



Análisis de riesgo en la terapia paciente específica del hipertiroidismo en Cuba

Risk analysis in patient-specific therapy for hyperthyroidism in Cuba

Zayda Haydée Amador Balbona^{1*} , Antonio Torres Valle² , Adlin López Díaz² 

¹Centro de Isótopos. La Habana, Cuba.

²Universidad de La Habana, Facultad de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. La Habana, Cuba.

*Autor para la correspondencia: zabalbona@centis.edu.cu

Cómo citar este artículo

Amador Balbona ZH, Torres Valle, López Díaz A. Análisis de riesgo en la terapia paciente específica del hipertiroidismo en Cuba. Rev haban cienc méd [Internet]. 2022 [citado]; 21(1):e3906. Disponible en: <http://www.revhabanera.sld.cu/index.php/rhab/article/view/3906>

Recibido: 11 de Enero del año 2021

Aprobado: 8 de Septiembre del año 2021

RESUMEN

Introducción: En Cuba, se prevé realizar la terapia paciente específica del hipertiroidismo. Se han desarrollado una metodología y herramientas computacionales con este propósito. El análisis del riesgo permitirá acometer con calidad y seguridad dicha práctica.

Objetivo: Analizar los riesgos radiológicos en la terapia paciente específica del hipertiroidismo en Cuba.

Material y Métodos: Se revisó y adaptó el modelo genérico de Medicina Nuclear paciente específica. Con el código cubano SECURE MR-FMEA versión 3.0 se determinaron el riesgo inherente y el residual, se identificaron las etapas del proceso, los sucesos iniciadores, las medidas y causas más contribuyentes, así como las consecuencias para los grupos expuestos.

Resultados: Se obtuvo un nivel alto de riesgo que se controló con las medidas adicionales. Las etapas más significativas son: la adquisición de imágenes pre- y post- tratamiento y la preparación del radiofármaco. Las medidas preventivas más importantes son: mantener una carga de trabajo moderada para el personal, las capacitaciones del físico médico y de los especialistas que realizan las revisiones del proyecto en la etapa de diseño del servicio. Los pacientes tienen consecuencias muy altas en 10,7 % de las secuencias accidentales. Sin embargo, los trabajadores y el público presentan consecuencias medias en 29 % y 16 %, respectivamente. El incumplimiento de prácticas, protocolos, procedimientos o normas es la causa básica de fallo predominante.

Conclusiones: Se facilita la toma de decisiones para la implementación del tratamiento paciente específico del hipertiroidismo en Cuba, a partir del empleo de la metodología que se propone en esta investigación.

Palabras claves:

riesgos por radiación; terapia paciente específica, hipertiroidismo, matriz de riesgo, análisis de modos y efectos de fallo.

ABSTRACT

Introduction: In Cuba, there are plans to conduct patient-specific therapy for hyperthyroidism. A methodology and computational tools have been developed for this purpose. Risk analysis will allow us to undertake this practice with quality and safety.

Objective: To analyze the radiological risks in the patient – specific therapy for hyperthyroidism in Cuba.

Material and Methods: The generic patient-specific Nuclear Medicine model was reviewed and adapted. Inherent and residual risk were determined with the Cuban code SECURE MR-FMEA version 3.0; the stages of the process, the initiating events, the most contributing measures and causes, and the consequences for the exposed groups were identified.

Results: A high level of risk was obtained, which was controlled with additional measures. The most significant stages are the acquisition of pre- and post-treatment images, and the preparation of the radiopharmaceutical. The most important preventive measures are: maintaining a moderate workload of the staff, and the training of the medical physicist and the specialists who perform the project reviews at the stages in service design. Patients have very high consequences in 10,7 % of accidental sequences. However, the workers and the public show average consequences at 29 % and 16 %, respectively. Non-compliance with practices, protocols, procedures or standards is the predominant underlying cause of failure.

Conclusions: Decision-making for the implementation of patient-specific therapy for hyperthyroidism in Cuba, based on the use of the methodology proposed in this research, is facilitated.

Keywords:

Radiation risks; patient-specific therapy, hyperthyroidism, risk matrix, failure modes and effects analysis.



INTRODUCCIÓN

Se denomina hipertiroidismo a un trastorno funcional del tiroides caracterizado por la secreción, y el consiguiente paso a la sangre, de cantidades excesivas de hormonas tiroideas en relación con las necesidades del organismo. El exceso de hormona tiroidea se traduce en un cuadro clínico de gran expresividad.⁽¹⁾

El ¹³¹I Yoduro de Sodio es uno de los tratamientos de elección por su eficacia terapéutica, su bajo costo, facilidad de administración y seguridad. Sin embargo, a pesar de la experiencia acumulada, no existe un acuerdo o evidencia científica clara sobre la actividad y/o dosis a aplicar para estos tratamientos.^(2,3,4,5) Por esta razón, se desarrolla en Cuba una metodología y las herramientas computacionales para la planificación dosimétrica para el tratamiento paciente específico del hipertiroidismo, con vistas a su próxima implementación.^(2,6,7,8)

Como parte del análisis de seguridad de los procesos con radiaciones ionizantes, y la autorización de los mismos, se requiere evaluar los riesgos, lo cual, además, preparará a la organización para su control efectivo y la calidad del servicio a la población.^(9,10)

El **objetivo** de esta investigación es analizar los riesgos radiológicos en la Medicina Nuclear con tratamiento paciente específico para el hipertiroidismo en Cuba.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio de tipo predictivo, en el servicio de Medicina Nuclear del Hospital Clínico Quirúrgico "Hermanos Ameijeiras" de La Habana, Cuba, para el tratamiento paciente específico del hipertiroidismo durante 2019.

Se realizó la revisión y adaptación del modelo o patrón genérico de riesgo desarrollado para matriz de riesgo en la Medicina Nuclear con tratamiento paciente específico (MNTE) para trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOEs), pacientes y público.⁽¹¹⁾

La muestra de estudio fueron las actividades que se previeron realizar en las etapas del proceso de tratamiento específico de los pacientes en el hospital anteriormente delarado. Se analizaron las consecuencias de los errores humanos, fallos de equipos y fallos organizacionales para los TOEs, pacientes y público.

Se seleccionaron los sucesos iniciadores y las defensas (reductores de frecuencia (RF), barreras (B) y reductores de consecuencias (RC)) aplicables.

Con el código cubano SECURE-MR-FMEA versión 3.0 se determinó el riesgo inherente, su tratamiento y el riesgo residual.⁽¹²⁾ Igualmente, se identificaron las etapas del proceso, los sucesos iniciadores y las defensas más contribuyentes. Estas últimas se escogieron por su participación porcentual e incidencia en el nivel de riesgo al ser eliminadas.

Por su importancia se identificaron los niveles de consecuencias del riesgo residual para pacientes, trabajadores y público.

El modelo de matriz de riesgo se convirtió en la estructura del análisis de modos y efectos de fallo (FMEA). A partir del análisis de las defensas y con el listado estandarizado de causas básicas de fallo, se determinó su sustitución por estas últimas.^(13,14)

La selección de las causas básicas de fallo más contribuyentes al riesgo se realizó con el cálculo del número de prioridad del riesgo, el valor de severidad, el índice de severidad (ISev) y el índice de calidad (IQ).⁽¹⁵⁾ Se aplicó el Principio de Pareto para la selección individual de las causas que cumplieran con la condición de $NPR \geq 100$ e $ISev \geq 7$.⁽¹⁶⁾

Las variables que se evaluaron como parte del método semicuantitativo de matriz de riesgo para cada suceso iniciador son: la frecuencia de ocurrencia, la probabilidad de falla de las barreras y las consecuencias. Los criterios de evaluación de estas variables, así como las robusteces de los RF y RC se tomaron a partir de la escala para estas variables adoptadas por el Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (FORO) y de los criterios de actualización recomendados por los autores del código para el análisis de riesgo en radioterapia denominado como SEVRRRA.^(17,18)

La información fue recolectada a partir del método de datos primarios con la revisión de publicaciones de casos de estudio y los reportes de sucesos radiológicos en los sitios de autoridades reguladoras de otros países.^(19,20) Esta información fue asentada con la aplicación *Excell* de Microsoft, en una base internacional de incidentes con la taxonomía del sistema de aprendizaje de incidentes del Organismo Internacional de Energía Atómica para la radioterapia, denominado SAFRON.⁽²¹⁾

El análisis de la información recopilada permitió evaluar la frecuencia de ocurrencia y las consecuencias de los sucesos iniciadores incluidos en el modelo de la terapia paciente específica.

Los resultados de la investigación se presentan en forma de histogramas.

La investigación partió del principio ético de respetar el criterio de los expertos participantes en la investigación al evaluar las variables del método semicuantitativo de matriz de riesgo utilizado y su adherencia a las escalas adoptadas para su clasificación y sus robusteces.^(17,18)

RESULTADOS

El modelo de la matriz de riesgo para la terapia específica del hipertiroidismo, por ser ambulatoria y tratarse de una enfermedad benigna, quedó con 14 etapas, 132 secuencias accidentales, 121 barreras, 58 reductores de frecuencia (RF) y 22 reductores de consecuencias (RC). En la **Tabla 1** se presentan las etapas del proceso.

| Tabla 1- Etapas del proceso de la terapia específica del hipertiroidismo | |
|--|---|
| No. | Denominación de la etapa |
| 1 | Diseño del Servicio de Medicina Nuclear. (DMN). |
| 2 | Construcción del Servicio de MNT. (CSM). |
| 3 | Aceptación y puesta en servicio de los equipos utilizados en la práctica de Medicina Nuclear. (APS). |
| 4 | Mantenimiento y reparación de equipos y sistemas. (MRE). |
| 5 | Evaluación clínica del paciente. (ECP). |
| 6 | Adquisición de imágenes para planificación del tratamiento -paciente específico- y postratamiento. (AIP). |
| 7 | Prescripción clínica del tratamiento. (PCT). |
| 8 | Recepción del radiofármaco/radiobiomolécula. (RRR). |
| 9 | Preparación del radiofármaco/radiobiomolécula. (PRR). |
| 10 | Traslado de la dosis al lugar de administración. (TDA). |
| 11 | Administración de radiofármaco/radiobiomolécula. (ARR). |
| 12 | Tratamiento ambulatorio. (TAM). |
| 13 | Archivo y entrega de los resultados de los tratamientos de MN. (AER). |
| 14 | Gestión de desechos radiactivos (GDR). |

El riesgo residual que se obtuvo, con la adición de otras medidas, al eliminar el riesgo inherente alto (RA), inaceptable por su peligro inminente, se presenta en color rojo en la **Figura 1**. En esta se refleja que con el tratamiento del riesgo quedaron 13 secuencias accidentales con riesgo medio (RM) y consecuencias muy graves (MG). Se recomienda su vigilancia mediante el plan de mejora de la seguridad y la calidad.

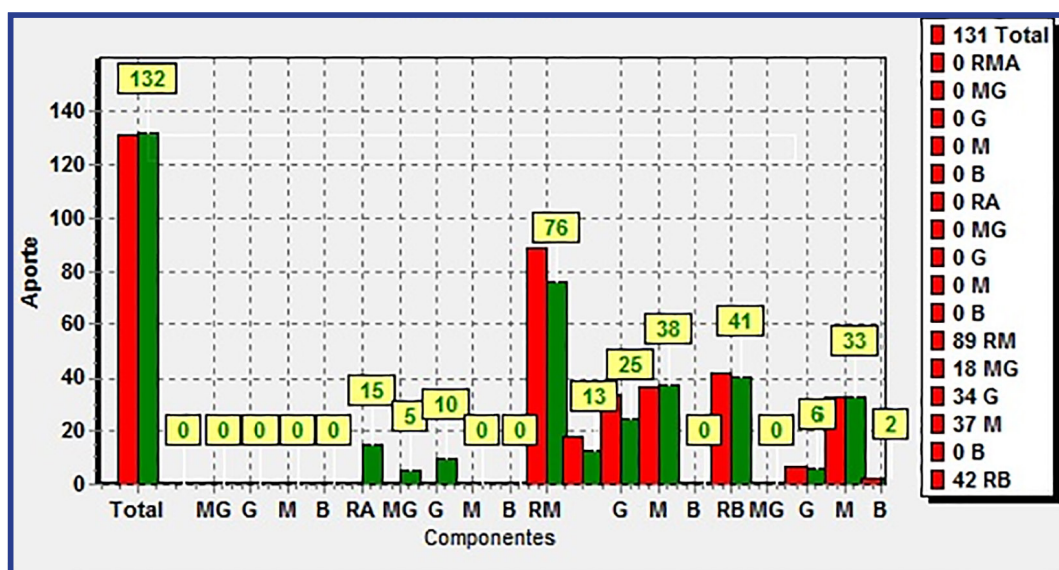


Figura 1- Histograma comparativo riesgo inherente (color verde) vs riesgo residual (color rojo) para el tratamiento paciente específico del hipertiroidismo

La matriz de riesgo predominantemente aportó, por orden de importancia, que la adquisición de imágenes para la planificación del tratamiento y post tratamiento y la prescripción clínica, son las etapas más significativas del proceso, por su contribución al riesgo alto.

Como medidas preventivas o RF más significativas se identificaron las que se reflejan en la Figura 2. En el lado izquierdo, se presenta su participación fraccionaria con respecto al total de secuencias accidentales. En el lado derecho, se refleja el efecto de su eliminación en el incremento del riesgo en la cantidad de secuencias accidentales. En este último caso, se puede observar que los más importantes son el RF-12(N), carga de trabajo moderada, pues incrementa el riesgo de seis secuencias al eliminarse, mientras que RF-34(B), capacitación del tecnólogo o el físico médico que realiza estos trabajos y RF-13(B), capacitación del (los) médico(s) nuclear(es) en los aspectos relacionados con los tratamientos de Medicina Nuclear, lo incrementan en cuatro y dos secuencias, respectivamente. Con este último comportamiento se añade el RF14(N), existencia de pancartas o señales de alerta para mujeres embarazadas o amamantando a niños. Esta opción destaca la importancia de este tipo de análisis, por cuanto estos dos últimos contribuyentes (RF-34(B) y RF-13(B)) no aparecen como importantes por su participación porcentual (5,7 % y 8,9 %, respectivamente).

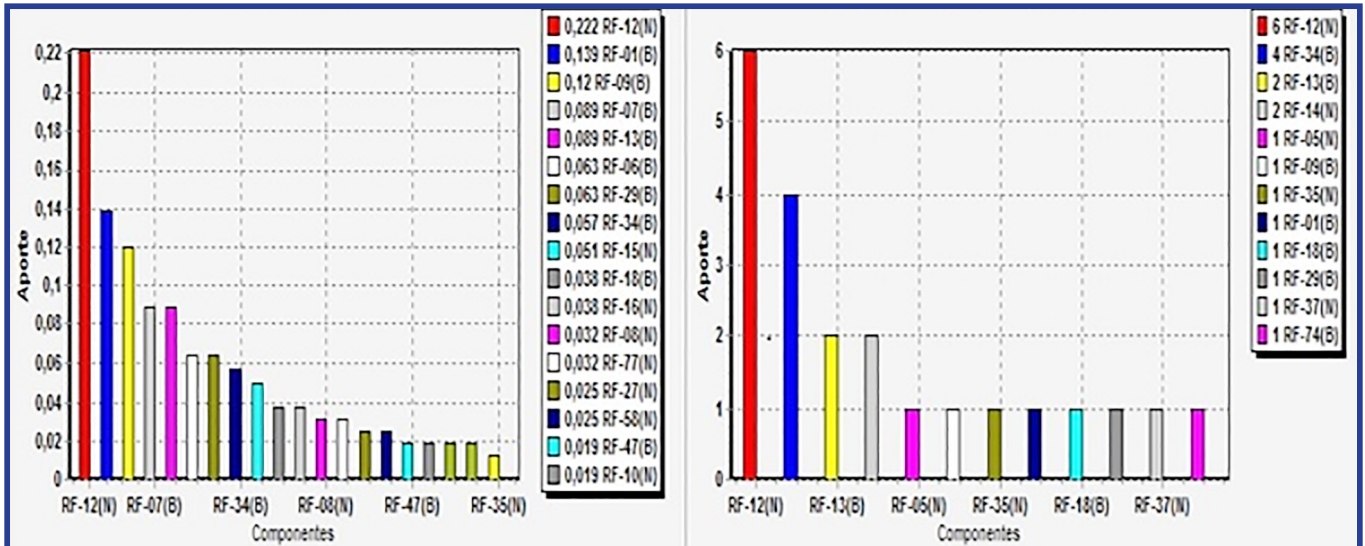


Figura 2- Histograma de la participación porcentual (lado izquierdo) y el incremento en la cantidad de secuencias accidentales del nivel de riesgo al eliminarse (lado derecho), de los reductores de frecuencia (RF) con robustez normal (N) y blanda (B)

Se obtuvo que las barreras más significativas (Figura 3, lado derecho) al ser eliminadas son la B-03, levantamiento radiológico inicial de las diferentes áreas del departamento de medicina nuclear y B-01, revisión independiente del proyecto a partir de las regulaciones de seguridad aplicables. Las mismas afectan a 11 secuencias, cuyo riesgo aumenta al ser eliminada. Le sigue la B-04, inspección de los trabajos de construcción civil y montaje de equipos antes de iniciarse los trabajos del servicio, con un aumento en siete secuencias. La B-04(N) es importante, ya que podría descartarse por su participación porcentual (4,5 %). Se debe apreciar que se trata de barreras que hay que conservar de manera prioritaria.

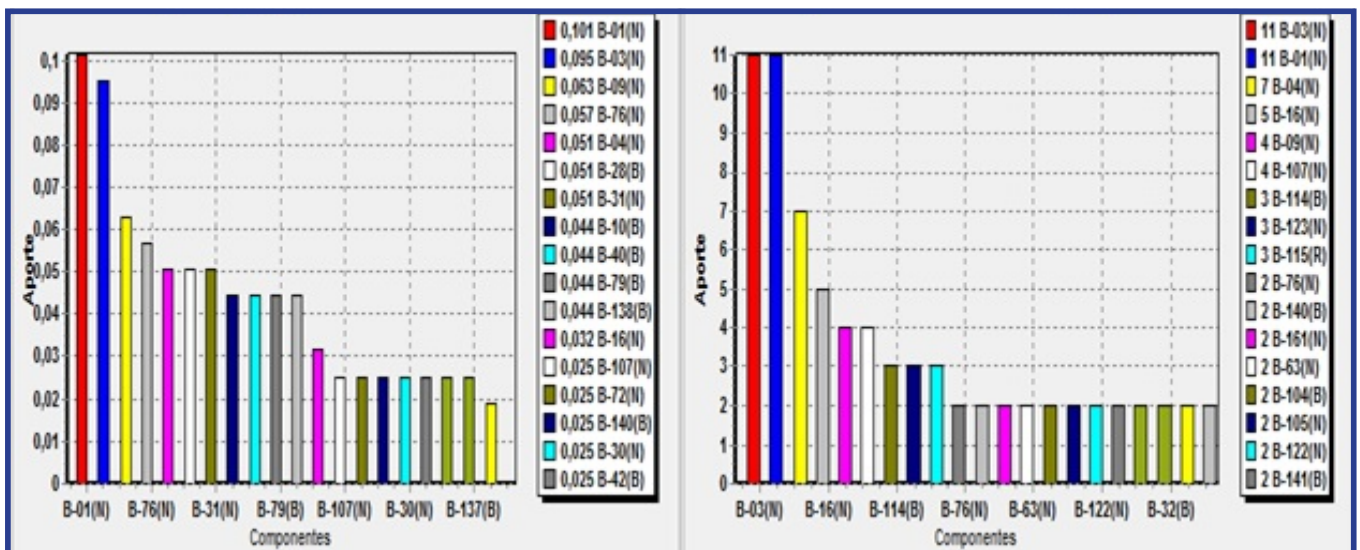


Figura 3- Histograma de la participación porcentual (lado izquierdo) y el incremento en la cantidad de secuencias accidentales del nivel de riesgo al eliminarse (lado derecho), de las barreras (B) con robustez normal (N), blanda (B) y robusta (R)

Como medidas para reducir las consecuencias de los incidentes o RC de mayor aporte al riesgo, se hallaron por su participación porcentual, el RC-01(B), levantamiento radiológico periódico de las áreas del servicio con 21,5 %, el RC-07(B), procedimiento de emergencia para reducir la dosis en órganos críticos en casos de administración errónea de radiofármacos que está en 14,6 % y el RC-05(B), auditoría anual externa a la entidad con equipamiento diferente, con 6,3 %. Dada la baja robustez de los RC (poco efecto en el control del riesgo) no aparece un perfil representativo que los caracterice por su desaparición. Lo anterior puede ser apreciado en la Figura 4.

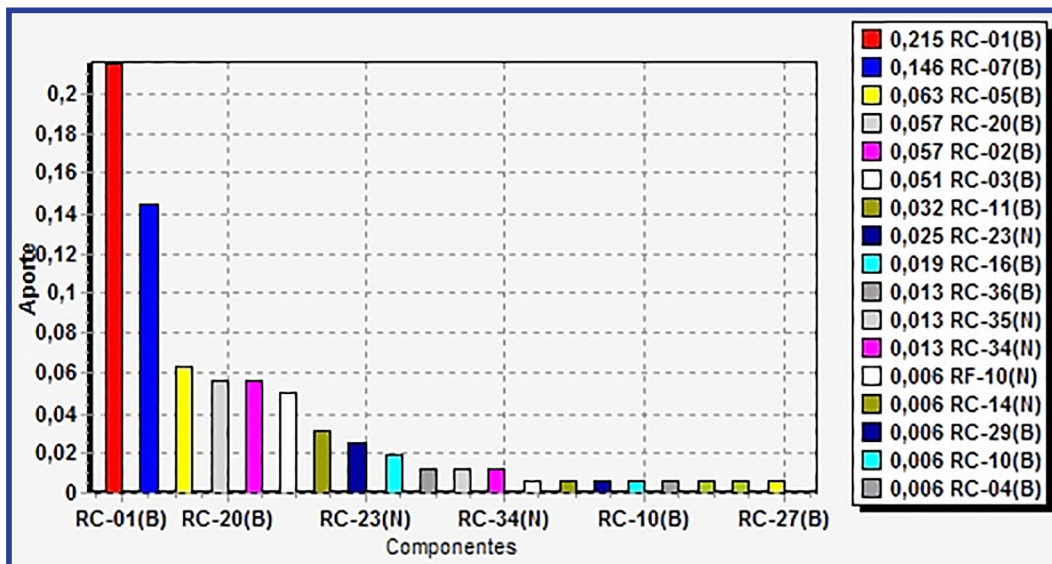


Figura 4- Histograma de la participación porcentual de los reductores de consecuencias (RC) con robustez normal (N) y blanda (B)

El análisis sobre la importancia por consecuencias y la preponderancia de los impactos medios sobre los trabajadores y el público, mostró que en el primer caso hubo mayor incidencia. En 11,4 % de las secuencias existieron consecuencias muy graves altas (CMA) y en 23,4 % consecuencias altas(2), para los pacientes. En 2,5 % de las secuencias accidentales para el público existieron CA y en 27,8 % para los trabajadores hubo consecuencias medias (CM).

Del FMEA obtenido, se identificaron las causas básicas más importantes para el riesgo. Las mismas son, por orden de importancia, la 1.3, prácticas, protocolos, procedimientos o normas-Incumplidos, la 6.1, desarrollo de habilidades y conocimientos-falta de entrenamiento u orientación (carencia o inadecuado) y la 8.4, trabajador percepción-fatiga del personal. En la Figura 5 pueden verse los valores del IQ para estas causas.

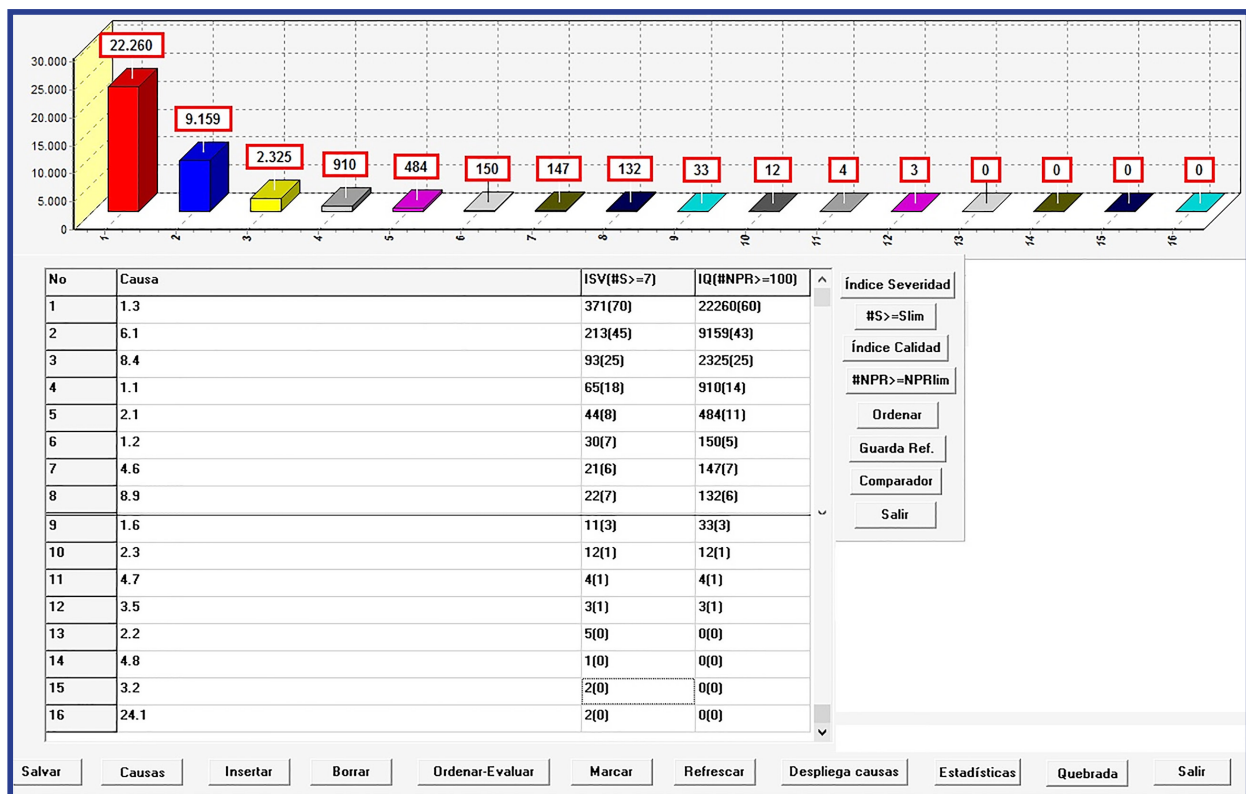


Figura 5- Valores del índice de calidad (IQ) para las causas básicas de fallo del tratamiento paciente específico del hipertiroidismo

DISCUSIÓN

La presente investigación aporta la identificación de los riesgos radiológicos a través de un enfoque integrador de dos métodos proactivos: la matriz de riesgo y el FMEA, aplicada al tratamiento paciente específico del hipertiroidismo.

La matriz de riesgo refleja un riesgo inherente alto, y las medidas incorporadas para eliminarlo deben ser consideradas prioritariamente en el plan de mejora de la seguridad y la calidad. Por otro lado, las medidas identificadas por su importancia para el riesgo, deben también ser incluidas en este, así como las acciones correctivas dirigidas a erradicar las causas básicas más contribuyentes identificadas del FMEA. Estos aspectos permitirán incrementar la eficiencia y efectividad de la adopción de decisiones para mantener controlado el riesgo en la práctica evaluada.

De la cultura de seguridad de la organización, dependerá el éxito del cumplimiento del plan de mejora de la seguridad y la calidad.⁽²²⁾

La utilización combinada de la matriz de riesgo y el FMEA para la seguridad radiológica, permite eliminar las desventajas de ambos métodos, pues el primero no determina las causas básicas de fallo, y el segundo posterga la definición de la efectividad de las medidas correctivas que se planifican para eliminar dichas causas. Esto fortalece el tratamiento paciente específico del hipotiroidismo en Cuba, pues permite resolver con recursos optimizados los problemas más importantes para el riesgo y de esta forma garantizar la seguridad de los pacientes, trabajadores y el público, con el desarrollo de la organización para su ejecución exitosa. Hasta el presente, estos métodos se han utilizado de manera independiente.^(23,24,25,26,27)

Una *limitación* de la presente investigación es la ausencia de un grupo evaluador multidisciplinario más amplio, pues además de contar con especialistas de la autoridad reguladora nuclear y la práctica en estudio, hubiera sido recomendable crear un grupo de trabajo en el Servicio. El permanente acompañamiento de los primeros facilitó la aplicación del enfoque adecuado en la formulación de los sucesos iniciadores, así como de la aplicación del método semicuantitativo de matriz de riesgo. El aporte del colectivo de trabajo del Servicio de Medicina Nuclear o de una mayor representación del mismo, hubiera sido importante en la identificación de eventos no considerados en el estudio e incluso en la caracterización de la frecuencia y consecuencias de los incluidos. Igualmente, su participación permitiría capacitar al personal en el análisis de riesgo radiológico, incrementar su percepción y su concientización de la importancia del registro y reporte de los errores humanos y fallos de equipos.

CONCLUSIONES

El análisis de riesgo radiológico aportado por esta investigación permite que la adopción de decisiones para la mejora de la calidad y seguridad del tratamiento paciente específico para el hipertiroidismo en Cuba sea ejecutada con más eficacia y eficiencia, a partir de la metodología utilizada y las prioridades identificadas. El cumplimiento del plan de mejora de la seguridad y la calidad es decisivo para mantener controlado el riesgo, para lo cual el desarrollo de la cultura de seguridad de las organizaciones también es de vital importancia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Martín Vélez R, Delgado Martín A, Sánchez López J, Soto Blanco F, Jiménez López A, Maldonado Díaz I. Un paciente con hipertiroidismo. *Medicina Integral*. 2001;37(9):383-9.
2. López Díaz A, Reynosa R, Palau A, Martín J, Castillo J, Torres L. Calibración de cámaras gamma para optimización del tratamiento con ¹³¹I en hipertiroidismo. En: X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica "Radioprotección: Nuevos Desafíos para un Mundo en Evolución"; 2015 abril 12-17; Buenos Aires, Argentina [Internet]. Buenos Aires: Sociedad Argentina de Radioprotección; 2015 [Citado 15/12/2020]. Disponible en: <http://www.irpabuenosaires2015.org/Archivos/tr-completos/irpa/LOPEZcalibracioncamaras.pdf>
3. Hyer S, Pratt B, Gray M, Chittenden S, Duc Y, Harmer C. Dosimetry-based treatment for Graves' disease. *Nuclear Medicine Communications* [Internet]. 2018;39(6):486-92. Disponible en: <http://doi.org/10.1097/MNM.0000000000000826>
4. Fanning E, Inder W, Mackenzie E. Radioiodine treatment for graves' disease: a 10-year Australian cohort study. *BMC Endocrine Disorders* [Internet]. 2018;18(94):1-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12902-018-0322-7>
5. Khalili S, Miri Hakimabada H, Hoseinian Azghadi E. Patient-specific anatomical models for radioiodine dosimetry in treatment of hyperthyroidism: is it necessary?. *Medical Physic* [Internet]. 2020;47(10):5357-65. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/mp.14454>
6. Alfonso Laguardia R, López Díaz A, Díaz Rizo O. La física médica en la ciudad de La Habana. *Nucleus*. 2019;66:52.
7. López Díaz A, Reynosa Montejó R, Palau San Pedro A, Martín Escuela J, Torres Aroche L. Obtención combinada de parámetros para la planificación dosimétrica 2D y 3D de tratamientos con ¹³¹I en Hipertiroidismo. *Nucleus*. 2017;61:16-20.
8. López Díaz A, Martín J, Fernández V, Pérez A, Ramos Rodríguez E. Estimación de las desviaciones volumétricas de dosis entregada vs. planificada durante el tratamiento de hipertiroidismo con ¹³¹I: resultados preliminares. *Nucleus*. 2019;65:1-5.
9. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. Reglamento sobre Notificación y Autorización de Prácticas y Actividades Asociadas al Empleo de Fuentes de Radiaciones Ionizantes. La Habana: Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente; 2012.
10. Centro Nacional de Seguridad Nuclear. Guía de Evaluación de Seguridad de Prácticas y Actividades Asociadas al Empleo de Fuentes de Radiaciones Ionizantes. La Habana: Centro Nacional de Seguridad Nuclear; 2012.

11. Amador Balbona Z, Torres Valle A. Análisis de Riesgo Radiológico en Medicina Nuclear Terapéutica Paciente Específico. *J Health Med Sci*. 2018;4(4):215-23.
12. 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: Centro Nacional de Seguridad Nuclear; 2017.
13. Amador Balbona Z, Torres Valle A. Conversión de matriz de riesgo a análisis de modos y efectos de fallos. *Revista Cubana de Salud y Trabajo*. 2019;20(2):3-10.
14. Amador Balbona Z, Torres Valle A. Causas básicas de fallos aplicadas al análisis de riesgo en práctica médicas con radiaciones ionizantes. *Revista Cubana de Salud y Trabajo*. 2019;20(2):11-8.
15. Da Silva Teixeira F, De Almeida C, Saiful Huq M. Failure mode and effect analysis based risk profile assessment for stereotactic radiosurgery programs at three cancer centers in Brazil. *Medical Physics* [Internet]. 2016;43(1):171-8. Disponible en: <http://doi.org/10.1118/1.4938065>
16. Gutiérrez Pulido H. Calidad total y productividad. 3ed. EE UU: McGraw-Hill/Interamericana; 2010.
17. Organismo Internacional de Energía Atómica, Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores en Seguridad Nuclear, Radiológica y Física. Aplicación de la matriz de riesgo a la radioterapia. IAEA-TECDOC 1685/S [Internet]. Austria: Organismo Internacional de Energía Atómica; 2012 [Citado 15/12/2020]. Disponible en: <https://www.iaea.org/es/publications/8770/aplicacion-del-metodo-de-la-matriz-de-riesgo-a-la-radioterapia>
18. Duménigo C, López Morones R, Ramírez M, Papadópulos S, McDonnell J, Morales López J, et al. Metodología de matrices de riesgo. Actualización de la misma basada en las experiencias en su aplicación. En: XI Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear Congreso Regional IRPA “Cultura de Seguridad: un compromiso compartido”; 2018 abril 16-20; La Habana, Cuba [Internet]. La Habana: Centro Nacional de Seguridad Nuclear; 2018 [Citado 15/12/2020]. Disponible en: <https://www.eventospalco.com/es/eventos/CONGRESOSEGURIDADRADIOLOGICANUCLEAR>
19. The Australian Radiation Incident Register. Radiation protection [Internet]. Australia: ARPANSA; 2020 [Citado 15/12/2020]. Disponible en: <http://www.arpansa.gov.au/radiationprotection/arir/>
20. Nuclear Regulatory Commission United States. Event Notification Report [Internet]. United States: NRC; 2019 [Citado 15/12/2020]. Disponible en: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/event-status/event/index.html>
21. International Atomic Energy Agency. Safety in Radiation Oncology, SAFRON [Internet]. Austria: IAEA; 2019 [Citado 15/12/2020]. Disponible en: <https://rpop.iaea.org/SAFRON/Default.aspx>
22. 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: CNSN; 2015.
23. López Morones R, Duménigo González C, Espinosa S M, Cruz R, Papadópulos S, Joana G. Overview of Risk Models and Results Obtained by Foro Project (SEVRRRA 2) for IMRT and DNM Techniques. En: International Conference on Radiation Safety: Improving Radiation Protection in Practice; 2020 Sep 09-20; Austria [Internet]. Austria: IAEA; 2020. [Citado 15/12/2020]. Disponible en: <https://conferences.iaea.org/event/213/>
24. Xu A, Bhatnagar J, Bednarz G, Flickinger J, Arai Y, Vacsulka J, et al. Failure modes and effects analysis (FMEA) for Gamma knife radiosurgery. *J Appl Clin Med Phys* [Internet]. 2017;18(6):152-68. Disponible en: <http://doi.org/10.1002/acm2.12205>
25. Herrera DC, Arciniegas M, Gómez JA, Resultados e interpretación al aplicar la técnica de matriz de riesgo en braquiterapia. *Revista Investigaciones y Aplicaciones Nucleares* [Internet]. 2019;3:5-11. Disponible en: <https://doi.org/10.32685/2590-7468/invapnuclear.3.2019.506>
26. Darrar A, Mahmoud R, Ezzel Din M, Khalaf A, Mostafa A. Risk assessment for occupational potential exposure at cobalt teletherapy units. *Journal of Radiation Research And Applied Sciences* [Internet]. 2019 [Citado 15/12/2020];12(1):140-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/16878507.2019.1618090>
27. Saiful Huq M, Fraass B, Dunscombe P, Gibbons J, Ibbott G, Mundt A, et al. The report of Task Group 100 of the AAPM: Application of risk analysis methods to radiation therapy quality management. *Med Phys* [Internet]. 2016 [Citado 15/12/2020];43(7):4209-62. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1118/1.4947547>

Conflictos de intereses

Los autores no declaran conflictos de intereses relacionados con la presente investigación.

Contribución de autoría

Zayda Haydeé Amador Balbona: conceptualización de la investigación; curación de los datos; redacción del borrador original; redacción, revisión y edición del artículo.

Antonio Torres Valle: software; redacción, revisión y edición del artículo.

Adlin López Díaz: curación de los datos; redacción del borrador original; redacción, revisión y edición del artículo.

Todos los autores participamos en la discusión de los resultados y hemos leído, revisado y aprobado el texto final del artículo.