

CPHR: 35 años al Servicio de la Protección Radiológica, la Salud y el Medio Ambiente

Gonzalo Walwyn Salas, Jorge E. González Mesa, Daniel Molina Pérez, Dayana Ramos Machado, Gladys M. López Bejerano, Isis M. Fernández Gómez, Celia Caveda Ramos, Omar García Lima, Mercedes M. Salgado Mojena, Maryzury Ramos Valdés, Jose L. Peralta Vital, Ailza Castro Soler, Niurka González Rodríguez, Juan Cardenas Herrera, José A. Tamayo García.

Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR)
gonzalo@cphr.edu.cu

Resumen

El Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones fue fundado en 1985 para sustentar la aplicación segura de las tecnologías nucleares en Cuba. En la actualidad la institución es considerada como una referencia nacional y regional en materia de seguridad radiológica, gracias a una sólida estrategia institucional que aporta de manera sostenida soluciones a problemas prioritarios del país. Este trabajo presenta una reseña de los principales resultados del centro hasta la fecha.

Palabras clave: dosimetría; protección contra las radiaciones; plan de emergencia; protección medioambiental; vigilancia de la radiactividad

CPHR: 35 years at the Service of Radiological Protection, Health and the Environment

Abstract

The Center for Radiation Protection and Hygiene was founded in 1985 to support the safe application of nuclear technologies in Cuba. Nowadays, the institution is considered as a national and regional reference for radiation protection, thanks to the comprehensive institutional strategy that support the solutions of the problems with priority in the country. The paper presents the overview about the main results of the center up today.

Key words: dosimetry; radiation protection; emergency plans; environmental protection; radiation monitoring

I. Introducción

El empleo de las radiaciones ionizantes abarca prácticamente todas las esferas de la vida del hombre, que obtiene sus beneficios tanto en aplicaciones médicas como industriales y de investigación. Sin embargo, la exposición a las radiaciones ionizantes puede llegar a causar efectos dañinos para la salud humana y para el medio ambiente, por lo que se hace necesaria su aplicación con el cumplimiento de estrictos requisitos de seguridad.

Con el objetivo de garantizar que las aplicaciones pacíficas de las técnicas nucleares se desarrollen en armonía con la política de protección de la salud de los trabajadores, la población en general y el medio ambiente, se inauguró en 1985 el Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR). En sus inicios el centro realizaba actividades reguladoras de conjunto con incipientes servicios tecnológicos. En el año 1990 se separa la acti-

vidad reguladora y el centro se afianza en el desarrollo de la base científico - tecnológica de la protección y la seguridad radiológica en concordancia con los adelantos científicos y las recomendaciones internacionales. Adicionalmente, aprovechando la experiencia ganada en el campo de la protección radiológica, el CPHR ha incurrido con éxitos en la esfera de la gestión ambiental y la producción de plaguicidas para el control de vectores que requiere el país.

La visión del CPHR ha variado en el tiempo, según la estrategia institucional, pero manteniendo la premisa de que: "Somos una referencia nacional y regional en seguridad radiológica y aplicamos tecnologías nucleares y otras en la solución de problemas prioritarios del país con una innovación constante y sostenible". Un elemento de vital importancia, considerado en la estrategia y en concordancia con la visión, es la implementación de sistemas de gestión de calidad en los servicios, de los cuales solo se someten a procesos de acreditación aquellos

cuyos resultados necesiten de una validez internacional. El presente artículo pretende mostrar los avances en el cumplimiento de esta visión en el campo de la protección radiológica y la aplicación de tecnologías nucleares a lo largo de 35 años de trabajo.

2. Desarrollo de los servicios científico-tecnológicos del CPHR

Con el objetivo de evaluar el cumplimiento de la visión del CPHR en lo relacionado a ser una referencia nacional y regional en seguridad radiológica y la aplicación de tecnologías nucleares se decidió revisar el desempeño de los servicios tecnológicos de la institución para visualizar su importancia y reconocimiento a nivel nacional y regional.

2.1. Vigilancia radiológica individual de los trabajadores ocupacionalmente expuestos

La vigilancia radiológica individual de los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE) del país, forma parte del encargo social del CPHR desde su creación. Sus dos pilares son la dosimetría externa y la dosimetría interna.

2.1.1. Dosimetría Externa

Desde los primeros momentos el CPHR contó con el Laboratorio de Dosimetría Externa (LDE). En el periodo 1985 a 1995, empleando dosímetros filmicos para el monitoreo de las dosis en cuerpo entero con una frecuencia trimestral para las prácticas de mayor riesgo con radiación gamma, ya que el Ministerio de Salud Pública (MINSAP) disponía de su propio servicio para la práctica de radiodiagnóstico. En el periodo 1993 a 1995 se implementa dicha dosimetría de radiación gamma con uso de detectores termoluminiscentes (TLD) [1], siendo un paso de avance, al permitir reducir el periodo de monitoreo a mensual e introducir la dosimetría de extremidades [2]. En el año 2000 las autoridades deciden que el CPHR asuma la vigilancia de todos los TOE del país, lo que significaba asimilar más de 4000 nuevos usuarios. En el periodo de 2000 a 2001 se mantiene la dosimetría filmica y el servicio con TLD asume escalonadamente los TOE de radiodiagnóstico, mientras trabaja en mejorar sus capacidades mediante la automatización del sistema disponible [3]. Se adquiere un sistema TLD automático con el apoyo del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y con recursos propios del país que permite completar las capacidades necesarias [4]. Desde el 2002 la dosimetría TLD de radiación gamma y rayos X asume la cobertura total para cuerpo y extremidades con frecuencia mensual.

Se resalta en estos años la acreditación del sistema de gestión del LDE en base a los requisitos de la norma ISO 17025 [5,6] y la obtención del Reconocimiento de la Competencia otorgado por el CNSN. Los resultados del servicio han contribuido a evaluar el comportamiento de la exposición ocupacional en el país [7]. El fortalecimiento del servicio, dirigido a consolidar capacidades tecnológicas y aumentar el alcance y cobertura en

función de las necesidades nacionales, se ha llevado a cabo mediante proyectos OIEA, de cooperación bilateral o del programa nacional de CyT. Desde el año 2010 se dispone de las capacidades para producir los componentes del dosímetro. El servicio ha tenido una presencia importante en la región latinoamericana especialmente en el control de las dosis de colaboradores cubanos en países del ALBA y de manera permanente en un universo amplio de TOE de El Salvador, además la experticia de sus especialistas ha sido demandada en un número importante de estos países. Debido a las crecientes demandas nacionales, en 2019 quedaron implementados los servicios de dosimetría de extremidades para radiación beta y dosimetría de cristalino. Hacia el futuro inmediato se proyecta la implementación del servicio de dosimetría externa para radiación neutrónica.

2.1.2. Dosimetría Interna

Con la creación del CPHR se instala el Laboratorio de Dosimetría Interna (LDI) para realizar la vigilancia radiológica individual de la contaminación interna a los TOE. En 1986 se implementó el monitoreo de ^{131}I y ^{125}I en tiroides, siendo el servicio insigne del laboratorio. En 1989 (y nuevamente en 2014) se realiza un estudio para la selección y determinación de los TOE que debían ser monitoreados en el país, evidenciándose la necesidad de dar cobertura a los Departamentos de Medicina Nuclear (DMN), servicio que se implementó desde 1990 [8, 9]. Ese mismo año, dando respuesta a la solicitud de evaluar la contaminación interna por ^{137}Cs en niños procedentes de áreas afectadas por el accidente de Chernóbil, se construyen dos cámaras blindadas móviles con facilidades para la medición y en 1995 se construyó en el CPHR el único Contador de Radiactividad Corporal existente en el país [10]. Con estas instalaciones se midieron y estimaron dosis a más de 8000 niños [11, 12]. El LDI ha participado en la evaluación de la contaminación interna de personas vinculadas a otros accidentes e incidentes nucleares y radiológicos como el de Goiania, Venezuela, y Fukushima en 2011. A partir del 2012 el laboratorio inició un proceso de automatización de su sistema de procesamiento de datos [13], desarrollándose dos herramientas informáticas, una para su empleo en el propio laboratorio (CaDIS-CRC) y otra para los DMN del país (CaDIS-SMN). En 2015 se organiza e imparte el primer curso de Dosimetría Interna y a inicios de 2020 se realiza el primer ejercicio de intercomparación nacional sobre actividad medida y dosis efectiva comprometida debido a la incorporación de ^{131}I .

Se ha contribuido además a la implementación de la VRI de la Contaminación Interna en varios países de la Región, destacándose la cooperación con la República Bolivariana de Venezuela.

2.2. Vigilancia Radiológica Ambiental

La vigilancia radiológica ambiental es una de las actividades del centro realizadas desde sus inicios. Esta actividad ha ido incrementándose por las necesidades nacionales y hoy comprende las labores del Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental (LVRA), que incluye

la vigilancia radiológica de alimentos y la Red Nacional de Vigilancia Radiológica Ambiental (RNVRA) que además de sus funciones como sistema de alerta temprana, realiza el servicio de vigilancia radiológica en metales.

2.2.1. Laboratorio Vigilancia Radiológica Ambiental

En los primeros momentos las tareas fundamentales del laboratorio estuvieron encaminadas a estimar los factores que influían en la carga radiológica de la población cubana, como consecuencia de su exposición a las radiaciones ionizantes. Junto a estas labores, se llevaron a cabo también estudios radioecológicos preliminares de las zonas de ubicación de las instalaciones nucleares cubanas previstas. En la actualidad, el laboratorio brinda servicios científico - técnicos a entidades nacionales y extranjeras en la esfera de la determinación cualitativa y cuantitativa de radionucleidos en matrices diversas, cuyos resultados pueden ser aplicados no sólo en el ámbito de la vigilancia ambiental, la inocuidad alimentaria y la protección radiológica del público y el medioambiente, sino también en la investigación, la agricultura, la hidrología y otras ramas del desarrollo socio-económico del país. Es miembro de la Red Analítica de América Latina y El Caribe (RALACA), que coadyuva al fortalecimiento de las capacidades analíticas de la región en relación con la inocuidad de alimentos y la protección del medio ambiente y de la Red de Laboratorios analíticos para la medición de la radiactividad ambiental (ALMERA), establecida por el OIEA en 1995, con vistas a proporcionar resultados analíticos confiables y oportunos de radiactividad ambiental en el caso de accidentes radiológicos o nucleares o de una liberación intencional de radiactividad. Los especialistas del laboratorio han asesorado a otros de la región en la implementación de estos importantes servicios a través de capacitaciones y misiones de expertos.

El sistema de gestión de la calidad del laboratorio está acreditado desde 1997 y funciona en base a la norma ISO/IEC 17025 [14]. Una parte importante de la misión del LVRA desde los años 90 del pasado siglo, ha sido el control radiológico de los alimentos tanto de importación como de exportación. De igual forma desde el año 2000, de conjunto con la Dirección de Salud Ambiental del MINSAP, ha implementado y lleva a cabo un Programa de Vigilancia radiológica de los alimentos que se comercializan en el territorio nacional, garantizando así su inocuidad desde el punto de vista radiológico.

2.2.2. Red Nacional de Vigilancia Radiológica Ambiental

La Red Nacional de Vigilancia Radiológica Ambiental se creó en el 1989, su organización y su dirección metodológica están a cargo del CPHR. El objetivo de la misma es detectar cualquier anomalía radiológica que se produzca en el territorio nacional debido a la ocurrencia de accidentes nucleares a escala regional o global. Desde hace varios años la red se somete a un proceso de automatización y desarrollo con la finalidad de incrementar las capacidades de respuesta de la misma. La incorporación del monitoreo de las

variables meteorológicas de superficie [15], la incorporación a la Red Global de Isótopos en Precipitaciones [16], la automatización del monitoreo de la tasa de dosis absorbida en aire debido a la radiación gamma ambiental con sondas gamma GammaTracer [17], el desarrollo de un prototipo de colector de aerosoles y el perfeccionamiento del monitoreo de la tasa dosis gamma integrada con TLD constituyen una muestra de lo anteriormente mencionado.

Cuenta con una herramienta informática ViewGamma para la comunicación con las sondas de medición y actualmente se trabaja en el desarrollo de un portal web que permita la visualización de los resultados enviados por dichas sondas distribuidas en el país, así como la programación de servicios web que permitirá disponer de la información generada por las diferentes postas en aplicaciones web, móviles y de escritorio [18].

Debido a exigencias comerciales en empresas exportadoras e importadoras de chatarra referidas a la contaminación radiactiva, se inició en el año 2002 el Servicio de Vigilancia Radiológica en Metales. El objetivo de éste servicio es detectar la contaminación radiactiva en la chatarra metálica. Para su implementación se elaboraron metodologías para los diferentes escenarios de medición y se desarrollaron las herramientas Data-Chat y Geschat [19]. En el 2009 se inició un proyecto para el desarrollo de medios de divulgación [20] y posteriormente se diseñó y desarrolló un programa de capacitación, el cual se implementó en abril del 2014 [21]. El reconocimiento de la competencia lo recibió el Servicio de Vigilancia Radiológica en Metales en el 2013 y el Curso de Capacitación en el 2015. La realización del Servicio ha contribuido en la prevención del desplazamiento involuntario de material radiactivo en la chatarra exportada, en la protección de los miembros del público y a evitar las pérdidas económicas al país.

2.3. Metrología de las radiaciones ionizantes

La metrología de las radiaciones ionizantes, específicamente, en el campo de las calibraciones dosimétricas ha tenido un desarrollo vertiginoso en el CPHR. En el año 1985 había una sola capacidad de calibración de dosímetros de área en un banco de calibración rústico de Cs-137, actualmente cuenta con 20 capacidades reconocidas internacionalmente que aseguran la trazabilidad de las mediciones cubanas en radioterapia, radiología diagnóstica y protección radiológica. Estas capacidades del Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica (LSCD) están acreditadas en base a la norma NC-ISO/IEC 17025 [14] por autoridades cubanas e internacionales. Los servicios de calibración del LSCD no solo se brindan en el país, sino que ellos tienen presencia en la región y sus expertos han brindado su experiencia a nivel internacional, incluyendo países fuera de la región latinoamericana.

El LSCD ha desarrollado varios proyectos internacionales y nacionales que han propiciado la implementación de novedosas metodologías de calibración [22-25] que han permitido alcanzar la equivalencia de los patrones cubanos con la referencia mundial en un

amplio rango de energías de los fotones y aplicaciones. Entre estos proyectos se destacan el de cooperación técnica con el OIEA, CUB1006 "Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica", mediante el cual se inauguró en 1995 el laboratorio cubano que rápidamente pasó a ser miembro de la red del OIEA/OMS; así como, el CUB6017 "Aseguramiento Metrológico de las Nuevas Tecnologías de la Medicina con Uso de Radiaciones Ionizantes en Cuba" mediante el cual se actualizaron las capacidades metrológicas y se ampliaron a campos de radiación beta. El LSCD participó en el desarrollo de una norma cubana [26] e implantó el servicio de verificación de dosímetros empleados en la vigilancia radiológica ocupacional. En la actualidad las capacidades cubanas están publicadas en las bases de datos del Buró Internacional de Pesas y Medidas a través de su participación en la Red Euroasiática de Institutos de Metrología (COOMET). Este reconocimiento se sustenta en los resultados satisfactorios en comparaciones con laboratorios primarios [27-29] que demuestran la equivalencia de los mismos.

2.4. Respuesta a Emergencias Radiológicas

El CPHR posee capacidades técnicas esenciales para la respuesta a emergencias radiológicas o nucleares que impliquen el uso de fuentes radiactivas del país. Las tareas que coordina son las de evaluación y pronóstico de las consecuencias de los eventos radiológicos, la evaluación de las dosis internas en personas contaminadas; detección, localización y recuperación de fuentes huérfanas o perdidas; detección de contaminación externa en personas, equipos y objetos; reconstrucción de dosis; asesoramiento a los órganos de Salud Pública en las acciones a seguir, interactuando con los órganos de la Defensa Civil y la Autoridad Reguladora. Para lograr un adecuado funcionamiento se integran actividades de diferentes áreas que ejecutan tareas afines a su especialización. Solo una actividad por su complejidad requiere de la acción exclusiva de un laboratorio, tal es el caso de la dosimetría citogenética que permite evaluar las dosis de radiación de las personas involucradas en situaciones radiológicas anormales.

2.4.1. Dosimetría Citogenética

La dosimetría citogenética se desarrolla en el CPHR desde 1986. Es una de las herramientas para la respuesta médica a las emergencias radiológicas ya que permite la estimación de dosis en los individuos expuestos a partir de muestras de sangre y el análisis de las aberraciones cromosómicas presentes en los linfocitos. Para ello es esencial que el laboratorio cuente con curvas de calibración que correlacionan la dosis con la frecuencia de las aberraciones que se estudian. La primera curva de calibración del CPHR se publicó en 1988 [30] y estableció la relación entre la frecuencia de dicéntricos, considerado el estándar de oro de este tipo de dosimetría y la dosis de radiación gamma. La segunda curva de calibración se publicó en 1992 para el ensayo de micronúcleos. Dentro de los estudios más significativos en individuos expuestos a dosis de radiación destacan los

realizados a niños de Kiev, Ovruch y Pripjat, como parte de la evaluación del impacto radiológico en niños de áreas afectadas por el accidente de Chernóbil que coordinó el CPHR [12] así como los realizados a individuos relacionados con el accidente radiológico de Goiania en Brasil. El CPHR organizó la primera intercomparación regional en dosimetría citogenética [31]. Es uno de los coordinadores de la red latinoamericana de dosimetría biológica (LBDNet) fundada en la Habana en 2007 [32] y dentro de la cual ha desarrollado un conjunto importante de trabajos experimentales. El CPHR ha publicado otras curvas de calibración para tres indicadores biológicos: anillos en cromosomas prematuramente condensados (PCC-R), índice PCC y focos gamma H2AX. Ellas cubren un intervalo de dosis desde 0,1 Gy hasta 25 Gy y varias calidades de radiación [33], lo cual amplía las posibilidades de contribuir al esclarecimiento de cualquier suceso radiológico anormal que pueda ocurrir en el país o la región.

2.5. Gestión de desechos radiactivos

El centro está encargado de la gestión centralizada de los desechos radiactivos que se generan en el país de las aplicaciones de las radiaciones ionizantes en la medicina, industria, investigación y docencia [34]. Para ello dispone de una planta de tratamiento y acondicionamiento y un Almacén de Desechos Radiactivos. El Almacén se puso en operación en 1990, desde entonces y hasta la actualidad, se han realizado por el CPHR las recogidas en todo el país de desechos radiactivos y fuentes en desuso. En el año 2009 se ejecutó un proyecto para la reparación y remodelación constructiva de esta instalación con el objetivo de extender su vida útil.

La planta de tratamiento y acondicionamiento fue puesta en funcionamiento en el año 1999. En esta instalación se realizan las operaciones de caracterización, tratamiento y acondicionamiento de los desechos radiactivos y fuentes en desuso. Estas últimas constituyen el mayor inventario, en términos tanto de volumen como de actividad total almacenada en las instalaciones. Con el objetivo de mejorar la seguridad, se realiza desde el año 2014 el desmantelamiento de los equipos que contienen fuentes radiactivas de categorías 3-5, para recuperar las fuentes y acondicionarlas en cápsulas de acero inoxidable, las que son almacenadas en contenedores adecuados [35].

Las operaciones de gestión de desechos radiactivos se ejecutan de manera segura y cumpliendo con las regulaciones nacionales establecidas. Existe un sistema de gestión de la calidad que permite el adecuado control de los desechos radiactivos y fuentes en desuso que se reciben en las instalaciones.

La ejecución de proyectos nacionales e internacionales, fundamentalmente con el OIEA, ha propiciado el desarrollo de esta actividad, permitiendo la adquisición de equipamiento, así como la capacitación del personal. La experiencia adquirida ha permitido además asesorar a otros países en la gestión segura de los desechos radiactivos y las fuentes en desuso.

2.6. Herramientas informáticas aplicadas a la Protección Radiológica

La informatización ha sido uno de las líneas de trabajo priorizadas del CPHR en estos 35 años la que ha contribuido a sustentar el nivel alcanzado por la organización. Dentro de esta área estratégica se destaca el desarrollo de aplicaciones informáticas en el campo de la protección radiológica y la automatización de los principales servicios y procesos de los laboratorios del CPHR. Por el volumen de información que generan y procesan los servicios de dosimetría personal del CPHR desde el año 1992 se priorizó el desarrollo de la primera versión del sistema "DOSIS" [36] para el control y gestión de la información dosimétrica de todas las entidades y trabajadores ocupacionalmente expuestos del territorio nacional. La versión actual de esta aplicación ha sido implementada en varios países de la región de América Latina.

El CPHR desarrolló en el año 1998 un sistema integrado de datos para el control de la información de la seguridad y protección radiológica a escala nacional "RASSYN" [37] y desde el año 2005 trabaja en el desarrollo de una herramienta informática para la gestión de la información del Programa de Seguridad Radiológica a nivel institucional "EUMENES" [38]. Con el objetivo fundamental de contribuir a perfeccionar la supervisión de la seguridad en las aplicaciones nucleares y el sistema de evaluación de la exposición ocupacional en el país, en el año 2009 se comenzó a desarrollar el Banco Nacional de Dosis de la República de Cuba [39], que le permite a la Autoridad Reguladora cubana cumplir con el requerimiento internacional y nacional de que los registros de las dosis ocupacionales individuales de los trabajadores cubanos se conserven y estén disponibles para las autoridades competentes y para los individuos. Esta aplicación ha sido tomada como referente por el OIEA para el desarrollo de un Prototipo de Registro Nacional de Dosis para América Latina [40], que se ha implementado en más de 10 países. El CPHR ha priorizado la automatización de los sistemas de alerta temprana; particularmente la adquisición de los principales indicadores de monitoreo de la Red Nacional de Vigilancia Radiológica Ambiental [18].

2.7. Aplicación de técnicas nucleares

En el CPHR, hace más de 15 años son aplicadas las técnicas nucleares para evaluar la sostenibilidad de la tierra y los recursos hídricos. La institución ha jugado un papel importante en la introducción y extensión de estas técnicas para la caracterización de acuíferos, la evaluación de los impactos de la sedimentación y en la lucha contra la erosión de agrosistemas. En el ámbito nacional, se ha participado en 9 proyectos en respuesta a programas de importantes agencias como son la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada y la Agencia Ambiental. En el caso internacional, se ha participado en varios proyectos de cooperación bilateral con Argentina (programa CONICEC-CITMA) y también como oferente de su experiencia en los últimos 4 proyectos ARCAL, aplicando en la actualidad a otros

2 proyectos de carácter regional y de cooperación técnica con el OIEA.

En la actualidad se están desarrollando las tecnologías de perfilaje nuclear y de trazadores aplicadas al diagnóstico industrial y la gestión ambiental. El CPHR ha introducido un paquete de servicios donde se emplea la técnica de radiotrazadores conjugada con técnicas analíticas convencionales, para la evaluación rápida del desempeño de sistemas de tratamiento de residuos líquidos, calibración de conductos, ente otros, con la finalidad de contribuir a la protección y conservación del medio ambiente. Igualmente se implementó el servicio de perfilaje gamma de columnas de destilación, muy efectiva para identificar problemas estructurales y operacionales.

2.8. Asesoría a los programas de protección radiológica

El cumplimiento de los requisitos reguladores, demandan de alta especialización profesional, no siempre disponible en las entidades usuarias de radiaciones ionizantes; por lo que, desde hace algunas décadas el CPHR ofrece servicios de asesoría en seguridad radiológica que favorecen tales propósitos, en concordancia con lo establecido en las regulaciones nacionales vigentes [41].

Un grupo numeroso de instituciones de todo el país han recibido la asesoría en la preparación de la documentación de apoyo a los procesos de autorización de las prácticas y para el diseño e implementación de los programas de seguridad radiológica. Se realizan evaluaciones radiológicas de los trabajos, tanto de dosis como de blindajes; acompañándose de recomendaciones para la optimización de la Protección Radiológica. Se desarrollan evaluaciones de seguridad de instalaciones radiactivas, así como de planes de emergencias radiológicas, además se han diseñado e implementado los programas de vigilancia radiológica de zonas y puestos de trabajo.

Los servicios de asesoría en seguridad y protección radiológica han contribuido a que la introducción creciente en el país de las tecnología de avanzada con aplicación de radiaciones ionizantes, se desempeñen con elevados estándares de seguridad y protección. La profesionalidad de los servicios prestados ha tenido como colofón la obtención por los usuarios, de las autorizaciones requeridas por la Autoridad Reguladora, a la vez que la alta competencia de los profesionales participantes en estos trabajos es reconocida por el Organismo Internacional de Energía Atómica lo que se ha reflejado en su contratación para realizar la asesoría en otros países de la región.

2.9. Capacitación en protección radiológica

El personal vinculado a las prácticas que emplean radiaciones ionizantes debe contar con una adecuada capacitación en materia de seguridad radiológica. Desde hace más de 20 años y como parte de los servicios de asesoría en seguridad y protección radiológica que brinda el CPHR, se realiza la capacitación de los trabajadores ocupacionalmente expuestos del país, lo que

se ha materializado sistemáticamente en cursos de alcance nacional [41] así como específicos para diversas prácticas y entidades que así lo requieren.

El Curso Nacional de Protección Radiológica, impartido por el CPHR con la colaboración de la Autoridad Reguladora Nacional por más de dos décadas, aborda la temática con un enfoque integral y está dirigido a los Responsables de Protección Radiológica de las instalaciones nacionales [42]. Como resultado de estas acciones han sido capacitados más de 1000 trabajadores ocupacionalmente expuestos de las diferentes categorías ocupacionales, de instalaciones radiactivas del país.

La experiencia de los cursos de protección radiológica ha sido extendida a todas las áreas de trabajo del CPHR. Los expertos de la institución han brindado sus conocimientos no solo a nivel nacional, sino también en la región. La capacitación ha alcanzado otras regiones en formato de entrenamientos en el puesto de trabajo y cursos. Actualmente se desarrollan un conjunto importante de cursos para dar cumplimiento a los requerimientos nacionales de capacitación para diferentes categorías ocupacionales dando así cumplimiento a la Estrategia Nacional de Capacitación y Entrenamiento en materia de Protección Radiológica.

2.10. Auditorías y Control de Calidad en la práctica médica

Los primeros avances en el control de calidad en la práctica médica desarrollados por el CPHR comenzaron a finales de los años 90 debido a la instalación de equipos de Co-60 en todo el país para tratamientos oncológicos que lo necesitaban. Los esfuerzos iniciales se enfocaron en la auditoría externa de haces de radioterapia con uso de detectores termoluminiscentes [43]. En este desarrollo participaron el LSCD, el Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología (INOR) y el entonces Centro de Control Estatal de Equipos Médicos (CCEEM). Estas técnicas se desarrollaron para condiciones de referencia y más adelante con la adquisición de equipamiento gracias a proyectos internacionales se establecieron en condiciones de no-referencia [44]. En la actualidad con la aparición de técnicas complejas con uso de aceleradores lineales se actualizan las capacidades para dar respuesta a las nuevas necesidades de país.

El control de calidad en radiología diagnóstica tuvo su mayor salto en la primera década de presente siglo coincidiendo con un auge de estas investigaciones a nivel global. El CPHR participó en varios proyectos nacionales e internacionales que fructificaron en el desarrollo de protocolos de control de calidad para el país [22, 45]. El constante desarrollo de las tecnologías de imágenes hace que el CPHR haya establecido un servicio nacional que complementa el trabajo regulador que se desarrolla en el país.

3. Discusión

Para el CPHR ha sido una prioridad en estos 35 años brindar servicios de calidad y competentes. Des-

de finales de siglo pasado varios de los laboratorios como el de vigilancia radiológica ambiental, calibración dosimétrica y dosimetría externa se acreditaron por la norma NC-ISO/IEC 17025 [14]. El mantenimiento de esta condición por más de 20 años ha sido una tarea de gran rigor pero a su vez ha permitido el reconocimiento nacional e internacional de los mismos y su exportación regular en la región. El servicio de dosimetría externa abarca gran parte del universo de trabajadores ocupacionalmente expuestos a campos de radiación fotónica y está desarrollando esta dosimetría para la radiación beta y neutrónica. El LSCD tiene varias de sus capacidades reconocidas por el Buró Internacional de Pesas y Medidas que refieren al CPHR como el instituto nacional designado para mantener los patrones dosimétricos del país. El LVRA garantiza, entre otras cosas, la inocuidad de los alimentos desde el punto de vista radiológico.

La Red Nacional de Vigilancia Radiológica Ambiental ha perfeccionado sus funciones de monitoreo y se ha ampliado a la vigilancia radiológica de la chatarra metálica que se exporta en el país. La respuesta a emergencias radiológicas se ha fortalecido y presenta resultados importantes como los de dosimetría citógenética y dosimetría interna en la evaluación del impacto radiológico en niños de áreas afectadas por el accidente de Chernóbil. Estos estudios son hoy referencia internacional en dosimetría. La gestión de desechos radiactivos se consolida y la automatización de los servicios se realiza de forma acelerada. Las asesorías de protección radiológica siguen apoyando el cumplimiento de los requisitos reguladores en las entidades usuarias de conjunto con las capacitaciones que se brindan a lo largo de país.

La aplicación de técnicas nucleares se incrementa y abarca la evaluación de la sostenibilidad de la tierra y los recursos hídricos, así como el diagnóstico industrial y la gestión ambiental. Las auditorías y control de calidad se diversifican en la práctica de radioterapia y de radiología diagnóstica en correspondencia con la introducción de avanzadas tecnologías en el país.

Todos estos logros aportan importantes contribuciones en la solución de problemas prioritarios del país como la seguridad alimentaria, el enfrentamiento al cambio climático, la salud humana y la exportación de servicios. En la actualidad muchos países de la región han obtenido la asistencia de los expertos cubanos en todas las ramas de accionar del CPHR.

4. Conclusiones

La base científico - tecnológica de la protección y la seguridad radiológica del país es sólida como consecuencia de una eficaz estrategia de trabajo del CPHR en estos años. Hoy la institución es una referencia nacional y regional en seguridad radiológica y aplica tecnologías nucleares con incidencia en la solución de problemas prioritarios del país. Los principales retos en lo adelante son mantener estos resultados con la necesaria renovación generacional de las fuerzas de trabajo del centro y lograr diversificar la actividad de manera tal que cubra las crecientes demandas nacionales.

5. Reconocimiento

Los autores citados en el artículo solo se corresponden con los contribuyentes a la edición del artículo, otros autores de los resultados alcanzados por el CPHR durante este período pueden encontrarse en las referencias bibliográficas.

6. Referencias Bibliográficas

- [1] DÍAZ BERNAL E, MOLINA PÉREZ D. Some characteristics of the TL personal dosimeter used by the CPHR individual monitoring service. *Radiat. Prot. Dosim.* 1999; 85(1-4):163-165.
- [2] MOLINA PÉREZ D, DÍAZ BERNAL E, VERA ROJAS L. Dosimetría de extremidades con dosímetros termoluminiscentes en Cuba. *Memorias del IV Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear*, La Habana, Cuba. Octubre, 1998.
- [3] MANZANO J, DIAZ E, CAPOTE E, MOLINA D, LOPEZ G. Sistema de gestión de datos en dosimetría personal 'DOSIS'. *Memorias V Regional Congress on Radiation Protection and Safety*. Regional IRPA Congress. Recife, Brasil. Mayo, 2001.
- [4] PERNAS R, MOLINA D. Pruebas Tipo al Sistema de Dosimetría Termoluminiscente Automático Adquirido por el CPHR para Dosimetría Personal. *Nucleus*. 2005; (37): 26-30.
- [5] MOLINA D. Programa de aseguramiento de la calidad en el Laboratorio de Dosimetría Externa del CPHR. *Memorias IX Conferencia Internacional*. XIX Congreso Nacional sobre Dosimetría de Estado Sólido. México D.F. Agosto 29 a Septiembre 1, 2006.
- [6] MADARIAGA G, FERNANDEZ IM, WALWYN G, MOLINA D. Valor de la acreditación de los servicios de protección radiológica de ensayo y calibración en Cuba. *Memorias XI Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear*. La Habana, Cuba. 16-20 de abril, 2018.
- [7] MOLINA D. Resultados de la vigilancia radiológica individual de la exposición externa en Cuba en el período 2006-2009. *Nucleus*. 2011; (49): 15-20.
- [8] LÓPEZ BEJERANO GM, ARADO LÓPEZ JO, JOVA SED L. Control de la Contaminación Interna por Radionúclidos en Cuba. Entregado al fondo de manuscritos de la ACC, 1993.
- [9] CRUZ SÚAREZ R, LÓPEZ BEJERANO GM, PLACERES VILLAR C, ARADO LÓPEZ JO, JOVA SED L. Criterios de selección propuestas para el monitoreo de la Contaminación Interna. Aplicación a las prácticas en Cuba. *Memorias del III Congreso sobre Seguridad Radiológica y Nuclear*. Cuzco, Perú. 1996; (I): 178.
- [10] CRUZ SÚAREZ R, LÓPEZ BEJERANO GM, OLIVERA CAN, BECKER PHB. Laboratorio del contador de cuerpo entero en Cuba. Características y resultados de calibración. *Memorias del III Congreso sobre Seguridad Radiológica y Nuclear*. Cuzco, Perú. 1996; (II): 897.
- [11] GARCÍA O, VALDÉZ M, CÁRDENAS J, et. al. Estudios cubanos en niños de áreas afectadas por el accidente de Chernobyl. *Conference Proceeding*. One Decade After Chernobyl Summing Up the Consequences. Vienna, 1996.
- [12] CÁRDENAS J, CRUZ R, GARCÍA O, JOVA L, et. al. Dosimetric and biomedical studies conducted in Cuba of children from areas of the former USSR affected by the radiological consequences of the Chernobyl accident. *IAEA-TECDOC- 958*. 1997.
- [13] RAMOS MACHADO D, YERA SIMANCA Y, LÓPEZ BEJERANO GM, ACOSTA RODRÍGUEZ N. Perfeccionamiento del proceso de estimación de dosis por incorporación de ^{131}I y ^{125}I en el Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones de Cuba. *Memorias X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica*. Buenos Aires, Argentina. 12 al 17 de abril de 2015.
- [14] Oficina Nacional de Normalización. Norma Cubana. Requisitos generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración. *NC-ISO/IEC 17025*. Oficina Nacional de Normalización, 2017.
- [15] LEDO PEREDA LM, DOMÍNGUEZ LEY O, ALONSO ABAD D, GUIBERT GALA R, RAMOS VILTRE EO. Dispositivo para la adquisición y visualización en tiempo real de la velocidad y dirección del viento en una posta radiológica. *Nucleus*. 2005; (38): 45-49.
- [16] DOMÍNGUEZ LEY O, RAMOS VILTRE EO, PRENDES ALONSO M, ALONSO ABAD D, CAVEDA RAMOS CA. Monitoreo para determinar el contenido de isótopos en precipitaciones. *Nucleus*. 2006; (39): 10-12.
- [17] DOMÍNGUEZ LEY O, KALBER O. Automatización del monitoreo en tiempo real de la tasa de dosis absorbida en aire debido a la radiación gamma ambiental en Cuba. *Nucleus*. 2005; (37): 20-24.
- [18] MANZANO DE ARMAS JF, DOMÍNGUEZ LEY O, FERNÁNDEZ YEARWOOD A, et. al. Automatización de la adquisición de los principales indicadores de monitoreo de la Red Nacional de Vigilancia Radiológica Ambiental. *Memorias del XI Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear*. La Habana, Cuba. 2018. ISBN: 978-959-7231-06-6
- [19] DOMÍNGUEZ LEY O, CAPOTE FERRERA E. Control radiológico de las exportaciones de chatarra en Cuba. *Memorias de la 10^{ma}. Convención Internacional de las Industrias, Metalúrgica, Mecánica y del Reciclaje*. La Habana, Cuba. 2007.
- [20] CAVEDA RAMOS CA, DOMÍNGUEZ LEY O. Medios de divulgación para la prevención de sucesos radiológicos en toda la cadena de reciclaje. *Memorias de la 12ma. Convención Internacional de las Industrias, Metalúrgica, Mecánica y del Reciclaje*. La Habana, Cuba. 2010.
- [21] DOMÍNGUEZ LEY O, CAVEDA RAMOS CA, RAMOS VILTRE EO, et. al. Perfeccionamiento del servicio de vigilancia radiológica en metales. *Memorias del XI Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear*. La Habana, Cuba. 2018.
- [22] International Atomic Energy Agency (IAEA). Implementation of the International Code of Practice on Dosimetry in Diagnostic Radiology (TRS 457): review of Test Results. *Human Health Reports No.4*. Vienna: IAEA, 2011.
- [23] WALWYN SALAS G, BAMBYNEK M, GUTIERREZ S, SELBACH HJ, MORALES J. Proficiency test for calibration of well-type chambers using two types of ^{192}Ir sources. *Nucleus*. 2014; (55): 7-10.
- [24] WALWYN SALAS G, CZAP L, GOMOLA I, TAMAYO GARCÍA JA. Testing the performance of dosimetry measurement standards for calibrating area and personnel dosimeters. *Journal of Instrumentation*. 2016; (11): P07005.
- [25] ALVAREZ ROMERO JT, CABRERA VERTTI MR, GUTIÉRREZ LÓRES S, et. al. Proficiency test of the SSDL-ININ-Mexico for the calibration of well-type chambers with HDR ^{192}Ir sources using two different dosimetry codes of practice for the determination of reference air kerma rate. *Radiation Protection Dosimetry*. 2018; (182): 221-234.
- [26] Oficina Nacional de Normalización. Instrumentos de medición de radiación X y gamma. Método de verificación. Norma Cubana 44: 1999. ICS: 17.040.30
- [27] BÜERMANN L, OBORIN A, DOBROVOSKY J, MILEVSKY V, WALWYN G, LAPENAS A. COOMET.RI(I)-K1 comparison of national measurement standards of air kerma for Co-60 γ radiation. *Metrologia*. 2009; 46(1A): 06015. doi:10.1088/0026-1394/46/1A/06015.
- [28] BÜERMANN L, OBORIN AV, MILEVSKY VS, et. al. COOMET regional comparison of national measurement standards of air kerma for ^{137}Cs radiation at protection level. *Metrologia*. 2014; 51(1A): 06005. doi:10.1088/0026-1394/51/1A/06005.
- [29] BÜERMANN L, WALWYN SALAS G, ROMERO AL. Comparison of the national standards of air Kerma between the PTB and the CPHR for selected x-radiation qualities used in radiation protection, diagnostic radiology and radiation therapy(COOMET. RI(I)-S4). *Metrologia*. 2020; 57(1A): 06005. doi:10.1088/0026-1394/57/1A/06005.
- [30] GARCÍA O, JOHNSON J. Relación entre la dosis de radiación gamma in vitro y las aberraciones cromosómicas en los linfocitos humanos. *Nucleus*. 1988; (4): 20-23.
- [31] GARCÍA O, RAMALHO A, DI GIORGIO M, et. al. Intercomparison in cytogenetic dosimetry among five laboratories from Latin America. *Mut. Res.* 1995; 327(1-2): 33-39.
- [32] GARCÍA O, DI GIORGIO M, RADL A, et. al. The Latin American biological dosimetry network (LBDNet). *Radiation Protection Dosimetry*. 2016; 171(1): 64-69.
- [33] LAMADRID AI, CARDOSO TM, GONZALEZ JE, et. al. Nuevas curvas de calibración para la dosimetría biológica en Cuba. *Nucleus*. 2011; (49): 3-8.
- [34] BENÍTEZ JC, SALGADO MM. Gestión de los desechos radiactivos en Cuba. *Nucleus*. 2005; (37): 55-59.

- [35] SALGADO MM, GONZÁLEZ N, HERNÁNDEZ JM, et. al. Gestión segura de fuentes radiactivas en desuso de categorías 3-5 en Cuba. Memorias del XI Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear. La Habana, Cuba. 16-20 de abril. 2018.
- [36] DÍAZ BERNAL E, VALDÉS RAMOS M, et. al. DOSIS-DFILM: sistema para el control de la información dosimétrica de los trabajadores ocupacionalmente expuestos. En: Protección Radiológica en América Latina y el Caribe. Proyecto ARCAL XVII del OIEA. Lima, Perú. 1996; Vol. II: 886-890.
- [37] VALDÉS RAMOS M, PRENDES ALONSO M, ARNAU A. RASSYN: sistema de gestión de información para el control de los datos de la seguridad y protección radiológica a escala nacional. Nucleus. 2005; (37): 65-70.
- [38] VALDÉS RAMOS M, HERNÁNDEZ A, PRENDES ALONSO M. Evaluación del estado de la gestión de la información relativa a la seguridad radiológica en entidades usuarias de radiaciones ionizantes. Memorias de VIII Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear. I Congreso Latinoamericano del IRPA. Medellín, Colombia, 2010.
- [39] VALDÉS RAMOS M, PRENDES ALONSO M, DE LA FUENTES A, et. al. Banco nacional de dosis ocupacional de la República de Cuba. Principales resultados y experiencias. Memorias del IX Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear - Congreso Regional IRPA. Río de Janeiro, Brasil. Abril, 2013.
- [40] VALDÉS RAMOS M, RIBEIRO DA SILVA C, CRUZ SUAREZ R. RND, Prototipo de Registro Nacional de Dosis para América Latina. Memorias X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica. Buenos Aires, Argentina. 12 al 17 de abril, 2015.
- [41] CPHR-CNSN. Protección radiológica en la aplicación de las técnicas nucleares. La Habana: CUBAENERGIA, 2002.
- [42] CORNEJO DÍAZ N, HERNANDEZ SAIZ A, CALLÍS FERNANDEZ E, PEREZ REYES Y. Curso nacional de capacitación en seguridad radiológica. Su inserción en el Sistema Nacional de Educación y Entrenamiento. Nucleus. 2005; (37): 45-49.
- [43] GUTIÉRREZ S & WALWYN G. TLD postal quality audits for radiotherapy dosimetry in Cuba: past, present and future developments. Proceedings of an International Symposium on Standards, Applications and Quality Assurance in Medical Radiation Dosimetry (IDOS). 9-12 November, 2010. Vienna: IAEA, December, 2011.
- [44] GUTIÉRREZ S & WALWYN G. Implementation on methodology for TLD postal dosimetry audit of radiotherapy photon beams in-non-reference conditions in Cuba. Proceedings of World Congress 2009 on Medical Physics and Biomedical Engineering. Munich, Germany. September 7-12, 2009.
- [45] MARTINEZ GONZALEZ A, MACHADO A, DE LA MORA MACHADO R, et. al. Application of the new international code of practice for dosimetry in diagnostic radiology to conventional exams. XII International IRPA Congress. Buenos Aires, Argentina. October, 2008.

Recibido: 26 de junio de 2020

Aceptado: 23 de julio de 2020