D.M., and HENGÉ NAPOLI, M.H., *Decorporation treatment medical overview* (2000). Nuclear Technology Publishing, Radiation Protection Dosimetry, Vol 87, No. 1, pp. 51 57.
- [14] STRADLING, G.N., HODGSON, A., ANSOBORLO, E., BERARD, P., ETHERINGTON, G., FELL, T., RANCE, E., and LE GUEN, B., *Industrial Uranium compounds: Exposure limits, assessment of intake and toxicity after inhalation* (2002). NRPB report W22, Oxford.
- [15] ISO/IEC 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.*
- [16] ICRU Report 60:1998, *Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation.*¹⁾

1) International Commission on Radiological Units and Measurements.

Para información relacionada con el desarrollo de las normas contacte con:

Asociación Española de Normalización
Génova, 6
28004 MADRID-España
Tel.: 915 294 900
info@une.org
www.une.org

Para información relacionada con la venta y distribución de las normas contacte con:

AENOR INTERNACIONAL S.A.U.
Tel.: 914 326 000
normas@aenor.com
www.aenor.com



organismo de normalización español en:

