

**Colección de informes
de seguridad
N° 21**

**Optimización de la
protección radiológica
en el control de la
exposición ocupacional**



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

IAEA SAFETY RELATED PUBLICATIONS

IAEA SAFETY STANDARDS

Under the terms of Article III of its Statute, the IAEA is authorized to establish or adopt standards of safety for protection of health and minimization of danger to life and property, and to provide for the application of these standards.

The publications by means of which the IAEA establishes standards are issued in the **IAEA Safety Standards Series**. This series covers nuclear safety, radiation safety, transport safety and waste safety, and also general safety (i.e. all these areas of safety). The publication categories in the series are **Safety Fundamentals**, **Safety Requirements** and **Safety Guides**.

Safety standards are coded according to their coverage: nuclear safety (NS), radiation safety (RS), transport safety (TS), waste safety (WS) and general safety (GS).

Information on the IAEA's safety standards programme is available at the IAEA Internet site

<http://www-ns.iaea.org/standards/>

The site provides the texts in English of published and draft safety standards. The texts of safety standards issued in Arabic, Chinese, French, Russian and Spanish, the IAEA Safety Glossary and a status report for safety standards under development are also available. For further information, please contact the IAEA at P.O. Box 100, A-1400 Vienna, Austria.

All users of IAEA safety standards are invited to inform the IAEA of experience in their use (e.g. as a basis for national regulations, for safety reviews and for training courses) for the purpose of ensuring that they continue to meet users' needs. Information may be provided via the IAEA Internet site or by post, as above, or by e-mail to Official.Mail@iaea.org.

OTHER SAFETY RELATED PUBLICATIONS

The IAEA provides for the application of the standards and, under the terms of Articles III and VIII.C of its Statute, makes available and fosters the exchange of information relating to peaceful nuclear activities and serves as an intermediary among its Member States for this purpose.

Reports on safety and protection in nuclear activities are issued in other publications series, in particular the **Safety Reports Series**. Safety Reports provide practical examples and detailed methods that can be used in support of the safety standards. Other IAEA series of safety related publications are the **Provision for the Application of Safety Standards Series**, the **Radiological Assessment Reports Series** and the International Nuclear Safety Group's **INSAG Series**. The IAEA also issues reports on radiological accidents and other special publications.

Safety related publications are also issued in the **Technical Reports Series**, the **IAEA-TECDOC Series**, the **Training Course Series** and the **IAEA Services Series**, and as **Practical Radiation Safety Manuals** and **Practical Radiation Technical Manuals**. Security related publications are issued in the **IAEA Nuclear Security Series**.

OPTIMIZACIÓN DE LA
PROTECCIÓN RADIOLÓGICA
EN EL CONTROL DE LA
EXPOSICIÓN OCUPACIONAL

Los siguientes Estados son Miembros del Organismo Internacional de Energía Atómica:

AFGANISTÁN	GEORGIA	NUEVA ZELANDIA
ALBANIA	GHANA	PAÍSES BAJOS
ALEMANIA	GRECIA	PAKISTÁN
ANGOLA	GUATEMALA	PANAMÁ
ARABIA SAUDITA	HAITÍ	PARAGUAY
ARGELIA	HONDURAS	PERÚ
ARGENTINA	HUNGRÍA	POLONIA
ARMENIA	INDIA	PORTUGAL
AUSTRALIA	INDONESIA	QATAR
AUSTRIA	IRÁN,	REINO UNIDO DE GRAN
AZERBAIYÁN	REPÚBLICA ISLÁMICA DEL	BRETAÑA E IRLANDA
BANGLADESH	IRAQ	DEL NORTE
BELARÚS	IRLANDA	REPÚBLICA ÁRABE SIRIA
BÉLGICA	ISLANDIA	REPÚBLICA CENTRO-
BENIN	ISLAS MARSHALL	AFRICANA
BOLIVIA	ISRAEL	REPÚBLICA CHECA
BOSNIA Y HERZEGOVINA	ITALIA	REPÚBLICA DE COREA
BOTSWANA	JAMAHIRIYA ÁRABE LIBIA	REPÚBLICA DE MOLDOVA
BRASIL	JAMAICA	REPÚBLICA DEMOCRÁTICA
BULGARIA	JAPÓN	DEL CONGO
BURKINA FASO	JORDANIA	REPÚBLICA DOMINICANA
CAMERÚN	KAZAJISTÁN	REPÚBLICA UNIDA
CANADÁ	KENYA	DE TANZANÍA
CHILE	KIRGUISTÁN	RUMANIA
CHINA	KUWAIT	SANTA SEDE
CHIPRE	LA EX REPÚBLICA	SENEGAL
COLOMBIA	YUGOSLAVA DE	SERBIA Y MONTENEGRO
COSTA RICA	MACEDONIA	SEYCHELLES
CÔTE D'IVOIRE	LETONIA	SIERRA LEONA
CROACIA	LÍBANO	SINGAPUR
CUBA	LIBERIA	SRI LANKA
DINAMARCA	LIECHTENSTEIN	SUDÁFRICA
ECUADOR	LITUANIA	SUDAN
EGIPTO	LUXEMBURGO	SUECIA
EL SALVADOR	MADAGASCAR	SUIZA
EMIRATOS ÁRABES UNIDOS	MALASIA	TAILANDIA
ERITREA	MALÍ	TAYKISTÁN
ESLOVAQUIA	MALTA	TÚNEZ
ESLOVENIA	MARRUECOS	TURQUÍA
ESPAÑA	MAURICIO	UCRANIA
ESTADOS UNIDOS	MÉXICO	UGANDA
DE AMÉRICA	MÓNACO	URUGUAY
ESTONIA	MONGOLIA	UZBEKISTÁN
ETIOPÍA	MYANMAR	VENEZUELA
FEDERACIÓN DE RUSIA	NAMIBIA	VIETNAM
FILIPINAS	NICARAGUA	YEMEN
FINLANDIA	NÍGER	ZAMBIA
FRANCIA	NIGERIA	ZIMBABWE
GABÓN	NORUEGA	

El Estatuto del Organismo fue aprobado el 23 de octubre de 1956 en la Conferencia sobre el Estatuto del OIEA celebrada en la Sede de las Naciones Unidas (Nueva York); entró en vigor el 29 de julio de 1957. El Organismo tiene la Sede en Viena. Su principal objetivo es “acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero”.

© OIEA, 2004

Para copiar o traducir el material informativo de la presente publicación se deberá pedir por escrito el correspondiente permiso al Organismo Internacional de Energía Atómica, Wagramer Strasse 5, Apartado de Correos 100, A-1400 Viena, Austria.

Impreso por el OIEA en Austria
 Octubre de 2004
 STI/PUB/1118

COLECCIÓN DE INFORMES DE SEGURIDAD N° 21

OPTIMIZACIÓN DE LA
PROTECCIÓN RADIOLÓGICA
EN EL CONTROL DE LA
EXPOSICIÓN OCUPACIONAL

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
VIENA, 2004

ESTA PUBLICACIÓN DE LA COLECCIÓN DE INFORMES DE SEGURIDAD
SE PUBLICA TAMBIÉN EN FRANCÉS, INGLÉS Y RUSO

OPTIMIZACIÓN DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN
EL CONTROL DE LA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL

STI/PUB/1118

ISBN 92-0-302504-9

ISSN 1020-6469

PRÓLOGO

Uno de los tres principios fundamentales en los que se basa la protección contra la radiación ionizante es el de la optimización de la protección radiológica. Este principio fue enunciado por la Comisión Internacional de Protección Radiológica ya en el decenio de 1960. Las Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación (Normas Básicas de Seguridad) llevan incorporado, desde la primera edición de 1962 hasta la edición actual (1996), un requisito principal relativo a la optimización de la protección y la seguridad. El principio de optimización, es decir, adoptar todas las medidas razonables para reducir las dosis (teniendo en cuenta los factores económicos y sociales), exige un esfuerzo considerable al aplicarse en la práctica.

El requisito de las Normas Básicas de Seguridad de aplicar el principio de optimización rige para todas las categorías de exposición: ocupacional, del público y médica. Las categorías de exposición del público y médica son un tanto específicas y se tratan en otras publicaciones; el presente Informe de seguridad se centra en la aplicación del principio a la que es probablemente la categoría más amplia, la de la exposición ocupacional. En él se ofrece información práctica sobre el modo de aplicar la optimización de la protección en el lugar de trabajo. A lo largo del mismo se hace hincapié en la integración de la protección radiológica en un sistema más general de organización del trabajo así como en la participación del personal directivo y los trabajadores en el establecimiento de un sistema de protección radiológica y su aplicación.

El presente Informe de seguridad se elaboró y finalizó en tres reuniones de consultores celebradas en 1999 y 2000. El proyecto se envió a cierto número de expertos para que lo examinaran y formularan observaciones al respecto, lo que dio lugar a valiosos comentarios de algunos de ellos, cuyos nombres se incluyen en la lista de colaboradores en la redacción y examen. Merecen especial reconocimiento las contribuciones a la preparación del presente Informe de seguridad aportadas por J. Blaikie, C. Schieber y G.A.M. Webb. La funcionaria del OIEA encargada de la preparación del presente Informe de seguridad fue la Sra. M. Gustafsson, de la División de Seguridad Radiológica y de los Desechos.

NOTA EDITORIAL

Aunque se ha puesto gran cuidado en preservar la exactitud de la información contenida en esta publicación, ni el OIEA ni sus Estados Miembros asumen responsabilidad alguna por las consecuencias que puedan derivarse de su uso.

El empleo de determinadas denominaciones de países o territorios no implica juicio alguno por parte de la entidad editora, el OIEA, acerca de la situación jurídica de tales países o territorios, de sus autoridades e instituciones o del trazado de sus fronteras.

La mención de nombres de empresas o productos determinados (se indique o no que se trata de marcas registradas) no implica intención alguna de vulnerar derechos de propiedad, ni debe interpretarse como aval o recomendación por parte del OIEA.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Antecedentes	1
1.2.	Objetivo	2
1.3.	Ámbito	3
1.4.	Estructura	3
2.	EL PROCESO DE OPTIMIZACIÓN	4
3.	EVALUACIÓN DE LAS SITUACIONES DE EXPOSICIÓN ...	11
3.1.	Evaluación global de la situación de exposición	12
3.1.1.	Etapas de diseño	12
3.1.1.1.	Ejemplo 1: Restricción de dosis individuales e indicadores	13
3.1.1.2.	Ejemplo 2: Diseño de una instalación importante	13
3.1.2.	Fase operacional	14
3.1.2.1.	Ejemplo 4: Participación del personal en el proceso de evaluación de las exposiciones.	17
3.2.	Evaluación y análisis específicos de los trabajos	17
3.2.1.	Evaluación previa de todos los trabajos concretos expuestos a radiación	17
3.2.1.1.	Ejemplo 6: Análisis de trabajos similares ejecutados sucesivamente en lugares diferentes	19
3.2.2.	Análisis de las situaciones de exposición vinculadas a los trabajos concretos en el contexto de un estudio detallado de optimización de la protección radiológica	20
3.3.	Forma de obtener los datos	22
3.3.1.	A nivel de las instalaciones y a nivel nacional	22
3.3.1.1.	Ejemplo 7: Sistema OIEA de información para autoridades reguladoras	23
3.3.2.	A nivel internacional	23
3.3.2.1.	Ejemplo 8: Sistema de Información sobre Exposición Ocupacional	24

4.	MEDIOS DE REDUCIR LA EXPOSICIÓN	24
4.1.	Introducción	24
4.2.	Medios generales de reducir la exposición	25
4.2.1.	Planificación y programación de la actividad laboral ...	25
4.2.1.1.	Ejemplo 9: Programación de los trabajos con arreglo a la evolución de las tasas de dosis	26
4.2.2.	Formación general de los trabajadores	26
4.2.2.1.	Ejemplo 10: El programa informático de aprendizaje RADIOR	27
4.2.3.	Mentalización y participación de los trabajadores	27
4.2.3.1.	Ejemplo 11: Radiografía industrial móvil	29
4.2.4.	Comunicación	29
4.2.4.1.	Ejemplo 12: Mejora de la comunicación utilizando buzones de presentación de sugerencias	29
4.3.	Medios de reducir la exposición específicos para los trabajos	30
4.3.1.	Diseño de las instalaciones y el equipo	30
4.3.1.1.	Ejemplo 13: Factores que procede evaluar al decidir sobre la necesidad de instalar un blindaje permanente	31
4.3.2.	Reducción del tiempo de permanencia en las zonas de radiación	31
4.3.2.1.	Ejemplo 14: Factores que hacen aumentar el tiempo de exposición	33
4.3.3.	Reducción del número de trabajadores necesarios	33
4.3.4.	Reducción de las tasas de dosis	34
4.3.4.1.	Ejemplo 15: Instrumentos de mango largo	36
4.3.5.	Capacitación especializada	36
5.	DEFINICIÓN Y APLICACIÓN DE UN PLAN ALARA	37
5.1.	Componentes globales	37
5.1.1.	Ejemplo 16: Creación de estructuras específicas de gestión ALARA	39
5.2.	Análisis y selección de opciones para la reducción de la dosis en determinados trabajos	39
5.2.1.	Análisis de las opciones	39
5.2.1.1.	Ejemplo 17: Determinación de los ahorros de costos	40

5.2.2. Selección de las opciones que han de aplicarse	41
5.3. Verificación de la eficacia de un plan ALARA	42
6. CONCLUSIONES	44
REFERENCIAS	45
ANEXO I: TÉCNICAS DE AYUDA PARA LA ADOPCIÓN DE DECISIONES	49
I-1. Introducción	49
I-2. Análisis costo-beneficio	50
I-3. Análisis costo-beneficio ampliado	51
I-4. Análisis utilitario de atributos múltiples	51
I-5. Análisis de sobreclasificación por criterios múltiples	53
Referencias del Anexo I	53
ANEXO II: LISTAS GUÍA PARA UN PROGRAMA ALARA	55
ANEXO III: VALOR MONETARIO DE LA UNIDAD DE DOSIS COLECTIVA	65
III-1. Introducción	65
III-2. Evaluación del valor monetario de referencia de un sievert-hombre	66
III-2.1. Relación dosis-efecto y valor monetario de los efectos sobre la salud	66
III-2.1.1. Ejemplo III-1: Cálculo del valor monetario de un sievert-hombre por el método del capital humano	67
III-2.2. Forma de tener en cuenta la distribución de las dosis individuales	67
III-2.2.1. Ejemplo III-2: Modelo para la determinación de un conjunto de valores monetarios de un sievert-hombre según el nivel de las dosis individuales	68
III-3. Ejemplos de valores monetarios usados para la unidad de dosis colectiva	69
Referencias del Anexo III	73
COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y EXAMEN	75

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Desde hace muchos años la optimización es uno de los tres principios de la protección radiológica. Se introduce en la publicación de la serie Nociones fundamentales de seguridad titulada *Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources* [1], y es un elemento básico de las Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación (NBS) [2]. En 1990 se publicó la Guía de seguridad *Operational Radiation Protection: A Guide to Optimization* (Colección Seguridad N° 101) [3], destinada a proporcionar orientación práctica sobre la aplicación del sistema de limitación de dosis a las situaciones operacionales. Pero dicha Guía guardaba relación con la versión anterior de las NBS, y no trataba de la aplicación del principio de optimización a todas las situaciones, incluido el diseño. Se decidió por lo tanto preparar este Informe de seguridad, que sustituye al N° 101 de la Colección Seguridad, a fin de ofrecer un asesoramiento práctico más amplio que abarque toda la gama de aplicaciones a la exposición ocupacional.

Aunque el requisito de optimización rige para todas las categorías de exposición –ocupacional, médica y del público– su aplicación a las exposiciones no ocupacionales de estas últimas dos categorías es un tanto específica y se trata adecuadamente en publicaciones de esos campos. En el caso de la exposición del público, un aspecto primordial es la optimización en la gestión de los desechos, especialmente para las emisiones al medio ambiente y para la disposición final de los desechos sólidos, que se aborda en detalle en las publicaciones de la Colección Seguridad sobre desechos radiactivos. La optimización de las medidas de intervención para proteger al público en caso de accidente es tema de una Guía de seguridad (Colección Seguridad N° 109 [4]) en la que se derivan niveles de intervención optimizados genéricos. Otros aspectos de la exposición del público son las exposiciones a la radiación natural, particularmente al radón, tratadas en gran parte en las NBS. En cuanto a la exposición médica, la aplicación apropiada de la optimización se expone para los procedimientos de diagnóstico y terapéuticos en una publicación especializada, *Radiological Protection for Medical Exposure to Ionizing Radiation* [5], y los aspectos prácticos se tratarán en detalle en una serie de publicaciones patrocinadas conjuntamente por el OIEA y otras cuatro organizaciones internacionales. Por lo tanto se ha decidido centrar este Informe de seguridad en la primera categoría: la exposición ocupacional.

Para realizar un estudio de optimización desde el punto de vista de la protección radiológica, deben tenerse también presentes otros riesgos que

pueden derivarse de los materiales radiactivos (por ejemplo, riesgos biológicos o químicos) o de las operaciones inherentes a los procesos (por ejemplo, riesgos eléctricos y mecánicos) e influir sin duda en la decisión final sobre la línea de acción óptima.

Al elaborar el presente Informe de seguridad se ha tenido en cuenta la evolución de las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR), especialmente las publicaciones relacionadas concretamente con la optimización [6, 7] y el informe más reciente [8] que trata de la protección radiológica de los trabajadores. Publicaciones más especializadas de la Agencia para la Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (AEN/OCDE) [9], de la Comisión de las Comunidades Europeas [10] y del Consejo Nacional de Protección y Mediciones Radiológicas de Estados Unidos [11] han proporcionado también algunos conceptos y ejemplos valiosos de aplicaciones.

En tres Guías de seguridad conexas preparadas conjuntamente por el OIEA y la Oficina Internacional del Trabajo se proporciona orientación sobre el cumplimiento de los requisitos de las NBS con respecto a la exposición ocupacional [12–14]. La Guía de seguridad en que se ofrece asesoramiento general sobre la elaboración de programas de protección radiológica ocupacional [12] presenta los aspectos esenciales de los procedimientos de optimización, y es la base a partir de la que se ha profundizado en el presente Informe de seguridad.

1.2. OBJETIVO

El principal objetivo del presente Informe de seguridad es complementar la orientación y los principios generales en materia de optimización formulados por la CIPR, en las NBS y en las Guías de seguridad con más información práctica sobre cómo aplicar esa optimización en el lugar de trabajo. Se afirma en la Ref. [12] que la responsabilidad principal de la optimización de la protección de los trabajadores recae en el personal de dirección operativo de las entidades en las que trabajan. El principal grupo destinatario del presente Informe de seguridad es, por lo tanto, el personal directivo encargado de controlar los tipos de trabajo realizado y las exposiciones ocupacionales resultantes. Esto incluye a los directamente responsables de la protección radiológica, por ejemplo, los oficiales de protección radiológica (llamados también gerentes de sanidad radiofísica u oficiales de sanidad radiofísica). Otro grupo destinatario igualmente importante es el personal directivo responsable de la producción o de otros aspectos de una entidad tales como el control financiero, para los cuales la seguridad debería ser también una consideración

esencial. Estas personas deberían asimismo participar en la elaboración y aplicación de los resultados de las decisiones en materia de optimización. Como se indica más adelante, la aplicación fructífera de las ideas contenidas en este Informe de seguridad depende también del compromiso y la participación de los trabajadores objeto de la protección, por lo que éstos, o sus representantes, son otro grupo destinatario importante. Este Informe de seguridad debería ser también útil al personal de las autoridades reguladoras para aclarar el modo en que los explotadores pueden cumplir un requisito reglamentario de optimización.

1.3. ÁMBITO

El presente Informe de seguridad trata de los antecedentes y los aspectos prácticos de la ejecución de un programa de optimización de la protección radiológica en el control de la exposición ocupacional. Este tipo de programa suele denominarse un programa ALARA (valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse). La expresión “exposición ocupacional” significa “Toda exposición de los trabajadores sufrida durante el trabajo, con excepción de las exposiciones excluidas del ámbito de las Normas y de las exposiciones causadas por las prácticas o fuentes exentas con arreglo a las Normas” (Ref. [2], Glosario). Se aplica a todos los aspectos de las instalaciones, incluido el diseño, la realización de las operaciones y la clausura. Abarca todos los tipos de exposición ocupacional, incluso la derivada de los usos médicos e industriales de la radiación y la exposición a la radiación natural en el trabajo así como la exposición en la industria nucleoelectrónica. Aunque en principio abarca también la reducción de la exposición potencial, y algunos de los ejemplos dados en el presente Informe de seguridad muestran medidas tanto para reducir la probabilidad de las dosis como su magnitud, las técnicas de optimización más sistematizadas no son aún plenamente aplicables a las compensaciones entre la reducción de la dosis y del riesgo. Como se ha señalado anteriormente, la optimización en las situaciones de emergencia es tema de otras publicaciones, y por lo tanto no entra en el ámbito del presente Informe de seguridad.

1.4. ESTRUCTURA

El proceso general de optimización de la protección radiológica se presenta en la Sección 2. La realización de este proceso requiere varias medidas que se describen en las Secciones 3 a 6. El punto de partida es una evaluación de la situación inicial, tanto si se trata de un nuevo diseño como de una operación ya

en curso, según se indica en la Sección 3. En la Sección 4 se detallan los diversos métodos y enfoques que se podrían adoptar para reducir las dosis. La evaluación de las posibles líneas de acción conducentes a un plan ALARA y a la puesta en práctica del plan se abordan en la Sección 5. En la Sección 6 se presentan algunas breves conclusiones. A lo largo del presente Informe de seguridad se exponen ejemplos de aplicaciones de los procedimientos. Aunque se ha hecho todo lo posible por tomar esos ejemplos de todos los campos de aplicación de la radiación, la mayor parte de los estudios comunicados proviene de la industria nucleoelectrónica, por lo que, inevitablemente, la mayor parte de los ejemplos corresponde también a ese sector.

2. EL PROCESO DE OPTIMIZACIÓN

El marco de la protección radiológica en su forma actual, incluido el concepto de optimización de la protección radiológica¹, se remonta a una publicación de la CIPR aparecida en 1965, pero en la Publicación 26 [15], editada en 1977, se enunció en una forma que siguió siendo la misma en la Publicación 60 de 1991 [16] y en las NBS. El texto en las NBS es el siguiente:

“En relación con las exposiciones debidas a una fuente determinada adscrita a una práctica, salvo en el caso de las exposiciones médicas terapéuticas, la protección y seguridad deberán optimizarse de forma que la magnitud de las dosis individuales, el número de personas expuestas y la probabilidad de sufrir exposiciones, se reduzcan al valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales, con la condición de que las dosis causadas en los individuos por la fuente se sometan a restricciones de dosis relacionadas con esa fuente.” (Ref. [2], párr. 2.24).

La optimización es una parte esencial, en la práctica la más importante, de un sistema de limitación de dosis porque fiarse de los límites de dosis no basta para lograr un nivel aceptable de protección. Los límites de dosis representan el confín inferior de una región de dosis y riesgos inaceptables. Por lo tanto, las dosis que se encuentran inmediatamente por debajo de los límites sólo son tolerables si no se puede hacer nada razonable para reducir las. Sin

¹ En el presente Informe de seguridad se entiende por “optimización” la “optimización radiológica”.

embargo, en la mayor parte de las situaciones se puede hacer algo para reducirlas, y la protección entonces entra en el régimen de optimización que es el tema del presente Informe de seguridad.

Como se ha señalado anteriormente, los límites de dosis suelen ser demasiado elevados para constituir un nivel conveniente en el que fijar un confín superior en un estudio de optimización determinado. En realidad, en la mayoría de las situaciones de exposición ocupacional el límite de dosis carece en gran parte de importancia. A fin de precisar un confín a efectos de optimización la CIPR ha adoptado el concepto de restricción de dosis, que se expresa como dosis individual, lo mismo que los límites de dosis, pero que es una restricción relativa a la fuente con el fin de limitar la gama de opciones consideradas en la optimización de la protección para esa fuente en particular. Las restricciones de dosis han de utilizarse prospectivamente al optimizar la protección en la planificación y ejecución de las tareas, así como al diseñar las instalaciones o el equipo. Por lo tanto, deberían fijarse para cada caso particular de modo que tenga en cuenta las tendencias generales pero que sea coherente con las características específicas de la situación de exposición, y debería establecerlas preferiblemente el personal directivo en consulta con los trabajadores afectados. Un punto de partida útil sería un análisis de las distribuciones de dosis en las operaciones de un tipo determinado que se estimen bien controladas. La restricción de dosis podría fijarse hacia el extremo superior de dicha distribución. En un estudio reciente sobre el establecimiento de restricciones de dosis [17] se llega a la conclusión de que parece haber algunas esferas de actividad en las que probablemente las restricciones no sean apropiadas, bien porque las dosis sean bajas o porque existen problemas para aplicar el propio concepto. No obstante, un estudio realizado por la AEN de la OCDE ha concluido que son útiles en muchas situaciones [18]. En el sector nuclear, donde la utilización de restricciones puede ser más apropiada es al planear nuevas instalaciones cuando haya una etapa de planificación bien definida y exista información suficiente sobre las distribuciones de dosis en la que fundar la selección de las restricciones. Esto sería también válido para el sector médico al planificar las instalaciones de radioterapia, incluidas las de braquiterapia, medicina nuclear y radiografía, así como para ciertas operaciones industriales, por ejemplo con instalaciones de radiografía fijas.

En contraste con las restricciones de dosis, que son un instrumento prospectivo, existe frecuentemente necesidad de cierto tipo de indicador del desempeño durante las operaciones. Como no sería apropiado que este indicador fuese un límite o una restricción, se adopta para él el término de nivel de investigación. Los niveles de investigación tienen que ser específicos para la instalación o las operaciones de que se trate, y por lo tanto serán normalmente establecidos por el personal directivo a nivel local, teniendo en cuenta los

resultados del estudio de optimización que se haya realizado. Los niveles de investigación deberían fijarse en forma de magnitudes mensurables tales como dosis, incorporaciones, tasas de dosis o niveles de contaminación individuales. Los niveles de investigación serán por lo general un componente de un plan ALARA. En caso de rebasarse un nivel de investigación, se debería realizar sin demora un estudio de la situación para determinar las causas y, de ser necesario, tomar nuevas medidas para controlar las exposiciones.

Otro tipo de referencia para uso durante las operaciones es un objetivo de dosis colectiva. Este objetivo es similar a un nivel de investigación en el sentido de que aproximarse al mismo o excederlo dará lugar a una investigación, de modo que puede ser para la dirección un indicador útil del desempeño general de un trabajo en comparación con las predicciones de un estudio de optimización o con la mejor práctica seguida en otras situaciones similares. Los objetivos de dosis colectiva también formarán parte a menudo de un plan ALARA.

Como ha reconocido la CIPR, “reducir todas las exposiciones al valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales”, “optimización de la protección” y “ALARA” son conceptos idénticos en el sistema establecido por la misma [19]. Dada su amplia aceptación en el mundo entero, en el presente Informe de seguridad se utiliza la sigla ALARA siempre que se considera procedente.

La optimización de la protección es una idea de aplicación amplia. Al nivel superior implica la estructura orgánica necesaria para posibilitar la asignación adecuada de funciones. Puede servir para la toma de decisiones a todos los niveles, desde los problemas simples cotidianos de carácter operacional hasta los análisis fundamentales del diseño de instalaciones de diferentes tipos, y debería aplicarse en todas las esferas de la protección radiológica ocupacional, incluidos los usos médicos de la radiación, la exposición a la radiación natural y en general la industria así como el sector nucleoelectrico, el cual es tal vez el que recibe más publicidad. La idea de la optimización también debería en principio ser aplicable a los procedimientos destinados a prevenir o mitigar las consecuencias de incidentes en el lugar de trabajo que pudieran originar exposición a las radiaciones. Para ello es preciso tener en cuenta la probabilidad de los sucesos de este tipo y de sus consecuencias, pero como ya se ha señalado, aún no se han desarrollado las técnicas que permitan hacerlo, de modo que estos aspectos no se abordan en el presente Informe de seguridad.

El papel fundamental de la optimización es inducir en todos los responsables del control de la exposición a las radiaciones una manera de pensar que les lleve a preguntarse continuamente “¿He hecho todo lo que razonablemente puedo para reducir esas dosis de radiación?”. Es evidente que

la respuesta a esta pregunta es un asunto de apreciación racional porque no se puede contestar en el mismo sentido que cuando la pregunta se refiere a los límites de dosis, “¿He asegurado el cumplimiento de los límites de dosis?”. Si se vigilan las dosis recibidas por un trabajador y la suma de las mismas durante el período prescrito es menor que el límite, la contestación a la pregunta sobre el cumplimiento del límite de dosis es “sí”. En el caso de la pregunta sobre la optimización, en parte porque tal optimización es en gran medida de carácter prospectivo, no existe una respuesta técnica tan precisa que no requiera una apreciación racional. Por lo tanto, la demostración del cumplimiento de un requisito de optimización reglamentario ha de ser también cuestión de apreciación racional. En el presente Informe de seguridad se explica qué cuestiones han de tenerse en cuenta para llegar a esa apreciación racional.

En la industria moderna, la presión económica ha hecho que la productividad y la competitividad de los costos sean consideraciones esenciales. Por lo tanto, las empresas han adoptado un enfoque global de la actividad laboral que destaca la importancia de un enfoque de cada trabajo concreto desde la perspectiva de un equipo multidisciplinario, y de una supervisión completa de esos trabajos a lo largo de las etapas de concepción, diseño, planificación, preparación, ejecución y seguimiento. Este enfoque de los trabajos concretos es lo que se denomina en general gestión laboral. Tiene mucho en común con el enfoque sistemático de la optimización recomendado en la Guía de seguridad sobre protección radiológica ocupacional (Ref. [12], párr. 4.6) en que se dice:

“La optimización de la protección es un proceso que comienza en la fase de planificación y continúa a lo largo de las etapas de programación, preparación, implementación y retroalimentación.”

En la mayoría de los casos la optimización tiene que llegar a un equilibrio teniendo en cuenta las necesidades de reducción de la dosis, las necesidades de mantenimiento de la producción y los costos que ello implica. En la Ref. [12] se recomienda aplicar el proceso de optimización a través de la gestión laboral. Puesto que la reducción de las dosis por medio de esa gestión suele realizarse con medidas que mejoran las condiciones de trabajo, a menudo es posible lograr a la vez los objetivos de aumentar la eficiencia y optimizar la protección radiológica. Esta mejora global del producto del trabajo y la reducción de la dosis quizás puedan alcanzarse incluso sin costos financieros netos si las economías logradas por el aumento de la eficiencia compensan con creces los costos de las medidas de protección.

Existe una amplia variedad de técnicas útiles para optimizar la protección radiológica. Algunas de estas técnicas tienen su origen en la investigación

operacional, otras en la economía y otras en la ingeniería. Las técnicas existentes incluyen, sin limitarse a ellos, procedimientos basados en el análisis de costos-beneficios; éstos son los procedimientos examinados en detalle en el primer gran informe de la CIPR, publicado en 1983 [6]. No obstante, la CIPR ha señalado la importancia de reconocer que hay otras técnicas, unas cuantitativas, otras de tipo más cualitativo, que también pueden utilizarse para optimizar la protección radiológica. Estas técnicas se elaboraron en un informe posterior, más general [7], que se publicó en 1989 y se respaldó en las recomendaciones más recientes de 1991 [16]. Son éstas las técnicas que se describen en el Anexo I.

El deber primordial de optimizar la protección en una instalación corresponde a la dirección de la misma. El decidido empeño de la dirección superior, a menudo expresado en una declaración de normas a seguir, es un requisito previo esencial para la instauración o la continuación fructíferas de un programa ALARA. Otra importante medida inicial en los preparativos para ejecutar un programa ALARA a través de la gestión laboral es crear en la organización interesada las estructuras directivas apropiadas y asignar cometidos. Esto debería complementarse con programas amplios de sensibilización y de formación básica necesaria. Otras medidas más técnicas para optimizar la protección deberían ser objeto de análisis, para el cual es conveniente un procedimiento sistemático. Este enfoque de la organización y el control del trabajo no es exclusivo de la optimización sino que forma parte de una gestión eficaz normal. La Fig. 1 ilustra un procedimiento de este tipo, que comprende las etapas siguientes.

1. Evaluación de las situaciones de exposición para determinar la necesidad de un estudio de optimización. Para esto suele ser ventajoso utilizar términos de comparación o ejemplos de buena práctica. Esas comparaciones pueden hacerse con otras instalaciones similares consignadas en bases de datos tales como el Sistema de Información sobre Exposición Ocupacional (ISOE) [20], con las monografías del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) [21] o con las restricciones de dosis fijadas para ese tipo de trabajo por la dirección o una autoridad reguladora. En general es prudente realizar un examen sistemático de todas las situaciones de exposición. Por ejemplo, en las actividades de diseño y planificación se deberían considerar situaciones que impliquen dosis menores si hay un cierto número de trabajadores expuestos frecuentemente o por períodos largos. En algunos casos será evidente la conveniencia de mejoras en un trabajo determinado que conlleve dosis altas.

2. Identificación y cuantificación de los factores de reducción de la dosis a considerar en el estudio de optimización. En esta etapa consecutiva se determinan todos los medios mediante los cuales se puede reducir las dosis. Estos factores incluyen medios generales, aplicables a todas las operaciones, y

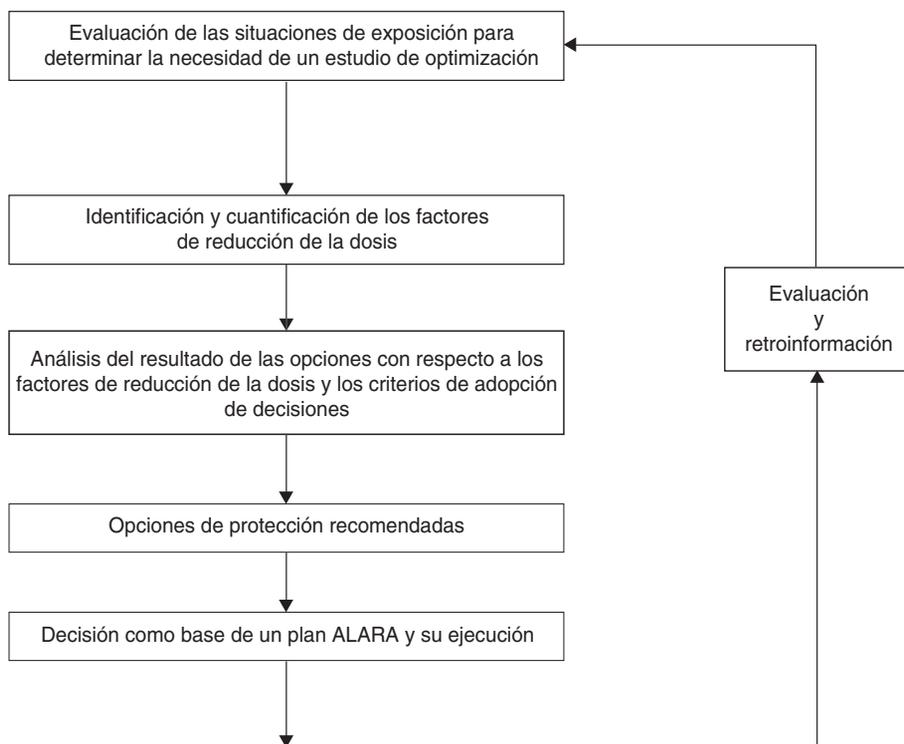


FIG. 1. Procedimiento de optimización.

medios específicos para la optimización de la protección en trabajos concretos. Cabe recurrir a combinaciones de diversos medios como opciones para mejorar la protección.

3. *Análisis, que puede ser cualitativo o cuantitativo, del resultado de las opciones con respecto a cada uno de los factores de reducción de la dosis y de los criterios de adopción de decisiones establecidos por anticipado.* El objetivo global de la optimización tiene que ver con la exposición de todo el personal a la radiación. Para evaluar tal exposición, uno de los factores clave es la distribución de las dosis individuales, especialmente las dosis individuales máximas. Como también es importante tener en cuenta el número de trabajadores expuestos a determinados niveles de dosis, la dosis colectiva al conjunto del personal es un factor necesario. Se entiende aquí por dosis colectiva la suma de las dosis pronosticadas o recibidas realmente por un conjunto dado de trabajadores, sea durante un período de tiempo, por ejemplo un año o un mes, o al realizar un

trabajo concreto. Los criterios aplicables ofrecen orientación, cuantitativa o cualitativa, sobre lo que es aceptable o deseable para cada uno de los factores. Por ejemplo, la restricción de dosis individual es un criterio de un tipo, un valor monetario especificado de la unidad de dosis colectiva es otro criterio. Estos criterios pueden utilizarse con otros aportes menos cuantitativos para decidir con respecto a un plan ALARA en general y a los trabajos concretos.

4. *Generación de una opción de protección óptima recomendada.* Habida cuenta de los resultados del análisis, incluidos los costos de todo tipo y la eficacia de los diversos medios de reducción de dosis, surgirán probablemente como óptimas una o unas pocas opciones.

5. *Decisión final, que pasa a ser la base de un plan ALARA y su ejecución.* Por medio de técnicas para hacer que participen los directivos, los trabajadores a los que afecte la situación y los trabajadores en los que repercutirá el proceso de adopción de decisiones, es posible determinar, considerando las opciones óptimas propuestas, la combinación apropiada de medios generales para optimizar la protección y abordar los trabajos concretos. Con esto puede luego formularse un plan ALARA para su aplicación.

En cierto sentido este procedimiento constituye una importante plasmación práctica del concepto de optimización. El procedimiento, que puede aplicarse tanto al diseño como a las situaciones operacionales, tiene como fin dilucidar el problema en estudio de modo que, al determinar las principales opciones de protección radiológica, se consideren todos los medios disponibles para reducir las dosis juntamente con sus costos y cualesquier otros factores pertinentes. Las etapas del procedimiento se exponen más ampliamente en las siguientes secciones del presente Informe de seguridad.

Para realizar un estudio de optimización es necesaria la participación de otros grupos. Entre éstos figuran en particular los trabajadores que tienen un conocimiento directo de la situación objeto de estudio y que por lo tanto pueden formular sugerencias acerca de los factores de interés y de la forma en que podrían modificarse, así como otros grupos directivos encargados del control financiero o a los que afecte la situación desde el punto de vista productivo, que pueden formular restricciones de carácter financiero o técnico, o tal vez presentar sugerencias sobre mejoras desde una perspectiva más amplia.

El resultado concreto de un estudio de optimización será un plan ALARA con objetivos a corto y a más largo plazo que pueden denominarse metas ALARA. Estas metas podrían fijarse, por ejemplo, en forma de dosis individuales máximas y objetivos de dosis colectivas. El plan puede incluir también niveles de investigación para su uso durante el funcionamiento con el fin de poner en marcha un examen minucioso si hay desviaciones de los esquemas de dosis pronosticados. Al ejecutar el plan es importante y necesario comunicar las razones de los cambios y los beneficios previstos. La participación

de los grupos antes mencionados en la elaboración del plan tendrá la utilidad adicional de involucrar a los que tienen que ejecutarlo. En la fase de ejecución será necesario también hacer hincapié en la responsabilidad que tiene toda persona participante en cuanto a la mejora de su propia protección y de la protección de sus compañeros de trabajo.

Durante la ejecución del plan debería observarse la variación de los indicadores y darse oportunidades de retroinformación a fin de que, cuando se realice un nuevo examen en el futuro, la base de datos para el mismo sea clara y completa.

3. EVALUACIÓN DE LAS SITUACIONES DE EXPOSICIÓN

Las situaciones de exposición ocupacional van de las simples (por ejemplo un técnico médico que realiza una radiografía de tórax) a las complejas (por ejemplo tareas en que participan varios centenares de trabajadores en las paradas de mantenimiento y recarga de combustible de una central nuclear). En la Ref. [12] se señala que un programa de protección radiológica tiene que estar bien adaptado a la situación de que se trate. Para asegurar esto, el primer paso es realizar una evaluación radiológica inicial de la práctica o la instalación en cuestión. El propósito de esta evaluación inicial es describir, con la precisión necesaria, la situación que entraña exposiciones ocupacionales. Se recomienda que la evaluación incluya, para todos los aspectos de las operaciones [12]:

- “a) una identificación de las fuentes de exposición de rutina y de las exposiciones potenciales razonablemente predecibles;
- b) un estimado real de las dosis correspondientes y de las probabilidades;
- c) una identificación de las medidas de protección radiológica necesarias para cumplir con el principio de optimización.”

El presente Informe de seguridad trata de la optimización, y los procedimientos de evaluación descritos aquí se centran en la elaboración de un plan ALARA enmarcado en un programa general de protección radiológica.

En un enfoque genérico, independientemente del grado de complejidad, hay dos niveles principales de evaluación. El primero consiste en una evaluación global de la exposición con miras a determinar las principales esferas por mejorar y a comprobar la eficacia general de un programa de optimización en caso de que ya exista. El segundo supone un análisis detallado de los trabajos concretos a fin de examinar los factores que contribuyen a las

dosis correspondientes y determinar los medios que convendría utilizar para reducir las dosis.

3.1. EVALUACIÓN GLOBAL DE LA SITUACIÓN DE EXPOSICIÓN

Antes de comenzar todo proceso de optimización es necesario que la dirección efectúe una evaluación radiológica inicial para obtener un panorama general de la situación en materia de exposición de la que es responsable, evaluar la evolución de las exposiciones y determinar las esferas principales que deben mejorarse.

3.1.1. Etapa de diseño

En la etapa de diseño de una nueva instalación (por ejemplo una central nuclear, un laboratorio de investigación, una sala de radiografía de un hospital) o de preparación de una nueva operación (por ejemplo, el desmantelamiento de una instalación, una modificación importante de la misma), debería realizarse una evaluación global de la situación en materia de exposición para determinar si se satisfacen las restricciones de dosis individuales [17, 18] y los objetivos de dosis colectiva (siempre que se hayan establecido) (véase el ejemplo que figura en la Sección 3.1.1.1). Estos dos elementos, que están relacionados con las fuentes, reflejan en sentido genérico lo que puede considerarse como conseguible teniendo presentes los resultados obtenidos en instalaciones o situaciones de exposición similares a nivel nacional o internacional: de esto trata la Sección 2.

En la etapa de la caracterización inicial de la situación de exposición futura, los principales indicadores a examinar son el nivel de la dosis colectiva y la distribución de las dosis individuales (es decir, el número de trabajadores expuestos en función de los rangos de los niveles de dosis individuales). Los datos para este tipo de panorama general se recopilan anualmente. Estos indicadores se obtienen mediante una descripción genérica de los principales trabajos radiológicos que se planea realizar en la instalación considerada. La descripción se basa en un cálculo aproximado de la frecuencia de los trabajos a ejecutar, su duración, las tasas de dosis, y el posible número de trabajadores expuestos.

Comparando los indicadores con las restricciones de dosis individuales y los objetivos de dosis colectiva es posible determinar las modificaciones del diseño que tienen que hacerse antes de la construcción a fin de satisfacer las metas. También pueden realizarse modificaciones del diseño para mejorar las condiciones en instalaciones existentes. Por lo tanto, en el proceso de diseño ha de iniciarse una evaluación lo antes posible a fin de mantener una flexibilidad

máxima para posibles cambios del diseño original. El proceso de optimización de la protección se pone en práctica entonces efectuando una segunda evaluación más detallada de todos los trabajos, para reducir las dosis al valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse, inferior a esos niveles de restricción de dosis u objetivos, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales (véase el ejemplo que figura en la Sección 3.1.1.2). Debería planificarse una reevaluación periódica de la situación.

3.1.1.1. Ejemplo 1: Restricciones de dosis individuales e indicadores

Buen número de entidades han establecido restricciones de dosis e indicadores con fines de diseño, por ejemplo en el caso de:

- Reactores de potencia.
 - Dosis individual anual.
 - Dosis colectiva anual por unidad de potencia instalada.
 - Dosis individual anual media al personal.
- Operaciones de reprocesamiento.
 - Dosis individual anual.
- Asesores de protección radiológica.
 - Dosis individual anual.
- Técnicos de laboratorio de investigación.
 - Dosis individual anual.

3.1.1.2. Ejemplo 2: Diseño de una instalación importante

En este ejemplo se presentan los resultados principales de un estudio de optimización detallado efectuado en la etapa de diseño de una instalación de tratamiento y acondicionamiento de desechos radiactivos de la industria nuclear. La instalación está compuesta de dos unidades principales: una de fusión (para los desechos metálicos) y otra de incineración (para los combustibles sólidos o líquidos y para los desechos no combustibles). Las diferentes etapas del estudio son las siguientes:

- a) Primera evaluación de la situación de exposición con estimaciones aproximadas (excluidos los puestos de trabajo de mantenimiento):
 - Dosis colectiva: $0,83 \text{ Sv} \cdot \text{hombre/a}$.
 - Número de personas expuestas: 63 trabajadores.
 - Nivel individual medio de dosis por año: $13,2 \text{ mSv}$.

- b) El estudio de optimización sirvió para decidir sobre los objetivos siguientes:
- Restricción de dosis individual: 15 mSv/a, para eliminar cualquier opción que pudiera dar lugar a una dosis individual anual mayor que ese valor.
 - Reducción del nivel de dosis individuales y colectivas, dando prioridad a los niveles más altos de dosis individuales.
 - Eliminación de todas las situaciones de exposición en que fuera necesario utilizar equipo protector respiratorio durante más de dos horas.
- c) Segunda evaluación de la situación de exposición con una hipótesis más realista y una descripción más precisa de las etapas de trabajo; para su uso como referencia en el estudio de optimización:
- Dosis colectiva: 0,77 Sv · hombre/a.
 - Número de personas expuestas: 88 trabajadores.
 - Nivel individual medio de dosis por año: 8,75 mSv.
- d) Estudio de optimización: determinación de las opciones de protección, cuantificación de su eficacia y del costo de las opciones, así como selección de las opciones óptimas (principalmente mejoramiento del blindaje y desarrollo de instrumentos de mando remoto). Los resultados finales fueron los siguientes:
- Dosis colectiva: 0,53 Sv · hombre/a.
 - Número de personas expuestas: 93 trabajadores.
 - Nivel individual medio de dosis por año: 5,7 mSv.

En el Cuadro I se indica la distribución de las dosis individuales antes y después del estudio de optimización. El principal rasgo de este ejemplo es mostrar que la aplicación de las opciones de protección permite reducir la dosis colectiva anual y la dosis individual media, aun cuando el número de personas expuestas tenga que aumentarse ligeramente a fin de satisfacer la restricción de dosis individual.

3.1.2. Fase operacional

En la fase operacional de una instalación, el personal directivo responsable (incluidos los oficiales de protección radiológica) debería realizar evaluaciones periódicas (anualmente, por ejemplo) de la situación de exposición global en la instalación, con vistas a:

CUADRO I. DISTRIBUCIÓN DE DOSIS INDIVIDUALES ANTES Y DESPUÉS DE UN ESTUDIO DE OPTIMIZACIÓN (EXCLUIDOS LOS PUESTOS DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO)

	Número de trabajadores por rangos de dosis individuales anuales			
	<5 mSv/a	5–10 mSv/a	10–15 mSv/a	15–20 mSv/a
Unidad de fusión				
Antes de la optimización	15	13	8	5
Después de la optimización	36	7	3	0
Unidad de incineración				
Antes de la optimización	8	14	15	10
Después de la optimización	9	37	1	0

- Evaluar las tendencias genéricas;
- Comprobar cualquier posible desviación:
- Observar la eficacia del programa de protección radiológica, incluido el plan ALARA;
- Detectar las principales esferas que requieren mejoras;
- Determinar metas futuras de dosis.

Los principales indicadores utilizados para esta finalidad son generalmente las tendencias anuales de la dosis colectiva operacional total y las distribuciones de las dosis individuales anuales (véase el ejemplo del Cuadro II). Cuando los diversos trabajos que caracterizan la situación de exposición puedan agruparse en diferentes categorías, y cuando haya diversos tipos de trabajadores (por ejemplo, obreros, técnicos, ingenieros) afectados, los indicadores pueden detallarse para cada categoría de trabajo y tipo de trabajador a fin de permitir un mejor análisis de la situación. Estos particulares pueden analizarse sólo para evaluar las tendencias de las exposiciones ocupacionales en la instalación considerada y compararlos con las tendencias en instalaciones similares (a nivel nacional o internacional) con fines de referencia.

Además de la evaluación global de las tendencias, es también necesario comprobar si se cumplen las metas dosimétricas, las restricciones de dosis específicas, etc., fijadas como parte del proceso de optimización (por ejemplo, las dosis individuales anuales máximas, la dosis colectiva por año o por categoría de trabajo).

Es también necesario volver a evaluar los indicadores menos cuantificables de la eficacia de un programa de protección radiológica (véase el ejemplo de la

CUADRO II. EJEMPLO 3: ANÁLISIS DE LAS TENDENCIAS DE LOS DATOS SOBRE DOSIS RELATIVOS A TRABAJADORES EXPUESTOS OCUPACIONALMENTE EN RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL DURANTE LOS AÑOS 1990–1996

	1990	1992	1994	1996
Dosis colectiva (Sv·hombre)	3,8	4,1	2,6	2,5
Dosis media (mSv)	1,4	1,6	1,3	1,6
Trabajadores que recibieron dosis superiores a 15 mSv	37	22	29	9

Nota: Los datos correspondientes a 1990–1992 provocaron un examen de las prácticas de trabajo en radiografía industrial que se tradujo en reducciones de las dosis individuales y colectivas.

Sección 3.1.2.1). Desde la perspectiva de la gestión laboral, estos indicadores menos cuantificables son en particular:

- El empeño de optimizar la protección radiológica de todas las personas cuyas funciones estén directa o indirectamente relacionadas con la ejecución de trabajos bajo radiación, desde la dirección superior hasta cada uno de los trabajadores expuestos a la radiación;
- El grado de conocimiento de estas personas en lo referente a las diversas metas dosimétricas (por ejemplo instrucción a los trabajadores a pie de obra sobre temas tales como metas anuales o relacionadas con las tareas);
- La participación de los trabajadores y la dirección en los estudios de optimización de la protección radiológica;
- La calidad de los sistemas de información y la eficacia de la difusión de información;
- La instrucción permanente de los trabajadores en lo que respecta a cambios y mejoras en los procesos de optimización.

Al realizar todas estas evaluaciones periódicas, el personal directivo debe tener conciencia de que aun si la situación de exposición parece satisfactoria a nivel de la instalación en comparación con situaciones de exposición similares en otras instalaciones, quizás sea todavía posible (o necesario) reducir más las dosis. El proceso de optimización es un proceso dinámico cuyos resultados siempre han de seguirse cuestionando.

3.1.2.1. Ejemplo 4: Participación del personal en el proceso de evaluación de las exposiciones

El proceso de evaluación de las exposiciones debería incluir de algún modo a todos los trabajadores expuestos ocupacionalmente. Elemento esencial para dicho proceso es un equipo básico integrado por las personas encargadas de la dirección y la planificación general de las operaciones sometidas a exposición. Es igualmente necesario que este equipo básico comprenda personal ajeno al departamento de protección radiológica. Aunque el presidente (o facilitador) del equipo básico pueda ser un miembro del departamento de protección radiológica, la mayor parte de los componentes deberían ser representantes de grupos de trabajo que no pertenezcan al departamento de protección radiológica.

3.2. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS ESPECÍFICOS DE LOS TRABAJOS

3.2.1. Evaluación previa de todos los trabajos concretos expuestos a radiación

Además de la evaluación periódica de la situación global de exposición, la planificación de todos los trabajos concretos que puedan dar lugar a exposición ocupacional debiera incluir, con la mayor anticipación posible al comienzo de cada trabajo, una evaluación general de los niveles de dosis colectivas e individuales ocasionados directamente por tal labor. La evaluación debiera efectuarla el grupo responsable, es decir el grupo que realizará realmente el trabajo, en estrecha cooperación con el grupo de protección radiológica y con su asistencia. Ha de basarse en una descripción técnica del trabajo en cuestión y relacionarse con una evaluación de las condiciones radiológicas en que se realizará dicho trabajo.

Los objetivos de una evaluación previa de los niveles de exposición correspondientes a los trabajos pueden ser:

- Obtener los elementos necesarios para determinar y detallar metas dosimétricas relacionadas con las condiciones de trabajo;
- Determinar las condiciones de exposición (es decir, dónde, cuándo y cómo quedan expuestos los trabajadores);
- Poner en contacto a las personas adecuadas del grupo responsable de los trabajos y del grupo de protección radiológica;
- Concretar los trabajos que han de analizarse más a fondo para mejorar la protección radiológica.

El grado de evaluación, planificación y examen debiera ser proporcionado a las dosis estimadas resultantes de los trabajos en cuestión. Puede ser útil determinar un valor de referencia en forma de dosis individuales o colectivas tal que, si la exposición estimada inherente a un trabajo rebasara ese valor predeterminado, se realizase otro análisis en debida forma para concretar las opciones de reducción de dosis, seguido de un examen, a cargo de la dirección superior, de la labor de evaluación y planificación. En el Cuadro III [11] se presentan como ejemplo las categorías de trabajos y los exámenes ALARA conexos propuestos por el Consejo Nacional de Protección y Mediciones Radiológicas para las centrales nucleares. El valor de referencia correspondiente a cada tipo de instalación será probablemente distinto.

La selección de los trabajos que requieran análisis más detallados puede efectuarse también por comparación con los resultados obtenidos en ocasiones anteriores para los mismos tipos de trabajo (ya sea en la instalación considerada o en otras análogas), lo que puede poner de manifiesto la posibilidad de conseguir una actuación mejor. En este caso son de interés no sólo las tendencias de las dosis colectivas, sino la evolución de los principales parámetros que contribuyen al aumento de la exposición (es decir las tasas de dosis, la duración del trabajo y el número de trabajadores). El análisis de las

CUADRO III. EJEMPLO 5: CRITERIOS DE DOSIS COLECTIVA PARA DETERMINAR EL GRADO DE ANÁLISIS DE UN TRABAJO

Categoría	Estimación de dosis	Examen
1	<10 mSv-hombre	A cargo de un técnico de protección radiológica, como parte de la preparación de una autorización de trabajo expuesto a radiación
2	10–50 mSv-hombre	A cargo de un técnico de protección radiológica y de un supervisor de protección radiológica
3	50–500 mSv-hombre	A cargo de un supervisor de protección radiológica y de un ingeniero responsable de la planificación ALARA La estimación de las dosis y las técnicas previstas de reducción de las mismas han de documentarse en un informe previo al inicio del trabajo
4	>500 mSv-hombre	Además del requisito precedente, un examen a cargo de la dirección de la instalación o de un comité ALARA

tendencias de las dosis colectivas relacionadas con los trabajos repetitivos (por ejemplo, las tareas anuales de mantenimiento normales), o con los trabajos similares realizados en lugares diferentes, debería complementarse con un análisis de la tasa de dosis ambiental y del volumen de trabajo en condiciones de exposición (el tiempo total que permanece un equipo completo en una zona de trabajo, medido en horas-persona) para detectar las posibles variaciones de las condiciones radiológicas o técnicas de un trabajo a otro (véase el ejemplo de la Sección 3.2.1.1). Este tipo de análisis puede demostrar que un aumento de la dosis colectiva no se debe a la actuación deficiente en un trabajo, sino a un crecimiento de la tasa de dosis ambiental (y, análogamente, una disminución de la dosis colectiva debida sólo al descenso de la tasa de dosis ambiental puede ser contrarrestada por un aumento del número de trabajadores expuestos o de la duración de la exposición).

3.2.1.1. Ejemplo 6: Análisis de trabajos similares ejecutados sucesivamente en lugares diferentes

Este ejemplo ilustra el tipo de análisis que puede efectuarse cuando se examinan las tendencias de las dosis en el caso de un trabajo realizado varias veces por el mismo equipo (es decir, el mismo número de trabajadores) pero en diferentes lugares de actividad laboral.

La primera etapa de la evaluación suele consistir en un análisis de la tendencia de la dosis colectiva. En este ejemplo (véase el Cuadro IV) se observa que la dosis colectiva correspondiente al trabajo disminuye progresivamente, lo que parece indicar una mejor actuación en esa tarea y un aumento de la eficacia en el plano laboral.

Ahora bien, como el trabajo se ha realizado en diferentes lugares, para llegar a una interpretación auténtica de la tendencia de la dosis (Cuadro V) es necesario examinar las tasas de dosis ambientales y el volumen de trabajo realizado bajo exposición. En el Cuadro V se ve que, si bien la dosis colectiva correspondiente al trabajo disminuye, el tiempo que hace falta para realizarlo

CUADRO IV. TENDENCIA DE LA DOSIS COLECTIVA

	Secuencia de los trabajos				
	1	2	3	4	5
Dosis colectiva (mSv·hombre)	36	30	24	17	15

aumenta. La disminución de la dosis colectiva se debe solamente al decrecimiento de la tasa de dosis ambiental. Desde el punto de vista de la optimización de la protección, tal resultado debería hacer necesario un análisis más detallado de la forma en que se ejecutó el trabajo para detectar los posibles tropiezos o problemas técnicos que hicieron aumentar el volumen de actividad realizado bajo exposición.

3.2.2. Análisis de las situaciones de exposición vinculadas a los trabajos concretos en el contexto de un estudio detallado de optimización de la protección radiológica

Para efectuar estudios de optimización de la protección radiológica, una etapa necesaria es un análisis detallado (véase la Fig. 2). Normalmente, éste se realiza no sólo para los trabajos determinados por medio de las evaluaciones globales de la exposición, sino también para todo trabajo nuevo. Además, debería llevarse a cabo un análisis periódico de todos los trabajos relacionados con la radiación en la instalación de que se trate, con el fin de decidir qué podría hacerse para reducir los niveles de dosis (aunque parezcan satisfactorios los niveles de dosis ocupacionales vinculados a dichos trabajos).

Estos análisis tienen el fin de determinar los factores que posiblemente contribuyan al nivel de las dosis y se podrían mejorar o modificar. Deberían basarse en una descripción precisa de todas las tareas realizadas como parte del trabajo, en términos radiológicos, técnicos y ambientales (lo que equivale a una descripción de la zona). Esto significa que es preciso obtener información detallada sobre el tiempo de exposición, el número de trabajadores afectados,

CUADRO V. INTERPRETACIÓN DE LA TENDENCIA DE LAS DOSIS

	Secuencia de los trabajos				
	1	2	3	4	5
Dosis colectiva (mSv·hombre)	36	30	24	17	15
Tasa de dosis ambiental (mSv/h)	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1
Volumen de actividad bajo exposición (horas-persona)	90	100	80	85	150

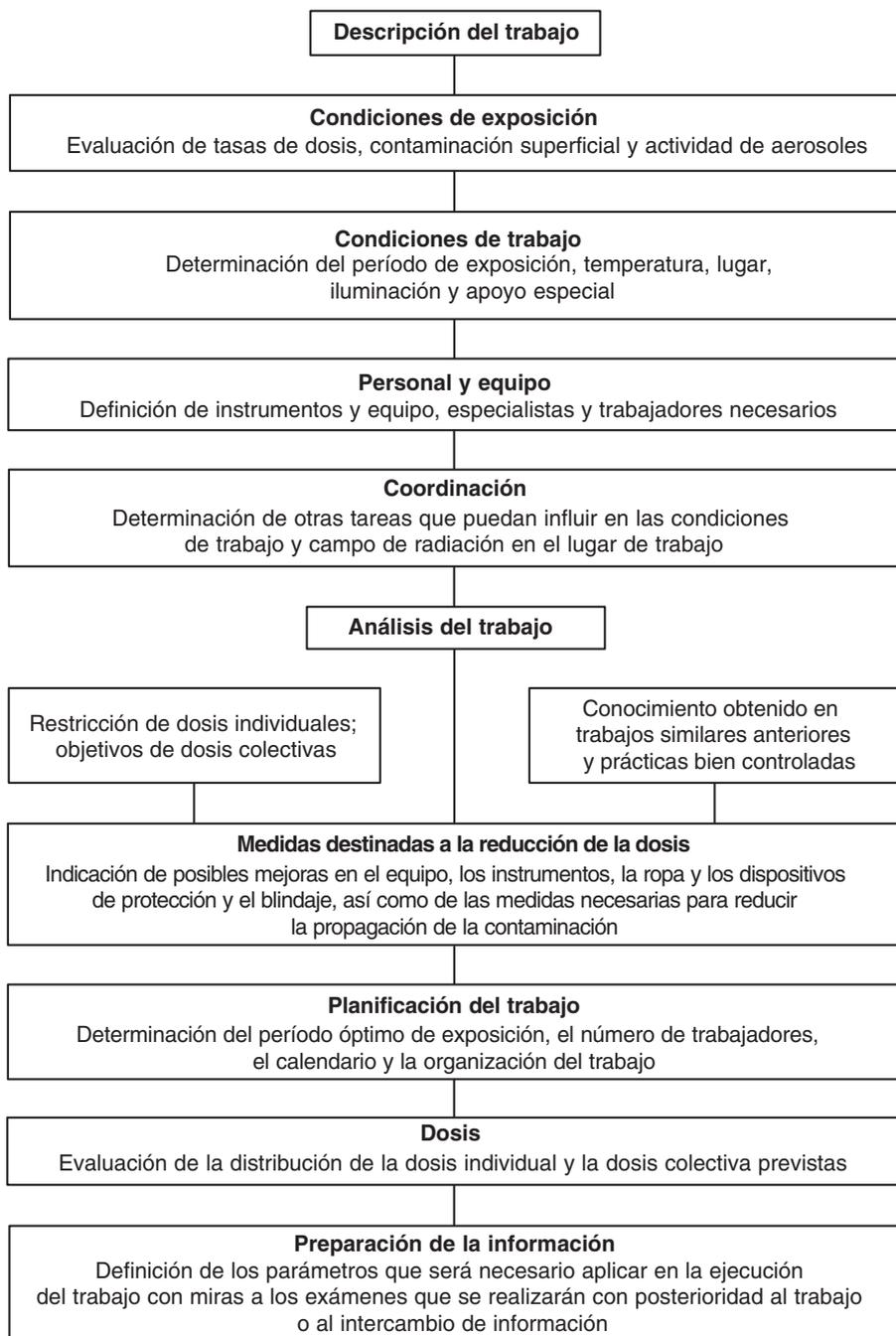


FIG. 2. Análisis de los trabajos.

las tasas de dosis ambientales existentes en las zonas de trabajo, el uso de ropa protectora, procedimientos e instrumentos, y la configuración de las zonas de trabajo (inclusive los criterios ergonómicos y la posición posible de blindajes, andamios, materiales e instrumentos). Es necesario que participen en la recopilación de datos y en el análisis de los trabajos los distintos grupos de trabajadores que intervienen en la preparación o la ejecución de los mismos y a los que concierne directamente la determinación de los medios para reducir las exposiciones.

3.3. FORMA DE OBTENER LOS DATOS

3.3.1. A nivel de las instalaciones y a nivel nacional

Un importante medio para asegurar la evaluación satisfactoria de las situaciones de exposición a nivel interno de una instalación es crear un sistema de información completo que permita recopilar, analizar y almacenar los datos. Como se ha señalado antes, esos datos no se limitan a los de índole dosimétrica, sino que también se refieren, entre otros particulares, al desempeño de cada labor y a las condiciones de actividad laboral reinantes.

Los datos pueden recopilarse directamente, ya sea antes, durante o después de la ejecución de los trabajos. En algunos casos la forma más práctica de obtenerlos es el uso sistemático de registros debidamente cumplimentados, bien sea por el personal de protección radiológica o por los jefes de equipo durante el trabajo y al terminarlo. Estos registros no tienen que ser complejos, en muchos casos pueden bastar fichas sencillas. Al acopiar los datos referentes a trabajos repetitivos, es importante para un análisis preciso que haya congruencia entre las sucesivas recopilaciones. En las situaciones de exposición complejas (es decir, aquéllas en que existen varias fuentes o varios tipos de trabajo), pueden ser útiles para el acopio de información los sistemas informatizados, que se combinan muy fácilmente con un sistema dosimétrico operacional electrónico.

En algunos casos, por ejemplo en la etapa de diseño de una instalación, en un nuevo trabajo o cuando no exista ninguna información, puede ser necesario utilizar programas informáticos específicos para facilitar lo siguiente:

- Evaluaciones de las tasas de dosis y de su posible evolución en el tiempo;
- Simulaciones de los trabajos proyectados, en su medio ambiente;
- Combinaciones de los datos de todos los trabajos proyectados (relativos a las tasas de dosis ambientales, la duración de la exposición y el número de trabajadores expuestos) en la instalación de que se trate, con el fin de obtener indicadores más genéricos.

Para las evaluaciones son también útiles exámenes o auditorías internos periódicos, en particular los exámenes dirigidos a apreciar la mentalización de los trabajadores y otros tipos de factores humanos y organizativos que pueden originar un desempeño insatisfactorio. Para que la evaluación sea más objetiva, posiblemente sea también útil pedir una auditoría externa, la cual puede efectuarse, por ejemplo, por medio de exámenes alternos a cargo de personal homólogo, con la participación de dos instalaciones en evaluaciones recíprocas.

Suele ser útil el empleo de bases de datos nacionales si se carece de información relativa a los trabajos que ofrezca indicaciones sobre una buena práctica o permita señalar los aspectos merecedores de atención (véase el ejemplo de la Sección 3.3.1.1).

3.3.1.1. Ejemplo 7: Sistema OIEA de información para autoridades reguladoras

En apoyo de las autoridades competentes de sus Estados Miembros, el OIEA ha establecido el Sistema de información para autoridades reguladoras (RAIS), el cual se está implantando en cerca de 70 países que reciben asistencia del OIEA. Dicho sistema se compone de cinco módulos, uno de los cuales se refiere a la vigilancia de la dosis individual. En este módulo se ofrece a la autoridad reguladora la información sobre la exposición ocupacional que se necesita para poder supervisar la seguridad de las operaciones. El sistema RAIS facilita también comparaciones con niveles de referencia, por ejemplo niveles de investigación, así como con restricciones de dosis y límites de dosis, e informa sobre las dosis que sobrepasan los niveles de referencia.

3.3.2. A nivel internacional

En el caso de ciertos tipos de situaciones de exposición, existen bases de datos internacionales en las que se agrupan la información dosimétrica según los tipos de trabajos realizados bajo radiación en las diversas instalaciones.

Por medio de los informes que publica periódicamente el UNSCEAR sobre las fuentes y efectos de la radiación ionizante [21], es posible obtener datos internacionales referentes a todos los tipos de trabajo. Dichos informes incluyen datos detallados sobre las exposiciones ocupacionales existentes en diversos sectores industriales y causadas por distintos tipos de fuentes presentes en diferentes países. Los principales conjuntos de categorías ocupacionales considerados en los informes son el ciclo del combustible nuclear, las aplicaciones médicas de la radiación, las aplicaciones industriales de la radiación, las fuentes naturales de radiación y las actividades de defensa conexas. Dentro de cada grupo se distingue entre los principales tipos de prácticas. En el marco de esas prácticas los datos recopilados se refieren, por

cada respectivo país, al número de trabajadores objeto de vigilancia, la dosis efectiva colectiva anual total, la dosis individual anual media y la distribución del número de trabajadores y de la dosis colectiva total según el rango de dosis individual. Para las centrales nucleares se ha adoptado un sistema más específico (véase el ejemplo de la Sección 3.3.2.1).

3.3.2.1. Ejemplo 8: Sistema de Información sobre Exposición Ocupacional

En materia de exposiciones ocupacionales en las centrales nucleares, se cuenta desde 1992 con un programa internacional denominado Sistema de Información sobre Exposición Ocupacional (ISOE). Este programa lo emprendió la AEN de la OCDE para facilitar el intercambio de experiencia en la gestión de dicha exposición entre las compañías eléctricas y las autoridades reguladoras a nivel mundial. El OIEA lo copatrocina desde 1993 para permitir la participación de los países miembros no pertenecientes a la AEN/OCDE, y en 1997 los dos organismos formaron una secretaría conjunta del ISOE.

El programa ISOE comprende la gestión de una base internacional de datos sobre exposiciones ocupacionales y una red que permite a los participantes obtener o intercambiar todo tipo de información referente a la protección radiológica en las centrales nucleares. Al fin de 2000 la base del ISOE contenía datos procedentes del 92% de los reactores nucleares explotados en todo el mundo con fines comerciales.

El ISOE suministra a las compañías eléctricas miembros la base de datos, la cual contiene información detallada sobre las dosis individuales y colectivas vinculadas a las principales actividades desarrolladas durante las paradas de recarga de combustible y fuera de ellas, una descripción de las características de diseño específicas de los diversos tipos de reactores, y formularios para la transmisión de información sobre la experiencia derivada de ciertos trabajos particulares que realizan algunas compañías. Un informe anual contiene un análisis de los datos y un resumen de los principales sucesos ocurridos en los países participantes que pudieran haber influido en las tendencias de la exposición ocupacional [20].

4. MEDIOS DE REDUCIR LA EXPOSICIÓN

4.1. INTRODUCCIÓN

Es posible que, tras llevar a cabo una evaluación, se decida que es necesario reducir las dosis y que existen medios con los que puede realizarse

tal reducción. Los métodos de reducción de dosis son muy variados y van desde los simples reajustes de tipo organizativo hasta una modificación del diseño de la instalación de que se trate.

Las formas en que se puede reducir la exposición se exponen como factores (medios) por separado, y es posible que éstos sean aplicables separadamente. Ahora bien, en muchas situaciones lo probable es que resulte más eficaz una combinación de tales factores o medios. Esta sección empieza por los medios básicos, aunque esenciales, y prosigue hasta llegar a los elementos más técnicos.

No todos esos medios son necesariamente aplicables a todas las situaciones. Existen muchas opciones para su uso por separado o en combinación. El empleo de una combinación de los mismos, y su orden relativo, debería perfilarse en un plan ALARA, del que se trata más adelante. La decisión acerca de los medios que sean aplicables y convenga adoptar debería ser anterior al establecimiento de un plan de acción y se examina en la sección siguiente.

Las listas guía son instrumentos útiles para cumplir los requisitos de un programa de optimización, y las maneras de usarlas son variadas. Pueden utilizarse, entre otras formas, como programa para la planificación de un trabajo o de una reunión de examen posterior al trabajo, o bien repartirse a los trabajadores para estimular ideas con miras a un proceso de retroinformación. Existen tipos distintos de listas guía; el que se utilice variará probablemente según la clase y tamaño de la instalación considerada (véanse los ejemplos del Anexo II).

4.2. MEDIOS GENERALES DE REDUCIR LA EXPOSICIÓN

4.2.1. Planificación y programación de la actividad laboral

Para optimizar y reducir la exposición es precisa una gestión laboral eficaz. El trabajo ha de organizarse y planificarse desde la perspectiva de la tarea concreta a realizar, así como de su relación con todas las demás tareas que se realicen, con arreglo a un objetivo y plan comunes. Para decidir cuándo se van a ejecutar tareas concretas es preciso tener en cuenta las condiciones radiológicas reinantes en ese momento dado. Puede haber una oportunidad más indicada para llevar a cabo el trabajo, atendiendo a las condiciones radiológicas, sin que resulte afectado el plan para la conclusión del mismo (véase el ejemplo de la Sección 4.2.1.1). Es útil comenzar con un modelo del plan y programa básico de trabajo para examinarlo en busca de oportunidades de encajar el momento concreto en que se haya previsto la ejecución de una tarea. La dosis evitada debería ser proporcionada a la duración y costo de la

labor necesaria, teniéndose en cuenta todas las repercusiones que cualquier cambio pueda tener en el plan de optimización de la protección radiológica.

En el contexto de dicha optimización, debería considerarse que la gestión de los recursos es una parte de la gestión laboral. La mayoría de los estudios demuestra que aumentar el número de trabajadores para un trabajo concreto, con el fin de reducir su exposición individual, prolonga a veces la duración del mismo y da lugar a exposiciones colectivas más altas que si éste fuera ejecutado por un equipo reducido y bien adiestrado. Es necesario considerar y estudiar minuciosamente este aspecto de la gestión laboral para velar por que las dosis sean lo más bajas posible. Los estudios de tiempos y movimientos y los ejercicios con simuladores pueden ser útiles para definir la gestión adecuada determinando con precisión el volumen de actividad necesario para realizar cada etapa del trabajo así como el número de trabajadores. Estos puntos se examinan en la Sección 4.3.5.

4.2.1.1. Ejemplo 9: Programación de los trabajos con arreglo a la evolución de las tasas de dosis

Cuando en las centrales nucleares se efectúa una parada inicial, aumentan apreciablemente las tasas de dosis en las proximidades de las tuberías y componentes del sistema de refrigeración de parada. Por tanto, las actividades relativas a esos sistemas deberían programarse para antes de la parada o para bastante después de la misma con el fin de que haya un margen para el intercambio iónico y la limpieza de los filtros así como un cierto decrecimiento de la radiactividad.

4.2.2. Formación general de los trabajadores

Un personal adiestrado es un elemento fundamental de todo programa de optimización de la protección y control de la exposición. Una formación radiológica básica es indispensable para el acceso inicial a toda zona en que haya radiación y la ejecución de trabajos en tales zonas. La formación en materia de optimización comprende, como mínimo, los aspectos básicos de tiempo, distancia y blindaje, y la relación de estos elementos fundamentales con la optimización de la protección (véase el ejemplo de la Sección 4.2.2.1). En general es un requisito la actualización de la formación a intervalos especificados. Tal actualización incluye normalmente un repaso de la formación inicial básica dada a los trabajadores y un examen de los nuevos reglamentos, documentos de orientación y protocolos de trabajo relacionados con el concepto de optimización.

Ahora bien, las nociones básicas de protección radiológica no son más que un primer paso. El personal también ha de tener un buen conocimiento práctico del entorno en que labora. Ha de conocer las prácticas y principios fundamentales de la actividad radiológica que es preciso desarrollar en los entornos radiológicos concretos en que trabaja (por ejemplo, zonas de radiación, zonas de alta radiación, zonas de contaminación y zonas de radiactividad causada por aerosoles). Tiene que ser adiestrado en aspectos prácticos como ponerse y quitarse la ropa protectora, usar capuchas y guantes, etc. La familiaridad con las características de los alrededores es otro requisito previo. Los trabajadores tienen que conocer al detalle, por ejemplo, los puntos de entrada y de salida para hacer mínimo el tiempo de permanencia en las zonas de radiación y reducir así la exposición. Es de igual importancia que conozcan las tasas de dosis existentes en general en la zona de que se trate así como los puntos calientes y los lugares de espera de dosis bajas. En la Sección 4.2.3 figuran más explicaciones sobre el particular.

4.2.2.1. Ejemplo 10: El programa informático de aprendizaje RADIOR

El programa informático de aprendizaje RADIOR se ha elaborado para explicar la optimización de la protección radiológica. Comprende módulos sobre la radiación ionizante, la gestión de los riesgos radiológicos y la aplicación del principio de optimización, así como una prueba sobre los conocimientos adquiridos. La mayor parte del contenido puede aplicarse en general, pero el ejemplo práctico de aplicación del principio de optimización proviene de la industria nuclear. El programa RADIOR se ha establecido con el apoyo del OIEA y de la Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea. Puede obtenerse del OIEA en forma de disquete en alemán, español, francés, inglés, ruso y sueco.

4.2.3. Mentalización y participación de los trabajadores

Las personas que realizan tareas en las zonas de radiación pueden influir mucho en su propia exposición. Por ello es importante mentalizar a los trabajadores para reducir las dosis (véase el ejemplo de la Sección 4.2.3.1). Esta influencia sobre la exposición comienza en la fase de planificación de la actividad que se ha de ejecutar.

La participación directa en la fase de planificación da a los trabajadores la oportunidad de aprovechar su experiencia y las enseñanzas de ella derivadas para elaborar el plan. Ello permite a las personas familiarizarse con los posibles riesgos e identificarse con el plan. El conocimiento de los planes ALARA, tanto globales como específicos para un trabajo, supone estar familiarizado con

los objetivos de exposición anual y particular para esa tarea. Ello sirve de estímulo para la actitud y atención al detalle que las personas muestran en la ejecución de su labor y se traduce en una reducción de las exposiciones.

Éstas pueden reducirse más con la participación de los trabajadores en una evaluación durante las operaciones, en un examen posterior a las tareas y en el proceso de retroinformación. Son muchos los conocimientos valiosos que puede aportar el personal por esos procedimientos. El marco de la retroinformación y del proceso de examen tiene que ser el de una deliberación abierta. Los trabajadores han de estar seguros de que se valoran sus aportaciones y de que pueden beneficiarse del proceso de optimización.

Su mentalización puede promoverse de otras formas. En las zonas de trabajo, en torno a las instalaciones, es posible colocar avisos fácilmente visibles que recuerden constantemente al personal el posible riesgo y la necesidad de reducir al mínimo la exposición. Estos avisos pueden, por ejemplo, indicar 'Zona de espera; dosis baja', 'No demorarse en esta zona' y otras advertencias acerca del posible riesgo inherente al manejo de material radiactivo. Los avisos de este tipo adquieren máxima eficacia si se presentan en tamaños y colores distintivos, son apreciablemente diferentes de otras indicaciones y se perciben en especial como algo importante para optimizar la protección. El uso de dosímetros electrónicos con claras presentaciones visuales de los niveles acumulativos de dosis y los niveles de radiación actuales es también adecuado para informar a los trabajadores sobre las condiciones radiológicas existentes. La mentalización se estimula más colocando los resultados de las investigaciones radiológicas a las entradas de las salas donde haya algún riesgo de esa naturaleza.

Asimismo debería inculcarse a los trabajadores la idea de que las zonas en las que existen tasas de dosis altas están normalmente sometidas a alguna forma de control del acceso, ya sea mediante el uso de cerraduras o exigiendo que una persona designada al efecto los acompañe cuando entren en tales zonas. Además de los procedimientos en sí, es preciso explicar las causas del establecimiento de controles de accesos para que los trabajadores no caigan en la tentación de eludir por ignorancia las medidas protectoras.

Otra medida que propicia la mentalización del personal es el etiquetado correcto del material radiactivo. Es posible que los reglamentos prescriban ciertos tipos de etiquetas que contengan un mínimo de información directamente relacionada con las condiciones radiológicas existentes, pero la sensibilización de los trabajadores aumenta si se facilita información suplementaria, por ejemplo instrucciones de manejo o detalles sobre las herramientas de manejo necesarias. Todas las etiquetas y avisos han de presentarse en el (los) idioma(s) que mejor conozca el personal a quien se dirigen.

4.2.3.1. *Ejemplo 11: Radiografía industrial móvil*

Se llevó a cabo un estudio de 700 profesionales que trabajan con equipo móvil de radiografía industrial. Se comprobó que aproximadamente 240 de ellos recibían dosis anuales superiores a 5 Sv·hombre. Se realizaron investigaciones detalladas gracias a las que se descubrieron las siguientes causas de que los afectados recibieran dosis superiores a lo que era necesario:

- Condiciones de trabajo difíciles,
- Inobservancia de los procedimientos de operación establecidos en conformidad con los reglamentos de protección radiológica,
- Empleo de equipo anticuado.

Se concluyó que una de las medidas más eficaces para reducir las dosis sería impartir formación y mentalizar a esos profesionales, lo que se efectuó con la participación de la autoridad reguladora y de las empresas que les dan empleo.

4.2.4. **Comunicación**

La comunicación es un elemento esencial de todo esfuerzo dirigido a reducir la exposición. Es necesaria una comunicación sistemática entre la dirección a todos sus niveles, los supervisores y los trabajadores. Es menester alentar al personal a comunicar con la dirección, ya sea directamente o siguiendo algún procedimiento oficial. En ello consiste en gran parte el proceso de retroinformación, sobre el que se dan más detalles en la Sección 5.3. Es necesaria asimismo la participación de los trabajadores en el establecimiento de opciones en materia de reducción de dosis y en la consideración de los aspectos prácticos concernientes a su adopción.

4.2.4.1. *Ejemplo 12: Mejora de la comunicación utilizando buzones de presentación de sugerencias*

Es menester que todo trabajador de una instalación disponga de medios para comunicar ideas, enseñanzas de la experiencia y buenas prácticas. Un método que cabe adoptar es el uso de un simple formulario de presentación de sugerencias. Pueden colocarse formularios y buzones de sugerencias en diversos puntos diseminados por toda la instalación. La información a insertar en el formulario debiera ser el motivo de preocupación (es decir, algo que causa más exposición que la necesaria), toda propuesta para abordarlo y el nombre de quien presente el formulario (esto último, optativo). La persona encargada de responder a esa preocupación debería evaluar el problema y toda

solución propuesta. Sea o no posible dar cauce a una propuesta determinada, debiera enviarse a todos los que presenten formularios una respuesta escrita explicando el resultado de la evaluación.

4.3. MEDIOS DE REDUCIR LA EXPOSICIÓN ESPECÍFICOS PARA LOS TRABAJOS

4.3.1. **Diseño de las instalaciones y el equipo**

El medio global más eficaz de reducir la exposición en una instalación es un diseño inicial de la misma que tenga plenamente en cuenta el requisito de optimizar la protección. Algunas instalaciones modernas lo cumplen hasta el extremo de eliminar enteramente la exposición debida a la incorporación de radionucleidos, por medio de la contención y la manipulación a distancia, o en el caso de un conjunto de radioterapia, de eliminar la exposición externa por medio del control a distancia y el blindaje. Aunque éstos son ejemplos extremos, es imposible exagerar la importancia de prestar atención a la protección en la fase de diseño. Por tal razón, las personas que intervienen en el diseño de instalaciones han de conocer plenamente las consecuencias del requisito de optimización.

Otro medio principal de reducir las exposiciones de los trabajadores es el diseño satisfactorio del equipo. Al proceder a diseñar el equipo ha de tenerse totalmente en cuenta la exposición del personal que lo va a utilizar, y es preciso un sistema exhaustivo de garantía de calidad que dé la seguridad de que la construcción, funcionamiento, mantenimiento y modificación de las fuentes y el equipo se ajustan a los requisitos aplicables. En el diseño y la construcción ha de considerarse a fondo la capacidad humana.

Las modificaciones del diseño pueden ser un medio permanente eficaz de reducir la exposición. Cabe citar como ejemplo la instalación de un blindaje fijo en las zonas donde se usa a menudo blindaje temporal (véase el ejemplo de la Sección 4.3.1.1). Otros tipos de modificación del diseño pueden perfeccionar muchos aspectos del entorno de los trabajadores mejorando el acceso, aumentando la eficacia y permitiendo una realización expedita de las tareas. Un incremento de la eficacia favorece la seguridad y reduce la exposición. Aunque suele existir tendencia a prescindir de modificaciones del diseño a causa de su costo, tienen efectividad para reducir la exposición en las instalaciones ya en servicio. Las modificaciones del diseño que implican la optimización de la protección juntamente con una mejora de la seguridad industrial y un aumento de la producción podrían traducirse en un descenso de los costos y de la exposición. Éste es un elemento importante de la optimización pues trasciende

los límites existentes con otros programas y puede dar lugar a avances en el ámbito de más de uno de los programas.

Las modificaciones del diseño se inscriben normalmente en el componente a largo plazo de un plan ALARA a causa del tiempo necesario para disponer de la tecnología y la financiación requeridas. Por consiguiente, estas cuestiones se analizan simplemente al principio para determinar si es posible reducir la exposición. Más adelante las modificaciones se pueden evaluar a fondo en función de dicha reducción, la viabilidad y el costo.

4.3.1.1. Ejemplo 13: Factores que procede evaluar al decidir sobre la necesidad de instalar un blindaje permanente

Es posible que, como consecuencia del diseño original de una instalación, se necesite montar a menudo un andamio provisional (por ejemplo, para trabajos de mantenimiento de componentes como generadores de vapor). La evaluación de la necesidad de plataformas permanentes en lugar del andamio provisional permite apreciar fácilmente las reducciones de dosis, pues no será preciso montar el andamio en cada ciclo de recarga de combustible. Las dosis debidas a la instalación de las plataformas se reciben sólo una vez. Las plataformas permanentes tienen además otras ventajas: son de por sí más seguras, lo que supone una reducción del riesgo desde el punto de vista de la seguridad industrial. Los trabajadores pueden asimismo realizar sus tareas con más eficacia sin los engorrosos aparejos de sujeción que requiere el andamio provisional. Por tanto, una evaluación presentada a la dirección pondría de manifiesto lo siguiente:

- Reducción de los costos de mano de obra debidos a la necesidad de montar y desmontar el andamio provisional,
- Reducción de los costos de mano de obra como resultado de una mayor eficacia en el trabajo (menos tiempo significa menos gasto),
- Más seguridad industrial y más confianza en ella por parte de los trabajadores,
- Reducción de la exposición a la radiación debida a la necesidad de montar y desmontar el andamio provisional,
- Reducción adicional de la exposición a la radiación por aumento de la eficacia en el trabajo.

4.3.2. Reducción del tiempo de permanencia en las zonas de radiación

La reducción del tiempo de permanencia en una zona de radiación significará siempre un descenso de la exposición (véase el ejemplo de la

Sección 4.3.2.1), pero hay que reducir ese tiempo sin detrimento de la calidad del resultado deseado. Las disminuciones de exposición se pierden si el trabajo ha de repetirse. La planificación es un elemento esencial para reducir el tiempo de permanencia en las zonas de radiación. Una buena planificación de las tareas permite acortar ese tiempo de diversas formas.

Cuidar de que estén listos en el lugar de trabajo todos los suministros, herramientas y demás equipo necesarios reducirá las demoras. Cuidar de que los instrumentos se hallen en buen estado de reparación y funcionamiento reducirá la probabilidad de que haya que repetir tareas y pruebas. Una consideración fundamental es la de contar con las herramientas adecuadas para la tarea concreta que se realice. Algunas tareas pueden requerir herramientas especialmente diseñadas que sea posible fabricar en la instalación donde se realice el trabajo. Esto es particularmente ventajoso porque en la mayoría de los casos la persona que diseñe y fabrique la herramienta será la misma que ejecute esa labor. Así aumentará la comprensión y familiarización del personal con el propio trabajo y las consideraciones de optimización.

Un personal familiarizado con las necesidades de un trabajo es también capaz de reducir el número de horas-persona que se permanece en una zona de radiación. Ese conocimiento a fondo de las necesidades puede lograrse con ejercicios prácticos o con simuladores (véase la Sección 4.3.5). Además, el empleo de trabajadores en una tarea que ya hayan realizado contribuirá a reducir el tiempo. Ahora bien, en este caso es posible un desequilibrio de la distribución de dosis entre el personal. Disponer de varios trabajadores que conozcan bien el mismo trabajo es mucho más valioso que disponer de un solo experto. Esto contribuirá también a reducir el tiempo cuando surja la necesidad de realizar tareas complejas que requieran más de una o dos personas.

El entorno de trabajo más el equipo y la ropa de protección en todas sus variadas formas pueden influir asimismo en el tiempo necesario para efectuar una tarea determinada (es decir, en la eficacia de los trabajadores). La planificación de un trabajo incluye una evaluación de su duración y de la dosis consiguiente con y sin ropa protectora, equipo protector (por ejemplo, de las vías respiratorias) y dispositivos de control (por ejemplo, medios portátiles de ventilación para reducir la temperatura ambiente). Hay que tener en cuenta tanto la dosis estimada vinculada al montaje de todo equipo portátil como las dosis que se prevea van a recibir los trabajadores al ejecutar una tarea. En general se observa que el uso de ropa protectora hace aumentar el tiempo necesario para realizar un trabajo y, en consecuencia, la dosis debida a la exposición externa. En cambio servirá para reducir la exposición interna o la probabilidad de tal exposición, en cuyo caso la estimación de la dosis es menos fiable. El resultado de la optimización comprende una elección apropiada de la ropa protectora cuenta habida de todas estas consideraciones.

4.3.2.1. Ejemplo 14: Factores que hacen aumentar el tiempo de exposición

El tiempo que pasan los trabajadores en las zonas de radiación puede aumentar apreciablemente cuando las condiciones de trabajo son deficientes. Por ejemplo, en un estudio de cuantificación de los efectos de ciertas condiciones vinculadas a tareas de mantenimiento en centrales nucleares, se ha demostrado que el alumbrado insuficiente de una zona de trabajo, el nivel de ruidos en lugares donde no se utilizan enlaces audio entre el personal, o la congestión pueden incrementar el tiempo de exposición hasta un 20% en comparación con el requerido para una tarea efectuada con buen alumbrado o en una zona despejada.

Análisis de las operaciones habituales de mantenimiento y de las operaciones posteriores a incidentes realizados en centrales nucleares demuestran que los percances o las condiciones deficientes de trabajo pueden hacer aumentar de un 20 a un 30%, por término medio, el tiempo correspondiente a esas actividades. Se ha constatado que las causas principales de los percances fueron una preparación defectuosa de los trabajos (por ejemplo, andamios no apropiados para la situación, problemas de programación), así como herramientas usadas por equivocación o que funcionaban mal y carencia de capacitación.

El uso de ropa y equipo protectores puede influir mucho en el tiempo y la calidad del trabajo. En un estudio con simuladores se ha demostrado que el efecto del uso de ropa protectora sobre el tiempo de trabajo depende del tipo de traje protector utilizado y puede variar según la clase de trabajo a realizar. Por ejemplo, en una tarea determinada llevada a cabo en una zona congestionada, el uso de un mono de goma provisto de capucha con suministro de aire puede incrementar el tiempo de trabajo hasta un 30% en comparación con el que requiere la misma tarea al usarse un mono de algodón. Para la misma tarea, el uso de un mono de goma y máscara completa con suministro de aire, que ofrece el mismo grado de protección contra la contaminación interna pero es mucho más engorroso, puede aumentar el tiempo de trabajo necesario hasta un 65%. Este ejemplo pone de relieve que al seleccionar la ropa protectora hay que tener en cuenta los factores ergonómicos (como el grado de esfuerzo, la necesidad de precisión o la duración de la tarea) relacionados con el trabajo. El uso de ropa protectora y el procedimiento de trabajo también deberían tenerse en cuenta al diseñar las herramientas que haya que utilizar.

4.3.3. Reducción del número de trabajadores necesarios

La plantilla de personal que participa en una tarea puede optimizarse eliminando el personal innecesario y utilizando solamente el mínimo requerido

para llevarla a cabo. Al igual que en el caso de la reducción del tiempo, esto ha de hacerse sin reducir la calidad de los resultados deseados y sin comprometer la seguridad del personal. Por personal innecesario se entiende el que no desempeña ninguna tarea definida. El personal que realiza actividades de observación o tareas que no requieren contacto físico ni directo con el componente en cuestión o la zona en la que se realizan los trabajos puede ser trasladado de la zona de radiación inmediata a otra de menor radiación. Estas personas pueden ser llamadas a desempeñar rápidamente su tarea y regresar luego a la zona de menor radiación. El uso de dispositivos a distancia de vídeo, audio y telemetría dosimétrica, si se dispone de ellos, puede obviar la necesidad de personal para las tareas de observación. También puede ser útil planificar el trabajo, designando, por ejemplo, a una persona para que lleve a cabo más de una tarea mientras se encuentre en la zona o lleve puesta la ropa protectora apropiada.

4.3.4. Reducción de las tasas de dosis

Los métodos para reducir las tasas de dosis difieren en función de la aplicación y del entorno dentro de la instalación de que se trata. Las instalaciones con sistemas de tuberías que contienen fluidos radiactivos pueden presentar tasas de dosis que varían según las condiciones de los sistemas y que podrían producir tasas de dosis altas en las zonas alrededor del sistema de tuberías en general, tasas de dosis altas en lugares específicos (puntos calientes), o ambas. Estas tasas de dosis altas pueden controlarse y minimizarse, y posiblemente reducirse a cero, mediante métodos tales como la aplicación de controles respecto de la química, el filtrado, el intercambio de iones y la descarga de los sistemas.

Otros métodos para lograr reducciones sustanciales de las tasas de dosis en los entornos de los reactores son la mejora de la química del agua, la modificación de los procedimientos de parada y la inyección de zinc. En el campo médico, las modificaciones de los procedimientos, como por ejemplo el paso de la braquiterapia directa a la braquiterapia con introducción de la fuente a posteriori, pueden reducir considerablemente las tasas de dosis a los trabajadores. Aunque estos métodos guardan más relación con el funcionamiento de una instalación en su conjunto, sirven para demostrar la importancia de la participación del personal directivo superior en el proceso de optimización.

Si una sala, zona o componente están muy contaminados, la contaminación podría contribuir a las tasas de dosis en la zona local o general y producir dosis más altas a los trabajadores. La descontaminación del componente o la zona de que se trata podría reducir las tasas de dosis. A fin de

asegurar la optimización, las dosis recibidas en el proceso de descontaminación han de contrabalancearse con las dosis evitadas.

El blindaje provisional puede reducir eficazmente los niveles de radiación en diversas aplicaciones. Es necesario evaluar todas las tareas sujetas a niveles de dosis altos a fin de determinar la conveniencia de instalar el blindaje provisional. Debería realizarse una evaluación para examinar las ventajas de instalar el blindaje provisional expresadas en términos de la reducción de las tasas de dosis. La base de esta evaluación incluye las dosis estimadas que recibirán los trabajadores en el desempeño de la tarea con y sin blindaje. La diferencia entre estas dosis estimadas se compara con las dosis que se recibirían al instalar y retirar el blindaje provisional. Si la reducción de las dosis que ha de obtenerse mediante la instalación del blindaje no excede de las dosis recibidas al instalarse el blindaje, no es necesario instalarlo. En esta evaluación también deberían tenerse en cuenta las posibles dosis evitadas que de otra manera se hubieran recibido durante los trabajos que se realicen en las inmediaciones del blindaje que se propone instalar.

El diseño del blindaje provisional debe examinarse minuciosamente a fin de adaptarlo en la mayor medida posible a la configuración de la zona de trabajo. En algunos casos puede ser necesario controlar que la instalación del blindaje no reduzca el espacio de trabajo de tal manera que pueda entrañar un aumento significativo de la duración de las tareas subsiguientes y, por lo tanto, del tiempo de exposición de los trabajadores.

Además de las tareas en que las dosis son potencialmente altas, también deberían evaluarse las zonas con niveles de radiación más bajos, pero de acceso frecuente, a fin de determinar la utilidad del blindaje provisional. Como ejemplos de tales zonas pueden citarse los pasillos y otros espacios de acceso general en los que se reúnen o por los que pasan las personas. Éstas son circunstancias en las que, aunque la instalación del blindaje provisional podría parecer ser ventajosa, podría no ser posible cuantificar las dosis evitadas. El blindaje debería instalarse lo más cerca posible de la fuente. Cuánto más cerca esté el blindaje de la fuente, mayor será su eficacia para reducir las tasas de dosis. También se minimizará la magnitud del blindaje necesario.

El empleo de equipo de protección personal puede considerarse como medio para reducir las dosis cuando éstas no logran reducirse razonablemente mediante otros controles. Como se señala en la Sección 4.3.3, es necesario tener en cuenta la disminución de la eficacia. Por ejemplo, es muy poco probable que el uso de delantales de plomo en radiología de diagnóstico e intervención reduzca mucho la eficacia.

La orientación del cuerpo del trabajador en relación con la ubicación y orientación de la fuente de radiación puede producir tasas de dosis más altas que las necesarias. Es necesario que el trabajador conozca el origen y la

dirección (si procede) de la radiación. Siempre que el campo de radiación no sea uniforme, es necesario que la persona se ubique de tal forma que los órganos más sensibles expuestos se encuentren en las zonas en las que las tasas de dosis son más bajas, reduciendo así las dosis. Lo anterior se aplica especialmente a la manipulación de fuentes médicas y a las aplicaciones de la radiografía.

Las herramientas de mango largo y las teledirigidas también son eficaces para reducir la dosis recibida por un trabajador (véase el ejemplo de la Sección 4.3.4.1). La medida básica de aumentar la distancia de una fuente de radiación también puede reducir considerablemente las dosis.

4.3.4.1. Ejemplo 15: Instrumentos de mango largo

Entre los instrumentos de mango largo se cuentan las varas de gancho para extraer un filtro muy radiactivo de su alojamiento y colocarlo en un cofre blindado, y las varas de enganche para manejar dispositivos muy radiactivos debajo del agua. Las varas utilizadas en aplicaciones subacuáticas deberían perforarse para que el agua pueda pasar a través de ellas, lo que impedirá que la radiación pase por la vara al trabajador que la dirige.

4.3.5. Capacitación especializada

Además de la capacitación general, la capacitación especializada también puede ayudar a reducir la exposición en el proceso de optimización. La capacitación especializada puede efectuarse de varias maneras. Puede realizarse como una segunda etapa de la capacitación básica en la que se proporciona más detalle y conferir así mayores responsabilidades a los trabajadores. La capacitación especializada también puede incluir temas tales como la manipulación y el control de fuentes radiográficas o fuentes para diagnóstico médico. La capacitación especializada estará en proporción con los riesgos de los trabajadores y debería impartirse antes del desempeño de cualquier tarea en que la exposición podría ser elevada.

El entrenamiento y los ejercicios con modelos son eficaces en el sentido de que permiten a los trabajadores practicar las tareas sin los riesgos conexos. Los trabajadores pueden realizar recorridos o ensayos simulados que pueden ayudar a encontrar cualquier problema. Esto también ayudará a determinar cualquier insuficiencia en las aptitudes de los trabajadores o en los instrumentos que se utilicen para realizar la tarea. Por lo tanto, este tipo de capacitación podría ayudar a reducir el tiempo necesario para la realización de las tareas, así como a evitar posibles errores. El entrenamiento más eficaz con modelos reproduce las condiciones reales del entorno de trabajo tales como

iluminación insuficiente, calor o ventilación deficiente. Además, los trabajadores deben llevar toda la ropa protectora y equipo protector respiratorio que sea necesario para realizar la tarea.

Otras formas de capacitación especializada pueden ser estudios de tiempos y movimientos, que ayudan a encontrar los problemas específicos de la tarea que ha de realizarse. Aquí cabe incluir un estudio de la orientación del cuerpo del trabajador a fin de ayudar a reducir la dosis al cuerpo entero.

5. DEFINICIÓN Y APLICACIÓN DE UN PLAN ALARA

Tras la evaluación del programa y la determinación de todas las medidas que podrían adoptarse para reducir la exposición, el paso siguiente consiste en decidir qué medios se utilizarán para reducir la exposición y en establecer un plan de aplicación. Hay medidas que serán obvias y que podrán aplicarse a corto plazo. En cambio, algunas otras podrían requerir una planificación a más largo plazo. En cualquier caso, la aplicación del plan debe ser sistemática y sostenida.

La gama de medidas puede variar desde las medidas de política adoptadas a nivel superior en una compañía nucleoelectrónica para administrar tareas de gran envergadura, hasta una medida concreta como la instalación del blindaje provisional para una determinada tarea. En muchos casos, especialmente cuando se trata de medidas directamente relacionadas con factores humanos (por ejemplo, medidas en materia de comunicación, sensibilización, formación), la decisión de aplicar estas medidas es clara y debería ser parte integrante de la gestión diaria ordinaria de los programas de protección y optimización radiológica.

Independientemente del tamaño de la instalación, es necesario especificar la persona o grupo de personas responsable de la coordinación general de las actividades del programa de optimización. La persona o el grupo de personas responsable también debería contar con la autoridad y el apoyo necesario para desempeñar las funciones inherentes a la aplicación del plan ALARA.

5.1. COMPONENTES GLOBALES

Antes de examinar los planes detallados y los aspectos específicos de las tareas del plan de aplicación, es preciso estudiar los aspectos globales o comunes de un plan de optimización. Entre los elementos comunes de los

programas de optimización más básicos figuran la gestión laboral, la formación de los trabajadores en los principios básicos de la protección y la optimización radiológica, la mentalización del personal respecto del proceso de optimización y las características de un proceso de comunicación eficaz.

Una gestión laboral adecuada incluye la evaluación de las condiciones radiológicas en el momento en que se programa la realización de una tarea específica. Puede haber casos en que haya que realizar determinadas tareas en otro momento, por ejemplo, cuando las condiciones radiológicas sean menos peligrosas. La formación general de los trabajadores es un elemento fundamental de la experiencia en la esfera de las radiaciones sobre el que se pueden basar otros elementos de capacitación y experiencia.

La sensibilización de los trabajadores respecto del proceso de optimización y de la existencia de un proceso de comunicación eficaz en un programa de optimización se refuerzan mutuamente. Sin el uno, es poco probable que el otro pueda existir. La comunicación y mentalización eficaces por parte de los trabajadores se logra mediante un diálogo abierto a todos los niveles de la dirección y el personal, y entre ellos. La aplicación eficaz del plan ALARA también depende del grado de compromiso de todo el personal de la instalación en cuestión.

El apoyo y la participación del personal directivo superior es imprescindible por varias razones. El personal directivo debe ser consciente de las necesidades y los progresos atinentes a las diversas actividades de reducción de la exposición a fin de poder tomar decisiones fundamentadas. El compromiso de los trabajadores respecto del proceso de optimización aumentará a medida que aumente el del personal directivo. Además, la participación del personal directivo en el proceso de optimización hará que sea más consciente de las cuestiones difíciles de resolver a niveles inferiores. El personal directivo superior puede participar en dicho proceso de varias maneras, ya sea como parte de un comité de supervisión o individualmente, dependiendo del tamaño de la instalación en cuestión o según lo requiera la situación (véase el ejemplo de la Sección 5.1.1).

Todos los grupos de trabajo conexos (los que reciben dosis de radiación por motivos ocupacionales) han de participar en el proceso de optimización. El grado de participación de un determinado grupo de trabajo ha de estar en proporción con el nivel de dosis recibido por ese grupo. También deberían participar en el proceso los grupos que puedan influir en las condiciones de exposición. La asignación de funciones y responsabilidades respecto de la ejecución del plan a nivel de las tareas básicas facilitará la gestión del plan. Las tareas deberían asignarse a las personas en función de sus respectivos campos de especialización en materia de optimización. La responsabilidad y rendición de cuentas son fundamentales en esta parte del proceso. Deberían organizarse

reuniones de seguimiento periódicas a fin de informar sobre la situación y progresos en los cometidos y responsabilidades asignados.

5.1.1. Ejemplo 16: Creación de estructuras específicas de gestión ALARA

En algunas instalaciones, podría ser útil crear estructuras específicas de gestión ALARA a fin de facilitar la coordinación y aplicación de las medidas. Éstas estructuras podrían consistir en:

- *Un comité ALARA.* Este comité es responsable de la aprobación y examen del plan ALARA. Se reúne periódicamente para examinar el comportamiento de la instalación de que se trata con respecto a la protección radiológica, evaluar sugerencias para reducir las dosis y formular recomendaciones a la dirección superior. Sus miembros se seleccionan generalmente de modo que el comité disponga de una amplia gama de conocimientos técnicos y que estén representados los diversos grupos de trabajo.
- *Un coordinador ALARA (o grupo ALARA).* Este coordinador (o grupo) verifica la aplicación de las decisiones adoptadas por el comité ALARA. El (la) coordinador(a) también es la persona designada para actuar como enlace entre el personal y la dirección en el diálogo sobre cuestiones de protección radiológica. Cuando se crea un grupo, generalmente éste está integrado por ingenieros, físicos y técnicos radiosanitarios, y su función es realizar un análisis detallado de los trabajos apropiados para un plan ALARA.

5.2. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE OPCIONES PARA LA REDUCCIÓN DE LA DOSIS EN DETERMINADOS TRABAJOS

5.2.1. Análisis de las opciones

En los casos en que las decisiones relativas a la aplicación de algún medio para reducir la exposición en determinados trabajos no son claras, es necesario evaluar las medidas con mayor precisión desde el punto de vista de la eficacia de la reducción de las dosis, los costos relativos y la viabilidad de ejecución en un plazo dado (a corto o mediano plazo). Esta evaluación es especialmente necesaria cuando se prevén varias opciones para la reducción de la dosis en la realización de un trabajo específico a fin de seleccionar las más apropiadas, o cuando se prevén varias combinaciones de opciones para la reducción de la dosis que afectarán a grupos de trabajos.

La evaluación de la eficacia de las opciones debería examinarse en función de la dosis colectiva neta, teniendo en cuenta los ahorros y los posibles aumentos de dosis en los casos en que las opciones dan lugar a compensaciones de dosis entre los trabajadores. Dependiendo de las situaciones de exposición, por ejemplo de los ahorros de dosis por trabajo, por grupo de trabajos, por categoría de trabajadores para un determinado trabajo o grupo de trabajos, por año, o durante la vida útil de la instalación, pueden hacerse varias estimaciones. Al comienzo del análisis se seleccionan los indicadores de mayor importancia para el estudio de optimización considerado.

Dependiendo de las condiciones de exposición, también podría ser necesario analizar la evolución de las distribuciones de las dosis individuales anuales en función de las opciones para la reducción de la dosis. Este factor es particularmente importante en la etapa de diseño de las instalaciones o en los casos en que las opciones podrían modificar de manera significativa el nivel anual de las dosis individuales para una determinada categoría de trabajadores (véase el ejemplo de la Sección 3.1.1.2).

La evaluación de las opciones para la reducción de la dosis debería incluir una cuantificación de los costos operacionales y de inversión generados por su aplicación. Ahora bien, el grado de detalle aplicado en la evaluación de los costos debería estar en proporción con el costo global que esté en juego. Las estimaciones del costo deberían expresarse como costo neto, teniendo en cuenta no sólo el aumento del costo generado por las opciones, sino también los posibles ahorros debidos a la reducción de los costos operacionales (véase el ejemplo de la Sección 5.2.1.1). Es particularmente importante incluir las estimaciones de los costos indirectos generados por la aplicación de las opciones (por ejemplo, los costos de la gestión de los desechos resultantes de actividades de descontaminación).

Independientemente de su grado de detalle, las estimaciones de los costos deberían expresarse en las mismas unidades de tiempo que los ahorros de dosis. Por ejemplo, los ahorros de dosis calculados anualmente han de enfocarse en la perspectiva de los costos anuales. De la misma manera, en el caso de los ahorros de dosis relacionados con los distintos trabajos, los costos deben calcularse por trabajos.

5.2.1.1. Ejemplo 17: Determinación de los ahorros de costos

Se pueden obtener ahorros de costos reduciendo la duración de una tarea y el número de trabajadores, reduciendo los costos salariales, reduciendo los costos debidos a la interrupción de las principales actividades de la instalación

de que se trata, o reduciendo los costos de adquisición y eliminación resultantes del uso de trajes protectores.

La reducción de los niveles de dosis individuales podría permitir a una categoría de trabajadores realizar otras tareas durante el año sin alcanzar el límite de dosis individual. En esos casos, se consideraría que se economizan costos de “sustitución”; es decir, todos los costos generados por la necesidad de capacitar, formar y emplear a otros trabajadores para que puedan realizar las mismas tareas. Otro aspecto es la ventaja de mantener grupos experimentados que conocen los trabajos mejor que un nuevo equipo sin experiencia previa en la realización de esos cometidos.

5.2.2. Selección de las opciones que han de aplicarse

Un elemento importante del proceso de adopción de decisiones es precisar claramente el marco en que ha de adoptarse la decisión; es decir, los condicionantes financieros (por ejemplo, la existencia de un presupuesto determinado para la reducción de las dosis, un presupuesto general para la instalación), los condicionantes técnicos o de tiempo (por ejemplo, el tiempo disponible antes de realizar un trabajo en comparación con el tiempo necesario para aplicar o desarrollar otra opción) y, en la etapa de diseño, las restricciones de dosis individuales. En algunos casos, puede ser necesario considerar si se han fijado niveles máximos de la dosis individual específicos para un trabajo. La determinación de esos condicionantes da lugar al establecimiento de un conjunto definido de criterios claros de decisión, lo que propicia la coherencia y transparencia del proceso de adopción de decisiones y la eficacia en la asignación de los recursos para fines de protección.

En los casos en que la selección de una opción no sea obvia o sea demasiado compleja, en que se puedan aplicar varias opciones o en que pueda ser necesaria una inversión importante, el empleo de técnicas de ayuda a la toma de decisiones puede contribuir a aclarar la decisión adoptada (véase el Anexo I). Cuando se consideran factores cuantificables, se pueden utilizar análisis de costos–beneficios u otras técnicas cuantitativas. Estas técnicas se basan en el uso de un valor monetario de la unidad de dosis colectiva (el denominado valor “alfa”, o “valor monetario del sievert-hombre”), que representa “la cantidad de dinero que se acuerda gastar para evitar una unidad de dosis colectiva”. Este valor de referencia es un instrumento que, en el marco del proceso de adopción de decisiones, ayuda a clasificar las opciones en función de su relación costo–eficacia, incrementa la transparencia y reduce la subjetividad de la decisión. (Para la determinación y utilización del valor alfa, véase el Anexo III.)

En algunos casos puede resultar imposible cuantificar todos los factores de que se trata o expresarlos en unidades que guarden proporción. También puede resultar difícil hacer el balance entre las dosis colectivas y las individuales o entre los ahorros de dosis y los aumentos de las cantidades de desechos, o tener en cuenta los factores sociales más generales. Para estas situaciones podría ser provechoso emplear técnicas cualitativas de ayuda a la toma de decisiones, tales como el análisis de criterios múltiples.

Los encargados de tomar las decisiones han de tener presente que las técnicas de ayuda a la toma de decisiones no ofrecen necesariamente una respuesta definitiva, ni la única solución posible, y que tampoco entrañan la obligación de aplicar todas las opciones eficaces en relación con los costos. Estas técnicas deben considerarse como instrumentos que ayudan a enfocar los problemas con el propósito de comparar la eficacia relativa de las distintas opciones de protección posibles, así como de determinar todos los factores pertinentes y de incluirlos en la adopción de decisiones. También pueden ser de ayuda en la presentación de las opciones al personal directivo superior.

5.3. VERIFICACIÓN DE LA EFICACIA DE UN PLAN ALARA

Vista la necesidad de la aplicación continua y a largo plazo de los conceptos ALARA, es necesario verificar la eficacia de la aplicación de un plan ALARA en todos sus aspectos. Dado que estos planes tienen componentes globales a largo plazo y aspectos más dirigidos a los trabajos específicos, las actividades de verificación y retroinformación deben abarcar ambas vertientes. Los efectos de algunos elementos, tales como el grado de formación general de los trabajadores y el aumento de la sensibilización, son difíciles de vigilar de manera aislada. Por lo tanto, en el caso de estos elementos se requieren indicadores globales, tales como las tendencias de las dosis individuales, de las dosis colectivas y de la frecuencia y gravedad de los accidentes e incidentes. Por contraste, la eficacia de las partes del plan que guardan relación con los trabajos específicos puede verificarse y documentarse de manera directa. El mantenimiento de registros y la documentación asegurarán la disponibilidad de los datos para las revisiones y retoques ulteriores del plan ALARA.

Puesto que el objetivo de la optimización de la protección radiológica es reducir las dosis individuales y colectivas, el indicador más importante es la dosis (colectiva o individual). La eficacia de un plan ALARA puede evaluarse, en términos globales, en función del grado de reducción de las dosis individuales y colectivas. Aunque una tendencia a la disminución de las dosis siempre es deseable, no necesariamente indica la eficacia del plan ALARA.

Hay otros factores, tales como la química del agua en una central nuclear, que pueden afectar a las dosis. Por lo tanto, es necesario acopiar y evaluar todos los datos que permitan explicar las tendencias de la exposición. Como se expone en la Sección 3.1.2, la eficacia y la necesidad de mejoras pueden verificarse fácilmente y de manera ordinaria mediante el empleo de indicadores. Este tipo de verificación debería incluir el análisis de las tendencias, de modo que se pueda tener en cuenta y explicar cualquier tendencia favorable o negativa.

La eficacia del plan ALARA también puede verificarse mediante la retroinformación recibida de personas o grupos de personas por cualquier procedimiento de comunicación oficial u oficioso (por ejemplo, estudios posteriores a los trabajos, sugerencias en la esfera ALARA). La información recibida por este procedimiento puede utilizarse para observar la actitud general del personal, así como para evaluar su conocimiento del proceso de optimización y su adhesión al mismo (es decir, la evaluación del desarrollo de una cultura ALARA).

Dependiendo del tamaño de la instalación de que se trate y de la amplitud de la retroinformación recibida de los trabajadores, estas sugerencias deberían documentarse y rastrearse en relación con las tareas asignadas en el proceso de ejecución del plan, reseñado en la Sección 5.1. De esta manera también se podrá proporcionar información al personal sobre la situación de estas sugerencias, lo que redundará en una mayor sensibilización y permitirá a los trabajadores ver los resultados de sus esfuerzos por reducir la exposición.

Los resultados de un plan ALARA deberían tratarse en informes emitidos a raíz de exámenes periódicos (quizá informes de situación trimestrales). Los exámenes deberían incluir, en el caso de los trabajos repetitivos, comparaciones de las exposiciones de una iteración a otra, así como comparaciones con los resultados alcanzados en instalaciones similares de otros sectores de la industria (base comparativa). En el proceso de examen deberían participar los representantes tanto del personal directivo como de los grupos de trabajo.

Este proceso de examen también debería utilizarse para evaluar y analizar el comportamiento de modo que se puedan especificar medidas correctoras para abordar cualquier tendencia negativa. Las medidas correctoras deberían incorporarse en el plan de ejecución y formar parte del desarrollo de la cultura de la optimización de la protección. Debería indicarse claramente que las medidas correctoras son responsabilidad de los grupos afectados y que la solución de los problemas y la elaboración de los métodos para mejorar el comportamiento debería incumbir al personal directivo superior. De esta manera se acentúa el concepto de responsabilidad. A medida

que se obtengan resultados positivos, los exámenes periódicos también ayudarán a determinar los medios que conviene seguir utilizando o cualquier nuevo medio que se pueda adoptar para mejorar el proceso de reducción de las exposiciones.

6. CONCLUSIONES

Con frecuencia se dice que la protección radiológica se centra sobre todo en la optimización de la protección. Sin embargo, esto no permite hacerse una idea clara de lo que realmente hay que hacer en el lugar de trabajo para lograr esa optimización. En el presente Informe de seguridad se ha intentado desmitificar el concepto exponiendo en términos directos lo que hay que hacer para llevar a cabo un proceso de optimización, así como evitar que la manera de pensar sobre la que se basa la optimización dependa excesivamente de técnicas analíticas como el análisis costo-beneficio, ya que estas técnicas son simplemente instrumentos. A tales efectos, en el presente Informe de seguridad se utiliza la sigla ALARA, ya que engloba dos conceptos inseparables, a saber el de la reducción de dosis y el de lo razonable.

En la descripción del enfoque general de la optimización se ha prestado gran atención a la evaluación plena y sistemática de las condiciones radiológicas en el lugar de trabajo. Este análisis es fundamental, ya que constituye la base para poder comprender lo que hay que hacer, lo que se puede hacer y cuáles son los enfoques disponibles para hacerlo. Asimismo, en él se documentan las condiciones iniciales para poder verificar la eficacia de la ejecución del plan ALARA.

El otro componente importante del presente Informe de seguridad es el examen general de los medios de que se dispondrá probablemente en la mayoría de los lugares de trabajo para reducir la exposición. Estos se clasifican en dos categorías: los medios globales, vale decir los que se pueden aplicar a nivel general en una entidad, y los aplicables más específicamente a los trabajos. Algunos de estos medios globales no son más que los que se esperaría encontrar en una organización bien administrada, como la aplicación de procedimientos eficaces y eficientes de gestión laboral y disposiciones para la formación y capacitación de los trabajadores. Una entidad eficaz y bien administrada que preste la debida atención a la seguridad de sus trabajadores reconocerá la utilidad de estos medios sin necesidad de realizar un análisis complejo de las decisiones pertinentes. No obstante, hay situaciones en que se requiere la optimización de la protección respecto de determinados trabajos. En muchos de estos casos será evidente que las medidas para reducir las dosis se podrán adoptar con pocos gastos o incluso con las economías realizadas

mediante el aumento de la eficiencia o, por el contrario, que la necesaria asignación de recursos en otros casos no guardaría proporción con las reducciones de las dosis. Ahora bien, en algunos casos no estará claro cuánto conviene hacer para reducir las dosis de manera eficaz en relación con los costos; en estos casos puede ser útil recurrir a alguna técnica de ayuda para la adopción de decisiones.

Los resultados de la evaluación y el análisis de las opciones para realizar mejoras constituyen lo que en este Informe de seguridad se denomina plan ALARA. Se trata de una combinación de medidas a corto y largo plazo o de medidas continuas. La eficacia de un plan ALARA depende del empeño puesto por la dirección y el personal, que se fomenta mediante la participación de ambos grupos en la formulación del plan. La verificación de la eficacia del plan ALARA proporciona la retroinformación necesaria para mantener actitudes apropiadas a largo plazo respecto de la doctrina ALARA a nivel de toda la entidad.

El enfoque descrito en este Informe de seguridad se ha expresado en términos generales a fin de conferirle la amplitud deseada. Los ejemplos presentados tienen por objeto mostrar cómo se puede aplicar y se ha aplicado el enfoque en diferentes circunstancias. Aunque el grado de detalle con que se aplicará en una instalación grande o en una empresa pequeña será diferente, el enfoque general expuesto puede adoptarse y aplicarse en todos los casos en beneficio de los trabajadores expuestos a la radiación, el personal directivo y las respectivas entidades.

REFERENCIAS

- [1] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources, Colección Seguridad N° 120, OIEA, Viena (1996).
- [2] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación, Colección Seguridad N° 115, OIEA, Viena (1997).

- [3] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Operational Radiation Protection: A Guide to Optimization, Colección Seguridad N° 101, OIEA, Viena (1990).
- [4] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Criterios de intervención en caso de emergencia nuclear o radiológica, Colección Seguridad N° 109, OIEA, Viena (1996).
- [5] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, Radiological Protection for Medical Exposure to Ionizing Radiation, Colección de Normas de Seguridad N° RS-G-1.5, OIEA, Viena (2002).
- [6] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Cost-benefit Analysis in the Optimisation of Radiation Protection, Publicación 37, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1983).
- [7] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Optimization and Decision-making in Radiological Protection, Publicación 55, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1989).
- [8] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, General Principles for the Radiation Protection of Workers, Publicación 75, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1997).
- [9] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, Work Management in the Nuclear Power Industry: A Manual prepared for the NEA Committee on Radiation Protection and Public Health by the Information System on Occupational Exposure (ISOE) Expert Group on the Impact of Work Management on Occupational Exposure, OCDE, París (1997).
- [10] COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS, ALARA: From Theory Towards Practice, Rep. EUR-13796, CCE, Luxemburgo (1991).
- [11] NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, Dose Control at Nuclear Power Plants, NCRP Rep. No. 120, NCRP, Bethesda, MD (1994).
- [12] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, Protección radiológica ocupacional, Colección de Normas de Seguridad N° RS-G-1.1, OIEA, Viena (2004).
- [13] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, Evaluación de la exposición ocupacional debida a fuentes externas de radiación, Colección de Normas de Seguridad N° RS-G-1.3, OIEA, Viena (2004).
- [14] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, Evaluación de la exposición ocupacional debida a incorporaciones de radionucleidos, Colección de Normas de Seguridad N° RS-G-1.2, OIEA, Viena (2004).
- [15] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publicación 26, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1977).

- [16] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publicación 60, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1991).
- [17] UNITED KINGDOM HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, Report on the Development of Guidance on the Establishment of Dose Constraints for Occupational Exposure, National Radiological Protection Board, Chilton, Didcot (1997).
- [18] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, Considerations on the Concept of Dose Constraint: Report by a Joint Group of Experts from the OECD Nuclear Energy Agency and the European Commission, OECD, París (1996).
- [19] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, A Compilation of the Major Concepts and Quantities in Use by ICRP, Publicación 42, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1984).
- [20] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Occupational Exposures at Nuclear Power Plants, Tenth Annual Report of the Information System on Occupational Exposure (ISOE) Programme, 2000, OECD, París (2001).
- [21] NACIONES UNIDAS, Fuentes y efectos de la radiación ionizante (Informe a la Asamblea General), Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR), NU, Nueva York (2000).

Anexo I

TÉCNICAS DE AYUDA PARA LA ADOPCIÓN DE DECISIONES

I-1. INTRODUCCIÓN

Aunque el presente Informe de seguridad no tiene por objeto examinar las técnicas de ayuda para la adopción de decisiones, este breve anexo proporciona suficiente información para que las referencias en el texto a diferentes tipos de esas técnicas sean comprensibles. Para poder aplicarlas en la práctica, será necesario consultar las referencias a fin de obtener más detalles.

Un componente esencial del enfoque de la CIPR respecto de la optimización es la cuantificación de los estudios de optimización, siempre que esto es posible. En publicaciones anteriores [I-1, I-2] la técnica recomendada es el análisis costo-beneficio. Aunque en la Ref. [I-3] el análisis costo-beneficio se presenta como ejemplo de una técnica, también se desarrollan otras técnicas que se recomienda utilizar. Se proporciona orientación práctica sobre la aplicación de las mismas [I-4, I-5]. El resultado de la aplicación de cualquier técnica cuantitativa de ayuda para la adopción de decisiones se denomina la solución analítica. Sin embargo, al formularse la recomendación para alcanzar un resultado óptimo, esta solución debe combinarse con una evaluación cualitativa de la actuación respecto de los demás factores de la protección radiológica. Seguidamente se incorpora el resultado de esta combinación en el proceso final de adopción de decisiones.

En la Ref. [I-3] se describen cuatro de las distintas técnicas disponibles, a saber, el análisis costo-eficacia, el análisis costo-beneficio, el análisis utilitario de atributos múltiples y el análisis multicriterio de sobreclasificación. Una cuestión esencial, no siempre reconocida, es que es la especificación de los factores y criterios de protección radiológica a utilizar en el análisis la que determinará el resultado, y no la técnica seleccionada. Si se decide que sólo dos factores, como por ejemplo, el costo y la dosis colectiva, son importantes, la aplicación de una simple técnica como el análisis costo-beneficio permitirá obtener una solución analítica que indique directamente el resultado óptimo. Aunque la aplicación de una técnica más compleja en el caso de un problema tan sencillo sería superflua, también conduciría a la misma solución analítica y resultado óptimo. Pero si se decide que son importantes varios factores y, especialmente, si algunos de ellos son difíciles de cuantificar, una técnica sencilla sólo servirá para abordar algunos de los factores y la solución analítica no indicará el resultado óptimo; para llegar a este resultado es necesario combinar dicha técnica con una evaluación cualitativa de las opciones respecto

de los factores restantes. Esta combinación de aportes cuantitativos y cualitativos a la adopción de la decisión respecto de la variante óptima es un aspecto que no siempre se ha reconocido claramente.

Aunque se ha utilizado el análisis costo-eficacia, esta técnica sólo permite seleccionar una opción que minimiza la dosis colectiva para un costo de la protección fijo o que minimiza el costo de la protección para lograr un ahorro de dosis colectiva especificado. Sin embargo, ninguno de estos procedimientos basados en la relación costo-eficacia corresponde a la optimización de la protección, ya que no entrañan las compensaciones recíprocas fundamentales entre el costo de la protección y la dosis.

I-2. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

La etapa siguiente al análisis costo-eficacia es el análisis costo-beneficio. Esta técnica se viene utilizando desde hace mucho tiempo y fue la primera que adoptó la CIPR en el contexto de la optimización. Se centra en las medidas monetarias totales de los costos y beneficios correspondientes a las opciones, con el objeto de determinar la opción de menor costo global. Esto se puede realizar por análisis del costo total o por análisis diferencial. Se trata simplemente de técnicas matemáticas distintas.

En las primeras publicaciones de la CIPR se dedujo una fórmula sencilla del análisis costo-beneficio. En ella, los únicos factores considerados de importancia directa para la optimización eran los costos financieros de la aplicación de las medidas protectoras y los niveles conexos de dosis colectiva. En estas condiciones se puede realizar un simple análisis costo-beneficio transformando la dosis colectiva en un valor monetario aplicando un valor de referencia de la unidad de dosis colectiva, generalmente denominado valor alfa. En el Anexo III se explica la deducción de este valor.

Seguidamente, se prosigue el análisis sumando el costo de la protección X y el costo deducido del detrimento $Y (= \alpha S)$ a fin de obtener un costo total de $X + Y$. El criterio, especificado a nivel externo, necesario para obtener esas cifras es el valor de la unidad de dosis colectiva, α . El costo total de cada opción representa una cifra de interés y la solución analítica corresponde a la opción que minimiza el costo total.

Ahora bien, como esta solución analítica sólo tiene en cuenta dos factores, a saber, el costo y la dosis colectiva, para pasar de ella a una opción óptima recomendada es necesario considerar cualitativamente todos los demás factores.

I-3. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO AMPLIADO

La técnica del análisis costo-beneficio antes examinada se limita estrictamente a comparaciones cuantitativas entre los costos de protección y la dosis colectiva. Ahora bien, es posible ampliar, en principio, el alcance del análisis costo-beneficio. Una forma de hacerlo es tener en cuenta la distribución de la dosis individual. Uno de los factores importantes en protección radiológica es el de si las dosis individuales son altas o bajas. Esto puede expresarse como diferencia entre la dosis colectiva resultante de un gran número de dosis individuales bajas y la misma dosis colectiva causada a una población menor que recibe dosis más altas. Un método para incluir este modo de apreciación es modificar el valor asignado a la unidad de dosis colectiva sumando al costo del detrimento un término adicional. La CIPR, en las Refs [I-2, I-3], expresa este nuevo componente del costo del detrimento en forma de término beta. El detrimento Y viene entonces definido por la expresión:

$$Y = \alpha S + \beta_j S_j$$

en la que

β_j es el valor adicional asignado a la unidad de dosis colectiva,
 S_j es función del nivel de la dosis individual entre el grupo de trabajadores afectados.

Aplicando esta fórmula se puede evaluar el costo del detrimento como suma del término alfa y los términos de dosis colectiva y beta, teniendo en cuenta también la distribución de la dosis individual. La inclusión de un margen para la distribución de la dosis individual produce un incremento del costo del detrimento Y , modificando así el costo total de cada opción. Sin embargo, es posible que se sigan omitiendo otros factores importantes en el análisis cuantitativo y haya que incluirlos de manera cualitativa.

I-4. ANÁLISIS UTILITARIO DE ATRIBUTOS MÚLTIPLES

El análisis costo-beneficio es muy eficaz pero también cabe utilizar otro tipo de técnica, diferente no en sus fundamentos, sino en la forma de tratar los factores considerados. Esta técnica se denomina análisis utilitario de atributos múltiples. Consiste en esencia en adoptar un sistema de calificación de los factores que interesan llamado función de utilidad, el cual tiene la propiedad de que si la calificación o la utilidad de dos opciones es la misma, no existe

preferencia por ninguna de ellas. Da preferencia a una opción si su calificación es más alta que la de la otra.

La Ref. [I-4] se sirve de un ejemplo tomado de la vida cotidiana para dar una idea del análisis utilitario de atributos múltiples, así como del uso de factores cuantificables y no cuantificables juntamente con procesos de apreciación racional para llegar a una decisión. Cuando compramos un automóvil valoramos factores tales como el precio, el costo del mantenimiento y la eficiencia en cuanto al consumo de combustible. Si hiciéramos un análisis del costo-beneficio podríamos incluir en él fácilmente dichos factores, posiblemente con una restricción global, por ejemplo el dinero de que disponemos. En cambio, al valorar otros factores como la aceleración o la velocidad máxima, el color de la pintura o la calidad del sistema sonoro que se desean, no es tan fácil aplicar dicho análisis. No obstante, somos conscientes de todos los factores al tomar la decisión, calificamos cada opción —cada automóvil posible— en base a nuestra actitud ante cada factor, y seguidamente introducimos compensaciones entre los factores con arreglo a nuestros criterios personales. Los estudios hechos por cada uno de nosotros tendrían la misma base de datos —las características de los diferentes automóviles— pero las decisiones a las que llegaríamos podrían ser distintas a causa de nuestras actitudes individuales ante los factores y de nuestros criterios propios acerca de las compensaciones entre un factor y otro. Por ejemplo, una persona puede dar más peso a la economía de combustible y la aceleración, mientras que otra puede darlo a la variedad de color o a la calidad del sistema sonoro. La decisión final dependerá por supuesto de las apreciaciones de quien la tome.

Al efectuar un análisis utilitario de atributos múltiples es preciso especificar los factores de protección radiológica y cuantificar las consecuencias de cada opción de protección en función de esos factores, es decir, seguir el mismo procedimiento inicial que en el caso del análisis costo-beneficio. A continuación es menester generar para cada factor una función de utilidad que exprese la conveniencia relativa de los resultados posibles con respecto a ese factor. Por lo general se asigna una utilidad de 1 al mejor resultado o a la consecuencia menos perjudicial, y una utilidad de 0 a la peor consecuencia.

Una ventaja importante de esta técnica es que esas funciones de utilidad no han de ser necesariamente lineales. Esto permite cambios de actitud en cuanto a la magnitud de interés a introducir en el proceso de toma de decisiones de tipo cuantitativo. También es posible servirse de la técnica de análisis utilitario de atributos múltiples para incluir los factores que normalmente no se consideran cuantificables, asignando funciones de utilidad a los diversos valores del factor. Por ejemplo, si determinadas opciones requieren ropa protectora, tendrán efectos sobre la facilidad de ejecución de

las tareas. El valor de la utilidad máxima 1 se asigna evidentemente a la opción que no exige ropa protectora, y el valor de la utilidad mínima 0 a la que implica dificultad en el trabajo.

I-5. ANÁLISIS DE SOBRECASIFICACIÓN POR CRITERIOS MÚLTIPLES

Todas las técnicas consideradas hasta ahora son agregativas, pues combinan todos los atributos representativos de los factores importantes que influyen sobre una decisión en una sola cifra de interés, sea ésta un costo total, como en el caso del análisis costo-beneficio, o una función de utilidad total, como en el análisis utilitario de atributos múltiples. Pero para efectuar esa agregación han de cumplirse dos condiciones. Primero, es necesario que todos los factores sean conmensurables de modo que el valor total asignado finalmente exprese debidamente el aporte a las consecuencias correspondiente a cada uno de los factores incluidos. Segundo, el responsable de la decisión tiene que aceptar que un resultado insatisfactorio respecto de un factor puede compensarse con resultados más favorables respecto de otros factores, y que estas compensaciones son admisibles en toda la gama de consecuencias dimanantes de todas las opciones de protección que se consideren.

Estas dos condiciones pueden plantear ciertas dificultades si los factores tomados en consideración son heterogéneos o si sólo se pueden evaluar de forma cualitativa. También es posible, cuando ciertas consecuencias de las opciones de protección sean un tanto extremas, que se juzguen inaceptables las compensaciones en toda la gama de consecuencias. En tal situación sería posiblemente más útil una técnica que permita un tratamiento diferenciado de esa gama de consecuencias. Esta técnica, que no se expone con más detalle en la presente publicación, figura en la Ref. [I-3] como ejemplo de un enfoque diferente de la optimización de la protección radiológica.

REFERENCIAS DEL ANEXO I

- [I-1] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publicación 26, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1977).
- [I-2] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Cost-benefit Analysis in the Optimisation of Radiation Protection, Publicación 37, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1983).

- [I-3] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Optimization and Decision-making in Radiological Protection, Publicación 55, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1988).
- [I-4] COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS, ALARA: From Theory Towards Practice, Rep. EUR 13796, CCE, Luxemburgo (1991).
- [I-5] NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, Dose Control at Nuclear Power Plants, NCRP Rep. No. 120, NCRP, Bethesda, MD (1994).

Anexo II

LISTAS GUÍA PARA UN PROGRAMA ALARA

Las listas guía son instrumentos útiles para cumplir los requisitos de un programa de optimización; las formas de utilizarlas son variadas. Una de ellas puede ser emplearlas como programas de planificación de los trabajos o de reuniones de examen posteriores a los trabajos, o también distribuir las al personal para estimular ideas con miras a un proceso de retroinformación. Existe una considerable diversidad de dichas guías; suelen variar según el tipo y tamaño de la instalación de que se trate. En este anexo figuran ejemplos concretos tomados de una central nuclear típica de los Estados Unidos de América y varias listas preparadas por el Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire (CEPN), Francia.

CUADRO II-I. LISTA GUÍA 1 PARA UN REACTOR ESTADOUNIDENSE: LISTA GUÍA PARA LA PLANIFICACIÓN ALARA DE UN TRABAJO. EXAMEN DE UNA ORDEN DE TRABAJAR EN ENTORNO RADIATIVO

Preguntas para el examen previo al trabajo	Sí	No	NP ^a	Observaciones
1. ¿Se ha examinado el historial del trabajo? a) Si no es así ¿se han preparado planes para iniciar o mejorar el archivo con ocasión de este trabajo? b) ¿Será de utilidad el uso de fotografías o de grabaciones vídeo? En caso afirmativo, indicar por su nombre la persona que hará las fotografías y las grabaciones vídeo.				
2. ¿Se han determinado las interferencias que existan en el trabajo (es decir, cualquier cosa que pueda obstaculizar innecesariamente la marcha de las actividades)?				
3. ¿Es el trabajo un episodio de alto riesgo o que se presenta por primera vez?				
4. ¿Se necesitará capacitación especial o con simulador? De ser así, indicar el programa, el lugar y el tipo.				
5. ¿Se hará uso de dispositivos de telemando o se efectuará vigilancia radiológica? De ser así, especificar.				
6. ¿Es necesario realizar todo el trabajo en una zona de radiación o donde haya aerosoles radiactivos? En particular ¿se puede trasladar el (los) componente(s) a una zona de dosis más baja? ¿Se ha considerado la posibilidad de una prefabricación fuera de la zona de radiación para los nuevos componentes que se instalen?				
7. ¿Es posible reducir las tasas de dosis en la zona por medio de blindajes o de lavado del sistema (para eliminar la fuente)?				
8. ¿Se han especificado métodos alternativos de trabajo que ofrezcan la posibilidad de reducir la exposición? De ser así, ¿qué métodos alternativos se han especificado?				

CUADRO II-I. (cont.)

Preguntas para el examen previo al trabajo	Sí	No	NP ^a	Observaciones
9. ¿Exigirá el trabajo una rotura en un sistema radiactivo?				
10. ¿Se ha preparado una lista de herramientas y se ha verificado la exactitud de la misma?				
11. ¿Se necesitarán herramientas especiales? De ser así, ¿de qué tipo, y están en su sitio?				
12. ¿Generará el trabajo desechos radiactivos? De ser así, ¿de qué tipo (por ejemplo, líquidos, secos, metálicos) y volumen aproximado?				
13. ¿Se han determinado las necesidades de comunicación del lugar de trabajo? De ser así, describirlas.				
14. ¿Se ha examinado la zona de trabajo en relación a las circunstancias y restricciones ambientales? Indicar cualesquier circunstancias o restricciones.				
15. ¿Se ha examinado el orden y procedimiento de los trabajos para determinar los puntos de pausa a efectos de protección radiológica (es decir, las etapas del trabajo que pudieran conllevar variaciones de la situación radiológica)?				
16. ¿Se ha examinado una lista de miembros disponibles y competentes del equipo de trabajo para asegurar la repartición de las dosis entre dichos miembros?				

^a NP: no procede.

CUADRO II-II. LISTA GUÍA 2 PARA UN REACTOR ESTADOUNIDENSE: EXAMEN DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Preguntas para el examen previo al trabajo	Sí	No	NP ^a	Observaciones
1. ¿Es necesaria una reunión para planificar el trabajo?				
2. ¿Es precisa una sesión informativa previa al trabajo?				
3. ¿Se ha establecido un cómputo de la exposición y una meta para la misma?				
4. ¿Se efectuará una descontaminación de componentes o de la zona?				
5. ¿Será el blindaje provisional eficaz para reducir la dosis colectiva correspondiente al trabajo? De ser así, indicar en 'observaciones' la relación de blindaje.				
6. ¿Se prevén controles tecnológicos de los aerosoles radiactivos?				
7. ¿Se han especificado zonas de espera de dosis baja?				
8. ¿Se ha evaluado el uso de equipo protector de las vías respiratorias para determinar su efecto en la estimación de la exposición, si se utiliza?				

^a NP: no procede.

CUADRO II-III. LISTA GUÍA 3 PARA UN REACTOR ESTADOUNIDENSE: LISTA GUÍA PARA UNA SESIÓN INFORMATIVA ALARA PREVIA A UN TRABAJO

1. Indicar brevemente la secuencia de las actividades.
 2. Describir la zona de trabajo en base a la lista de puntos de interés siguiente:
 - a) Situación radiológica al comienzo del trabajo;
 - b) Situación radiológica y/o riesgos radiológicos posibles conforme avance el trabajo;
 - c) Vías de acceso y salida de la zona de trabajo;
 - d) Especificación de zonas de espera de baja dosis para situar en ellas equipo y/o personal de apoyo;
 - e) Circunstancias y restricciones ambientales;
 - f) Cuestiones preocupantes de blindaje;
 - g) Amenazas para la seguridad (por ejemplo, estrés debido al calor, entrada en un recinto aislado).
 3. Describir el equipo y/o los métodos que se han de utilizar para combatir la generación o la dispersión de contaminación y minimizar las posibilidades de formación de aerosoles radiactivos.
 4. Describir las disposiciones de buen orden y las medidas de limpieza de los sistemas que evitan la entrada de materias extrañas en los sistemas abiertos.
 5. Indicar los requisitos, la ubicación y el uso de los medios de dosimetría.
 6. Indicar los requisitos en cuanto a ropa y equipo protectores y protección de las vías respiratorias.
 7. Indicar los métodos de ponerse y/o quitarse la ropa peculiares de este trabajo.
 8. Exponer las técnicas de reducción del volumen de los desechos radiactivos y las consideraciones relativas a la manipulación y generación de desechos especiales (por ejemplo, aceites, envases, filtros, desechos mixtos).
 9. ¿Se han llevado a cabo todas las acciones concretas especificadas en la lista guía de planificación ALARA de los trabajos? De no ser así, ¿qué acciones concretas faltan y a quién incumbe resolverlas?
 10. Iniciar la deliberación e invitar al equipo de trabajo a presentar observaciones e indicar las cuestiones que le preocupan.
-

CUADRO II-IV. LISTA GUÍA 4 PARA UN REACTOR ESTADOUNIDENSE: LISTA GUÍA PARA UNA SESIÓN INFORMATIVA ALARA POSTERIOR A UN TRABAJO

Preguntas para el examen posterior al trabajo	Sí	No	NP ^a
1. ¿Se realizó y documentó una sesión informativa oficial anterior al trabajo?			
2. ¿Estuvieron los servicios necesarios listos y disponibles cuando hicieron falta?			
3. ¿Fueron las herramientas especificadas satisfactorias para las necesidades del trabajo?			
4. ¿Se desarrollaron las actividades conforme a lo planeado? Si no, indicar por qué razón.			
5. ¿Fueron satisfactorias las comunicaciones en el lugar de trabajo?			
6. ¿Fueron la orden y/o el procedimiento de trabajo adecuados para ejecutarlo?			
7. ¿Fueron las condiciones ambientales propicias para el desarrollo expedito del trabajo?			
8. ¿Se minimizó la cantidad de desechos radiactivos generados?			
9. ¿Fueron las medidas de control adecuadas para contener la contaminación en la zona de trabajo?			
10. Si se utilizó protección de las vías respiratorias, ¿se procuró eliminar los aerosoles radiactivos y descartar el uso de caretas?			
11. ¿Indicaban las condiciones radiológicas existentes que se hubiera hecho una investigación de las mismas antes del trabajo?			
12. Iniciar la deliberación y presentación de observaciones y ofrecer la hoja de partes del personal (comprobar todo lo que proceda).			
¿Se modificó o aumentó la amplitud del trabajo?			
¿Surgieron dificultades de programación y/o coordinación de las actividades?			
¿Hubo alguna falla de herramientas y/o equipo?			
¿Hubo piezas y/o herramientas y/o equipo que no fueran los correctos o no estuvieran disponibles?			
¿Hubo necesidades imprevistas para la preparación del lugar de trabajo?			
¿Hubo interrupción o interferencia a causa de otras actividades de trabajo?			
¿Hubo deficiencias en las órdenes y/o procedimientos de trabajo?			
¿Cambiaron las condiciones radiológicas en el lugar de trabajo?			
¿Hubo un cumplimiento inadecuado de las disposiciones de control radiológico?			
¿Se prestó atención insuficiente a las buenas prácticas ALARA?			
¿Fue inadecuado el blindaje?			

^a NP: no procede.

CUADRO II-V. LISTA GUÍA 1 DEL CEPN: LISTA GUÍA PARA EL EXAMEN PREVIO A UN TRABAJO

Sí No Debe estudiarse

¿Existe ya experiencia de operaciones similares?

¿Se ha tenido en cuenta?

I. Medidas relativas a las fuentes

Antes de la parada: ¿filtración química?

¿Descontaminación?

¿Es posible mantener el agua en los circuitos?

¿Extracción de un material muy radiactivo?

¿Otros puntos?

II. Protección

Blindaje biológico: ¿es fijo, móvil, integrado a los mecanismos?

Contra la contaminación: ¿se dispone de caja de guantes?

¿Blindaje?

¿Está integrado el blindaje a las herramientas?

¿Contención estática?

¿Contención dinámica?

¿Aspersión y desagüe?

¿Protección individual adaptada?

III. Volumen de trabajo en las condiciones de exposición

¿Se trata de una tarea esencial?

¿Es óptimo el procedimiento?

¿Está la tarea correctamente programada?

¿Hay que ejecutar la tarea completamente en una zona sometida a radiación?

¿Es posible trasladar a algunos operadores a cierta distancia?

¿Está justificado el número de operadores?

¿Está optimizada la repartición del trabajo?

¿Pueden repartirse las dosis entre los trabajadores?

¿Se dispone de herramientas especiales para reducir las dosis?

¿Hay oportunidades de telemando o de uso de autómatas?

¿Puede modificarse la ropa para facilitar el trabajo?

¿Hay oportunidades de mejorar las condiciones del entorno (por ejemplo, la temperatura y el alumbrado)?

¿Hay oportunidades de comunicación por radio?

¿Hay oportunidades de vigilancia por televisión?

¿Hay oportunidades de acceso más expedito?

¿Se dispone de equipo de manipulación?

¿Hay superestructuras adecuadas (por ejemplo, andamios)?

¿Hay zonas de permanencia y de aprovisionamiento?

¿Hay procedimientos para el embalaje de equipo y el embalaje de desechos?

¿Hay procedimientos para la retirada de materiales?

CUADRO II-VI. LISTA GUÍA 2 DEL CEPN: FICHA GUÍA PARA UNA REUNIÓN SOBRE EXPERIENCIA EN CUANTO A RETROINFORMACIÓN

Tarea:

Reunión con los participantes:

Todas las preguntas han de contestarse lo más completamente posible para que la tarea se pueda evaluar y servir de base a modificaciones en trabajos futuros.

1. ¿Estuvieron disponibles en el momento oportuno las herramientas y el equipo necesarios para la operación?
 2. Cuando Uds. llegaron a la zona, ¿estaba preparada y lista para su tarea?
 3. ¿Fueron las medidas de protección adecuadas para la tarea ejecutada en esta zona?
 4. ¿Cuánto tiempo tuvieron Uds. para preparar la tarea? ¿Fue suficiente?
 5. ¿Interfirieron otras tareas con la suya?
 6. ¿Se mantuvo el lugar de trabajo limpio y en buen orden para facilitar así su labor?
 7. ¿Tuvo todo el equipo conocimiento de su exposición? ¿Insistieron Uds. en que esta exposición se limitara todo lo posible?
 8. ¿Tuvo todo el equipo conocimiento de los objetivos de dosis en el lugar de trabajo? ¿Sintió motivación el equipo?
 9. ¿Hubo problemas de coordinación con otros especialistas, otros departamentos u otros trabajadores?
 10. ¿Qué problemas se les presentaron a Uds. que podrían haber originado dosis más altas?
-

CUADRO II-VII. LISTA GUÍA 3 DEL CEPN: LISTA GUÍA DE LAS MEDIDAS QUE NO HAN DE OMITIRSE – DESTINATARIOS: PERSONAL DE MANTENIMIENTO DE UNA INSTALACIÓN O DE UN CONTRATISTA

	Sí	No	NP ^a
<i>Planificación</i>			
¿Sabe Ud. exactamente lo que tiene que hacer?			
¿Conoce Ud. el itinerario para ir a su trabajo?			
¿Se ha cerciorado Ud. de que su trabajo no interferirá con el de otros?			
¿Ha comprobado Ud. sus herramientas antes de entrar en la zona?			
¿Ha comprobado Ud. que no falta ninguna herramienta y que todas ellas están en buen estado de funcionamiento?			
¿Son las herramientas adecuadas para el entorno de trabajo?			
<i>Entorno de trabajo</i>			
¿Conoce Ud. las condiciones de exposición del trabajo?			
¿La tasa de dosis?			
¿Los riesgos de contaminación?			
¿Las posiciones de las fuentes principales?			
¿Las dosis esperadas?			
¿Sabe Ud. qué blindaje colectivo se ha previsto y cuál va a ser su posición?			
¿Sabe Ud. qué equipo de protección de las vías respiratorias ha de utilizar?			
¿Sabe Ud. dónde tiene que trabajar?			
¿Sabe Ud. dónde están las tomas de corriente y las conexiones en la instalación?			
¿Sabe Ud. cuál es su punto más próximo de retirada para estudiar su hoja de procedimientos de trabajo o esperar a que se termine otro trabajo?			
<i>Si no conoce Ud. la respuesta a alguna de estas preguntas, pregunte a su jefe de equipo o al encargado de protección radiológica de la instalación.</i>			

^a NP: no procede.

CUADRO II-VIII. LISTA GUÍA 4 DEL CEPN: LISTA GUÍA DE LAS MEDIDAS QUE NO HAN DE OMITIRSE ANTES DE LA APERTURA DE UN LUGAR DE TRABAJO – DESTINATARIOS: LOS JEFES DE EQUIPO

Mantener una sesión informativa con el equipo antes de entrar en la zona controlada.

Describir en la sesión informativa el trabajo que se ha de realizar.

Indicar en la sesión informativa el lugar donde se va a realizar el trabajo y el mejor itinerario para llegar a él teniendo en cuenta las condiciones radiológicas (por ejemplo, la ubicación de puntos calientes).

Si es necesario, indicar los condicionamientos del entorno que posiblemente compliquen el uso de las herramientas y la ejecución del trabajo (por ejemplo, espacio, alumbrado, andamios, presencia de blindaje biológico).

Indicar:

- El croquis
- El riesgo de contaminación
- La protección ofrecida y su ubicación
- Las dosis previstas debidas a la ejecución del trabajo.

Indicar los puntos de retirada.

Indicar la forma de programación del trabajo con relación a trabajos anteriores y trabajos consecutivos en el mismo lugar.

Si le falta a Ud. alguna de estas informaciones, pregunte al coordinador del trabajo y/o al encargado de la protección radiológica.

Anexo III

VALOR MONETARIO DE LA UNIDAD DE DOSIS COLECTIVA

III-1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de la optimización de la protección radiológica es hallar una asignación racional de los recursos de protección para reducir las dosis ALARA, teniendo en cuenta los factores sociales y económicos. Con el fin de facilitar la toma de decisiones, en el contexto de la limitación de los recursos destinados a la protección y de la eficacia decreciente de las inversiones en protección, se ha adoptado un instrumento económico constituido por el valor monetario de la unidad de dosis colectiva y la aplicación del análisis costo-beneficio. El fin principal del uso de este instrumento es permitir una mayor transparencia de las decisiones introduciendo cierta racionalidad en la selección de las inversiones.

La atribución de un valor monetario a los ahorros de dosis según las diversas opciones de protección radiológica es un medio de definir cuánto dinero se conviene en gastar para evitar una unidad de la dosis colectiva, es decir ciertos efectos potenciales en la salud inducidos por la radiación, cuenta habida de los recursos disponibles con fines de protección y de las características de las situaciones de exposición.

La aplicación del análisis costo-beneficio requiere distinguir entre tres datos principales:

- El valor monetario del sievert-hombre, que es un valor de referencia definido a priori.
- El costo de la protección vinculado a una opción determinada, o sea la cantidad de dinero que se gastará si la opción se lleva a la práctica.
- El costo implícito del sievert-hombre evitado vinculado a una opción determinada, que es la razón entre los ahorros de dosis y el costo de la protección inherente a la opción. Este dato indica lo que cuesta evitar un sievert-hombre si se adopta la opción.

Cuando el costo implícito del sievert-hombre evitado vinculado a una opción es claramente menor que el valor monetario de referencia del sievert-hombre, la opción puede considerarse razonable desde el punto de vista de su relación costo-eficacia. Si el costo implícito es mayor que dicho valor de referencia, y sólo se toma como base el criterio de la eficacia en relación con el costo, la opción no se juzga razonable (porque cuesta más de lo que se ha

convenido en gastar para evitar una unidad de la dosis colectiva). En todos los casos, al adoptar la decisión definitiva sobre la puesta en práctica de la opción será necesario tomar en consideración otros factores y criterios.

Es preciso utilizar el instrumento económico como medio de ayuda para la toma de decisiones, que permita facilitar la selección de opciones de protección y estructurarlas en un contexto de adopción de decisiones complejas. Este medio no debería usarse sólo en el proceso de toma de decisiones, sino como parte de un conjunto previamente definido de criterios de decisión (por ejemplo, técnicos, políticos).

III-2. EVALUACIÓN DEL VALOR MONETARIO DE REFERENCIA DE UN SIEVERT-HOMBRE

Como se ha señalado, el valor monetario del sievert-hombre es un valor dado a priori que indica lo que se está dispuesto a pagar para evitar una dosis colectiva de un sievert-hombre. Este valor puede ser definido por entidades diversas. En la mayoría de los casos lo definen directamente las instalaciones interesadas, en el marco de sus normas para la toma de decisiones. Sin embargo, en algunos casos, las autoridades nacionales de seguridad o protección radiológica formulan recomendaciones sobre el valor básico a emplear en el proceso de optimización. Pero, en todos los casos, el valor monetario de un sievert-hombre se fija por referencia a los efectos potenciales sobre la salud implicados por las dosis, y a los recursos disponibles con fines de protección en la instalación o el país de que se trate. Si es necesario, la evaluación puede incluir también la consideración del nivel de las dosis individuales o la de la distribución de las dosis individuales.

III-2.1. Relación dosis–efecto y valor monetario de los efectos sobre la salud

El principal paso para determinar el valor monetario de un sievert-hombre estriba en el examen de la relación dosis–efecto. Así, lo que justifica la voluntad de reducir las dosis de manera acorde con ALARA es la existencia de un riesgo potencial para la salud inherente a todo nivel de dosis. Adoptando, como recomienda la CIPR [III-1], el supuesto de una relación dosis-efecto lineal y sin umbral, se puede evaluar el valor monetario de un sievert-hombre multiplicando la probabilidad de sufrir un efecto sobre la salud vinculado a una dosis colectiva de un sievert-hombre por el valor monetario del efecto sobre la salud. Puesto que los efectos sobre la salud (los cánceres y los efectos hereditarios) pueden expresarse en forma de pérdida de esperanza de vida, su valor monetario puede relacionarse con el valor monetario vinculado con un

año de vida. Para evaluar la pérdida de esperanza de vida cabe utilizar principalmente dos métodos:

- El del capital humano, según el cual el valor monetario de un año de vida perdido viene dado por una cifra global económica, en general el producto interior bruto por habitante (véase el ejemplo de la Sección III-2.1.1);
- El de la disposición a pagar, que se sirve de encuestas de valoración contingente para poner de manifiesto las preferencias de una persona cuando ha de reducirse un riesgo determinado.

III-2.1.1. Ejemplo III-1: Cálculo del valor monetario de un sievert-hombre por el método del capital humano

- Pérdida media de esperanza de vida vinculada a un efecto sobre la salud inducido por la radiación (cánceres y efectos hereditarios mortales): 16 años.
- Producto interior bruto per cápita por año: 22 400 dólares EE.UU.
- Valor monetario de un efecto sobre la salud inducido por la radiación: 22 400 dólares EE.UU. \times 16 = 358 400 dólares EE.UU.
- Probabilidad de un efecto sobre la salud inducido por la radiación en el caso de trabajadores: $5,6 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$.
- Valor monetario de un sievert-hombre: 358 400 dólares EE.UU. \times $5,6 \times 10^{-2} \approx 20\,000$ dólares EE.UU./Sv-hombre.

III-2.2. Forma de tener en cuenta la distribución de las dosis individuales

En la Ref. [III-1] la CIPR pone de relieve la necesidad de tomar en consideración la desigualdad en la distribución de las dosis individuales que posiblemente resulte de la puesta en práctica de las opciones de protección. De aquí se deduce que los objetivos de la optimización de la protección radiológica son obtener una reducción de las dosis individuales y colectivas, dando prioridad a las dosis individuales más altas.

La aplicación de estos objetivos al valor monetario de un sievert-hombre significa que se aceptaría pagar más para evitar una unidad de la dosis colectiva cuando aumentan las dosis individuales, y, además, que este incremento del valor monetario de una unidad de la dosis colectiva es cada vez más importante. Se han elaborado algunos modelos que permiten determinar ese valor creciente de un sievert-hombre (véase el ejemplo de la Sección III-2.2.1); la consecuencia de tales modelos es un sistema de valores monetarios de un sievert-hombre que dependen del rango de dosis individuales [III-2, III-3].

III-2.2.1. Ejemplo III-2: Modelo para la determinación de un conjunto de valores monetarios de un sievert-hombre según el nivel de las dosis individuales

Este modelo da por sentado que por debajo de un cierto nivel de la dosis individual es más adecuado suponer un valor monetario constante de la unidad de la dosis colectiva [III-3]. Por encima de este nivel el valor monetario de un sievert-hombre aumenta con el nivel de la dosis individual, teniendo en cuenta el grado de aversión al nivel de dosis.

Se presenta una ilustración de este modelo en la Fig. III-1, donde la ordenada es el valor monetario de la unidad de la dosis colectiva, y la abscisa es el nivel individual de la dosis, expresada por lo general en forma de dosis anual media.

Valores propuestos para el modelo. En la práctica, para aplicar este modelo es necesario dar un valor a los tres parámetros: α_{Base} , d_0 y a :

- α_{Base} representa el valor monetario del detrimento de la salud vinculado a una unidad de la dosis colectiva.
- El valor de d_0 corresponde al nivel de la dosis individual por debajo del cual no se considera la aversión al nivel de dosis. Este valor depende del grado de aceptación del riesgo para la población expuesta. Por ejemplo, en el caso de las dosis ocupacionales, se ha adoptado el valor (1 mSv/a)

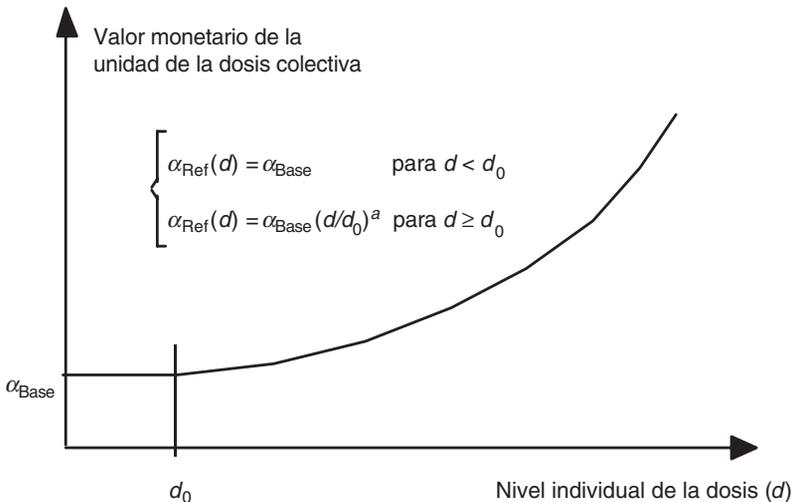


FIG. III-1. Propuesta de modelo para la valoración monetaria del detrimento radiológico.

correspondiente al límite de la dosis individual para el público (este valor podría adaptarse según la situación concreta que se considere).

- El coeficiente a denota el grado de aversión al nivel de la dosis individual. Se ha demostrado que a tiene que ser mayor que 1 para satisfacer los objetivos. En el caso de las dosis ocupacionales parece razonable, en base a un examen de la literatura sobre aversión a los riesgos, una gama de valores comprendidos entre 1,2 y 1,8.

III-3. EJEMPLOS DE VALORES MONETARIOS USADOS PARA LA UNIDAD DE DOSIS COLECTIVA

Un examen de las prácticas seguidas en el plano internacional muestra que el sistema de asignar un valor monetario a un sievert-hombre se generaliza cada vez más entre los explotadores de instalaciones y las autoridades reguladoras, aunque su aplicación sólo se recomienda, no es obligatoria [III-4] (véanse los Cuadros III-1 a III-3). El valor monetario se utiliza principalmente como información para decisiones importantes (por ejemplo, sobre la modificación de instalaciones o reparaciones costosas). A ojos de sus usuarios, es sobre todo un instrumento que reduce la subjetividad de la elección y que a veces se emplea en las deliberaciones con los subcontratistas o las autoridades.

CUADRO III-I. VALOR MONETARIO DE UN SIEVERT-HOMBRE RECOMENDADO POR DIFERENTES AUTORIDADES

País (año)	Valor monetario de un sievert-hombre en la moneda nacional	Valor monetario de un sievert-hombre en dólares EE.UU.
Canadá (1997)	100 000 dólares canad., establecido sobre la base de referencias internacionales	75 000
EE.UU. (CRN) (1995)	200 000 dólares EE.UU.	200 000
Finlandia (1991)	100 000 dólares EE.UU., valor común a todos los Países Nórdicos	100 000
Países Bajos (1995)	1 000 000 de flors. holand.	500 000
Reino Unido (1993)	10 000 a 100 000 libs. Esterl. según la situación de exposición (no específica de una planta) y el nivel de las dosis individuales	17 000–170 000
República Checa (1997)	500 000 a 5 000 000 de cors. checas, según el nivel de las dosis individuales y la situación de exposición	17 000–170 000
Rumania (2000)	220 000 dólares EE.UU.	220 000
Suecia (SSI) (1992)	400 000 a 2 000 000 de cors. suecas	55 000–270 000
Suiza (1994)	3 000 000 de frs. suizos	3 000 000

Nota: 1 dólar EE.UU. = 1,33 dólares canad., 30 cors. checas, 0,6 libs. esterl., 2 flors. holand., 7,5 cors. suecas, 1 fr. suizo (al cambio de 1998).

SSI: Instituto Sueco de Protección Radiológica. **CRN:** Comisión Reguladora Nuclear.

CUADRO III-II. VALOR MONETARIO DE UN SIEVERT-HOMBRE APLICADO POR DIFERENTES CENTRALES (VALOR ÚNICO)

País	Central	Año de adopción	Valor monetario de un sievert-hombre en la moneda nacional	Valor monetario de un sievert-hombre en dólares EE.UU.
Canadá	Gentilly	—	1 000 000 de dólares canad.	750 000
EE.UU.	Valor por central para el 90% de los reactores	1990 a 1991 en general, 1993 a 1997 para los valores más altos	Valor mín.: 500 000 dólares EE.UU. Valor max.: 2 810 000 dólares EE.UU. mediana: 1 200 000 dólares EE.UU. promedio: 1 000 000 de dólares EE.UU.	Valor mín.: 500 000 Valor max.: 2 810 000 mediana: 1 200 000 promedio: 1 000 000
Eslovenia	Krško	1996	700 000 dólares EE.UU.	700 000
España	Ascó	1994	2 000 000 de dólares EE.UU.	2 000 000
	Vandellós	1982	100 000 000 de pesetas	700 000
Rumania	Cernavoda	2000	220 000 dólares EE.UU.	220 000
Sudáfrica	Koeberg	1993	1 000 000 de dólares EE.UU.	1 000 000
Suecia	Valor común a todas las centrales	1992	4 000 000 de cors. suecas	550 000

Nota: 1 dólar EE.UU. = 1,33 dólares canad., 150 pesetas, 7,5 cors. suecas (al cambio de 1998).

CUADRO III-III. VALOR MONETARIO DE UN SIEVERT-HOMBRE APLICADO POR DIFERENTES ENTIDADES (SISTEMA DE VALORES DEPENDIENTES DEL NIVEL DE LA DOSIS INDIVIDUAL ANUAL)

País	Entidad	Año de adopción	Valor monetario de un sievert-hombre en la moneda nacional	Valor monetario de un sievert-hombre en dólares EE.UU.
Alemania	Propuesta de la VGB en ensayo por parte de las empresas	1996	<1 mSv: valor nulo 1-10 mSv: 300 000 marcs. alem. 10-20 mSv: valor creciente linealmente hasta la suma de 3 000 000 de marcs. alem. al nivel de 20 mSv	<1 mSv: valor nulo 1-10 mSv: 170 000 10-20 mSv: valor creciente linealmente hasta la suma de 1 695 000 al nivel de 20 mSv
Bélgica	SCK-CEN	1995	<1 mSv: 1 000 000 de frs. belg. 1-2 mSv: 2 500 000 frs. belg. 2-5 mSv: 10 000 000 de frs. belg. 5-10 mSv: 25 000 000 de frs. belg. 10-20 mSv: 50 000 000 de frs. belg. 20-50 mSv: 200 000 000 de frs. belg.	<1 mSv: 27 000 1-2 mSv: 67 000 2-5 mSv: 267 000 5-10 mSv: 667 000 10-20 mSv: 1 333 000 20-50 mSv: 5 333 000
Canadá	Darlington: sistema dependiente de la categoría de los trabajadores	—	Desde unos pocos miles a 2 000 000 de dólares canad. Ejemplo: trabajadores en general: 200 000 dólares canad., equipos de mantenimiento de reactor: 1 500 000 dólares canad.	Desde unos pocos miles a 1 500 000 Ejemplo: trabajadores en general: 150 000, equipos de mantenimiento de reactor: 1 130 000
España	Cofrentes: sistema de valores dependientes del nivel de dosis colectiva anual	1994	<3 Sv-hombre por reactor como promedio anual a lo largo de 3 años: 100 000 000 de pesetas >3 Sv-hombre por reactor como promedio anual a lo largo de 3 años: 150 000 000 de pesetas	<3 Sv-hombre por reactor promedio anual a lo largo de 3 años: 667 000 >3 Sv-hombre por reactor promedio anual a lo largo de 3 años: 1 000 000
EE.UU.	South Texas	1993	<10 mSv: 500 000 dólares EE.UU. >10 mSv: 2 500 000 dólares EE.UU.	<10 mSv: 500 000 >10 mSv: 2 500 000
Francia	Electricité de France	1993	0-1 mSv: 100 000 frs. franc. 1-5 mSv: 500 000 frs. franc. 5-15 mSv: 2 300 000 frs. franc. 15-30 mSv: 6 700 000 frs. franc. 30-50 mSv: 15 000 000 de frs. franc.	0-1 mSv: 17 000 1-5 mSv: 83 000 5-15 mSv: 383 000 15-30 mSv: 1 117 000 30-50 mSv: 2 500 000
Países Bajos	Borselle	1992	<15 mSv: 1 000 000 de flors. holand >15 mSv: 2 000 000 de flors. holand	<15 mSv: 500 000 >15 mSv: 1 000 000
Reino Unido	Sizewell	—	Conjunto NRPB para trabajadores: entre 10 000 lbs. esterl. y 50 000 lbs. esterl.	Conjunto NRPB para trabajadores: entre 17 000 y 85 000

Nota: 1 dólar EE.UU. = 37,5 frs. belg., 1,33 dólares canad., 6 frs. franc., 1,77 marcs. alem., 2 flors. holand., 150 pesetas, 0,6 lbs. esterl. (cambio de 1998). **SCK-CEN:** Studiecentrum voor Kernenergie/Centre d'étude de l'énergie nucléaire. **VGB:** Technische Vereinigung der Grosskraftwerkbetreiber. **NRPB:** National Radiological Protection Board.

REFERENCIAS DEL ANEXO III

- [III-1] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, 1990 Recommendations of the ICRP, Publicación 60, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1991).
- [III-2] CLARK, M.J., FLEISHMAN, A.B., WEBB, G.A.M., Optimisation of the Radiological Protection of the Public (A Provisional Framework for the Application of Cost-Benefit Analysis to Normal Operations), NRPB R-120, National Radiological Protection Board, Harwell, Didcot (1981).
- [III-3] LOCHARD, J., LEFAURE, C., SCHIEBER, C., SCHNEIDER, T., A model for the determination of monetary values of the man-sievert, J. Radiol. Prot. **16** (1996) 201-204.
- [III-4] LEFAURE, C., Monetary Values of the Person-Sievert — From Concept to Practice: The Findings of an International Survey, CEPN-R-254, Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire, Paris (1998).

COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y EXAMEN

Atoyan, V.	Compañía Nucleoeléctrica Armenia, Armenia
Avetisyan, A.	Autoridad Armenia de Regulación Nuclear, Armenia
Blaikie, J.	Texas Utilities, Estados Unidos de América
Boutrif, E.	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
Breznik, B.	Central nuclear de Krško, Eslovenia
Cool, D.A.	Nuclear Regulatory Commission, Estados Unidos de América
Crick, M.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Deboodt, P.	SCK-CEN, Bélgica
Dobiš, L.	Central nuclear de Bohunice, Eslovaquia
Foster, P.	Institution of Professionals, Managers and Specialists, Reino Unido
Godås, T.	Instituto Sueco de Protección Radiológica, Suecia
Gustafsson, M.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Hudson, A.P.	National Radiological Protection Board, Reino Unido
Lund, I.	Instituto Sueco de Protección Radiológica, Suecia
Massera, G.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Montesinos, J.J.	Consejo de Seguridad Nuclear, España
Mrabit, K.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Na, S.H.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Nasim, B.	Pakistan Atomic Energy Commission, Pakistán
Niu, S.	Oficina Internacional del Trabajo
Owen, D.	British Nuclear Fuels plc, Reino Unido
Pradeep Kumar, K.S.	Bhabha Atomic Research Centre, India
Rodna, A.	Comisión Nacional de Control de Actividades Nucleares, Rumania
Sadagopan, G.	Bhabha Atomic Research Centre, India
Schieber, C.	Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire, Francia
Sharma, D.N.	Bhabha Atomic Research Centre, India

Sohrabi, M.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Valentin, J.	Comisión Internacional de Protección Radiológica
Viana, R.N.	Central nuclear de Angra , Brasil
Viktory, D.	Instituto Nacional de Sanidad de la República Eslovaca, Eslovaquia
Webb, G.A.M.	Brighton, Reino Unido
Wrixon, A.D.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Xia, Y.	Instituto Chino de Energía Atómica, China

Reuniones de consultores

Viena (Austria): 3 a 7 de mayo, 13 a 17 de diciembre de 1999, 22 a 24 de agosto de 2000