

Experiencias de seguridad y protección radiológicas durante la operación del Centro de Isótopos

Miguel A. Soria Guevara, Saúl Pérez Pijuán, Zayda H. Amador Balbona

Centro de Isótopos. Ave. Monumental y Carretera La Rada, Km 3 ½, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba
masguevara@centis.edu.cu

Resumen

Debido a la importancia que tiene para la comunidad radiológica las experiencias de trabajo de seguridad y protección radiológicas adquiridas durante la implantación del Programa de Seguridad y Protección Radiológica para la operación segura de una planta de producción de isótopos como es el Centro de Isótopos, en este trabajo se presentan la evolución de los requisitos que conforman este programa y las experiencias valiosas aportadas que pueden ser útiles para otros centros de Cuba y Latinoamérica con riesgos radiológicos similares durante el uso de materiales radiactivos.

Palabras clave: seguridad, protección contra las radiaciones, producción de isótopos, dosis de radiación, exposición ocupacional

Experiences of safety and radiological protection during the operation of the Center of Isotopes

Abstract

The present paper deals with the experience acquired during the implementation of Radiation Safety and Protection Program for the safe operation of a plant for production of isotopes such as the Isotope Centre. Considering the importance for the radiology community of that experience, this paper presents the evolution of requirements for this program and provided valuable experience that can be useful for other centres in Cuba and Latin America with similar radiation hazards during the use of radioactive materials.

Key words: safety, radiation protection, isotope production, radiation doses, occupational exposure

Introducción

La política de la seguridad radiológica del Centro de Isótopos (CENTIS), se establece y define en sus diferentes etapas de trabajo de conformidad con las regulaciones nacionales [1], las recomendaciones y tendencias internacionales [2,3-5], teniendo en cuenta las bases sobre las cuales fue diseñado. La expresión práctica de esa política es la aplicación de un Programa de Seguridad y Protección Radiológicas (PSPR), en continua revisión y perfeccionamiento. Como indicadores conceptuales y de desempeño, el CENTIS es una instalación radiactiva de categoría II [6] que posee 14 autorizaciones otorgadas por el Centro Nacional de Seguridad Nuclear (CNSN), las cuales comprenden la importación de materia prima radisotópica, la producción de radiofármacos, la obtención de compuestos marcados, la realización de servicios científicos técnicos asociados al uso de sustancias radiactivas y la distribución nacional y exportación de esos productos y servicios vinculados a su sector destino, las instituciones médicas y biotecnológicas.

Programa de Seguridad y Protección Radiológicas para la operación segura de CENTIS

El PSPR del CENTIS se elaboró y estableció considerando las regulaciones nacionales, las recomendaciones del OIEA [6] y las experiencias de trabajo de sus especialistas, atendiendo a los siguientes requisitos:

- a) Autorización de prácticas.
- b) Control de la exposición ocupacional.
- c) Vigilancia radiológica de los puestos de trabajo.
- d) Control de las dosis al público por las descargas líquidas.
- e) Control de las dosis al público por las descargas gaseosas.
- f) Gestión de la organización orientada a la seguridad y protección radiológica.

Sistema de indicadores de gestión de la seguridad radiológica de CENTIS

Para mejorar la implementación y control de los requi-

sitos del PSPR de CENTIS se definieron y establecieron, aplicando el método Delphi, 55 indicadores específicos de control de la gestión de la seguridad, en función del cumplimiento de los requisitos regulatorios y los requisitos de gestión de seguridad radiológica propiamente dicho. Por cada indicador se establecieron valores umbrales de evaluación de la gestión eficiente en seguridad radiológica para su calificación cualitativa de acuerdo con el resultado alcanzado, conociéndose el estado real de la protección y seguridad radiológica en el Centro en el período evaluado.

Principales experiencias

Se referirán solo aquellos aspectos en los que la práctica de CENTIS en este campo, puedan resultar de interés a la comunidad radiológica nacional y a los de países de Latinoamérica con escala y condiciones de trabajo similares a las nuestras.

Autorización de prácticas

Para adquirir las distintas autorizaciones del CNSN necesarias para llevar a cabo las prácticas con radiaciones ionizantes planificadas, el CENTIS de común acuerdo con él, desarrolló este complejo proceso por etapas debido a las múltiples prácticas de diversas complejidades y riesgos radiológicos, a los efectos de ir dando respuesta a las necesidades más urgentes del mercado, evitando abarcar más allá de lo objetivamente razonable y adquiriendo experiencia y confianza paulatinas en la producción regular de radiofármacos, evaluando rigurosamente los riesgos.

La documentación en apoyo a las autorizaciones y las propias autorizaciones se revisan y enmiendan periódicamente de acuerdo con la evolución de los aspectos de seguridad y protección, y denotan la pertinencia del PSPR de CENTIS.

Para gestionar de manera eficaz las renovaciones de las autorizaciones debido a su complejidad manifestada en la cantidad y períodos de vigencias diferentes, CENTIS ha desarrollado un conjunto de indicadores específicos de gestión de las autorizaciones que se han insertado en un Cuadro de Mando Integral, donde se chequea su evolución trimestralmente y, de esta manera, se ha cumplido con los términos de presentación de las solicitudes de renovación de las autorizaciones, evitando que estas caduquen.

Durante este período, una relación profesional, de cooperación e intercambio de conocimientos y experiencias en ambos sentidos se ha mantenido entre CENTIS, como concesionario de la Licencia Institucional de Operación y el CNSN, como Autoridad Reguladora, la cual ha favorecido la madurez alcanzada desde el punto de vista de la seguridad en CENTIS.

Control de la exposición ocupacional

El CENTIS a fin de garantizar que las dosis recibidas por los trabajadores ocupacionalmente expuestos

(TOE) en el ejercicio de sus funciones, sean tan bajas como razonablemente sea posible (Principio ALARA), que cumplan con las restricciones de dosis adoptadas a cada práctica y con los límites de dosis establecidos, ha contratado el servicio de dosimetría personal a los Laboratorios de Dosimetría Externa e Interna del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR), con un ciclo de evaluación mensual y quincenal respectivamente. Simultáneamente ha definido un grupo de indicadores específicos de gestión de las dosis recibidas por los TOE, donde trimestralmente se realiza un análisis del comportamiento de las dosis recibidas por los trabajadores ocupacionalmente expuestos versus las restricciones de dosis adoptadas y de esta manera se evita que estos sobrepasen los valores de restricciones de dosis y mucho menos los límites de dosis anual.

Durante estos 16 años cada vez que un TOE supera cualquier nivel de investigación de dosis establecido, CENTIS confecciona el informe de investigación correspondiente, se identifican las causas, se orientan medidas y se extraen experiencias, se involucran a los trabajadores para su mejor entendimiento y aprendizaje de las lecciones aprendidas, situación que se reporta al CNSN.

EL CENTIS cada año evalúa las tendencias de siete indicadores específicos de gestión de la exposición ocupacional [7]: Actividad manipulada (Bq) y dosis efectiva colectiva (Sv-hombre/año), Dosis efectiva colectiva (hombre-mSv/año) y cantidad de trabajadores controlados, Dosis efectiva colectiva por grupo de trabajadores, Comportamiento de la dosis efectiva colectiva y la dosis efectiva colectiva media para el grupo más expuesto, Distribuciones porcentuales de la cantidad de trabajadores por intervalo de dosis para E, Hp(0.07) y Hp(3), Valores máximos de las magnitudes dosimétricas y relación con las restricciones de dosis y Cocientes de las dosis máximas anuales (E, Hp(0.07) y Hp(3)) y las restricciones de dosis anuales correspondientes para cada grupo de trabajadores.

Dosis efectiva colectiva (hombre-mSv/año) y cantidad de trabajadores controlados

El criterio que se sigue para su evaluación es que $S \leq 200$ mSv-hombre a-1, según valor determinado en [8]. Este indicador de control de tendencia se incorporó para determinar si el incremento de esta magnitud se debe a las dosis efectivas individuales o al comportamiento del número de personas expuestas controladas. Es decir, el comportamiento de la dosis efectiva colectiva y la dosis efectiva colectiva media para el grupo más expuesto, se incorpora al control de tendencias, para poder determinar si existen cambios en la exposición del personal con las dosis efectivas más elevadas o en la cantidad de sus trabajadores.

En la figura 1 se reflejan los valores de S y la cantidad de trabajadores controlados. Se concluye que la cantidad de trabajadores controlados no fue determinante en la mayoría de los años en el valor de S.

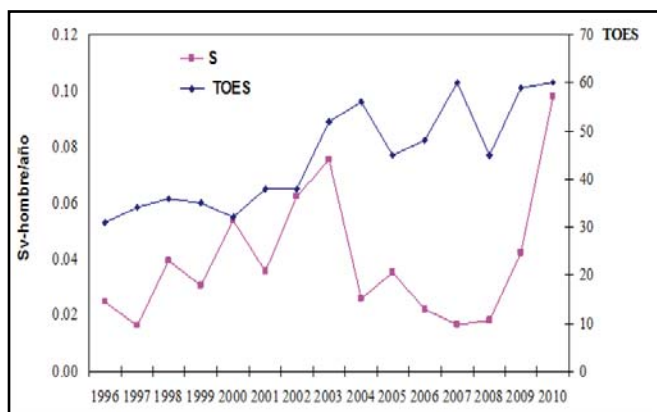


Figura 1. Dosis colectiva anual y cantidad anual de trabajadores controlados.

Valores máximos de las magnitudes dosimétricas y relación con las restricciones de dosis

El análisis anual del comportamiento de las dosis de los TOE realizado en los últimos 16 años por el CENTIS arroja los resultados que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Valores máximos de las magnitudes dosimétricas y relación con las restricciones de dosis

	E (mSv)	Hp(0,07) (mSv)	Hp(3) (mSv)
Restricción de dosis	12	200	15
Año			
1996	4.73	8.15	-
1997	4.02	8.56	-
1998	10.27	17.85	2.60
1999	4.85	49.38	4.38
2000	25.77	65.43	1.27
2001	3.22	117.97	1.90
2002	7.06	97.94	8.47
2003	5.89	91.47	12.09
2004	4.17	73.41	5.14
2005	6.52	145.17	5.89
2006	6.09	232.71	3.49
2007	2.96	117.70	3.86
2008	4.28	168.38	2.18
2009	5.32	172.49	4.85
2010	5.14	60.68	3.85
2011	9.13	194.60	12.05

El 99.8% de los TOE sujetos a vigilancia radiológica individual reportados, reciben dosis efectivas inferiores al valor de restricción y límite de dosis efectiva anual, excepto en el año 2000, en el que una trabajadora del grupo de Control de Calidad, la cual realizaba todas las eluciones de los generadores recibió una dosis efectiva igual a 25.77 mSv. Como medida, además de redistribuir la carga de la trabajadora, se ubicó blindaje en el puesto de elución con 5 cm de Pb.

El 99.8% de los TOE reciben dosis en extremidades Hp(0.07) inferiores al valor de restricción adoptado, excepto en el año 2006 que se realizó el análisis con el trabajador sobre sus procedimientos en la intervención en la celda donde se manipula el ^{131}I . Como se aprecia, se superó la restricción de dosis, no así el límite anual para la dosis equivalente en manos.

El 100% de los TOE reciben dosis en el cristalino Hp(3) inferiores al valor de restricción adoptado.

En CENTIS los resultados de la vigilancia radiológica individual de los TOE se conservan durante la vida laboral del TOE y posteriormente, hasta 30 años después de terminado el trabajo que implicaba la exposición ocupacional.

Vigilancia radiológica de los puestos de trabajo

El DSR lleva a cabo semanalmente, el monitoreo radiológico de los puestos de trabajo, es decir, las mediciones de la tasa de dosis equivalente ambiental y de la contaminación superficial en las áreas donde se manipulan sustancias radiactivas, mediante instrumentación verificada o calibrada cada año por el Laboratorio Secundario de Verificación de Equipos del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR).

Para las dos magnitudes que se controlan se establecen niveles de referencia que permiten detectar las desviaciones de las condiciones de seguridad de los puestos de trabajo. Se dispone de información desde el 2006 hasta el 2011 contenida en 1092 registros.

Una experiencia de interés es el examen de los resultados obtenidos de la vigilancia radiológica realizada a la producción del nuevo generador de tecnecio GB-Tec02, que permitió identificar 15 desviaciones en 71 registros (para el 21.13%), con superación del nivel de referencia (50 μSv por día de producción). Para reducir las dosis efectivas se adoptaron medidas de optimización de la exposición ocupacional como el empleo de blindaje de plomo con espesor igual a 5 cm y 30 cm de altura sobre el plano de trabajo para los puestos donde se realizan las eluciones y el armado de los generadores (como blindaje adicional al del contenedor del generador GB-Tec02, cuyo espesor de Pb es de 5 cm), ubicación de láminas de plomo de 0.6 cm de espesor en el interior y la tapa del recipiente para los desechos radiactivos en los puestos de las eluciones (con tubería plástica fijada en la abertura de la tapa para facilitar la recolección de estos desechos), rotación del personal que realiza las eluciones y el armado de los generadores, lo cual permite reducir el factor ocupacional y el empleo de los TOE que no participan en el resto de los procesos de producción de radiofármacos y compuestos marcados (personal de apoyo), para ejecutar las eluciones y el armado de los generadores, y el uso de los DOSICARD (dosímetros electrónicos de lectura directa) para medir Hp(10) durante estas operaciones, porque además de disponer de alarma lumínica y sonora, permiten estudiar la distribución de Hp(10) en el tiempo. Esta última característica ayuda a iden-

tificar qué operaciones son las de mayor aporte a la exposición del trabajador. Además, el nivel de registro de los dosímetros TLD suministrados por el CPHR es 100 $\mu\text{Sv}/\text{mes}$ y como los TOE más expuestos solamente trabajan una vez por mes, la lectura implica el valor de cero cuando $\text{Hp}(10)$ no supera este valor.

Control de las dosis al público por las descargas líquidas

La vigilancia de las descargas líquidas es indispensable para el cumplimiento de la restricción de dosis al público. La planta de producción posee un sistema de canalización especial (barrera de protección para los miembros de público), cuya función es controlar los desagües provenientes de campanas radioquímicas, lavamanos y duchas de descontaminación, y fregaderos "activos" ubicados en la zona controlada antes de su expulsión al ambiente.

Llama la atención que para el ^{32}P se alcanzaron valores de actividad anual descargada superiores al nivel de desclasificación incondicional en el trienio 2002-2005, debido a la incorrecta consideración de que toda la emisión beta medida en las aguas sospechosas se debía a este radisótopo y aplicado a las aguas que se descargan del sistema de canalización especial, antes de su unión con el resto de las aguas del CENTIS, de su paso por el tanque séptico y su incorporación al manto freático después del lecho filtrante. Para el resto de los radisótopos medidos no se sobrepasan los límites de descarga correspondientes [9]. Por procedimientos establecidos para la estimación adecuada de emisores beta a finales del 2009 por el Departamento de Metrología de los Radionúclidos del CENTIS y completada en el 2010 [10,11], se han establecido indicadores que permiten garantizar el cumplimiento de los niveles incondicionales de descarga, los que aseguran que los miembros del público reciban dosis iguales o inferiores a $10\mu\text{Sv a-1}$ y una dosis efectiva colectiva no superior a 1 Sv-hombre a-1 por esta vía.

Control de las dosis al público por las descargas gaseosas

Las descargas gaseosas se miden de manera diferida con la ayuda de un radiómetro con detector Geiger-Müller para mantener la vigilancia y asegurar el cumplimiento de la restricción de dosis al público [9]. El control de la actividad descargada se realiza, tomando como referencia un límite de actividad descargada derivado por producción $\leq 1.92\text{ MBq}/\text{producción}$ donde intervenga el ^{131}I . En caso que este valor se sobrepase, se abre un expediente de investigación, se examina con los TOE implicados, se evalúan las causas que lo provocaron, y se proponen acciones para evitar su repetición. Se asegura así, que nos mantengamos en aproximadamente en $1/3$ del límite actividad descargada anual (100 MBq a-1), a pesar de que la actividad anual manipulada por práctica se ha incrementado.

Como se aprecia en la tabla 2, la actividad anual descargada de ^{131}I se ha comportado entre 11.2 MBq a 67.9 MBq , siendo la concentración radiactiva máxima registrada para el período analizado igual a $29,9\text{ Bq m-3}$. Ninguno de estos valores supera los niveles establecidos de descarga a saber 100 MBq a-1 y $59,4\text{ Bq m-3}$.

Tabla 2. Actividad manipulada, concentración radiactiva máxima y actividad anual de la descarga gaseosa de I-131

Año	Actividad manipulada anual ^{131}I (TBq a-1)	Concentración radiactiva máxima de ^{131}I (Bq m-3)	Actividad anual de descarga ^{131}I (Bq a-1)
2001	4.88	2.87E + 00	1.12E + 07
2002	4.60	2.45E + 01	6.79E + 07
2003	3.94	4.85E + 00	1.99E + 07
2004	4.71	1.03E + 01	6.32E + 07
2005	4.08	4.38E + 00	4.10E + 07
2006	3.28	1.61E + 01	2.95E + 07
2007	4.91	1.91E + 01	6.72E + 07
2008	4.33	2.99E + 01	2.61E + 07
2009	5.76	1.96E + 01	3.46E + 07
2010	7.09	2.02E + 01	3.07E + 07

Se extrapolan linealmente los resultados del modelo para la evaluación de las dosis al grupo crítico, referido en para las condiciones normales de operación, para 52 semanas de trabajo por año y la actividad de ^{131}I en las descargas gaseosas. Igualmente se reporta que este radisótopo aporta el 88.5% de dicha dosis. La comparación de los resultados que se obtienen con la restricción de dosis al público resulta útil para evaluar la seguridad de los procesos con este radisótopo.

Nótese en la figura 3, que las dosis efectivas anuales al público, debido a las descargas gaseosas del CENTIS, se han comportado por debajo del 3% de la restricción de dosis adoptada igual a $10\mu\text{Sv a-1}$.

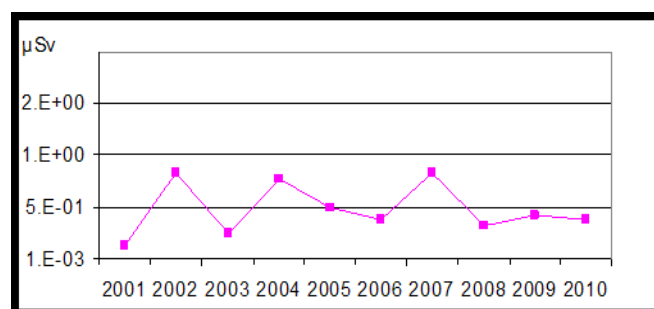


Figura 3. Indicador dosis efectiva anual al público debido a las descargas gaseosas.

Gestión de la organización orientada en la seguridad y protección radiológica

El primer nivel de dirección del CENTIS trimestralmente controla y evalúa a través del Cuadro de Mando Integral el estado de actualización y vigencia de las au-

torizaciones de las prácticas con materiales radiactivos otorgadas al Centro por el CNSN, que son condiciones limitantes de operación y que pueden afectar el cumplimiento de las misiones del centro.

El estado de la protección y seguridad radiológica de CENTIS se aborda o discute semanalmente en las reuniones periódicas de trabajos del Comité de Producción, estimulando la comunicación abierta sobre la protección y la seguridad radiológica entre todas las áreas de la entidad.

La experiencia de operación prueba la importancia de controlar con una frecuencia adecuada, la evolución de los requisitos del PSPR en dos niveles de dirección: el Departamento de Seguridad Radiológica (DSR) y la Dirección.

Existe una buena y abierta comunicación entre los directivos, miembros del DSR y los trabajadores para abordar cualquier preocupación o sugerencia relacionada con la protección y seguridad radiológica del personal, motivando a los trabajadores a realizar sugerencias y mejoras al respecto.

Otra experiencia importante es que CENTIS, dentro del ejercicio estratégico 2012-2015, incorporó como valores deseados de la organización un conjunto de atributos que contribuyen a fomentar una cultura de seguridad como la profesionalidad en el trabajo, el trabajo en equipo, la seguridad laboral y la seguridad ambiental.

En CENTIS la protección y seguridad radiológica es una responsabilidad en primer lugar del Director (concesionario de la Licencia), del Responsable de Protección Radiológica (RPR) y demás miembros del Departamento de Seguridad Radiológica, de los directivos, cuyos subordinados realizan prácticas con fuentes de radiaciones ionizantes y de los propios trabajadores ocupacionalmente expuestos.

Un pilar importante en los resultados obtenidos ha sido la máxima prioridad y apoyo que el primer nivel de dirección de CENTIS ha brindado en todos estos años a la seguridad de las fuentes radiactivas y a la protección radiológica de los trabajadores, el público y el medio ambiente.

Conclusiones

El establecer indicadores de control de seguridad, cuyas frecuencias se anticipan razonablemente a los valores umbrales de los indicadores de seguridad y protección radiológicas, aseguran su cumplimiento como el control 3 meses antes de la fecha de caducidad de la autorización de una práctica, una licencia individual, entre otros.

La vigilancia radiológica de los puestos de trabajos y los dosímetros electrónicos de lectura directa, DOSICARD, permitió introducir medidas de optimización para las producciones de los generadores de Tecnecio GBTec 02, reduciendo las dosis recibidas por los TOE que realizan esta práctica.

Al establecer los protocolos para determinar los emisores beta puros en los efluentes líquidos e incorporar sus resultados en los indicadores para las descargas líquidas, se garantiza el cumplimiento de las restricciones de dosis para los miembros del público por esta vía.

Acopiar los registros de dosis, archivarlos sin evaluarlos, olvidarlos, convertirlos en documentos pasivos, son actitudes inadecuadas. Hay que evaluarlos inmediatamente, realizar un análisis de tendencias de las dosis por cada TOE, por grupo de trabajo y por práctica, aunque no se hayan superados los niveles de investigación de dosis respectivos, pero sí compararlos con los valores mínimos, medios y máximos históricos, ya que si se manifiesta alguna tendencia de aumento de las dosis, de manera prematura, se puede incidir sobre esta. Ello ha sido una experiencia valiosa que ha contribuido a la optimización de las dosis.

El control de las descargas gaseosas ha permitido determinar qué práctica (producción de MIBG) y dentro de esta qué operación (calentamiento y secado del producto) es la que más contribuye a aumentar los niveles de actividad de ^{131}I que se descargan al medio ambiente, pudiendo tomar todas las acciones que se requieren para disminuirla por debajo de los niveles de desclasificación incondicionales.

CENTIS aporta, como nueva experiencia en su gestión de la seguridad y protección, haber establecido indicadores de control de seguridad y protección radiológicas desde el primer nivel de Dirección hasta la unidad básica (Departamento), que se evalúan de manera periódica, oportuna e inmediata mediante el empleo de métodos de control de la gestión (Cuadro de Mando Integral), análisis de tendencias y otros, lo cual ha permitido detectar de manera prematura no conformidades de acuerdo con las regulaciones y desviaciones de los límites y condiciones de operación segura, investigar las causas que lo originaron, tomar acciones para evitar su repetición y extraer los aspectos positivos de las lecciones aprendidas, convirtiéndola en experiencias de trabajo útiles. Esto ha sido el pilar principal en los estándares de seguridad y protección radiológicas aceptables alcanzados.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a todos los especialistas que en distintas etapas formaron parte del Departamento de Seguridad Radiológica y que con su dedicación, conocimientos y experiencias hicieron posible que el Centro de Isótopos cuente hoy con estándares de seguridad y protección radiológicas aceptables.

Referencias bibliográficas

- [1]. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente y Ministerio de Salud Pública. Resolución Conjunta. Normas Básicas de Seguridad Radiológica. La Habana, 2001.
- [2]. Comunidad Europea de la Energía Atómica. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Organismo Internacional de Energía Atómica, Organización Internacional del Trabajo, Organización Marítima Internacional, Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE, Organización Panamericana de la Salud. Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente, Organización Mundial de la Salud. Principios Fundamentales de seguridad: Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SF-1. OIEA. Viena: OIEA, 2007.
- [3]. Organismo Internacional de Energía Atómica. Evaluación de la exposición ocupacional debida a fuentes externas de radiación. Guía de Seguridad. RS-G-1.3. Viena: OIEA, 1999.
- [4]. Organismo Internacional de Energía Atómica. Evaluación de la exposición ocupacional debida a incorporaciones de radionucleidos. Guía de Seguridad, RS-G-1.2. Viena: OIEA, 1999.
- [5]. Organismo Internacional de Energía Atómica. Optimización de la protección radiológica en el control de la exposición ocupacional. Colección de Informes de Seguridad No. 21. Viena: OIEA, 2004.
- [6]. PÉREZ S, GATTI AM, REYES R. Seguridad y protección radiológicas en el diseño del centro de producción de radiofármacos y compuestos marcados de Cuba. Nucleus. 1998; (24): 36-44.
- [7]. International Atomic Energy Agency. Recommendations for the safe use and regulation of radiation sources in industry, medicine, research and teaching. Safety Series No. 102. Vienna: IAEA: 1990.
- [8]. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Resolución 25. Reglamento autorización de prácticas asociadas al empleo de las radiaciones ionizantes. La Habana, 1998.
- [9]. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Resolución 35/2003. Reglamento para la gestión segura de desechos radiactivos. La Habana, 2003.
- [10]. Centro Nacional de Seguridad Nuclear. Resolución No. 1/2004, Guía sobre niveles de desclasificación incondicional de: materiales sólidos con muy bajo contenido radiactivo y descargas de líquidos y de gases al medio ambiente. La Habana, 2004.
- [11]. FERRO FERNÁNDEZ R, ILIZÁSTIGUI PÉREZ F, DE LA FUENTE PUCH A. El sistema ADASIR: una experiencia cubana de aprendizaje sobre accidentes y fomento de la cultura de seguridad radiológica. Nucleus. 2010; (48): 37-41.

Recibido: 3 de septiembre de 2012

Aceptado: 4 de octubre de 2012