

Laboratorio secundario de calibración dosimétrica de Venezuela

Carlos Leal

Instituto Venezolano de
Investigaciones Científicas (IVIC)
Centro Multidisciplinario de Ciencias
Laboratorio de Óptica Aplicada
orcid: 0000-0003-2553-9996
cleal78@gmail.com
Mérida -Venezuela

Leticia Mogollón

Universidad Politécnica Territorial de
Mérida "Kléber Ramírez" (UPTMKR)
Coordinación de Fomento de Investi-
gación y Creación Intelectual (FICI)
orcid: 0000-0002-5129-1966
leticiamogollon@gmail.com
Mérida - Venezuela

José Durán

Instituto Venezolano de
Investigaciones Científicas (IVIC)
Unidad de Tecnología Nuclear
Laboratorio Secundario de
Calibración Dosimétrica
orcid: 0000-0001-7078-7660
jduran.lscdivic@gmail.com
Altos de Pipe - Venezuela

Carlos Rodríguez

Instituto Venezolano de
Investigaciones Científicas (IVIC)
Unidad de Tecnología Nuclear
Laboratorio Secundario de
Calibración Dosimétrica
orcid: 0000-0001-8061-9847
carlosrodriguez.utm@gmail.com
Altos de Pipe - Venezuela

Carmen Soteldo

Instituto Venezolano de
Investigaciones Científicas (IVIC)
Unidad de Tecnología Nuclear
Laboratorio Secundario de
Calibración Dosimétrica
orcid: 0000-0002-7413-1949
soteldocarmen21@gmail.com
Altos de Pipe - Venezuela

Ailed Moreno

Instituto Venezolano de
Investigaciones Científicas (IVIC)
Unidad de Tecnología Nuclear
Laboratorio Secundario de
Calibración Dosimétrica
orcid: 0000-0003-2671-2500
ailed20@gmail.com
Altos de Pipe - Venezuela

María Granadillo

Instituto Venezolano de
Investigaciones Científicas (IVIC)
Unidad de Tecnología Nuclear
Laboratorio Secundario de
Calibración Dosimétrica
orcid: 0000-0002-4159-8470
agranadilloc@gmail.com
Altos de Pipe - Venezuela

Fecha de recepción: 28-10-2020

Fecha de aceptación: 15-11-2020

Resumen

El Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica (LSCD), adscrito a la Unidad de Tecnología Nuclear (UTN) del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), es el único laboratorio en el país custodio del patrón nacional de radiación, para las magnitudes, dosis absorbida en agua (DW) y Kerma en Aire (K), con diversas calidades de haces de radiación (Cs137, Co60, Rayos X y Neutrones), manteniendo un diagrama de trazabilidad con el National Institute of Standards and Technology (NIST) de los Estados Unidos de Norte América y el Laboratorio de Seibersdorf Viena del Organismo Internacional de Energía Atómica

(OIEA). El LSCD realiza diversos servicios en cuanto a calibración y control de calidad, siendo el único en el país con la capacidad para calibrar detectores portátiles, sistemas dosimétricos, irradiación de dosímetros para vigilancia radiológica ocupacional y de áreas, calibraciones de haces de radiación, controles de calidad en el área clínica, específicamente a servicios de radioterapia y radiodiagnóstico entre otros; adicionalmente el LSCD lleva la coordinación del programa de maestría en Física Médica, a través de la cual se da la formación y capacitación a estudiantes de cuarto nivel como físicos médicos.

Palabras clave: Metrología; calibración; trazabilidad; radioprotección

Secondary Standard Dosimetry Laboratory of Venezuela

Abstract

The Secondary Standard Dosimetry Laboratory (SSDL), attached to the Nuclear Technology Unit (UTN) of the Venezuelan Institute for Scientific Research (IVIC), is the only laboratory in the country that is the custodian of the national radiation standard, for the quantities, Absorbed Dose in Water (DW) and Kerma in Air (K), with different qualities of radiation beams (Cs137, Co60, X-Rays and Neutrons), maintaining a traceability diagram with the National Institute of Standards and Technology (NIST) of the United States of America and the Seibersdorf Laboratory at Vienna of the Interna-

tional Atomic Energy Agency (IAEA). The SSDL performs various services in terms of calibration and quality control, being the only one in the country with the capacity to calibrate portable detectors, dosimetric systems, irradiation of dosimeters for occupational and area radiological surveillance, radiation beam calibrations, controls of quality in the clinical area, specifically radiotherapy and radiodiagnosis services, among others; Additionally, the SSDL coordinates the Master's Program in Medical Physics, through which the fourth level students are trained as Medical Physicists.

Keywords:

*Metrology; calibration; traceability;
radioprotection*

Introducción

El Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica (LSCD)

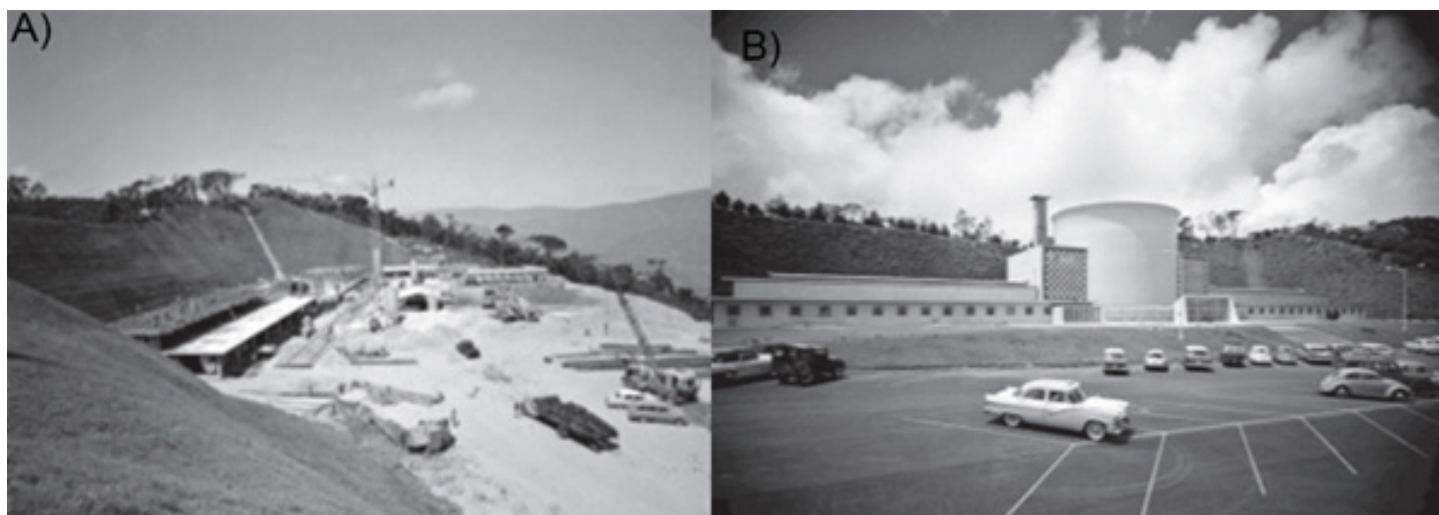
Historia

En Venezuela el primer documento oficial realizado en el país para establecer un control sobre las fuentes de radiación ionizante, fue realizado en el año de 1945 mediante el Decreto Ejecutivo N° 239, donde se declara que todo el territorio nacional es zona reservada para la exploración y explotación de minerales radiactivos (López, 1995). El comienzo del movimiento nuclear en Venezuela, se debió a médicos que tomaron cursos en el uso de isótopos radiactivos y los aplicaron en su ejercicio médico o en la investigación. Francisco De Venanzi, fue el primero en tomar tal curso, en 1949, en la Universidad de California (Roche, 1981).

El primer servicio de radiofísica en Venezuela fue fundado en 1952, en el Instituto Luis Razetti de la ciudad de Caracas Venezuela, en 1953 se funda el Instituto de Investigaciones Médicas, Fundación Luis Roche y se da inicio a la prestación del servicio de dosimetría personal, en el sector médico (López, 1995). En 1954 fueron utilizados los primeros radioisótopos en investigación médica y biológica. En 1955 se organiza el servicio de radiofísica sanitaria del Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (MSAS) (López, 1995). En 1955, se firmó el convenio de colaboración entre Venezuela y los Estados Unidos bajo el programa "Átomos para la Paz", para la construcción de un reactor nuclear. Bajo la dirección del Dr. Humberto Fernández Morán se firma un contrato con la empresa General Electric para la construcción de un reactor de investigación (Roche, 1981).

Los esfuerzos de protección radiológica para los trabajadores se remontan a los años 50, donde se promulgan las primeras leyes en materia nuclear. Siendo el país pionero en América Latina al instalarse en el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) el primer reactor nuclear de investigación RV-1, que alcanza su criticidad en julio de 1960 (Roche, 1981), ubicado en los Altos Mirandinos en Altos de Pipe, Municipio Los Salías del Estado Miranda, los inicios de la construcción de sus edificaciones en 1955, se muestran en la figura 1, surgiendo la necesidad de contar con personal calificado que vele por la seguridad radiológica de los trabajadores, naciendo así el Servicio de Radiofísica Sanitaria del IVIC, para llevar a cabo las pruebas de análisis radiométrico ambiental, posteriormente brindando el servicio de dosimetría personal.

Figura 1. Reactor RV-1. A) Etapa de construcción del edificio para el Reactor Nuclear del IVIC en 1955. B) Reactor Nuclear RV-1 IVIC finalizado



Fuente: Fotografía Científica IVIC, (1960)



Venezuela es uno de los países pionero de América Latina en la aplicación de técnicas nucleares. El primer reactor nuclear de la región fue el RV-1 ubicado en el IVIC. En 1957, se convierte en miembro activo y fundador del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), ratificándose el convenio en el año 1963, se introduce la primera bomba de Co60 para fines de radioterapia por parte del Dr. Ruben Merenfeld (López, 1995).

En 1978 el Servicio de Radiofísica Sanitaria del IVIC extiende sus servicios a diferentes entes públicos y privados a nivel nacional, para entonces, se designa al IVIC como sede del Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica (LSCD), con la cooperación del OIEA. El objeto de este laboratorio es la calibración de instrumentos utilizados en radioterapia y protección radiológica a fin de garantizar una mayor precisión y exactitud en la determinación de las dosis de radiación (López, 1995). Formando parte de la red de LSCD del OIEA.

Este laboratorio nace por los resultados de la auditoría postal de dosis del OIEA realizada en Venezuela en el año 1977, los cuales fueron alarmantes, encontrándose que las unidades de radioterapia estaban fuera de tolerancia ($\pm 5\%$). Se pone en marcha en 1986, y entre el año 2000 y 2010, los resultados de las auditorías del OIEA, el LSCD, ha mante-

nido una incertidumbre asociada a la medición del $\pm 1\%$, con una tolerancia permitida del $\pm 3,5\%$, para haces de Radioterapia, y de $\pm 1\%$ para haces de protección radiológica, con una tolerancia permitida del $\pm 7\%$ en el caso de las auditorías realizadas a las instituciones públicas y privadas que imparten radioterapia a nivel nacional, han permanecido dentro del $\pm 3\%$, con una tolerancia permitida del $\pm 5\%$ (Carrizales, et al, 2010).

En Latinoamérica existe una red de Laboratorios Secundarios de Calibración Dosimétrica, distribuidos a lo largo de toda la región, gracias a estos laboratorios se mantiene la trazabilidad metrológica de las magnitudes operacionales asociadas a las radiaciones ionizantes. El OIEA realiza periódicamente auditorías postales de dosimetría de radiación a los miembros de la red LSCD, el programa ayuda a los LSCD a verificar la implementación de sus estándares nacionales de dosimetría. El programa de auditoría postal de dosis verifica las calibraciones del haz de referencia en el campo de la radioterapia y la protección radiológica (IAEA, 2019).

Otro aspecto a ser considerado es la creación en Venezuela en 1993 del primer centro de formación en Física Médica, estableciéndose el programa de Maestría en Física Médica, en cooperación entre el OIEA, la Organización Panamericana de

la Salud (OPS), la Universidad Central de Venezuela (UCV) y el IVIC (Gerald, et al, 2010), posteriormente en el año 1998 ambas instituciones imparten estos programas de maestría independientemente.

Objetivos y logros significativos desde su creación

El Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica (LSCD) adscrito a la Unidad de Tecnología Nuclear (UTN) del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), es el principal centro de calibración de detectores portátiles de radiación del país, brindando servicio a empresas públicas y privadas, siendo esta una de las actividades rutinarias propias del laboratorio, presentando una propuesta de semi-automatización del proceso de calibración, donde se incluye la estimación de la incertidumbre asociada. El LSCD es el único laboratorio en Venezuela custodio del patrón nacional para las mediciones de las radiaciones ionizantes y único en el país custodio de las magnitudes dosimétricas Kerma en Aire y Dosis Absorbida en Agua, tiene como objetivo, brindar asesorías técnicas especializadas y de servicios en calibración, control de calidad y metrología de las radiaciones ionizantes en el área de radiodiagnóstico, radioterapia, protección radiológica y medicina nuclear en instituciones públicas y privadas a nivel nacional.

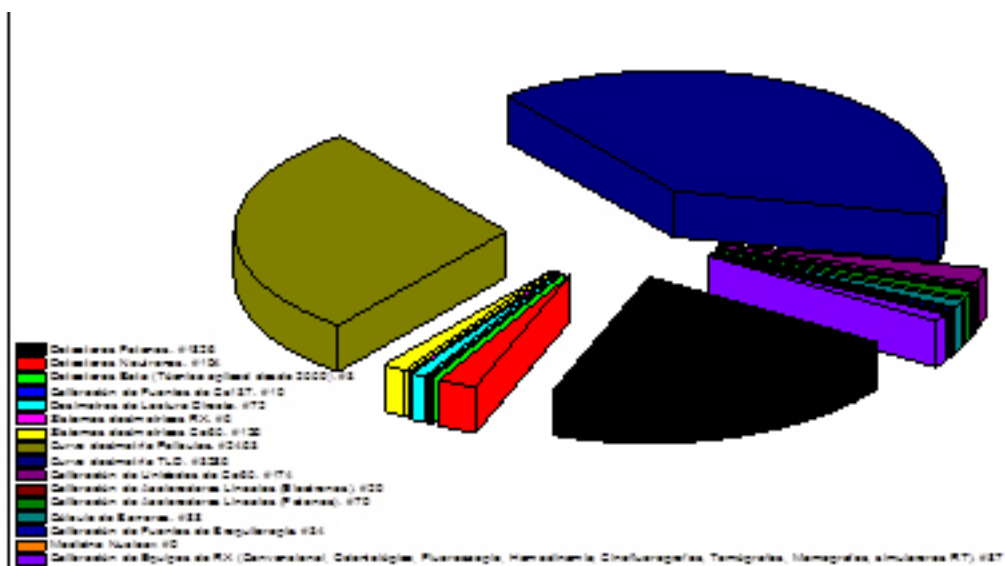


Realizando entre 1989 a 2009 la calibración de 1826 detectores de fotones, 194 detectores de neutrones, con valores de incertidumbre típica asociadas, que depende del tipo de detector, generalmente se encuentran entre el 5% a 20%, evaluándose en la incer-

tidumbre y la linealidad, como parámetros para considerar un instrumento en buenas o malas condiciones de operación (Leal, et al, 2010), 19 fuentes de Cs137, 125 sistemas dosimétricos para una energía de Co60, 2453 curvas de calibración de dosimetría de películas,

3285 curvas para dosimetría TLD, 174 servicios de calibración y control de calidad de unidades de Co60, 79 servicios de calibración y control de calidad de aceleradores lineales y 87 diversos controles de calidad equipos de radiodiagnóstico (Ver **Figura 2**).

Figura 2. Resultado de las actividades realizadas por el LSCD durante 1989-2009



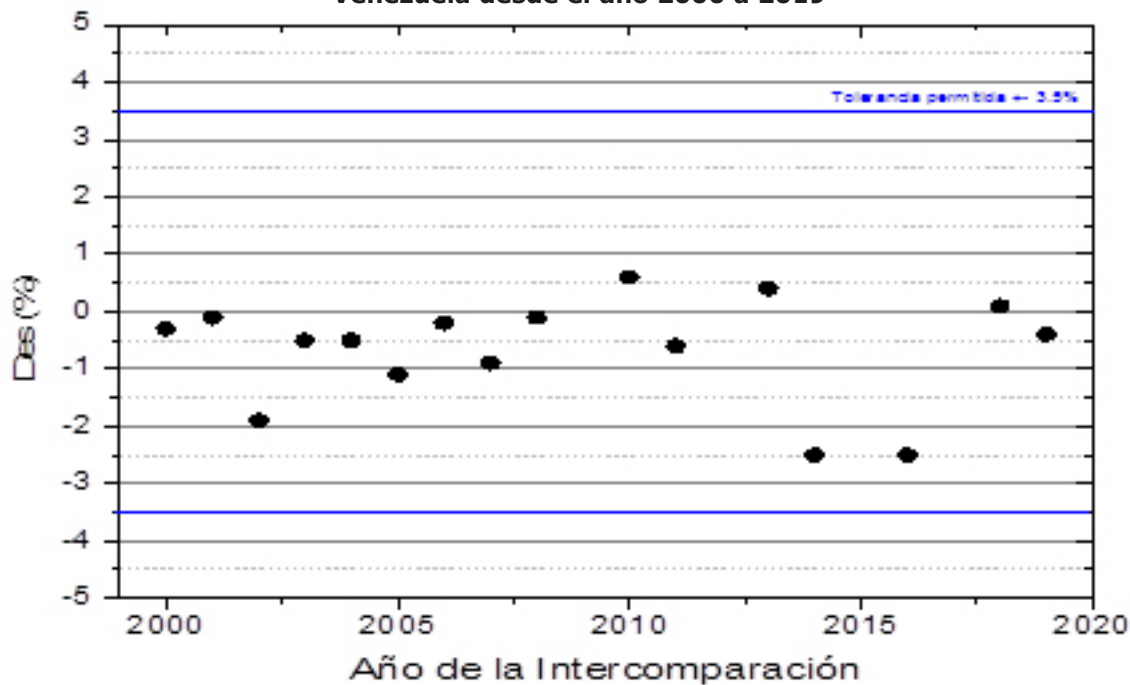
Fuente: Carrizales, et al, (2010)

Como parte de sus actividades, el LSCD realiza periódicamente ejercicios de auditoria postal de dosis, principalmente con el laboratorio de Seibersdorf, Viena, laboratorio principal del OIEA, durante 19 años los resultados de las auditorías del OIEA para LSCD han mantenido una incertidumbre dentro del $\pm 3,5\%$, para una calidad de Co60 (ver), con un valor promedio de $-0,66\%$ y una desviación estándar de $0,93$. En el año 2012 se realiza una comparación para niveles de vigilancia radiológica, con el Laboratorio de Termoluminis-

cencia del Centro de Investigaciones en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares (CICANUM) de Costa Rica, siendo el LSCD el encargado de irradiar los dosímetros TLDs y el CICANUM realizar la lectura de la dosis, sin saber cuál es su valor, los valores obtenidos por el CICANUM se reportaron dentro de $\pm 7\%$ (Durán, et al, 2013). En 2018 participa en el 1º ejercicio de comparación entre laboratorios de américa latina y el caribe de SSDLs para determinar la dosis equivalente de Hp(10) en el haz de radiación de Cs137, junto a 20 LSCD de

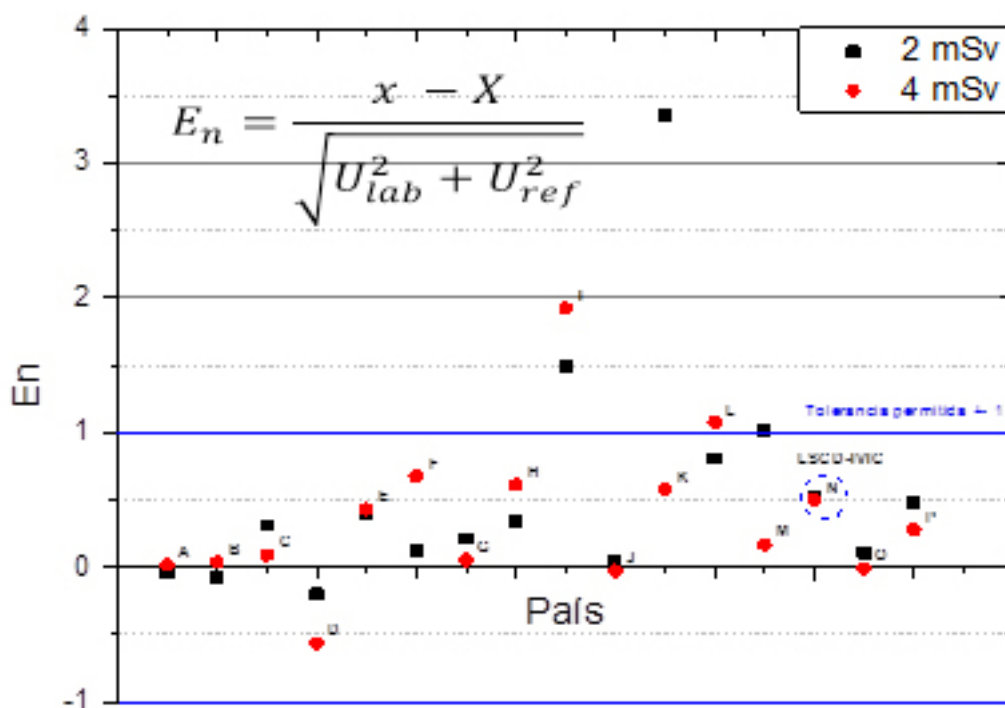
17 países de la región, coordinado por el Laboratorio de Protección Radiológica del departamento de Energía Nuclear de la Universidad Federal de Pernambuco (UFPE), Recife Brasil. Estableció como criterio para la evaluación el cálculo del índice de rendimiento satisfactorio En, para dos dosis diferentes, siendo estas 2 y 4 mSv, obteniendo un En de $0,5$, estando dentro de la tolerancia esperada <1 , la participación del LSCD del IVIC es destacada, siendo mostrado los resultados conjuntos del ejercicio en la **Figura 4**.

**Figura 3. Resultados comparación Postal de Dosis LSCD
Venezuela desde el año 2000 a 2019**



Fuente: Elaboración propia de los autores, (2020)

Figura 4. Resultados Auditoria, año 2018



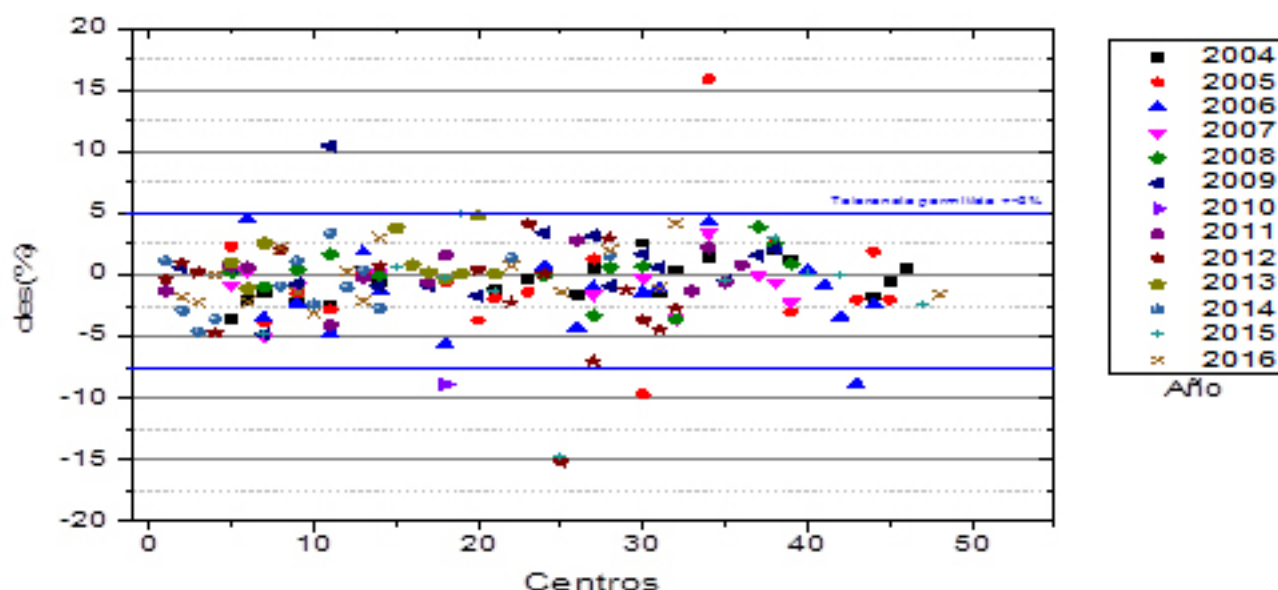
Fuente: Elaboración propia de los autores, (2020)

El LSCD es responsable de coordinar el ejercicio de auditoría postal de dosis para los hospitales que prestan servicio de radioterapia; entre el 2004 al 2016, se han auditado 49 centros, velando que los valores de los mismo no superen la

tolerancia espera de $\pm 5\%$ (Ver **Figura 5**), con un valor medio de desviación de $-0,52\%$ y una desviación estándar de 3,29 presentándose pocos casos en lo que es superada, al presentarse un caso se realiza una visita al centro para realizar las

verificaciones dosimétricas y descartar una falla del equipo, velando por la seguridad de los pacientes que reciben radioterapia y de esta manera evitar la sub-dosificación o sobre-dosificación en sus tratamientos.

Figura 5. Resultados auditoría postal de hospitales y centro clínicos, desde el año 2004 al 2016



Fuente: Elaboración propia de los autores, (2020)

Otra actividad relevante del LSCD es contemplar la creación, divulgación e implementación de las normas y diseño de protocolos estandarizados para dosimetría, diagnóstico y tratamiento de uso masivo en el país (Leal, 2017), complementario a las actividades de investigación en diversos proyectos de investigación, nacionales e internacionales, como lo son: control de calidad y calibración de equipos de radioterapia para atender el Plan Nacional de Oncología (Fonacit), Convenio interinstitucional entre el Ministerio del Poder

Popular para la Salud y el IVIC para atender el Plan Nacional de Oncología en la red del Sistema Público Nacional de Salud (Misión Ciencia), Fortalecimiento de la red metrológica nacional (Fonacit), Programa de auditoría postal de laboratorios secundarios de calibración dosimétrica (OIEA/LSCD), Programa de auditoría postal de dosis para instituciones públicas y privadas que imparten tratamientos de radioterapia (OIEA/OPS), Fortalecimiento del laboratorio secundario de calibración dosimétrica del IVIC-MPPCTII (Locti), Servicio

de física médica y protección radiológica a nivel nacional, para la optimización de las instituciones públicas y privadas vinculadas a las áreas de radioterapia, radiodiagnóstico y medicina nuclear (Locti), participando en proyectos de Cooperación técnica Nacional y regional con el OIEA, entre otros. También es sede del programa de maestría en Física Médica, desde sus inicios 1998 hasta la actualidad ha habido 10 Cohortes graduándose al 2010 un total de 19 Magister Scientiarum Mención Física Médica (37). Entre el año 2003 al 2018 este

postgrado ha egresado un total de 59 profesionales y para el año 2019 están a la espera de acto de grado 4 profesionales, sumando un total de 63 egresados. Desglosándose en 22 mujeres y 41 hombres.

Equipos del LSCD-IVIC

El LSCD cuenta con diversos equipos, distribuidos en dos bunker. Cuenta con un variado número de patrones metrológicos, para diversas aplicaciones, entre ellas se destacan diversas cámaras de ionización, siendo 6 tipo Farmer, 2 tipo Roos, 1 para Tomografía (tipo lápiz), 2

para Mamografía, 3 Esféricas, 6 cilíndricas, 2 micro cámaras, 1 de pozo, 1 para producto kerma-Aire, 4 para Rayos X y 4 Radcal, para un total de 32 cámaras de ionización, 6 electrómetros y diversos maniquís, los cuales pueden dividirse en comerciales (Gammex para CC en Tomografía, Antropomórfico tipo Randon-Alderson, ISO de tórax, muñeca, debo, Tipo Lucy para radiocirugía, 4 para calibración, sistema de barrido SunNuclear 3DScanner, set de maniquís para mamografía CDMAN) y de diseño propio. El primer bunker denominado de baja energía (ver Figura)

cuenta con: Un irradiador panorámico Buchler OB34/1 tipo revolver, con diversas fuentes de Cs137 y Co60, siendo utilizadas tres fuentes de Cs137 con una actividad de 74 MBq al 15-01-1990, 740 MBq al 16-01-1990 y 7.4 GBq al 16-01-1990. Una fuente de PuBe con un flujo de neutrones de 1.19×10^6 neutrones/Seg en 4n con una energía media de 5.65 MeV y Un equipo de rayos X, marca Gulmay Medical que posee dos tubos, una para el rango de radiodiagnóstico entre 10 a 300 kV, y el otro de para mamografía de 10 a 100 kV respectivamente.

Figura 6. Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica IVIC, Bunker de baja energía, a) sala de control fuentes, b) Irradiador Cs137 Buchler OB34/1, c) Control Rayos X, d) Equipo de rayos X



Fuente: Leal, (2020)

El segundo bunker de alta energía, cuenta con: Un irradiador Buchler OB6/1 con una fuente de Cs137 con una actividad de 740 GBq al 19-01-

1990. Una unidad de Co60 marca Invap modelo Teradi 800 instalada en el año de 2010, con una tasa de exposición de 6444 R/h, a 1 m de distancia al

11-06-2007, (ver **Figura 7**). Y un conjunto de maniquís para diversos propósitos.

Figura 7. Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica IVIC, Bunker de alta energía, a) sala de control fuentes, b) Diversos maniquis, c) Irradiador Cs137 Buchler OB6/1, d) Unidad de Co60 Invap Teradi 800



Fuente: Leal, (2020)

Certificación y Metrología del LSCD

Al ser el LSCD un laboratorio de metrología miembro de la red de Laboratorios Secundarios del Organismo Internacional de Energía Atómica en conjunto con la Organización Mundial de la Salud (Red

LSCD-OIEA/OMS), cuenta con diversos estándares secundarios, teniendo que su trazabilidad está dada por el por el Laboratorio de Seibersdorf de Viena del OIEA y por el National Institute of Standards and Technology (NIST) de los Estados Unidos de Norte América para las magnitudes: Dosis

Absorbida en Agua y Kerma en Aire para diferentes calidades (Ver **Tabla 1**), abarca diversas áreas en la metrología de las radiaciones ionizantes, siendo estas: radioterapia, radiodiagnóstico, protección radiológica entre otras.

Tabla 1. Cámaras de Ionización y Calidades del LSCD

Cámara		Calidad	Observación
Marcas	Modelo		
N.E Technology	NE-2561	Co ⁶⁰	Dosis absorbida en agua ($N_{D,w}$) y Kerma en Aire (N_K) para rayos gamma utilizados en radioterapia.
Standard Imaging	Exradin A6	Cs ¹³⁷ , Co ⁶⁰ , N40, N60, N80, N100, N120, N150, N200, N250, N300	Kerma en Aire (N_K) para protección radiológica y para rayos X de radiodiagnóstico convencional.
Standard Imaging	Exradin A650	MMR25, MMR30, MMR40, MMA25, MMA30, MMA40, MRR28, MRR35	MMR28, MMR35, MMR50, MMA28, MMA35, MMA50, MRR30, MRR35
			Kerma en Aire (N_K) para protección radiológica y para rayos X de Mamografía

Nota: Combinación ánodo-cátodos. MMR: Mo/Rh. MMA: Mo/Mo. MRR: Rh/Rh.
Fuente: Elaboración propia de los autores, (2020)

Conclusiones

El LSCD es el único laboratorio en Venezuela custodio del patrón nacional para las mediciones de las radiaciones, creación, divulgación e implementación de las normas, diseño de protocolos estandarizados para dosimetría, diagnóstico y tratamiento de uso masivo en el país, para realizar actividades de:

- Mantener la trazabilidad de las magnitudes Dosis Absorbida en Agua y Kerma en Aire,

para diferentes calidades de radiación.

- Calibración de detectores portátiles de radiaciones ionizantes.

- Calibración de sistemas dosimétricos.

- Coordinar el ejercicio de auditoria postal de dosis entre los hospitales y centros clínicos con el OIEA/OPS.

- Asesorías en el cálculo de blindajes.

- Irradiación de dosímetros destinados a la vigilancia radiológica personal y de áreas (películas, TLD, OSLD, RPLD, entre

otros) en las magnitudes operacionales $H_p(10)$, $H_p(0,07)$, $H_p(3)$; $H^*(10)$, $H'(0,07,\Omega)$ y $H'(3,\Omega)$.

- Servicios de calibración y control de calidad de equipos de Radioterapia y Radiodiagnóstico.

- Diseño y validación de maniquís para diferentes propósitos.

- Coordinación de la Maestría en Física Médica.

- Actividades docentes y de investigación.

Referencias

- CARRIZALES-SILVA, L.; LEAL, C.; GUACARÁN, D.; MORENO, A.; DURÁN, J. (2010). *Diagnóstico a dos Décadas del Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Memorias V Congreso Latinoamericano de Física Médica*. Cusco Perú.
- DURÁN, J.; CARRIZALES-SILVA, L.; LEAL, C.; MORA, P. y ACUÑA, M. (2013). *Comparación para niveles de vigilancia radiológica en términos de $H_p(10)$, $H_p^*(10)$, $H_p(0,07)$ con fotones de 0,662 MeV. Memorias VI Congreso Latinoamericano de Física Médica*. Costa Rica.
- GERALD, H.; BORRÁS, C; JIMÉNEZ, P. (2010). *Historia del programa de radiología y radioprotección de la organización panamericana de la salud: 1960-2010*. Organización Panamericana de la Salud.
- IAEA. (2019). SSDL Network. Recuperado en: <https://ssdl.iaea.org>
- LEAL, C; CARRIZALES-SILVA, L.; GUACARÁN, D. ; MORENO, A. y DURÁN, J. (2010) *Calibración de Detectores Portátiles de Radiación Ionizantes. Memorias V Congreso Latinoamericano de Física Médica*. Cusco Perú.
- LEAL, C. (2020). *Diseño de un Programa de Formación a Distancia en Protección Radiológica en Medicina*. Tesis Doctoral Universidad Politécnica Territorial de Mérida "Kléber Ramírez".
- LEAL, C. (2017). *Pruebas de Control de Calidad para equipos de Fluoroscopia Utilizados en Procedimientos Diagnósticos y Terapéuticos en Prácticas Intervencionistas*. Tesis Maestría Universidad Politécnica Territorial de Mérida "Kléber Ramírez".
- LÓPEZ, A. y PETRIZZO, J. (1995). *La Protección Radiológica en Venezuela: Retrospectiva y situación actual. Salud de los Trabajadores, Vol. 3, pp. 59-67*.
- ROCHE, M. (1981). *Reactor, Radioisótopos y energía nuclear: Sus avatares en Venezuela*. Interciencia, Mar-Abr, Vol. 6, N° 2, pp. 86-92.