

# Análisis probabilístico de los riesgos radiológicos en la instalación híbrida SPECT/PET/CT de Cuba

Zayda Amador Balbona<sup>1</sup>, Leonel Torres Aroche<sup>1</sup>, Antonio Torres Valle<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Centro de Isótopos (Centis), Mayabeque, Cuba

<sup>2</sup>Instituto de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (Instec), Universidad de La Habana, La Habana, Cuba

zabalbona@centis.edu.cu

## Resumen

En esta investigación se muestran los resultados del análisis probabilístico de los riesgos radiológicos con el método de matriz de riesgo de la instalación híbrida para diagnóstico en medicina nuclear, recientemente instalada en La Habana, del Centro de Isótopos. Se definieron las etapas del proceso desde su diseño y construcción hasta la gestión de los desechos radiactivos. Para definir los sucesos iniciadores se partió de la experiencia previa en Cuba y la revisión de los incidentes en pacientes, trabajadores y público, publicados. El modelo que se desarrolló contempla 14 etapas, 109 sucesos, 105 barreras, 48 reductores de frecuencia y 13 reductores de consecuencias. Se requirió tratar el riesgo de las secuencias accidentales con frecuencia baja y consecuencias altas para pacientes. Se obtuvo un nivel aceptable del riesgo y las medidas correspondientes se incluyeron en el Plan de Mejora de la seguridad y la calidad, con las del análisis de sensibilidad. Entre las medidas más contribuyentes se encuentran la organización del servicio que establece en días alternos la realización de los estudios SPECT/CT y PET/CT, uso de un calibrador de dosis de reserva ante la duda de posible desviación del utilizado regularmente, el empleo de dispensadores automáticos, la carga de trabajo moderada, la capacitación del físico médico que supervisará y/o ejecutará el programa de garantía de la calidad de la instrumentación y el análisis de lecciones aprendidas de incidentes radiológicos. Resaltan la singularidad del estudio, al ser la primera instalación cubana con las tres tecnologías y la potencialidad de sus prestaciones.

*Palabras clave:* valoración del riesgo; matriz de riesgo; medicina nuclear, matrices, estimación probabilística.

## Probabilistic analysis of radiological risks in the hybrid SPECT/PET /CT facility in Cuba

### Abstract

This research shows the results of the probabilistic analysis of radiological risks with the risk matrix method of the hybrid installation for diagnosis in nuclear medicine, recently installed in Havana, of the Isotope Center. The stages of the process were defined from its design and construction to the management of radioactive waste. To define the initiating events, we started from the previous experience in Cuba and the review of the incidents in patients, workers and the public, published. The model that was developed includes 14 stages, 109 initiating events, 105 barriers, 48 frequency reducers and 13 consequence reducers. The risk of accidental sequences with low frequency and high consequences for patients was required to be eliminated. An acceptable level of risk was obtained and the corresponding measures were included in the Safety and Quality Improvement Plan, along with those of the sensitivity analysis. Among the most contributing measures are the organization of the service that establishes on alternate days the performance of SPECT/CT and PET/CT studies, use of a reserve dose calibrator when in doubt of possible deviation from the one used regularly, the use of automatic dispensers, moderate workload, training of the medical physicist who will supervise and/or execute the instrumentation quality assurance program, and analysis of lessons learned from radiological incidents. They highlight the uniqueness of the studio, as it is the first Cuban facility with the three technologies and the potential of its benefits.

*Key words:* risk assessment; matrices; nuclear medicine, probabilistic estimation.

## Introducción

No es hasta finales de los años 60 e inicios de los 70 que aparecen en el mercado las modalidades de imágenes tridimensionales, entre las que se encuentran la tomografía axial computarizada (CT, por las siglas en inglés de Computed Tomography) y la tomografía por emisión de fotón único (SPECT, por las siglas en inglés de Single-Photon Emission Computed Tomography). [1] La evolución de esta tecnología híbrida ha conducido al uso actual para estudios de optimización de la planificación dosimétrica de prácticas como la radioembolización. [2]

Desde su implementación como técnica híbrida a finales de la década del 90', el PET/CT (Positron Emission Tomography/Computed Tomography por sus siglas en inglés), ha experimentado un crecimiento exponencial en su uso clínico, que incluye no solo a la oncología, sino a otras áreas como la neurología, la cardiología, el estudio de infecciones e inflamaciones, la ortopedia, etc. [3-4]

La instalación en el Centro de Isótopos (CENTIS) de la tecnología híbrida SPET/PET/CT de triple cabezal (Mediso AnyScan® SCP TRIO) proveniente de Hungría, llevó aparejado el proceso de autorización de la práctica por el órgano regulador en materia de seguridad radiológica y la presentación de la evaluación probabilística de la seguridad, que considera el análisis prospectivo de los riesgos, como requisito indispensable. [5]

El objetivo de la investigación es el análisis probabilístico de los riesgos radiológicos mediante el método prospectivo semicuantitativo de la matriz de riesgo en la instalación híbrida SPET/PET/CT del CENTIS, así como identificar las etapas del proceso y los elementos de control del riesgo más contribuyentes, para la mejora de la seguridad y calidad de las operaciones a ejecutar.

## Materiales y métodos

Como materiales de esta investigación pueden considerarse los reportes de las autoridades reguladoras nucleares de los EE.UU., Australia y Reino Unido, así como otras publicaciones. [6-21] Igualmente se revisaron los estudios previos con el método semicuantitativo de matriz de riesgo en instalaciones PET/CT, SPECT y los aspectos teóricos actualizados de esta metodología. [22-27, 31-32]

Se desarrolló el modelo de la práctica a partir del mapa del proceso y se consideraron todas sus etapas, desde el diseño hasta la gestión de los desechos radiactivos.

Se determinaron las etapas del proceso y los elementos de control más contribuyentes al riesgo, el nivel de las consecuencias de los sucesos iniciadores para pacientes, trabajadores y público y el aporte del error humano en la práctica. Para realizar el estudio se utilizó el código cubano SECURE-MR-FMEA versión 3.0, que permite la introducción de modelos en matriz de riesgo de las prácticas médicas con radiaciones ionizantes. [28]

## Resultados y discusión

El modelo desarrollado de la matriz de riesgo para la MN con tecnología híbrida que se estudió contempla 14 etapas, 109 sucesos iniciadores, 105 barreras, 48 reductores de frecuencia (RF) y 13 reductores de consecuencias.

La matriz de riesgo en el tercer cribado aportó que las etapas de mayor contribución al riesgo, de mayor a menor, son: la preparación o dispensación de radiofármacos, la aceptación y puesta en marcha del servicio y la realización de la exploración SPECT/CT o PET/CT y/o CT de diagnóstico (figura 1).

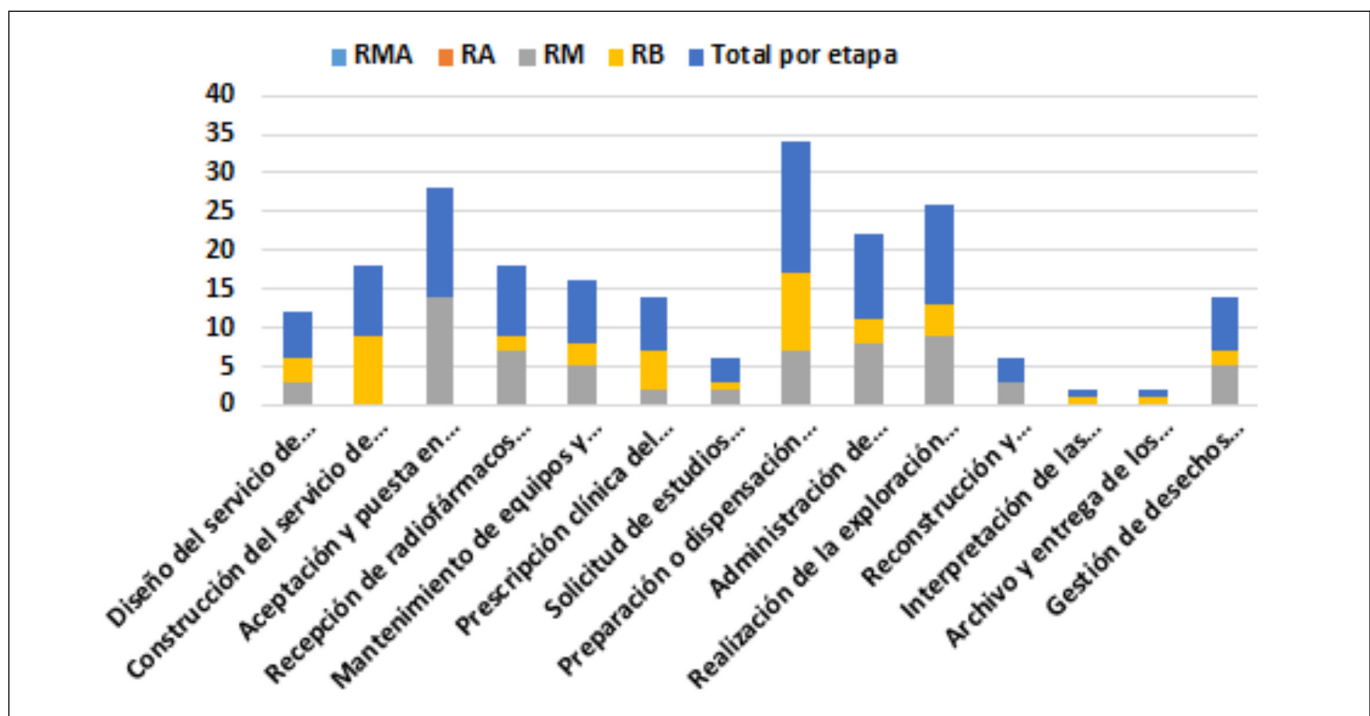


Figura 1. Perfil de riesgo para cada etapa del proceso. En color azul claro el nivel de riesgo muy alto (RMA), en rojo el de nivel alto (RA), en gris el de nivel medio (RM) y en amarillo el de nivel bajo (RB)

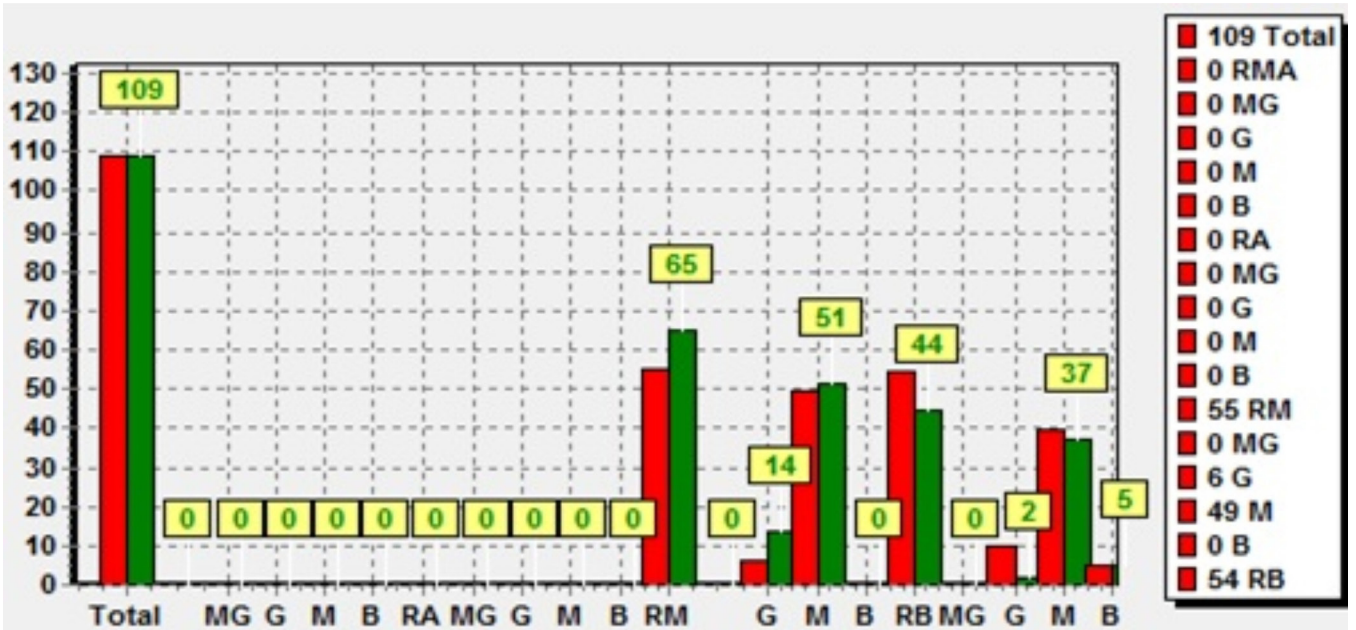


Figura 2. Histograma comparativo del nivel de riesgo inherente y residual (con tratamiento) para las secuencias accidentales con consecuencias muy graves (MG), graves (G), medias (M) y bajas (B). Nivel de riesgo alto (RA), medio (RM) y bajo (RB). En color rojo se presenta el riesgo residual y en verde el riesgo inherente (sin tratamiento)

En el tercer cribado se consideran las cantidades y robusteces de las barreras, RF y RC. Puede verse en la figura 2, de forma comparativa, el perfil de riesgo inherente, con respecto al del riesgo residual. En el primero, existen 14 secuencias accidentales con riesgo medio y consecuencias altas para los pacientes. Aunque esta situación es tolerable, en aras de la mejora de la seguridad y la calidad se añadieron nuevas defensas para reducir estas consecuencias y obtener el riesgo residual en un nivel aceptable (riesgo de nivel bajo).

Como medidas preventivas o RF más significativas, se identificaron las que se reflejan en la figura 3. En el lado izquierdo, se presenta su participación fraccionaria con respecto al total de secuencias accidentales, destacándose RF-MND2(N)- carga de trabajo moderada con aproximadamente un 74%, RF-MND6(B)- capacitación del físico médico a cargo de supervisar y/o ejecutar el programa de control de calidad de la instrumentación con un 14% y RF-MND32(B)- capacitación del responsable de protección radiológica con un 11%. En

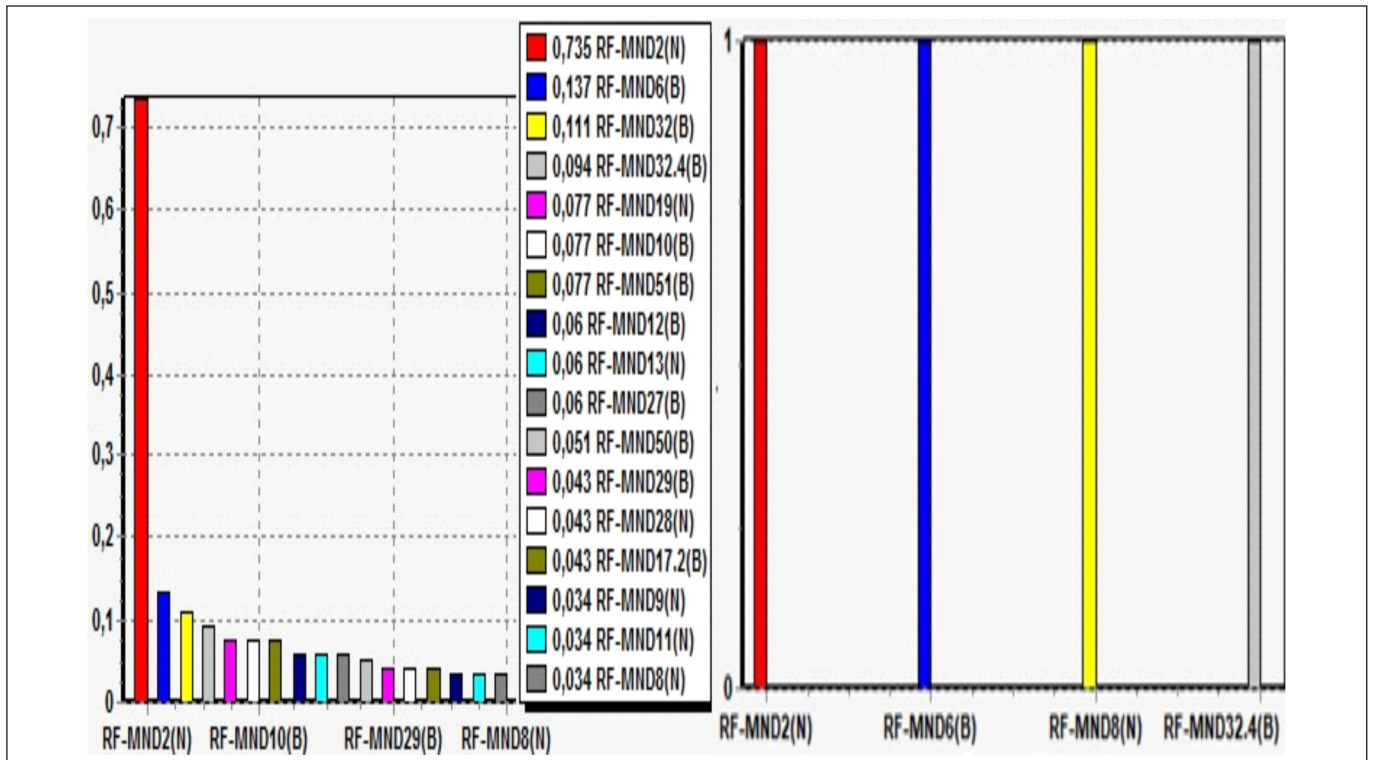


Figura 3. Histograma de la participación porcentual (lado izquierdo) y el incremento en la cantidad de secuencias accidentales del nivel de riesgo al eliminarse, de los reductores de frecuencia (RF) con robustez normal (N) y blanda (B) (lado derecho)

el lado derecho, se refleja el efecto de su eliminación en el incremento del riesgo en la cantidad de secuencias accidentales. Se puede observar que los más importantes son: RF-MND2(N)- carga de trabajo moderada, RF-MND6(B)- capacitación del físico médico a cargo de supervisar y/o ejecutar el programa de control de calidad de la instrumentación, RF-MND8(N)-utilización de protocolos recomendados internacionalmente para la puesta en servicio y RF-MND32.4(B)-capacitación de médicos, físicos y tecnólogos en los protocolos de adquisición de imágenes SPECT/CT y PET/CT en pacientes adultos y pediátricos. En todos los casos estos RF incrementan el riesgo de una secuencia accidental al ser eliminados.

En el tratamiento del riesgo inherente, entre las ocho secuencias accidentales con consecuencias altas para los pacientes, se encuentra la de administrar al paciente un radiofármaco (RF) diferente al prescrito para el estudio, es decir, que existe la posibilidad de confundir un radiofármaco PET con otro de SPECT o incluso si llegara el momento de utilizarse más de un RF PET o SPECT, entre los de igual naturaleza. Para reducir la probabilidad de ocurrencia de este error humano, se incorporaron tres nuevas medidas, a saber: B-MND78(N)-organización del servicio que establece en días alternos la realización de los estudios SPECT/CT y PET/C, de manera que no coincidan en el mismo día, B-MND80(N)-revisión por el radiofarmaceuta del radiofármaco indicado para el estudio, antes de entregarlo a la enfermera para su administración y B-MND76(N)- revisión por la enfermera antes de ejecutar la administración del radiofármaco de la correspondencia del mismo con el estudio indicado. Para el Plan de Mejora de la seguridad y calidad de la práctica se incluyeron estas tres medidas,

junto al reductor de frecuencia RF-MND2(N)- carga de trabajo moderada, que como ya se explicó, tiene más de un 50% de participación en el total de los 109 sucesos iniciadores postulados.

Las barreras más importantes por su participación porcentual son: B-MND52(N)- inspección de los trabajos de construcción civil y montaje de equipos antes de iniciarse los trabajos del servicio de Medicina Nuclear con 8.5%, B-MND56(N)- instrucción del Director que prohíbe la liberación como desecho común de desechos radiactivos que han sido debidamente etiquetados y marcados con 6.8%, B-MND55(B)- monitoreo radiológico de las áreas antes del inicio de los trabajos y toma de medidas compensatorias con 6% y B-MND11(N)- levantamiento radiométrico inicial antes del inicio de los trabajos para verificar si no existen áreas donde no se cumplan las restricciones de dosis con 5% (figura 4, lado izquierdo).

Se obtuvo que las barreras más significativas (figura 4, lado derecho) al ser eliminadas son las barreras B-MND71(N)- uso de un calibrador de dosis de reserva ante la duda de posible desviación del utilizado regularmente, B-MND20(N)- realización de pruebas de aceptación de equipos de imágenes de manera redundante por otro físico médico, antes del uso clínico del equipo, B-MND38.5(R)- procedimiento para el empleo de dispensadores automáticos, B-MND36(N)- procedimiento interno del servicio que contempla medir, en el calibrador de dosis, la dosis total eluida del generador y comparar este valor con el valor esperado y B-MND79(N)- procedimiento interno del servicio que establece medir la dosis del radiofármaco de manera redundante e independiente por una segunda persona y en un segundo calibrador de dosis.

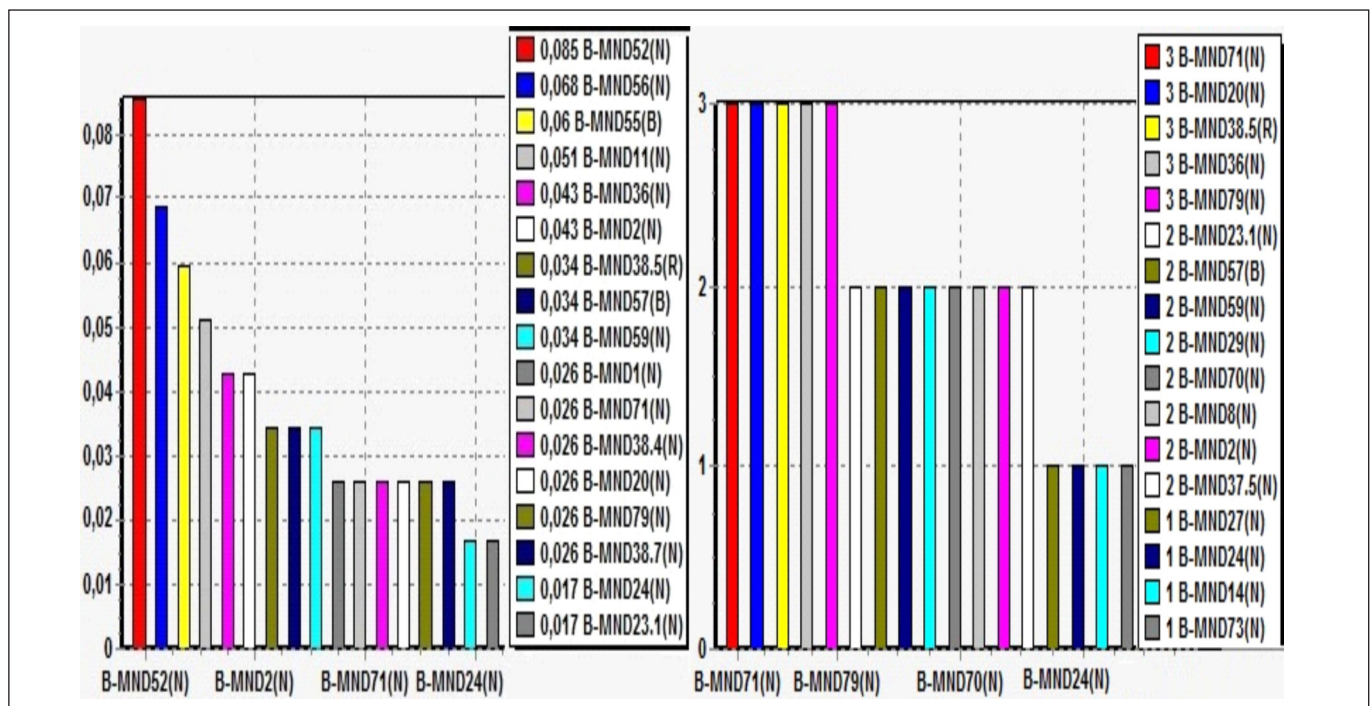


Figura 4. Histograma de la participación porcentual (lado izquierdo) y el incremento en la cantidad de secuencias accidentales del nivel de riesgo al eliminarse, de las barreras (B) con robustez normal (N), blanda (B) y robusta (R) (lado derecho)

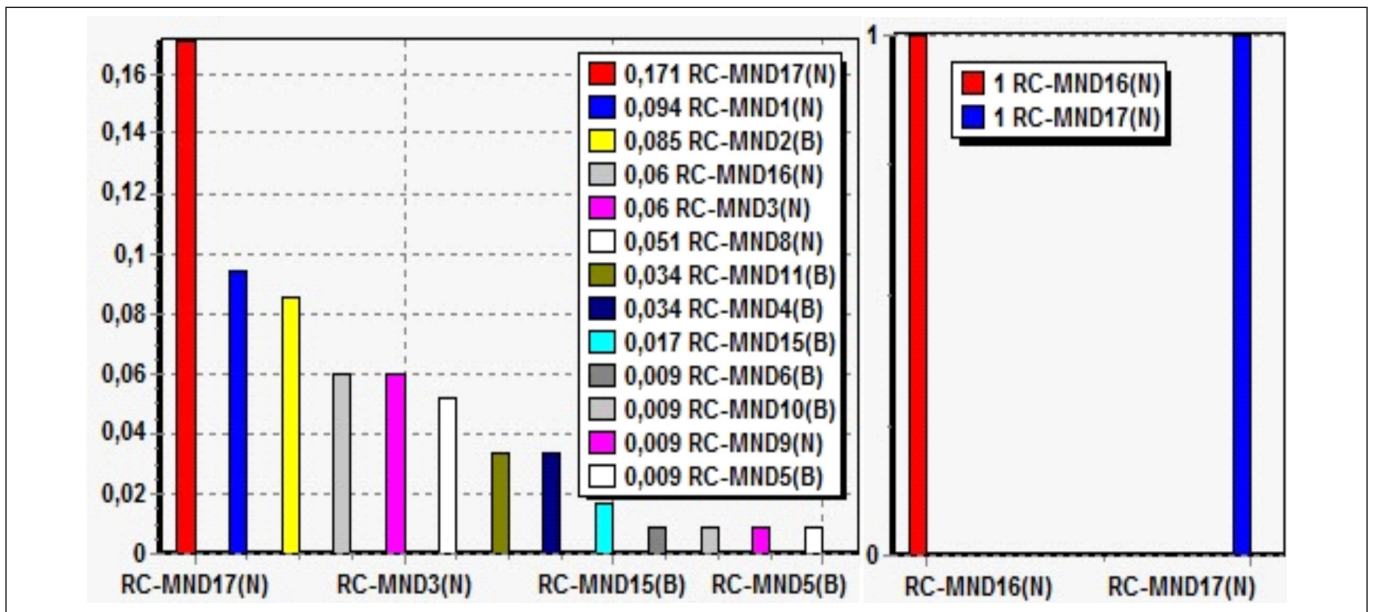


Figura 5. Histograma de la participación porcentual (lado izquierdo) y el incremento en la cantidad de secuencias accidentales del nivel de riesgo al eliminarse, de los reductores de consecuencias (RC) con robustez normal (N) y blanda (B) (lado derecho)

Como medidas para reducir las consecuencias de los incidentes o RC de mayor aporte al riesgo, se hallaron por su participación porcentual, el RC-MND17(N)- análisis de lecciones aprendidas de incidentes radiológicos con un 17.1%, RC-MND1(N)- levantamiento radiométrico periódico con un 9.4% y RC-MND2(B)- MND auditorías externas e internas con equipamiento diferente con un 8.5% (figura 5, lado izquierdo).

Al ser eliminados, se destacan por su impacto al riesgo los RC siguientes: RC-MND16(N)- procedimientos de emergencia para los trabajadores del servicio de MN con tecnología híbrida y RC-MND17(N)- análisis de lecciones aprendidas de incidentes radiológicos, lo cual se muestra en la figura 5, lado derecho. Estos incrementan el nivel de riesgo de una secuencia accidental cada uno.

El análisis sobre la importancia por consecuencias aportó que los pacientes tienen un 13% aproximadamente de consecuencias altas (CA), 43% de medias (CM) y 1.7% de bajas (CB). En las consecuencias medias prevalecen los trabajadores con un 19%.

Predomina el error humano en la práctica, pues está presente en el 96.3% del total de secuencias accidentales, lo que refuerza la necesidad de trabajar intencionalmente en su capacitación y entrenamientos periódicos y en el análisis sistemático de las lecciones aprendidas de los sucesos potenciales e incidentes que pudieran ocurrir.

La evaluación de los riesgos radiológicos de forma proactiva permite a la organización prepararse para el inicio de las operaciones y garantizar el desarrollo seguro de estas, tanto para los pacientes, como para los trabajadores y el público en general.

Todos los elementos de control (barreras, RF y RC) identificados por su aporte al riesgo, así como las medidas que permitieron lograr el riesgo residual, se incluyeron en el Plan de Mejora de la seguridad y la calidad. Una parte de estas ya se ejecutó en las etapas

precedentes a la del inicio de las operaciones. Para el resto se han identificado plazos de cumplimiento.

Hubiera sido útil considerar la inclusión como reductor de frecuencia del proceso de autorización de la práctica, que incluye la supervisión de las autoridades reguladoras competentes. Se trata de una fortaleza de nuestro país, que a su vez determina objetivamente la preparación de las organizaciones para el inicio de forma segura de cualquier práctica médica con radiaciones ionizantes.

La importancia identificada de las etapas del proceso y de los elementos de control, permite concentrar los esfuerzos en estos y garantiza su optimización.

Se recomienda también continuar trabajando en el desarrollo de la cultura de seguridad en la organización, sobre todo por la incidencia del error humano revelada por este estudio y porque contribuirá al control de los riesgos. [29-30] Dicha incidencia también se reporta en otras publicaciones referidas a PET/CT y SPECT. [24, 31]

Nótese que existe coincidencia entre los reductores de frecuencia (RF) identificados con anterioridad para instalaciones PET/CT y SPECT como la capacitación y entrenamiento del personal antes de iniciar su operación y la carga de trabajo moderada. [23-24, 31-32] En nuestra investigación se especifica el primer reductor para los diferentes cargos en el servicio como: médicos nucleares, físicos-médicos, tecnólogos y el Responsable de Protección Radiológica.

Una diferencia entre las publicaciones anteriores y la presente es el empleo del código SECURE-MR-FMEA versión 3.0 con respecto al SEVRRRA versión 3.0, del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (FORO). La misma facilitó el análisis de sensibilidad, al poder determinarse la influencia de la eliminación de los elementos de control.

Una limitación de la presente investigación es la socialización de sus resultados, la cual deberá eje-

cutarse con todo el personal del servicio, como parte de su preparación para el inicio de las operaciones.

En relación a las consecuencias de la práctica en los pacientes, cabe señalar que se trabaja en la optimización de la exposición de estos en las tecnologías híbridas en nuestro país. Para este propósito, la experiencia que se logre acumular en la nuestra será relevante para la revisión de los niveles de referencia del diagnóstico y el establecimiento de protocolos de esta naturaleza por tipo de estudio en Cuba. [33]

Igualmente, resulta de vital importancia consultar los aspectos de seguridad radiológica que sugiere el Organismo Internacional de Energía Atómica, de acuerdo a la experiencia internacional. [34]

Esta investigación apoya el escalado tecnológico que representa para Cuba la instalación híbrida SPECT/PET/CT, sin precedentes en el país. También contribuye a su operación segura y la prestación de nuevos servicios de diagnóstico médico a nuestra población.

## Conclusiones

La evaluación de los riesgos radiológicos en la instalación híbrida SPECT/PET/CT del CENTIS refleja que el nivel de riesgo de la práctica es tolerable, pero se requirió tratar las secuencias accidentales con consecuencias altas para pacientes y frecuencia baja. Esta frecuencia indica que al menos el suceso puede ocurrir una vez en el año.

Las medidas aplicadas en estos casos permitieron obtener un nivel aceptable del riesgo (nivel bajo), razón por lo que se contemplan en el Plan de Mejora de la seguridad y la calidad, en unión de las identificadas en el análisis de su importancia para el riesgo (análisis de sensibilidad).

## Referencias bibliográficas

- [1]. PERERA PINTADO A, TORRES AROCHE LA, VERGARA GIL A, BATISTA CUÉLLAR JF., PRATS CAPOTE A. SPECT/CT: principales aplicaciones en la medicina nuclear. *Nucleus*. 2017; (62): 2-9. [consulta: 10/06/2021]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/nuc/n62/nuc026217.pdf>.
- [2]. RODRÍGUEZ-FRAILE M, EZPONDA A, GRISANTI F, MORÁN V, CALVO M, BERIÁN P. The joint use of 99mTc-MAA-SPECT/CT and cone-beam CT optimizes radioembolization planning. *EJNMMI Res*. 2021; 11(23):2-11. doi: [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(13\)70132-9](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(13)70132-9).
- [3]. TREGLIA G, GIOVANELLA L. Evidence-based positron emission tomography. *Evidence-based positron emission tomography*. Gewerbestrasse, Switzerland: Springer Nature [Internet], Switzerland AG; 2020. [consulta: 10/06/2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-47701-1>.
- [4]. ISRAEL O, PELLET O, BIASSONI L, DE PALMA D, et. al. Two decades of SPECT/CT – the coming of age of a technology: an updated review of literature evidence. *Eur J Nucl Med Mol Imag*. 2019; 46: 1990-2012. doi: <https://doi.org/10.1007/s00259-019-04404-6>.
- [5]. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Reglamento sobre notificación y autorización de prácticas y actividades asociadas al empleo de fuentes de radiaciones ionizantes. La Habana: CITMA, 2012.
- [6]. OLSON B. Medical Event (Incorrect Dose Location). US Nuclear Regulatory Commission. Event number: 55145, 2021. [consulta: 30/03/2021]. Disponible en: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/event-status/event/2021/20210329en.html#en55145>
- [7]. LATTANZE R, KNOWLAND J, BRYANT T, BARVI I, KISER J. Effects of diagnostic radiopharmaceutical extravasations on patients. *J Nucl Med*. 2020; 61(supplement 1): 1018.
- [8]. SENISON MG. Loss of Control of a Cs-137 Source. US Nuclear Regulatory Commission. Event number: 54583, 2020. [consulta: 21/03/2020]. Disponible en: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/event-status/event/2020/20200319en.html#en54583>
- [9]. KASSEL K. Unplanned contamination on PET CT scanner mobile unit. US Nuclear Regulatory Commission. Event number: 54461, 2020. [consulta: 15/01/2020]. Disponible en: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/event-status/event/2020/20200110en.html#en54461>
- [10]. LATTANZE R. Extravasations of diagnostic radiopharmaceuticals and medical event reporting. *Lucerno dynamics NRC Dossier*. 2019.
- [11]. MARTIN CJ, MARENGO M, VASSILEVA J, GIAMMARILE F, POLI GL, MARSK P. Guidance on prevention of unintended and accidental radiation exposures in nuclear medicine. *J Radiol Prot*. 2019; 39(3): 665-95. doi: 10.1088/1361-6498/ab19d8.
- [12]. FRANCIS J. Hand contamination and overexposure of workers at a nuclear medical facility. Office for Nuclear Regulation. UK; 2019.
- [13]. WILBERS A. Eluate exceeded breakthrough limits on rubidium - 82 Generator. US Nuclear Regulatory Commission. Event number: 53972, 2019. [consulta: 15/04/2019]. Disponible en: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/event-status/event/2019/20190411en.html#en53972>
- [14]. TOWNSEND D, BENEFIELD T, PERRIN S, RYAN K, LATTANZE R, WONG T. Multi-center assessment of infiltration rates in fdg-pet/ct scans: detection, incidence, and contributing factors. *Nuclear Med*. 2018; 59 (supplement 1): 520.
- [15]. VAN DER POL J, VÖÖ S, BUCERIUS J, MOTTAGHY FM. Consequences of radiopharmaceutical extravasation and therapeutic interventions: a systematic review. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2017; 44: 1234-43. doi: 10.1007/s00259-017-3675-7.
- [16]. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency. Radiation Incident Register (ARIR). Summary of radiation incidents: 1 January To 31 December 2013, 2014. [consulta: 15/04/2018]. Disponible en: <http://www.arpsa.gov.au/radiationprotection/arir/>.
- [17]. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency. Australian Radiation Incident Register (ARIR). Summary of radiation incidents: 1 January to 31 December 2011. 2012 [consulta: 15/04/2018]. Disponible en: <http://www.arpsa.gov.au/radiationprotection/arir/>.
- [18]. WAGNER T, BRUCHER N, JULIAN A, HITZEL A. A false-positive finding in therapeutic evaluation: hypermetabolic axillary lymph node in a lymphoma patient following FDG extravasation. *Nuclear Med Rev*. 2011; 14(2): 109-111. doi: 10.5603/NMR.2011.00025.
- [19]. OSMAN MM, MUZAFFAR R, ALTINYAY ME, TEYMOURI C. FDG dose extravasations in PET/CT: frequency and impact on SUV measurements. *Frontiers in Oncology*. 2011; 1(41): 1-6. doi: 10.3389/fonc.2011.00041.
- [20]. AUSTRALIAN RADIATION PROTECTION AND NUCLEAR SAFETY AGENCY. Australian radiation incident register (ARIR). Summary of radiation incidents: 1 January To 31 December 2010, 2011. [consulta: 15/04/2018]. Disponible en: <http://www.arpsa.gov.au/radiationprotection/arir/>.
- [21]. VANO-GALVAN S, RODRIGUEZ-REY C, VANO-GALVAN E, JAÉN P. Technetium and blood extravasation before gammagraphy: a case report. *Cases Journal*. 2009; 2 (141): 1-2. [consulta: 10/06/2021] Disponible en: <http://www.casesjournal.com/content/2/1/141>.
- [22]. Organismo Internacional de Energía Atómica y Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores en Seguridad Nuclear, Radiológica y Física. Aplicación de la matriz de riesgo a la radioterapia. IAEA-TECDOC 1685/S. Viena, 2012.
- [23]. ARCINIEGAS-ALVAREZ MA, HERRERA DC, ESTRADA-MOLINA A. Análisis de riesgo de instalaciones de radioterapia y medicina nuclear en Colombia con el método de matriz de riesgo. XI Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear Congreso Regional IRPA "Cultura de Seguridad: un compromiso compartido". 16 al 20 de abril de 2018 [consulta: 10/06/2021],

- La Habana, Cuba. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/326191284>.
- [24]. CALDERÓN MARÍN CF, GONZÁLEZ GONZÁLEZ JJ, DUMÉNIGO C, QUESADA CEPERO W, ET AL. Análisis de seguridad radiológica de una instalación PET/CT mediante el empleo de la matriz de riesgo. *Nucleus*. 2017; (62): 38-42.
- [25]. LÓPEZ MORONES R, DUMÉNIGO GONZÁLEZ C, ESPINOSA MA, CRUZ R, PAPADOPULOS S, JOANA G. Overview of risk models and results obtained by Foro PROJECT (SEVRRRA 2) for IMRT and DNM Techniques. In: IAEA (Virtual event) International Conference on Radiation Safety: Improving Radiation Protection in Practice. 09-20/11/2020. Vienna: IAEA; 2020.
- [26]. DUMÉNIGO C, LÓPEZ MORONES R, RAMÍREZ ML, PAPADÓPULOS S, et. al. Metodología de matrices de riesgo. Actualización de la misma basada en las experiencias en su aplicación. XI Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear Congreso Regional IRPA "Cultura de Seguridad: un compromiso compartido". 16 al 20 de abril de 2018; La Habana, Cuba.
- [27]. DUMÉNIGO C, BOSCH R, DE LA FUENTE PUCH A, PÉREZ Y, QUEVEDO J. Estimaciones de riesgo con el uso de SEVRRRA. Análisis de resultados. La Perspectiva del usuario y del regulador. XI Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear Congreso Regional IRPA "Cultura de Seguridad: un compromiso compartido". 16 al 20 de abril de 2018. La Habana, Cuba.
- [28]. TORRES VALLE A. Manual de usuario SECURE-MR-FMEA 3.0. Programa de análisis de riesgo basado en matriz de riesgo y FMEA. La Habana, Cuba. 2017.
- [29]. Centro Nacional de Seguridad Nuclear. Guía expectativas del organismo regulador sobre la cultura de seguridad en las organizaciones que realizan actividades con fuentes de radiación ionizante. La Habana, 2015.
- [30]. International Atomic Energy Agency. Radiation safety culture trait talks. Handbook. Vienna, 2021. [consulta: 03/01/2021]. Disponible en: <https://www.iaea.org/sites/default/files/21/01/radiation-safety-culture-trait-talks.pdf>.
- [31]. DUMÉNIGO C, GUERRERO M, CRUZ Y, SOLER K. Evaluaciones de seguridad de la práctica de medicina nuclear utilizando el método de matrices de riesgo. IX Latin American IRPA Regional Congress on Radiation Protection and Safety - IRPA 2013. April 15-19, 2013. Rio de Janeiro, Brazil 2013. [consulta: 03/01/2021] Disponible en: <http://www.sbpr.org.br/irpa13/AnaisdoiRPA2013/>.
- [32]. DUMÉNIGO C, GUERRERO M, LÓPEZ R, PAZ A. Matrices de riesgo en medicina nuclear. Modelación en SEVRRRA. X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica "Radioprotección: Nuevos Desafíos para un Mundo en Evolución". 12 al 17 de abril, 2015. Buenos Aires, Argentina 2015. [consulta: 03/01/2021] Disponible en: <http://www.irpabuenosaires2015.org/Archivos/tr-completos/>.
- [33]. VANO E, JIMÉNEZ P, RAMÍREZ R, ZARZUELA J, ET AL. Main problems and suggested solutions for improving radiation protection in medicine in Ibero-American countries. Summary of an International Conference held in Madrid, 2016. *J Radiol Prot*. 2018; 38: 109-20. doi: <https://doi.org/10.1088/1361-6498/aa914a>.
- [34]. International Atomic Energy Agency. Nuclear medicine resources manual. 2020 edition. IAEA Human Health Series. Marketing and sales unit. Publishing Section. 37: 175. Vienna: IAEA, 2020 [consulta: 03/01/2021]. Disponible en: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB/1861.pdf>.

**Recibido:** 23 de junio de 2021

**Aceptado:** 12 de julio de 2021