

PRIMERAS EXPERIENCIAS DEL TRABAJO CON FUENTE NO SELLADA DE ^{18}F EN CUBA

Amador, Z. H. ¹

Centro de Isótopos (CENTIS).

RESUMEN

La República de Cuba se prepara para el trabajo con fuentes no selladas de emisores positrónicos entre los que se destaca el ^{18}F . Se requiere importar entonces este material radiactivo para calibrar los activímetros de las entidades que dispondrán de instalaciones de tomografía por emisión positrónica. Se ejecuta la evaluación radiológica del bulto para solicitar la autorización a la Autoridad Reguladora Nuclear con el código Microshield Versión 5.0.3 y se determina su tasa de dosis en contacto máxima y el valor del índice de transporte. Una vez recepcionada la solución con ^{18}F , se ejecuta la vigilancia radiológica de las operaciones de preparación de las soluciones de calibración y la calibración de 3 activímetros propiamente. Se emplean dosímetros electrónicos Termo Fisher Scientific EPD MK2+ (Reino Unido) para el control de las dosis efectivas. Se introducen medidas para optimizar la exposición del personal entre las principales se encuentran el empleo de una celda con ladrillos de 20 cm de Pb para la medición de la actividad inicial de ^{18}F y la determinación de las características de la primera barrera de contención, la organización del trabajo entre 4 trabajadores, el empleo de una bomba peristáltica para la operación de transferencia del volumen de la materia prima de ^{18}F , de un tiempo para su decaimiento radiactivo antes de iniciar la dosificación de las disoluciones de referencia y de medios de distanciamiento de la fuente. Se concluye que las dosis efectivas son inferiores a 80 μSv , inferior al nivel de registro de los dosímetros TLD que se emplean en Cuba (100 μSv por mes). Las operaciones de preparación de las fuentes de referencia en disolución y puntuales (pesaje de picnómetros y dosificación) tienen la aportación mayor a la exposición de los trabajadores.

1. INTRODUCCIÓN

El futuro empleo de fuentes no selladas con emisores positrónicos, fundamentalmente el ^{18}F , en la República de Cuba, requiere que se asegure la actividad metrológica como garantía de la protección de los pacientes. Por ello, se importa una disolución de este radisótomo para ejecutar la calibración de los activímetros de dos servicios de medicina nuclear. Este servicio se realiza por el Departamento de Metrología de los Radionúclidos (DMR) del Centro de Isótopos, el cual cuenta con la acreditación según [1] y el reconocimiento del Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) [2] y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo de la Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios (ILAC) [3].

Como se conoce, el ^{18}F es un radisótomo de corta vida, con un período de semidesintegración de 109,77 minutos y decae fundamentalmente por emisión positrónica (96,9%). La energía máxima de los protones es de 635 KeV, sufriendo aniquilación cuando interactúa con electrones del medio, resultando en la formación de 2 fotones de aniquilación de 0,511 MeV, en direcciones opuestas, formando un ángulo aproximado de 180°.

¹ E-mail: zabalbona@centis.edu.cu

El objetivo del presente trabajo es lograr que la exposición ocupacional durante las operaciones de preparación de las disoluciones de referencia y la calibración de los activímetros en un entidad hospitalaria sea lo más baja que razonablemente pueda alcanzarse [4]. Para ello y partiendo de los valores proyectados de exposición, evaluados inicialmente, se adoptan medidas que contribuyen a este propósito y se identifican las operaciones de mayor contribución a las dosis de los trabajadores.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realiza la preparación de las disoluciones de referencia con F-18 por parte de trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOES) del Departamento de Metrología de los Radionúclidos (DMR) [2 y 3] para la calibración de 3 activímetros en una instituciones hospitalaria en Cuba, vinculada con la puesta en marcha de instalaciones de tomografía por emisión positrónica y de centellografía (PET/CT).

2.1. Evaluación radiológica del bulto para el transporte de la disolución de ^{18}F al CENTIS.

Como el proveedor de la disolución de ^{18}F no cuenta con un bulto radiactivo tipo A para esta, es necesario evaluar uno disponible, que permitiera esta transportación por vía aérea y terrestre hasta el CENTIS, cumpliendo con los requisitos aplicables [5 y 6] y para solicitar la autorización a la Autoridad Reguladora Nuclear cubana.

Las medidas empleadas para el cálculo de un bulto donde se recibe la disolución de ^{18}F se presentan en la Tabla 1. El mismo dispone de tanqueta plástica, separadores de poliespuma en su interior y contenedor de plomo con los espesores que se muestran en la Tabla 2. La altura del contenedor es igual a 20.5 cm.

Tabla 1. Dimensiones del contenedor de Pb para el transporte de ^{18}F

Diámetro exterior (cm)	Altura (cm)	Altura del separador interior donde se apoya el contenedor (cm)
28.8	39.7	7.8

Tabla 2. Espesores de Pb del contenedor para el transporte de ^{18}F

Lateral (cm)	Tapa (cm)	Fondo (cm)
6.45	5.7	7.6

El cálculo de las tasa de dosis en contacto con las superficies externas del bulto y a 1 m del mismo se realizan con el código Microshield Versión 5.0.3 [7]. A partir de estos resultados se

determina la tasa de dosis en contacto máxima y el índice de transporte del bulto [5 y 6]. Se considera que la fuente tiene 74 GBq (2 Ci) para el día del despacho en el exterior (día del transporte) en un volumen de 2mL en bulbo 10R.

2.2. Evaluación inicial de la exposición ocupacional aportada por las operaciones.

Las operaciones que se realizan incluyen el traslado del material radiactivo al laboratorio, la preparación de la solución “madre” en la campana radioquímica (CRQ) y la dispensarización para la preparación de las muestras que se enviarán a las entidades. Además, se considera la medición de las muestras en el activímetro, la preparación del embalaje, el control del índice de transporte por el Departamento de Seguridad Radiológica (DSR), el transporte a la entidad hospitalaria y las mediciones en el activímetro de esta para su calibración en correspondencia con [8]. Para estar a favor de la seguridad se asume que todas las operaciones las realiza un solo trabajador.

Los datos de partida para la evaluación radiológica se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Datos para la evaluación radiológica de las operaciones con ^{18}F

Actividad GBq (mCi)	Volumen (mL)	Volumen para la dispensarización (mL)	Blindaje interno de proceso (cm Pb)
5,22 (141)	2	0.3	3

2.2.1 Cálculo de la dosis efectiva.

Se ejecuta el cálculo para las operaciones de mayor aporte a la dosis efectiva anual del trabajador. No se considera el decaimiento radiactivo de la fuente. Para evaluar la carga de la disolución y la dispensarización en la CRQ se adopta una distancia fuente-operador igual a 30cm (longitud promedio del antebrazo [9]), un blindaje en el plano de trabajo de 5 cm de Pb y una fuente puntual isotrópica, pues la distancia fuente-operador es mayor que 10 veces la mayor dimensión de la fuente. El personal emplea bomba peristáltica para la carga. La operación demora 1min.

Durante la medición en el activímetro del CENTIS, la distancia fuente-operadores se toma igual a 40cm (se adiciona una pinza de 10 cm de longitud, más longitud promedio del antebrazo). La fuente se encuentra en pozo de medición a una profundidad con respecto a la mesa de 30 cm y la dosis efectiva se evalúa al nivel de la mesa una altura de 30 cm. Se estima que la operación dure 3min.

Para la evaluación de la dosis efectiva durante la medición en el activímetro de la entidad hospitalaria se toman las consideraciones anteriores, pero que esta operación se repite 3 veces, pues se prevé la calibración de 3 equipos.

2.2.2 Cálculo de la dosis equivalente en manos.

Igualmente se efectúa el cálculo para las operaciones de mayor aporte a la dosis equivalente en manos anual del trabajador, para lo cual se asume que en la carga de la disolución en la CRQ las manos se hallan a 10 cm de distancia de la bomba peristáltica y a una altura de 20 cm con respecto a la fuente, se asume una fuente de volumen igual a 2 mL. El bulbo tipo “penicilina” con diámetro de 2.3 cm y altura 2.5cm [9], se encuentra en un contenedor de espesor igual a 3 cm de Pb. Se estima 1 minuto de duración. Para la dispensarización se simula la fuente de la misma forma.

En la medición en el activímetro en el CENTIS, se adopta una fuente puntual isotrópica, pues la distancia fuente-operador es mayor que 10 veces la mayor dimensión de la fuente y una duración de 3 minutos.

Para la evaluación de la dosis equivalente en manos en la medición en el activímetro de la entidad hospitalaria, se toman las consideraciones anteriores, pero que esta operación se repite 3 veces, pues son 3 calibraciones.

2.3. Control de la exposición operacional e individual

Se controla la tasa de dosis equivalente ambiental con un dosímetro de área modelo RDS-120, número de serie 920074 (ALNOR, Finlandia), con rango de medición de 0,05 $\mu\text{Sv/h}$ a 10 Sv/h, verificado por el Laboratorio Secundario del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR) [10], con un error intrínseco relativo máximo en el rango de las mediciones del 10 %. Igualmente se utiliza un cronómetro ruso No. de serie 4503, para registrar el tiempo de duración de cada operación.

La contaminación radiactiva superficial se mide con el monitor LB-122, número de serie 61-1 (Berthold, Alemania), calibrado igualmente por el CPHR con un factor igual a $2,271 \pm 2,045E-01$ [11].

Las dosis equivalentes profundas ($H_p(10)$) se controlan con los dosímetros electrónicos Termo Fisher Scientific EPD MK2+ (Reino Unido) calibrados por el CPHR [12], con un error intrínseco relativo máximo en el rango de las mediciones del 6 %. Igualmente se utilizan dosímetros termoluminiscentes (TLD) del CPHR para $H_p(10)$ y $H_p(0,07)$, por constituir la dosimetría oficialmente reconocida en Cuba. El nivel de registro de los dosímetros TLD es 100 μSv hasta 10 Sv. En ambos casos se miden las dosis equivalentes personales ($H_p(10)$) por radiación fotónica con energías desde 50 KeV en el primer caso y 15 KeV en el segundo, hasta 2 MeV. Sin embargo, con los dosímetros electrónicos puede disponerse de la distribución temporal de las dosis y tasas de dosis, facilitando el estudio de las operaciones de mayor aporte.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Evaluación radiológica del bulto con la disolución de ^{18}F .

Los resultados de las tasas de dosis en las superficies externas del bulto se hallan en la Tabla 4. Como puede verse por ser superior a $500 \mu\text{Sv/h}$ la tasa en la tapa del bulto, la categoría del mismo es corresponde a etiqueta amarilla categoría III [5 y 6].

Tabla 4. Tasas de dosis en contacto con el bulto para la disolución de F-18.

Tapa	Fondo	Lateral
E* (mSv/h)	E*. (mSv/h)	E*. (mSv/h)
0,76	3,2E-03	17,6E-03

A 1m de la tapa se obtuvo $1 \mu\text{Sv/h}$, por lo que el IT es igual a 0,1 [5 y 6].

3.2. Evaluación inicial de la exposición ocupacional aportada por las operaciones.

En la Tabla 5 se presentan los valores estimados totales de E y Hp(0.07) para las operaciones previstas con ^{18}F . Como se observa, lo más significativo es el alto valor de la tasa de dosis equivalente en manos. Esto conduce al análisis de las operaciones y la introducción de medidas de optimización.

Tabla 5. Dosis efectiva y dosis equivalente en manos estimadas para las operaciones con ^{18}F

Operaciones	Cantidad de operaciones	E (mSv)	Hp(0.07) (mSv)
Preparación de las disoluciones de referencia	1	5.10E-01	7.53E+01
Calibración de activímetros	3	5.10E-01	7.54E+01
Totales		1.02E+00	1.51E+02

3.3. Medidas de optimización de la exposición ocupacional que se adoptan

Ante los resultados provenientes de la evaluación radiológica de las operaciones se adoptan las siguientes medidas para reducir la exposición a los niveles que más bajo sea razonablemente alcanzar. Estas medidas son:

- la organización del trabajo entre 4 trabajadores, a partir de sus habilidades en las operaciones a ejecutar,
- empleo de una celda con ladrillos de 20 cm de Pb para la determinación de las características de la primera barrera de contención y la medición de la actividad inicial de ^{18}F ,
- uso de una bomba peristáltica para la operación de transferencia del volumen de la disolución de ^{18}F ,
- espera de casi 2 horas para el decaimiento radiactivo del ^{18}F , antes de iniciar las operaciones de dosificación por pesaje a 2 bulbos y 2 jeringuillas y el
- uso de medios de distanciamiento de las fuentes.

3.4. Control de la exposición operacional e individual

Se recibe un bulto tipo A, categoría II, IT igual a 0,1, tasa de dosis en contacto con contenedor de 8 $\mu\text{Sv/h}$ con 6,29 GBq (170 mCi) con 2,2 mL de disolución acuosa en un bulbo 10R.

En la Tabla 6 se presentan los resultados de la vigilancia radiológica operacional. Como se puede apreciar las operaciones que tienen mayor contribución a la exposición de los trabajadores pertenecen a la preparación de las disoluciones de referencia para la calibración de los activímetros y son las de dosificación a 2 bulbos y 2 jeringuillas con picnómetros y el pesaje de estos últimos, debido al nivel de actividad del ^{18}F todavía presente (actividad inicial de 3,4 GBq (92 mCi)) y las características de las mismas.

Los 3 bultos que se conforman para su transportación al hospital son:

- Bulto con bulbo, categoría II e IT 0,1
- Bulto con jeringuilla, categoría II e IT 0,2.
- Bulto con fuente sellada de ^{137}Cs , categoría I.

Las Tablas 7 y 8 muestran las dosis equivalentes personal Hp(10) registradas con los dosímetros electrónicos y las dosis equivalentes en manos reportadas por el CPHR [12]

El reporte mensual de Hp(10) [14] evidencia que, a los efectos legales en Cuba, la dosis efectiva de los trabajadores por las operaciones con ^{18}F es nula.

Tabla 6. Resultados de la vigilancia radiológica operacional.

No.	Operación	Tasa de dosis equivalente ambiental máxima (mSv/h)	Duración (seg)	Puesto de trabajo (punto de medición)
1	Paso al contenedor del CENTIS	133	6	Laboratorio 1. (CRQ, sobre bulbo).
2	Retiro de casquillo	133	6	
3	Transferencia con bomba peristáltica a bulbo con solución para completar 3,5 mL (se recibieron 2,2 mL)	0,11	17	Laboratorio 1. (Sobre teclado de la bomba (CRQ)).
4	Carga de 1,3 mL en picnómetro	9,9	65	Laboratorio 1 (CRQ)
5	Carga de 2,2 mL en segundo picnómetro	15,2	110	
6	Pesaje del primer picnómetro (se realiza 2 veces)	1,3	60	Laboratorio 2. (Balanza, posición del trabajador cuando se separa después de colocación para pesaje, excepto en las 2 dosificaciones).
7	Dosificación de 10 gotas en bulbo	15	30	
8	Pesaje del picnómetro, luego de esta dosificación (se realiza 2 veces)	1,18	120	
9	Dosificación a jeringuilla de 17 gotas	1,27	30	
10	Pesaje del picnómetro, luego de esta dosificación (se realiza 2 veces)	0,11	120	
11	Pesaje del segundo picnómetro (se realiza 2 veces)	1,84	120	Laboratorio 2. (Sobre el blindaje en mesa de balanza).
12	Dosificación de 15 gotas en segundo bulbo	4,53	30	
13	Pesaje del picnómetro, luego de esta dosificación (se realiza 2 veces)	1,62	120	
14	Dosificación a segunda jeringuilla de 17 gotas	1,54	30	Laboratorio 2. (Sobre jeringuilla)
15	Pesaje del picnómetro, luego de esta dosificación (se realiza 2 veces)	1,27	120	Laboratorio 2. (Sobre el blindaje en mesa de balanza).
16	Medición en activímetro Fidelli, calibrado con respecto al patrón, de primer bulbo.	0,094	60	Laboratorio 3. (en posición del trabajador con mayor permanencia)
17	Medición en activímetro Fidelli de primera jeringuilla.	0,07	60	Laboratorio 3. (en posición del trabajador con mayor permanencia)

18	Medición en el CANPINTEC de 1er bulbo.	0,027	60	Laboratorio 3. (Posición del trabajador)
19	Medición en el CANPINTEC de segundo bulbo.	0,022	60	Laboratorio 3. (Posición del trabajador)
20	Medición en el CANPINTEC de 1era jeringuilla.	0,033	60	Laboratorio 3. (Posición del trabajador)
21	Medición en el CANPINTEC de 2da jeringuilla.	0,022	60	Laboratorio 3. (Posición del trabajador)
22	Conformación y medición de 3 bultos radiactivos (bulbo, jeringuilla sellada y fuente sellada de ¹³⁷ Cs).	< 0,500	180	Laboratorio 2. (en contacto con bultos)
23	Calibración de 3 activímetros en una entidad hospitalaria.	-	2 horas	Hospital
24	Preparación de 10 fuentes puntuales - Pesaje del picnómetro (se realiza 2 veces). - Dosificación de 3 gotas por vez sobre papel de filtro en portamuestra. - Pesaje del picnómetro luego de la dosificación anterior (se realiza 2 veces).	0,151 0,567 0,252	2 horas	Laboratorio 2. (posición del trabajador, picnómetro y sobre gota en filtro en portamuestra)
25	Preparación de 10 fuentes cilíndricas en viales de centelleo líquido con HiSafe y Ultimogol (5 de cada uno). - Pesaje del picnómetro (se realiza 2 veces). - Dosificación de 3 gotas en el vial - Pesaje del picnómetro luego de la dosificación anterior (se realiza 2 veces).	0,110	2 horas y 45 min	Laboratorio 2. (en contacto con primer vial dosificado con 3 gotas de la disolución de ¹⁸ F)
26	Medición de fuentes puntuales en el espectrómetro gamma	-	5 horas	Laboratorio 2.

Hasta la medición en el CANPINTEC de la segunda jeringuilla, el trabajador 1 recibe 12 µSv.

La calibración de los 3 activímetros en el hospital aporta 3 µSv al trabajador 2 y 4 µSv al trabajador 4.

Luego de dosificadas las 5 primeras fuentes puntuales se retiran. Para las otras 5 fuentes se utiliza el segundo picnómetro. En el caso de la preparación de las fuentes cilíndricas, después de dosificado cada vial se ubica en el porta-viales detrás de blindaje de Pb de 5 cm.

La preparación de las fuentes puntuales y cilíndricas contribuye con 16 µSv a la exposición del trabajador 1.

La medición de las fuentes puntuales en el espectrómetro gamma contribuye con 4 µSv a la exposición del trabajador 2 y 5 µSv a la del trabajador 4.

Tabla 7. Dosis equivalente personal profunda de los trabajadores medidas con los dosímetros electrónicos EPD MK2+

Trabajador	Hp(10) (μ Sv)
1	28
2	25
3	75
4	13

Se determinan los cocientes de los valores máximos reflejados en las Tablas 7 y 8 y sus respectivos valores de las dos magnitudes de la exposición ocupacional estimadas inicialmente y se obtiene con respecto a estos últimos que el trabajador más expuesto recibe el 7,35% de E y 3,77% de Hp(0,07). Es decir, se logran niveles muy inferiores a los proyectados.

Tabla 8. Dosis equivalente personal en manos registradas con dosímetros TLD del CPHR

Trabajador	Hp(0,07) (mSv)
1	5,69
2	0,00
3	1,39
4	0,72

4. CONCLUSIONES

Las primeras experiencias del trabajo con una fuente no sellada de ^{18}F en Cuba reflejan resultados muy satisfactorios en la exposición de los trabajadores involucrados.

El bulto radiactivo tipo A que se evalúa para el transporte aéreo y terrestre de ^{18}F representa niveles aceptablemente bajos de exposición.

A partir de la evaluación inicial de las operaciones a ejecutar en el CENTIS se adoptan medidas a partir del principio de optimización (ALARA). Estas medidas son: la distribución de las operaciones entre 4 trabajadores, el empleo de una celda caliente con ladrillos de 20 cm de Pb para la comprobación de la primera barrera de contención de la fuente y la medición de su actividad inicial, de una bomba peristáltica para la operación de transferencia del volumen de la disolución que se recibe, de un tiempo prudencial para el decaimiento del ^{18}F antes de la dosificación de las disoluciones de referencia y de medios de distanciamiento.

Las dosis efectivas de los trabajadores al concluir las operaciones son menores que $80 \mu\text{Sv}$, valor inferior al nivel de registro de los dosímetros TLD que se emplean en Cuba ($100 \mu\text{Sv}$)

por mes). Las operaciones de preparación de las fuentes de referencia en disolución y de las fuentes puntuales (dosificación y pesaje de picnómetros), tienen la aportación mayor a la exposición de los trabajadores. La preparación de los trabajadores, las condiciones que se crean y los procedimientos que se ejecutan evitan la ocurrencia de sucesos radiológicos, lo que permite también que sus niveles de exposición sean muy inferiores a los estimados inicialmente, pues con respecto a estos el trabajador más expuesto recibe un 7,35% de E y un 3,77% de Hp(0,07). Por lo tanto, se cumple el propósito trazado para los primeros trabajos con ^{18}F en Cuba.

5. REFERENCIAS

1. Oficina Nacional de Normalización, Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y de Calibración, NC ISO/IEC 17025, Ciudad de La Habana, Cuba (2006).
2. www.bipm.org, www.kcdb.bipm.org, Reconocimiento internacional de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) y el Certificado de Calibración del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo del Comité Internacional de Pesas y Medidas (2013).
3. www.onarc.cubaindustria.cu, Reconocimiento internacional a través del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo de la Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios (ILAC) (2013).
4. EUROPEAN COMMISSION, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANISATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Radiation Protection And Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, Vienna (2014).
5. MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE, Resolución 121/2000 “Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos”, Gaceta Oficial de la República de Cuba, Ciudad de La Habana (2000).
6. ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Reglamento para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos. Edición de 2012, Colección de Normas de Seguridad, Requisitos de Seguridad Específicos, N° SSR-6, Viena (2013).
7. Afti Company, Grove Engineering, Microshield Version 5.0.3 (1998).
8. Oficina Nacional de Normalización, Activímetros-Protocolo para el uso y el aseguramiento de la calidad de las mediciones, NC 811 (2010).
9. D. Delacroix, J.P.Guerre, Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook, CEA/SACLAY, France, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 76, Nuclear Technology Publishing (2002).
10. Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, Certificado de Verificación No. VER/13/105 (20/09/2013).
11. Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, Certificado de Calibración CCS/1326 (06/12/2013).
12. Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, Certificado de Calibración CPR/1422 para cada dosímetro electrónico (2014).
13. Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, Laboratorio de Dosimetría Externa, Servicio TLD de Cuerpo Extremidades, Certificado No. BN-123-3-5-9-7-2014 (2014).
14. Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, Laboratorio de Dosimetría Externa, Servicio TLD de Cuerpo Entero, Certificado No. BN-123-2-5-9-7-2014 (2014).