

## LABORATORIO DE RADIOPROTECCION DEL CENTRO REGIONAL DE REFERENCIA PARA DOSIMETRIA

Montaño, G.<sup>1</sup>, Pérez, G.<sup>1</sup>, Bedoya, F.<sup>1</sup>, Molina, L.<sup>1</sup>, Stefanic, A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Comisión Nacional de Energía Atómica

### RESUMEN

El Centro Regional de Referencia con Patrones Secundarios para Dosimetría (CRRD) es un Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica (LSCD) perteneciente a la Red Internacional creada por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS). Como miembro de esta Red, el CRRD asegura la trazabilidad entre los patrones dosimétricos primarios y el usuario de las radiaciones ionizantes, al cual proporciona un servicio de calibración de detectores de radiación, asesoramiento y asistencia técnica. Por convenio entre el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), este instituto ha delegado en el CRRD la realización y custodia de los patrones nacionales para las magnitudes dosimétricas.

En la actualidad se brindan servicios de calibración de instrumentos en las magnitudes dosis equivalente ambiental:  $H^*$  y kerma en aire:  $K_{\text{aire}}$ , en energías de  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{60}\text{Co}$ ; irradiación calibrada de dosímetros personales en la magnitud dosis equivalente personal:  $H_p(10)$ , en energías de  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  y rayos X de energías W según la norma ISO 4037.

El CRRD participa como proveedor de la referencia de dosis en el ejercicio de intercomparación dosimétrica que lleva a cabo la Autoridad Regulatoria Nuclear.

El CRRD tiene como objetivo ampliar las referencias metroológicas para otras magnitudes dosimétricas diferentes a las ya incorporadas por el laboratorio. En este sentido se está trabajando en la futura implementación de otros sistemas dosimétricos: irradiación en haces beta, calibración de instrumentos en el nivel radiodiagnóstico, calibración de detectores para contaminación superficial, e irradiación de dosímetros personales en haces N de rayos X para lo cual se ha gestionado la adquisición de un nuevo equipo irradiador. Además se están ampliando y mejorando las instalaciones de los laboratorios a través de un Proyecto de Inversión Pública (BAPIN).

Estas nuevas actividades se brindarán como servicios a usuarios, incorporándose paulatinamente a nuestro sistema de calidad basado en la Norma ISO/IEC 17025: 2005.

### 1. INTRODUCCIÓN

En el año 1968 a raíz de una reunión internacional de expertos en Caracas, Venezuela, con el motivo de analizar la situación de la radioterapia oncológica a nivel mundial, y observando que en Latinoamérica no existían laboratorios de calibraciones dosimétricas, se recomendó la creación e instalación de laboratorios en distintas regiones del mundo los cuales estarían equipados con patrones secundarios para dosimetría de radiaciones ionizantes, razón por la cual se los denominó: Laboratorios Secundarios de Calibración Dosimétrica (LSCD). Nuestro laboratorio surge con el nombre de Centro Regional de Referencia con Patrones Secundarios para Dosimetría (CRRD) por un convenio entre la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina (CNEA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), con el acuerdo del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

Actualmente la Red Internacional de Laboratorios Secundarios de Calibración Dosimétrica cuenta con más de 60 laboratorios secundarios en todo el mundo y con la participación de organismos internacionales como el Bureau Internacional de Pesas y Medidas (BIPM), el Comité Internacional de Unidades de Medida de Radiaciones (ICRU), la Organización

Internacional de Metrología Legal (OIML), el Comité Internacional de Electricidad (IEC), etc., además colaboran con esta Red los laboratorios primarios nacionales de algunos países, como el NIST de Estados Unidos, el NPL de Inglaterra, el PTB de Alemania, el LNMRI de Francia, etc.

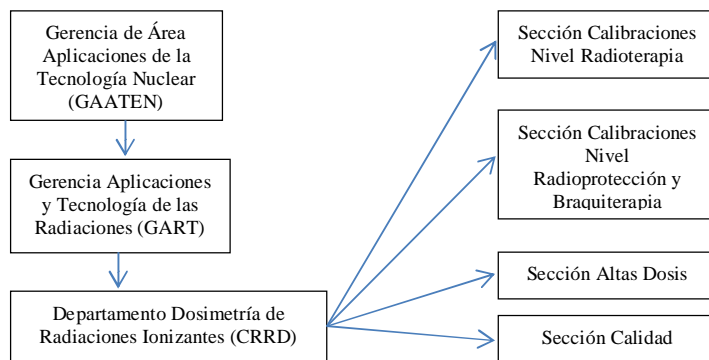
En el año 1999, se firmó el Acuerdo de Reconocimiento Mutuo de Institutos Nacionales de Metrología entre los países miembros del Bureau International des Poids et Mesures (BIPM). Desde ese momento el CRRD es miembro del Comité Técnico para Radiaciones Ionizantes del Inter-American Metrology System (SIM), que es el órgano regional correspondiente.

En febrero de 2004, se firmó un convenio entre el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) (depositario por Ley 19.511/72 de los patrones nacionales para metrología) y la CNEA, por el cual INTI delegó en CNEA la realización y custodia de los patrones nacionales para metrología de radiaciones ionizantes. En relación a magnitudes dosimétricas, el laboratorio delegado fue el CRRD, mientras que para metrología de radionucleídos el laboratorio delegado fue el Laboratorio de Metrología de Radioisótopos (LMR).

Desde el año 2008, el CRRD ejerce la representación de Argentina en el Comité Consultor sobre Dosimetría de Radiaciones Ionizantes del BIPM (CCRI). Los Comités Consultivos reúnen a los expertos mundiales en cada campo particular de la metrología, estos son consejeros sobre todas las cuestiones científicas y técnicas, estudian de manera profunda los progresos científicos y técnicos que puedan tener una influencia directa sobre la metrología, preparan recomendaciones que son discutidas por el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM), organizan comparaciones internacionales de patrones y aconsejan al CIPM sobre los trabajos científicos a efectuar en el BIPM. Estos Comités tienen relación con los grandes laboratorios de metrología y se reúnen cada cuatro años.

## 2. DOSIMETRÍA DE RADIACIONES IONIZANTES

### 2.1. Organigrama



**Figura 1. Organigrama.**

El CRRD es, dentro de la CNEA, el Departamento Dosimetría de Radiaciones Ionizantes, el cual pertenece a la Gerencia Aplicaciones y Tecnología de las Radiaciones (GATR), que depende a su vez de la Gerencia de Área Aplicaciones de la Tecnología Nuclear, como puede observarse en el Organigrama de la Figura 1.

El Departamento Dosimetría de Radiaciones Ionizantes, o CRRD, está dividido en cuatro secciones, entre las cuales, la Sección Calibraciones Nivel Radioprotección y Braquiterapia tiene como responsabilidad cubrir el campo de la calibración de dosímetros para protección radiológica empleados en aplicaciones industriales y médicas tanto de radiodiagnóstico como radioterapia, cuidando tanto a los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes a nivel industrial, como a personal médico, público y particularmente pacientes. La principal misión del CRRD es garantizar en la Argentina, la trazabilidad de las magnitudes dosimétricas del Sistema Internacional (SI): Gray (Gy) y Sievert (Sv). También tiene como misión desarrollar nuevas referencias metrológicas en respuesta a las nuevas aplicaciones de las radiaciones, mantener las referencias existentes y mejorar los valores de incertidumbre para transferir estas referencias a los usuarios.

## **2.2 Actividades desarrolladas en el CRRD**

### **2.2.1 Sección Calibraciones nivel Radioprotección**

Cuando se habla de limitar la exposición a las radiaciones ionizantes o la dosis a recibir como consecuencia de esta exposición hablamos de Radioprotección. Existen valores límites de dosis aceptados, los cuales representan la dosis máxima permitida a recibir por parte de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes así como miembros del público en general. Por consiguiente, los instrumentos utilizados en estos campos de radiación ionizante deben estar calibrados en un laboratorio que garantice la trazabilidad de sus mediciones.

La Sección Calibraciones Nivel Radioprotección del CRRD efectúa la calibración del instrumental que se utiliza con estos fines. Estos instrumentos son: detectores de área o ambientales tipo Geiger-Müller, cámaras de ionización, contadores proporcionales, exposímetros, medidores de radiación o radiámetros, dosímetros personales medidores de tasa de dosis equivalente personal y/o dosis integrada. También realiza la irradiación calibrada de dosímetros tipo film, electrónicos, TLDs, OSLDs, etc. Todas estas calibraciones e irradiaciones calibradas se efectúan en haces de  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  y rayos X, de acuerdo a procedimientos del laboratorio y protocolos internacionales, normas ISO<sup>(1)(2)</sup> y documentos técnicos de OIEA. Este servicio está orientado a aquellos usuarios que trabajan con fuentes generadoras de radiaciones ionizantes en diferentes campos como por ejemplo: hospitales, investigaciones, industrias etc.

#### **2.2.1.1 Calibración e irradiación calibrada de dosímetros en haces de $^{137}\text{Cs}$ y $^{60}\text{Co}$**

El laboratorio cuenta en sus instalaciones con un irradiador Hopewell Designs, Inc. Modelo G10-2-2600 (ver Figura 3) provisto de dos fuentes radiactivas, una de  $^{137}\text{Cs}$  de ~ 370GBq y

otra de  $^{60}\text{Co}$  de  $\sim 37\text{GBq}$ , equipado con dos colimadores y tres atenuadores de plomo de diferentes espesores. La calibración de los instrumentos se realiza con un haz de radiación horizontal, contando con un banco de calibración motorizado que permite el desplazamiento de los instrumentos a distintas distancias desde la fuente. La ubicación del instrumento a calibrar se efectúa con la ayuda de dos láseres: uno longitudinal que indica el centro de la fuente y otro transversal que permite la ubicación en distancia. El laboratorio cuenta con una cámara patrón secundario para el nivel radioprotección, marca Nuclear Enterprises 2575 (ver Figura 2) con un volumen de  $600\text{ cm}^3$  la cual se calibra con una frecuencia de 4 años en el laboratorio primario del BIPM.

Para realizar la calibración de los instrumentos, previamente se determina la tasa de dosis equivalente ambiental ( $H^*$ ) /  $\text{Sv.h}^{-1}$  a diferentes distancias con y sin atenuadores mediante el empleo de la cámara patrón secundario nivel Radioprotección. Esto permite obtener valores de tasa necesarios para la calibración en los diferentes rangos o escalas del instrumento. La calibración consiste en ubicar el instrumento a las distancias adecuadas a la escala o rango a calibrar efectuando 5 lecturas por punto de escala o rango. Se calibran 5 de estos puntos por escala o rango, los cuales deben estar comprendidos aproximadamente entre el 20% y el 80% del fondo de la escala o rango empleado. Con los valores de lectura se obtiene el promedio y se compara el mismo con los valores de tasa decaídos a la fecha de calibración del instrumento en cuestión. Esta relación permite obtener un factor  $N$  el cual debe estar comprendido entre los valores 1.3 y 0.7, o sea  $\pm 30\%$  de desvío en relación a los valores de referencia para su certificación.



**Figura 2. Electrómetro y cámara Patrón Nivel Radioprotección**



**Figura 3. Banco para calibraciones Nivel Radioprotección**

### 2.2.1.2 Calibraciones en haces de rayos X

Para las calibraciones de dosímetros en rayos X, la calidad de energía que se utiliza, se determina por el método de capa hemireductora (CHR). Se emplean como absorbentes el aluminio (para bajas energías, entre 10 kVp y 50 kVp), y el cobre, estaño, plomo, o combinaciones de los mismos (para energías medias entre 60 y 300 kVp).

Una vez determinadas las energías, se procede a la calibración de los instrumentos, para lo cual se puede emplear los métodos de sustitución o intercambio.

### **2.2.1.3 Alcance de los servicios que se realizan en el Nivel Radioprotección y sus Incertidumbres**

En la actualidad el alcance de los servicios que ofrece la Sección Calibraciones Nivel Radioprotección del CRRD a los usuarios, es el siguiente:

1. Irradiación calibrada en modo kerma en aire de dosímetros tipo TLD, Films, OSLD, otros, en haces de  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{60}\text{Co}$ . Incertidumbre para  $^{137}\text{Cs}$ : 5% (k=2),  $^{60}\text{Co}$  5% (k=2).
2. Calibración de instrumentos en modo tasa de kerma en aire en haces de  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{60}\text{Co}$ . Incertidumbre para  $^{137}\text{Cs}$ : 6% (k=2),  $^{60}\text{Co}$  6% (k=2).
3. Calibración de instrumentos nivel en modo integración de kerma en aire en haces de  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{60}\text{Co}$ . Incertidumbre para  $^{137}\text{Cs}$ : 6% (k=2),  $^{60}\text{Co}$  6% (k=2).
4. Calibración de instrumentos en modo tasa de dosis equivalente ambiental en haces de  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{60}\text{Co}$ . Incertidumbre para  $^{137}\text{Cs}$ : 6% (k=2),  $^{60}\text{Co}$  5% (k=2).
5. Calibración de instrumentos en modo integración de dosis equivalente ambiental en haces de  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{60}\text{Co}$ . Incertidumbre para  $^{137}\text{Cs}$ : 7% (k=2),  $^{60}\text{Co}$  7% (k=2).
6. Calibración de cámara de ionización tipo patrón secundario por unidad de escala del electrómetro en modo Tasa de dosis equivalente ambiental en haces de  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{60}\text{Co}$ . Incertidumbre para  $^{137}\text{Cs}$ : 2% (k=2),  $^{60}\text{Co}$  1.8% (k=2).
7. Irradiación calibrada de dosímetros en dosis equivalente personal, en haces de  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{60}\text{Co}$ . Incertidumbre para  $^{137}\text{Cs}$ : 6% (k=2),  $^{60}\text{Co}$  6% (k=2).
8. Calibración de instrumentos nivel radioprotección en modo tasa de dosis equivalente personal, en haces de  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{60}\text{Co}$ . Incertidumbre para  $^{137}\text{Cs}$ : 9% (k=2),  $^{60}\text{Co}$  7% (k=2).
9. Calibración de instrumentos nivel radioprotección en modo integración de dosis equivalente personal en haces de  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{60}\text{Co}$ . Incertidumbre para  $^{137}\text{Cs}$ : 7% (k=2),  $^{60}\text{Co}$  7% (k=2).

Como Laboratorio de Referencia Nacional para Dosimetría es importante que el CRRD figure en la base de datos del BIPM con sus capacidades de medición, este es por lo tanto otro de los objetivos del laboratorio a cumplir en el mediano plazo.

## **2.2.2 Actividades en ensayo experimental**

### **2.2.2.1 Laboratorio mamografía**

El CRRD cuenta con un equipo de rayos X Compact 3K5 con energías de uso en mamografía, cuyo blanco es de Molibdeno. Cuenta además con cámaras de ionización patrones secundarios para estas energías. Actualmente se está trabajando en el estudio de estabilidad de estas cámaras. Una vez completada la instalación del banco de calibración se realizará la verificación de las energías del tubo de rayos X nivel mamografía mediante la determinación de capa hemirreductora (CHR), también se determinará la tasa y se estudiará su estabilidad. A fin de validar nuestros procedimientos de trabajo, los cuales se elaborarán en función de la experiencia obtenida y de protocolos internacionales<sup>(3)</sup>, se participará en comparaciones con otros laboratorios nacionales. También se determinarán y validarán las incertidumbres del sistema de calibración. Una vez finalizada la puesta a punto del sistema se iniciará la prestación de los servicios de calibración respectivos.

### **2.2.2.2 Laboratorio Beta**

Debido a la importancia de los efectos de las radiaciones beta en la piel y en el cristalino del ojo del cuerpo humano, es necesario estimar la dosis equivalente personal  $H_p(0.07)$  que se recibe.

El CRRD cuenta con un banco de calibraciones irradiador beta patrón secundario trazable al PTB, el cual está provisto de tres fuentes patrones:  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ , (460MBq),  $^{85}\text{Kr}$  (3.7GBq) y  $^{147}\text{Pr}$  (3.7GBq).

Se realizaron ensayos de irradiaciones de dosímetros de película, films radiocrómicos y dosímetros termoluminiscentes en términos de dosis equivalente personal  $H_p(0.07)$  de acuerdo a valores predeterminados. Para dichas irradiaciones se siguió la norma ISO 6980<sup>(4)</sup>.

De igual manera que en mamografía, se está obteniendo la experiencia necesaria para prestar estos servicios. El laboratorio cuenta también con una cámara de extrapolación, recientemente adquirida, que permitirá verificar o determinar la tasa de las fuentes patrones en diferentes condiciones.

### **2.2.3 Intercomparaciones**

Tanto la sección Radioterapia como la sección Radioprotección y Braquiterapia participan regularmente de controles dosimétricos que efectúa el OIEA a los LSCD de la Red Internacional OIEA-OMS. También participa en comparaciones dosimétricas organizadas por el Sistema Interamericano de Metrología o por otros organismos regionales de metrología, y en otras comparaciones que eventualmente pudieran surgir en las áreas de su incumbencia. En todos los casos los resultados son analizados y, de obtenerse un resultado no satisfactorio, el Director Técnico evalúa las causas y toma las acciones necesarias

### **2.2.4 Implementación del sistema de la calidad**

Para ser aceptado en la base de datos del BIPM, el laboratorio debe estar bajo un sistema de gestión de calidad debidamente acreditado.

Se comenzó a trabajar bajo la Norma ISO/IEC 17025 muchos años antes de lograr la acreditación. Se confeccionaron diferentes instrucciones de trabajo donde se detallan los pasos a seguir durante el proceso de las calibraciones, irradiaciones, controles periódicos del instrumental del laboratorio, también se armaron formularios adecuados a cada tarea técnica a realizar.

A principios del 2004, se recibió la calificación del COCALIN; logrando la Acreditación ante el Organismo Argentino de Acreditación (O.A.A.) en octubre del mismo año. En esa ocasión, el Experto Técnico del O.A.A. fue el Director del Laboratorio Secundario de Dosimetría de Radiaciones de Noruega.

Cada año se realizan auditorías internas y externas para el mantenimiento de nuestro sistema, existe un cronograma meticoloso para el control de nuestro equipamiento, como las calibraciones respectivas de nuestros patrones, equipos de transferencia, controles de estabilidad, calibración de barómetros, termómetros, cronómetros, micrómetros, etc.

Para el continuo mantenimiento de esta acreditación y las próximas, se solicitaron expertos técnicos de un alto nivel profesional, habiéndose contado con expertos del National Institute of Standards and Technology (NIST) y del Bureau International des Poids et Mesures (BIPM).

El sistema fue evaluado y aceptado en el año 2006 por el Inter-American Metrology System (SIM), pero esta evaluación que hace este organismo del sistema de gestión hay que renovarla. Se espera poder hacerlo el presente año.

#### **2.2.4.1 Alcance de la acreditación del CRRD-NRR ante el O.A.A.**

Nuestro sistema de calidad como se dijo, opera bajo la norma ISO/IEC 17025: 2005<sup>(5)</sup> y es aplicable a todas las actividades que están vinculadas con nuestro trabajo como la calibración de dosímetros para el nivel radioterapia, calibración de dosímetros para el nivel radioprotección e irradiación calibradas de dosímetros personales.

En el nivel Radioprotección e irradiación calibrada de dosímetros personales, el alcance es el presentado en 2.2.1.3.

En el nivel radioterapia el alcance es el siguiente:

1. Calibración de cámaras de ionización en términos de kerma en aire por unidad de escala del electrómetro, en un haz de  $^{60}\text{Co}$ .
2. Calibración de cámaras de ionización en términos de kerma en aire por unidad de carga absoluta, en un haz de  $^{60}\text{Co}$ .
3. Calibración de cámaras de ionización en términos de kerma en aire por unidad de escala del electrómetro.
4. Calibración de cámaras de ionización en términos de dosis absorbida en agua por unidad de escala del electrómetro, en un haz de  $^{60}\text{Co}$ .
5. Calibración de cámaras de ionización en términos de dosis absorbida en agua por unidad de carga absoluta, en un haz de  $^{60}\text{Co}$ .

Cabe destacar que la acreditación ante el O.A.A. lo convierte en el segundo laboratorio de CNEA en lograr la acreditación y el primero en el área de las calibraciones.

### 2.2.5 Otras actividades

- El CRRD cuenta con una Sección de Calibraciones Nivel Radioterapia equipada con instrumental de avanzada tecnología que permite la calibración de dosímetros (conjunto electrómetro y cámara de ionización) o la calibración de cámaras de ionización con un sistema automático, en haces de  $^{60}\text{Co}$  en términos de kerma en aire y dosis absorbida en agua.
- El CRRD lleva adelante un programa de intercomparaciones postales externas de dosis en radioterapia mediante el uso de TLD sobre haces de Co-60 y rayos X de altas energías. En la actualidad existen alrededor de 80 centros de radioterapia equipados con  $^{60}\text{Co}$  y/o aceleradores lineales los cuales son verificados periódicamente a través de este programa.
- El laboratorio de braquiterapia realiza calibraciones de cámaras de ionización tipo pozo y de fuentes utilizadas en braquiterapia como  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , etc., siguiendo guías de procedimientos que son adecuados a nuestro servicio partiendo de recomendaciones y protocolos internacionales<sup>(5)(6)(7)</sup>.
- El laboratorio de Dosimetría de Altas Dosis es responsable de mantener la trazabilidad con el National Physical Laboratory (NPL) United Kingdom de las mediciones de altas dosis, empleadas en diferentes actividades. Los sistemas dosimétricos utilizados son: referencia y transferencia Alanina/EPR, referencia Fricke y Dicromatos para irradiaciones de rutina.
- El CRRD, al ser el laboratorio nacional de referencia del país, participa como referencia de la magnitud dosimétrica personal en las intercomparaciones de dosimetría personal a nivel nacional e internacional que organiza la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN). El objetivo de estas intercomparaciones es la verificación de la trazabilidad de los resultados obtenidos por estos servicios de dosimetría personal.
- Participación como referencia dosimétrica en irradiaciones de muestras biológicas para la determinación de curvas de calibraciones dosimétricas en “vitro” y para intercomparaciones biodosimétricas que realiza la ARN.
- Calibración de fuentes radiactivas de  $^{192}\text{Ir}$  utilizadas en gammagrafía industrial, fuentes radiactivas de  $^{137}\text{Cs}$  utilizadas en banco de calibraciones como referencia metrológica de los laboratorios de la (ARN) y Polytec a nivel Radioprotección.
- Participación como referencia en haces de  $^{137}\text{Cs}$  para la Intercomparación dosimétrica personal organizada por el Instituto de Radioprotección y Dosimetría (IRD) de Brasil en el año 2014, donde participaron: Argentina, Bolivia, Brasil, Costa Rica, Chile, Ecuador, México, Nicaragua, Perú y República Dominicana.
- Participación en docencia teórica y práctica en laboratorios para estudiantes de universidades e institutos como la Universidad Favaloro y el Instituto Dan Beninson.



### 2.2.6 Proyectos en ejecución

Actualmente, dentro del marco de un Proyecto Nacional de Inversión (BAPIN), el CRRD se encuentra en una etapa de reforma y ampliación de la parte edilicia y de las referencias metrológicas. Se están construyendo nuevas facilidades:

- Un recinto para la instalación del equipo de rayos X nivel mamografía con su respectivo banco de calibraciones.
- Un nuevo recinto para el laboratorio de calibraciones Beta.
- Una nueva sala de calibración para la instalación de dos irradiadores: el actual y un nuevo irradiador equipado también con dos fuentes radiactivas ( $^{137}\text{Cs}$  y  $^{60}\text{Co}$ ) de mayor actividad.

Por otra parte también se prevé la mejora del equipamiento e instrumental a partir de la adquisición de:

- Un equipo generador de rayos X.
- Un calibrador de electrómetros, capacitores patrones, resistencias patrones.
- Electrómetros de alta performance.
- Cámaras patrón tanto para el nivel radioterapia como radioprotección.
- Fuentes patrón radiactivas planas para la calibración de detectores de contaminación.
- Irradiador de  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{60}\text{Co}$  de mayor actividad para calibración de instrumentos de mayor escala o rango de tasa de dosis.

### 2.2.7 Servicios que se implementarán en un futuro próximo

Con la adquisición, instalación y puesta a punto del equipamiento se ampliarán nuestros servicios de calibración a nuevas referencias:

- Calibración de detectores empleados para medir contaminación.
- Calibración irradiaciones en haces beta.
- Calibración de dosímetros empleados en radiodiagnóstico.
- Calibración de dosímetros empleados en mamografía.
- Calibraciones de cámaras pozo para braquiterapia.
- Calibración de fuentes de radiaciones utilizada en braquiterapia.
- Calibración de fuentes de radiaciones utilizadas en la industria.
- Calibración de electrómetros en modo carga y corriente.
- Intercomparaciones dosimétricas postales con dosímetros (OSL).
- Intercomparaciones dosimétricas con films radiocrómicos.

## 3. CONCLUSIONES

En este trabajo se han descrito las actividades y programas de trabajo del CRRD, los cuales tienen un impacto en la protección radiológica de pacientes, personal médico, trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes a nivel industrial, y público en general.

El CRRD está comprometido con el mantenimiento de la trazabilidad de sus patrones secundarios mediante la participación en interlaboratorios e intercomparaciones para asegurar resultados con el más alto nivel metrológico. También está comprometido en satisfacer la demanda de los usuarios con la ampliación de nuevas magnitudes y servicios, y al mismo tiempo implementarlos en el marco del sistema de gestión de calidad. Todo esto contribuye en forma integral a la protección radiológica.

#### 4. REFERENCIAS

1. AIEA, “*Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments*”, **Safety Reports Series No. 16, 2009.**
2. Norma ISO 4037/1-2-3, “*X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy*”, **1996.**
3. IAEA-TEDOC-1517 “*Control de Calidad en Mamografía*” (**Oct.-2006**)
4. Norma ISO 6980 -1-2-3 “*Nuclear Energy –Reference Beta-Particle Radiations*”, **1996.**
5. Norma ISO/IEC 17025 “*Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración*”, 2005.
6. IAEA-TECDOC-1274/S “*Calibración de Fuentes de fotones y rayos beta usadas en braquiterapia*”.
7. IAEA-TECDOC-1079 “*Calibration of Brachytherapy Sources*”.