

**PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN LA APLICACIÓN DE LAS
TÉCNICAS NUCLEARES**

COLECTIVO DE AUTORES

**CENTRO DE PROTECCIÓN E HIGIENE DE LAS RADIACIONES
CENTRO NACIONAL DE SEGURIDAD NUCLEAR**

**La Habana, Cuba
2002**

Colectivo de autores:

MSc. Haydée Domenech Nieves
MSc. Néstor Cornejo Díaz
Dr. Luis Jova Sed
Dr. Omar García Lima
Dr. Juan Cárdenas Herrera
Dr. Miguel Prendes Alonso
Lic. Orquídea Arado López
Dr. Juan Carlos Benítez Navarro
MSc. Efrén D. Díaz Bernal
Ing. Alejandro Henández Saiz
MSc. Ernesto Callís Fernández
Ing. Alba Guillén Campos
Ing. Andrés de la Fuente Puch
Ing. Pedro I. Díaz Guerra
Ing. Yamil López Forteza
Ing. Pablo F. Jerez Veguería

Diseño: Ing. Alejandro Henández Saiz
MSc. Néstor Cornejo Díaz

ISBN 959-7136-17-1

Edición e impresión: **CUBAENERGIA**

CONTENIDO

CAPITULO I. RADIACIONES IONIZANTES	3
CAPÍTULO II. EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES	11
CLASIFICACIÓN DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS.....	15
EFECTOS DE LAS RADIA CIONES IONIZANTES DURANTE EL DESARROLLO PRENATAL.....	18
INDICADORES BIOLÓGICOS DE DAÑO POR RADIA CIÓN.....	19
CAPÍTULO III. FUENTES: BENEFICIOS Y RIESGOS.....	21
UTILIZACIÓN DE FUENTES EN LA MEDICINA	21
USO DE FUENTES EN LA INDUSTRIA Y LA AGRICULTURA	24
USO DE FUENTES EN LA INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA	28
RIESGOS RELACIONADOS CON EL USO DE LAS FUENTES Y SU PERCEPCIÓN.....	31
CAPITULO IV. MAGNITUDES Y UNIDADES EMPLEADAS EN LA DOSIMETRÍA Y LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA...36	36
CAPÍTULO V. MÉTODOS DE MEDICIÓN E INSTRUMENTACIÓN	46
CAPITULO VI. MÉTODOS DE CÁLCULO DE DOSIS	56
CÁLCULO DE DOSIS POR EXPOSICIÓN EXTERNA PARA LA RADIACIÓN GAMMA.....	56
CÁLCULOS DE DOSIS POR EXPOSICIÓN EXTERNA DEBIDA A LAS FUENTES DE RADIACIÓN BETA	57
CÁLCULOS DE DOSIS DEBIDA A FUENTES DE NEUTRONES.....	60
CÁLCULOS DE DOSIS DEBIDA A RAYOS X	61
MÉTODO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DOSIS POR INCORPORACIÓN.....	63
CAPITULO VII. MÉTODOS DE CÁLCULO DE BLINDAJE.....	67
CÁLCULOS SENCILLOS DE BLINDAJE PARA LA RADIACIÓN GAMMA.....	67
CÁLCULO DE BLINDAJE PARA LA RADIACIÓN GAMMA DISPERSADA	69
CÁLCULO DEL BLINDAJE PARA LA RADIACIÓN X	71
CÁLCULO DE BLINDAJE PARA LA RADIACIÓN BETA	72
CÁLCULOS DE BLINDAJE PARA LA RADIACIÓN NEUTRÓNICA	74
CAPÍTULO VIII. PRÁCTICA E INTERVENCIÓN. TIPOS DE EXPOSICIÓN.....	76

CAPITULO IX. LEGISLACIÓN Y CONTROL REGULADOR.....82

LEGISLACIÓN.....	82
CONTROL REGULADOR.....	88

CAPÍTULO X. REQUISITOS A LAS PRÁCTICAS91

REQUISITOS ADMINISTRATIVOS Y GERENCIALES DE SEGURIDAD.....	93
Notificación, inscripción en registro y concesión de licencias	94
Cultura de seguridad.....	97
Programa de aseguramiento de la calidad.....	98
Selección, calificación, capacitación y entrenamiento del personal	98
Consultoría de expertos.....	99
REQUISITOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.....	100
Enfoque actual de la protección radiológica	100
Justificación.....	102
Optimización	103
Limitación	109
REQUISITOS TÉCNICOS Y DE VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD RADIOLÓGICA.....	113
Control de las fuentes	113
Defensa en profundidad.....	115
Buenas prácticas tecnológicas	116
Verificación de la seguridad.....	117

CAPITULO XI. REQUISITOS ESPECÍFICOS A LA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL 120

CONDICIONES DE SERVICIO.....	123
CLASIFICACIÓN DE ZONAS.....	124
VERIFICACIÓN DE LA LIMITACIÓN DE LA DOSIS.....	125
PROGRAMA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.....	127
Organización y dirección.....	129
Selección y capacitación del personal.....	130
Control radiológico ocupacional.....	131
Control radiológico del público.....	139
Aseguramiento de la calidad	140
Medidas para casos de emergencia	142
VIGILANCIA MÉDICA OCUPACIONAL.....	143

CAPÍTULO XII. REQUISITOS ESPECÍFICOS DE LA EXPOSICIÓN DEL PÚBLICO 149

GESTIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS.....	153
Principios fundamentales para la gestión de desechos radiactivos	156
Responsabilidades en materia de Gestión de Desechos Radiactivos.....	157
Características de los desechos radiactivos y su clasificación	157
Métodos de pretratamiento.....	161

Métodos de tratamiento.....	164
Métodos de evacuación	166
Almacenamiento definitivo (Disposición Final).....	167
PARTICULARIDADES DE LA GESTIÓN DE FUENTES EN DESUSO.....	170
Estrategia para acondicionamiento de las fuentes selladas en desuso	172
Medidas generales de seguridad radiológica durante el acondicionamiento de fuentes en desuso.....	172
Proceso de acondicionamiento de las fuentes en desuso	173
Acondicionamiento de fuentes de Ra ²²⁶	174
Almacenamiento provisional post - acondicionamiento.....	177
REQUISITOS AL TRANSPORTE DE MATERIALES RADIACTIVOS.....	178
 CAPITULO XIII. EXPOSICIÓN POTENCIAL	 186
 CAPÍTULO XIV. ACCIDENTES Y SUS CONSECUENCIAS	 193
ESTADÍSTICAS DE LOS ACCIDENTES.....	193
CAUSAS DE LOS ACCIDENTES.....	197
CONSECUENCIAS DE LOS ACCIDENTES	199
 CAPÍTULO XV. INTERVENCIÓN.....	 203
NIVELES DE INTERVENCIÓN Y ACCIONES PROTECTORAS.....	205
PLANIFICACIÓN DE LA RESPUESTA A EMERGENCIAS	
RADIOLÓGICAS. PLANES DE EMERGENCIA.....	208
Categorías de planificación	210
 CAPÍTULO XVI. EXPOSICIÓN MÉDICA	
Y PROTECCIÓN DEL PACIENTE.....	213
REQUISITOS ADMINISTRATIVOS.....	213
REQUISITOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.....	214
Justificación	214
Optimización	216
CALIBRACIÓN Y DOSIMETRÍA CLÍNICA	218
ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	219
NIVELES ORIENTATIVOS	219
RESTRICCIONES DE DOSIS.....	221
REGISTROS.....	222
 CAPÍTULO XVII. PARTICULARIDADES DE LOS PROGRAMAS DE	
PROTECCIÓN RADIOLÓGICA	226
APLICACIONES INDUSTRIALES.....	226
En instalaciones con medidores nucleares	226
En la prospección y perforación petrolera	230
En irradiadores	239

En radiología industrial.....	246
APLICACIONES MÉDICAS.....	256
En radiodiagnóstico.....	256
En radioterapia	265
En medicina nuclear.....	291
APLICACIONES EN LA INVESTIGACIÓN.....	298
Fuentes no selladas	299
Fuentes selladas	306

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA	307
---	------------

PRÓLOGO

Desde el descubrimiento de los rayos X y el fenómeno de la radiactividad natural hasta nuestros días, muchos han sido los avances en las diferentes ramas de las ciencias asociadas a su estudio y aplicación, así como no pocos han sido también los beneficios aportados por las radiaciones ionizantes a la medicina, la investigación y la industria. Por solo citar unos pocos ejemplos recordemos el radiodiagnóstico, la radioterapia, el empleo de radiofármacos con fines de diagnóstico, la generación de electricidad, la radioesterilización, la inducción de mutaciones para la obtención de nuevas variedades, la obtención de nuevos polímeros por irradiación, la conservación de alimentos, el control de parámetros en la producción, el control de plagas y el tratamiento de residuales dañinos, entre otros muchos que han contribuido substancialmente al mejoramiento de la calidad de vida del hombre y su medio ambiente.

Pero como todo quehacer humano, el empleo de las radiaciones ionizantes está vinculado a determinados riesgos. Para poder comprenderlos y valorarlos en su justa medida, desde principios de siglo XX nació una disciplina denominada Protección Radiológica, cuya finalidad básica fue determinar y establecer las normas que permitieran, sin detrimento del beneficio del empleo de las radiaciones ionizantes, equilibrar sus posibles efectos dañinos.

La presente monografía "Protección Radiológica en la Aplicación de las Técnicas Nucleares pretende abordar, de una manera sucinta, cuestiones tales como: ¿Qué son las radiaciones ionizantes?, ¿Cómo protegerse contra sus posibles efectos perjudiciales?, ¿Qué requisitos se deben cumplir para hacer un uso responsable de las ventajas que se derivan de su aplicación? y otras preguntas similares que forman parte de esta disciplina y que para su aprendizaje y comprensión, a veces es necesario consultar un volumen importante de bibliografía, no siempre disponible para todos. Con ella esperamos complacer las inquietudes de los que se interesan por el tema y ampliar los conocimientos en la materia de aquellos que llevan alguna responsabilidad en garantizar la seguridad de los trabajadores y el público.

PREFACIO

La presente obra constituye la segunda edición, ampliada y revisada, del título del mismo nombre que viera la luz en septiembre de 1998, en ocasión de la celebración en La Habana del IV Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear. El agotamiento de la primera edición y la necesidad de su revisión y actualización hicieron necesario el concurso de los autores y demás personas que participaron en la elaboración de esta segunda edición, para seguir disponiendo de este texto en idioma español sobre los temas relacionados con el uso seguro de las radiaciones ionizantes, planteado con el enfoque de la Normas Básicas Internacionales de Seguridad, con ejemplos cercanos a nuestras realidades y asequible a un amplio espectro de potenciales interesados, desde estudiantes hasta profesionales.

Para esta ocasión, el texto original de la primera edición fue revisado y modificado de la siguiente manera: los capítulos I, III, IV, VIII y XVI fueron mejorados con precisiones y actualizaciones de datos, mientras que los capítulos II, V, VI, VII, X, XI, XII, XIII, XIV, XV, XVII fueron actualizados y modificados para precisar conceptos y mejorar la comprensión del texto. El capítulo IX: "Legislación y control regulador" sufrió una actualización completa, consecuente con el desarrollo alcanzado por el Sistema de Control Regulador cubano.

Como en la edición anterior, el énfasis principal del texto se hace en analizar los aspectos relevantes que aparecen en la Colección Seguridad No. 115 del OIEA, lo cual permite al lector disponer de un material que le facilita asimilar más fácilmente las tesis que se plantean en esta publicación, adecuándolas en muchos casos a las realidades de nuestros países latinoamericanos.

Una vez más en el texto se resumen las experiencias de un numeroso grupo de especialistas del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR) y del Centro Nacional de Seguridad Nuclear (CNSN), que han actuado y actúan como conferencistas en los cursos nacionales de Seguridad Radiológica organizados cada año en nuestro país, así como en los cursos que en esta misma disciplina, dirigidos a profesionales de América Latina y con el auspicio del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), se han impartido dentro y fuera de Cuba.

Como en la edición anterior, esperamos que aparezcan nuevos criterios y observaciones críticas durante la lectura de la presente monografía. Sin embargo, es nuestro deseo que una vez más su utilidad supere las deficiencias que pudieran encontrarsele.

Ciudad de la Habana, noviembre del 2002

MSc. Juan Tomás Zerquera

Investigador Auxiliar

Especialista en Protección Radiológica

PRESENTACIÓN

El presente libro pretende satisfacer las necesidades de numerosos especialistas, cuya actividad está vinculada con la Seguridad Radiológica, de reunir en una sola obra y en idioma español diversos aspectos relativos a esta disciplina que a nuestro juicio se encuentran hoy más o menos diseminados. Esperamos que al menos en lo fundamental hayamos logrado satisfacerlas. No obstante, es tanto el criterio del colectivo de autores como del resto de los profesionales que de una forma u otra han tenido que ver con esta obra que, al mismo tiempo que el libro se ofrece al lector como una herramienta auxiliar en el desarrollo de su actividad, el libro se somete al juicio de un numeroso grupo de especialistas que acumula en su conjunto una enorme experiencia en los diversos temas de la Seguridad Radiológica. En la medida en que Usted, amigo lector, nos haga llegar sus valiosos comentarios, que nos permitirán perfeccionar este libro y hacerlo más completo y útil, podrá sentirse parte del colectivo que lo ha escrito.

Es nuestro deseo que este libro le sea a sus lectores todo lo útil que hemos tratado de hacerlo. Pero si al menos lográsemos que le sea útil en alguna medida, por pequeña que sea, a aquellos a quienes lo destinamos, pensamos que el esfuerzo bien ha valido la pena.

Finalmente quisiéramos expresar nuestro agradecimiento a la Agencia de Energía Nuclear del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente por el apoyo en la financiación del proyecto que hizo posible esta segunda edición del libro.

Colectivo de autores