

APLICACIÓN DE NUEVO ALGORITMO PARA ANÁLISIS DE RIESGO EN RADIOTERAPIA

Torres, A¹. y Montes de Oca, J.

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas

RESUMEN

La incorporación de los avances de la ciencia y la técnica en la aplicación de la radioterapia representan un reto por cuanto, se diversifica también la aparición de fallos de equipos o errores humanos que desencadenan consecuencias desfavorables para los pacientes, el público o los trabajadores ocupacionalmente expuestos, obligando a incorporar además, como parte de estos esfuerzos, nuevas técnicas para la evaluación del riesgo y la detección de los puntos débiles que pueden llevar a dichas consecuencias. En el estado del arte de la evaluación del riesgo en prácticas de radioterapia se encuentra el código SEVRRRA, basado en el método de matriz de riesgo. El sistema SEVRRRA ha sido utilizado con preferencia, ante otros métodos, en múltiples aplicaciones de estudios de riesgo en radioterapia con acelerador lineal, braquiterapia de alta dosis y radioterapia con Co-60, entre otras. Por otra parte, partiendo del desarrollo de herramientas para control de configuraciones peligrosas en plantas nucleares, se ha desarrollado el código SECURE, el cual, en su variante de empleo de matriz de riesgo, ha logrado una cómoda interfaz hombre máquina para realizar análisis de riesgo en radioterapia, consiguiendo modelar múltiples combinaciones de escenarios (eliminación-potenciación de barreras y/o reductores, incorporación de nuevos componentes, evaluaciones de riesgos por secuencias, etapas y procesos completos y combinación de estos casos, entre otros). Tales capacidades facilitan, notablemente, los estudios y aplicación de optimización del riesgo en estas prácticas. En el sistema SECURE-Matriz de Riesgo se incorporan capacidades gráficas y analíticas que flexibilizan los análisis y la documentación posterior de todos los resultados. El documento muestra la aplicación del sistema propuesto a un estudio integral de riesgo del proceso de tratamiento de radioterapia con acelerador lineal.

1. INTRODUCCIÓN

Dados los peligros asociados al uso de fuentes de radiaciones ionizantes y las posibles sub o sobreexposición de los pacientes, así como las probables exposiciones accidentales de los trabajadores ocupacionalmente expuestos o el público, los análisis de riesgo aplicados al proceso de tratamiento de radioterapia constituyen hoy una práctica común e ineludible [1-12]. Adicionalmente a ello, resulta innegable que, según expertos en el área, los niveles de calidad exigidos a las prácticas de radioterapia se han direccionado a través del empleo de los análisis de riesgo [10].

Estos análisis se han realizado empleando diversas metodologías. Entre ellas destacan los Análisis de Criticidad de Modos y Efectos de Fallos (FMECA) [5, 9, 10], los Análisis Preliminares de Riesgo (PRA) [6], los Análisis Probabilísticos de Seguridad (PSA) [1] y el

¹ atorres@instec.cu

empleo de la Matriz de Riesgo [2, 3, 8]. Todos ellos presentan ventajas y desventajas. Como una breve síntesis [6] de estas últimas destacan, la no sistematicidad (en el caso de FMECA); una concepción difícil de aprender y un número de escenarios, descriptores del tratamiento de radioterapia, poco realistas (en el caso de PRA); la necesidad de FMECA o análisis de peligros previos (para los métodos PSA y matriz de riesgo); un lenguaje probabilista, alto nivel de expertos, herramientas informáticas complejas, dificultad para considerar los fallos de modo común (en el método PSA); y la consideración de fallos simples solamente (para los métodos FMECA y matriz de riesgo).

A pesar de ello, una metodología de análisis de riesgo, frecuentemente utilizada por la comunidad mundial, ha sido la matriz de riesgo. La base informática más difundida de esta metodología es el código SEVRRRA [7, 8]. El Sistema de Evaluación de Riesgo en Radioterapia (SEVRRRA) es una herramienta informática diseñada para aplicar la metodología de Matriz de Riesgo en servicios de radioterapia donde se apliquen técnicas de teleterapia con haces de ^{60}Co , con haces de aceleradores (LINAC) y braquiterapia de alta tasa de dosis y baja tasa de dosis.

Esta herramienta está concebida para que los servicios/departamentos de radioterapia puedan usarla “*on line*” y realizar su autoevaluación de riesgo e implementar aquellas barreras y reductores que le permitan reducir los riesgos. El Sistema de Evaluación de Riesgo en Radioterapia (SEVRRRA) es una herramienta muy útil, por su fácil asimilación para el usuario, y capacidad para brindar el perfil de riesgo de un determinado servicio, así como dar recomendaciones, sin embargo presenta limitaciones en cuanto a:

- Flexibilidad para modelar configuraciones complejas que surgen a partir de variaciones de los contribuyentes a las secuencias accidentales (por ejemplo, inhabilitación simultánea de barreras y/o reductores).
- Obtención de indicadores que contabilicen ordenamientos de contribuyentes para múltiples variantes de análisis.
- Representación gráfica y analítica de secuencias accidentales, etapas y procesos completos.

Estas situaciones incrementan notablemente el trabajo de los analistas involucrados en la tarea.

Por otra parte, utilizando matrices de dependencias se han realizado análisis de riesgo semicuantitativos, y se han implementado sistemas de control de configuraciones peligrosas en centrales nucleares e instalaciones de producción de isótopos, entre otras [13]. En este caso, la base informática ha sido el código SECURE Ver. 2.0, el cual tiene como aplicación de más alto nivel, su uso como sistema consejero sobre riesgo en la Central Nuclear de Embalse, Argentina [14].

Partiendo de esta situación constituye **objeto de investigación** de este trabajo, el análisis de riesgo del proceso de tratamiento de radioterapia, siendo el **problema científico**, las “limitaciones existentes en cuanto a posibilidades de análisis y flexibilidad de los estudios de riesgo en el servicio de radioterapia”.

De aquí que la **hipótesis** será que “la implementación de un sistema de control de configuraciones peligrosas combinado con las capacidades de la metodología Matriz de Riesgo, aportará amplias posibilidades de análisis y la flexibilidad necesaria para el estudio

de los complejos escenarios de riesgo presentes durante el proceso de tratamiento de radioterapia”. De esta forma, constituye **objetivo general** de la investigación “desarrollar un sistema de análisis de riesgo basado en la metodología Matriz de Riesgo, que cuente con amplias capacidades de análisis y flexibilidad para los complejos escenarios de riesgo presentes en las probables secuencias accidentales durante el proceso de tratamiento de radioterapia”.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología “Matriz de Riesgo” ha sido aplicada ampliamente en la industria con riesgo potencial asociado (química, petrolera, etc.), en el sector bancario y crediticio, así como en distintas prácticas médicas [3, 15].

2.1. Materiales.

Una útil y amplia información en cuanto a tratamientos de radioterapia, está recogida en el documento IAEA TECDOC-1685 “Aplicación del método de la matriz de riesgo a la radioterapia” [2]. Esta información fue automatizada a través del software SEVRRRA, con el fin de hacer aplicable y eficaz la metodología y sus resultados. Ambos materiales fueron utilizados como base y punto de partida para la realización este trabajo, escogiéndose, particularmente, el caso de análisis de riesgo en radioterapia con acelerador lineal.

2.2. Generalidades del método de la Matriz de Riesgo.

El método de la “Matriz de Riesgo” es utilizado como herramienta para establecer prioridades en la gestión del riesgo de una instalación a partir del análisis combinado de la frecuencia de un evento indeseado, la probabilidad de fallo de las barreras existentes y sus consecuencias. Este método, aunque no permite cuantificar el riesgo numéricamente, hace posible clasificarlo en niveles, lo cual resulta suficiente para establecer prioridades, sin necesidad de análisis de riesgos más precisos pero más costosos.

Para aplicar el método de la “Matriz de Riesgo” es preciso evaluar cada secuencia accidental desencadenada por la ocurrencia de un determinado suceso iniciador. De esta forma, un determinado error humano o fallo de equipo (suceso iniciador), que ocurre con una frecuencia determinada (f), puede dar lugar a las consecuencias indeseadas. Existen una serie de defensas, que pueden consistir en una o varias barreras (enclavamientos, alarmas o procedimientos) capaces de detectar el problema e impedir que el suceso iniciador se convierta en un accidente. Sin embargo, es innegable una determinada probabilidad (P) de que estas barreras fallen, en cuyo caso ocurriría el accidente, que se manifestaría con unas consecuencias determinadas (C). En su variante más compleja esta probabilidad de fallo de barreras se evalúa en función de la combinación de robusteces de las mismas.

La magnitud que caracteriza finalmente la secuencia accidental es el riesgo (R), que es función de las tres variables independientes, según la ecuación 1 (la frecuencia del suceso iniciador, la probabilidad de fallo de las barreras y la gravedad de las consecuencias).

$$R = f * P * C \quad (1)$$

En el método de la “Matriz de Riesgo”, las variables no se cuantifican sino que se clasifican en niveles. En el documento se utilizan cuatro niveles para cada una de las variables. Las variables “frecuencia” y “probabilidad de fallo de barreras” tienen los niveles: alto (A), medio (M), bajo (B) y muy bajo (MB) mientras que la variable “consecuencias”, tiene los niveles: muy alto (MA), alto (A), medio (M) y bajo (B), con lo cual se logra que la matriz de riesgo sea más conservadora en cuanto a la variable “consecuencias”. Las clasificaciones asignadas a la frecuencia y las consecuencias pueden modificarse, respectivamente, en función de los reductores de frecuencia y consecuencias, los que, a su vez, se evalúan en función de sus robusteces, con una metodología similar a la determinación de probabilidad de las barreras. Finalmente, como resultado de la aplicación del método, los riesgos quedan categorizados en niveles: muy alto (MA), alto (A), medio (M) y bajo (B). Ello es el resultado de la aplicación de una matriz en la cual destacan 64 combinaciones de los parámetros referidos de acuerdo a su clasificación.

El proceso de análisis habitualmente utilizado, ya sea en sus variantes preliminares, de manera manual, o utilizando el código SEVRRRA, ha sido la aplicación de dos etapas sucesivas de filtrado. En la primera, conocida como primer cribado, se seleccionan las secuencias más importantes partiendo de métodos simplificados de evaluación de efectividad de barreras. En el segundo cribado se realizan reevaluaciones sobre estas secuencias importantes, incorporando la robustez de las barreras y de los reductores de frecuencias de iniciadores y de consecuencias para determinar el perfil de riesgo final para todo el servicio de radioterapia. Este análisis, operando en profundidad, se aplica a la optimización de los riesgos y la detección de puntos débiles. Las medidas deducidas pueden incluir el rediseño de la práctica por incorporar nuevas barreras y/o reductores y el análisis económico de las secuencias dominantes, evaluadas por el costo de las medidas para reducir su riesgo.

2.3. Algoritmo del sistema SECURE-Matriz de Riesgo.

El algoritmo del sistema SECURE en su versión para Matriz de Riesgo ha sido simplificado e ilustrado en la Figura 1. La informatización del proceso de análisis de riesgo en radioterapia a través de SECURE-Matriz de Riesgo permite visualizar, paulatinamente, desde los estudios contenidos en el SEVRRRA Ver. 2.0 hasta otras potencialidades muy flexibles para el análisis y documentación de los resultados.

La matriz de criterios permite establecer las bases (codificación) mediante las cuales serán identificadas las etapas incluidas en el tratamiento, así como las cantidades de secuencias participantes, cuyo nivel de riesgo será tomado como guía para establecer el riesgo atribuido a cada etapa y al proceso en cuestión.

La matriz de dependencias es la base fundamental del análisis. En la misma se enlazan las secuencias accidentales con sus procesos correspondientes, así como se declaran las estructuras de las secuencias en iniciador, barreras y consecuencias, se desarrollan los iniciadores con sus correspondientes reductores, las barreras con sus correspondientes redundancias y las consecuencias con sus respectivos reductores.

Una particularidad de la matriz de dependencias es que permite relacionar la información declarada en la matriz de criterios a nivel de secuencias y de etapas. La identificación de

secuencias accidentales es un paso básico en el análisis de la matriz para cualquiera de sus variantes de análisis de riesgo. En base a una estructura preestablecida, el sistema es capaz de identificar las secuencias accidentales y, a continuación, los términos que representan a los Sucesos Iniciadores, las Barreras y las Consecuencias.

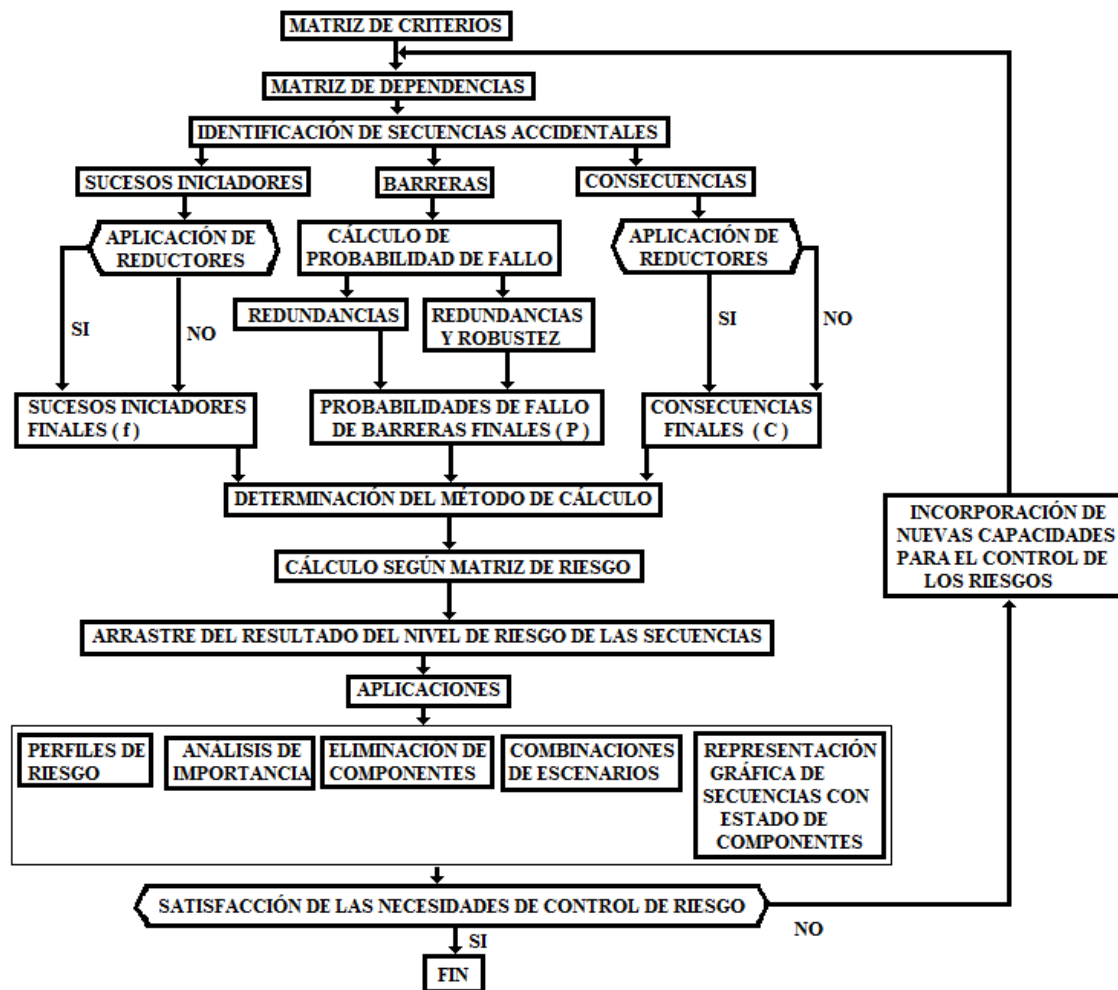


Figura 1. Algoritmo del SECURE-Matriz de Riesgo.

También por este análisis es posible conocer la presencia de reductores para los iniciadores y las consecuencias y la determinación de las probabilidades de fallo de las barreras. Los lazos que representan la aplicación de los reductores, se cumplen o no, en dependencia del tipo de análisis de riesgo que se desarrolle posteriormente, mientras que la determinación del mecanismo de cálculo de probabilidad de fallo de las barreras (redundancia o robustez), también dependerá del tipo de análisis de riesgo que el analista decida.

Con los valores finales del análisis de cada término de una secuencia, el sistema puede aplicar diferentes métodos de análisis de riesgo, desde el más sencillo, conocido como “evaluación simple,” que solo considera las redundancias de las barreras, para el cálculo de su probabilidad de fallo, y no tiene en cuenta los reductores, pasando por niveles de complejidad

mayores, que incluyen “Con criterios de robustez de barreras” para su cálculo de probabilidad, o análisis más complejos que adicionan a los análisis de robustez de las barreras, los de robustez de los reductores (“Con criterios de robustez de barreras-reductores simple”), hasta llegar al más integral (“Con criterios de robustez de barreras-reductores complejo”) que incluye análisis de todas las robusteces, unido a la diferenciación de reglas para evaluar las consecuencias sobre pacientes y sobre el resto del personal. Los resultados de estos análisis se arrastran a través de la matriz de dependencias, y utilizando un algoritmo recursivo, desde cada contribuyente de la secuencia al cálculo del riesgo de la misma, de estas a los procesos en los que las mismas participan, y de cada uno de los procesos al valor integral del riesgo del servicio de radioterapia.

Finalmente, las posibilidades de aplicaciones del sistema son múltiples e incluyen capacidades analíticas y gráficas.

Los perfiles de riesgo pueden ser representados a través de gráficos de barras, tortas o tablas analíticas, en las que es posible ordenar los contribuyentes por variados criterios, a elección del analista. Cada tipo de análisis de riesgo, de los previstos en el sistema puede aportar perfiles diferentes, los que constituyen una base de comparación muy útil, pues permiten apreciar la incorporación paulatina de análisis más integrales.

Como análisis de importancia destacan múltiples variantes, desde importancia estructural de los componentes hasta importancia con robustez, en los casos en que ello es posible (barreras y reductores), se definen medidas de importancia para considerar los efectos de potenciación de cada barrera hasta su máxima robustez posible, otras para analizar su contribución al decremento de la efectividad de las barreras y reductores cuando disminuyen su robustez, algunas para analizar directamente las cantidades de secuencias cuyo riesgos se incrementan cuando se inhabilitan barreras o reductores, entre otras opciones. Todos estos análisis pueden ser apreciados en forma de histogramas, donde se aplica el principio de Pareto [16] para priorizar las mayores contribuciones.

Las secuencias accidentales pueden ser ilustradas gráficamente, representándose el estado de cada uno de sus contribuyentes (frecuencias, barreras, probabilidades y riesgos) con un código de colores predefinido (Figura 2).

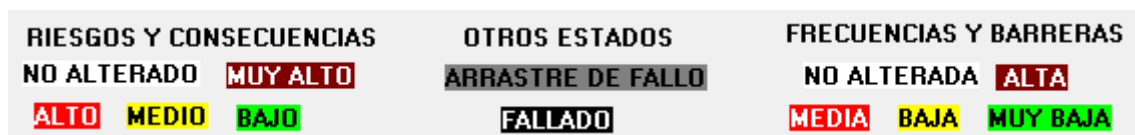


Figura 2. Código de colores empleado en SECURE-Matriz de Riesgo para clasificar los componentes.

Como análisis de sensibilidad se prevén todos aquellos que el usuario demande, incluyendo la potenciación y/o degradación de barreras y reductores, considerando la combinación de factores que se desee. La eliminación de componentes permite cambiar los escenarios de riesgo, partiendo de que, en estos casos, se pueden repetir todos los análisis anteriores, pero

considerando casos de iniciadores, barreras, consecuencias, y hasta secuencias eliminadas. Una potente aplicación es la combinación de escenarios complejos que mezclan todas las potencialidades descritas.

La realización integral de un estudio puede determinar la insuficiencia de las medidas introducidas en la práctica para el control de los riesgos. En este caso, puede ser necesario reconfigurar la matriz de dependencias introduciendo nuevas barreras o reductores de frecuencias y/o consecuencias, o también modificando las secuencias accidentales, inicialmente postuladas. Para estos casos, se ha previsto el lazo ilustrado, el que representa el reacondicionamiento de la matriz de dependencias para los nuevos escenarios de riesgo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La matriz de criterios que representa al riesgo en radioterapia con acelerador lineal refleja las 11 etapas del proceso. La matriz de dependencias contiene 141 secuencias accidentales correspondientes a igual número de iniciadores. En la formación de las secuencias se utilizan 96 barreras, 40 reductores de frecuencia y 29 reductores de consecuencias. Estas secuencias tributan a 5 tipos de consecuencias. De las 141 secuencias, 132 corresponden a efectos sobre pacientes y 9 a efectos sobre trabajadores ocupacionalmente expuestos y al público.

Un fragmento de la matriz de dependencias se aprecia en la Figura 3, la que representa además la aplicación de una de las opciones de cálculo de riesgo contenidas en SECURE-Matriz de Riesgo (“Evaluación Simple”).

276	PCT		SEC	@SEC37(A)	R1:@SI-PAC4.5R2:@B-B37	R3:@C-C37
277	PCT			@SI-PAC4.5(M)	SI-PAC4.5(M)	RF-10(B) RF-18(N)
278	PCT			@B-B37(B)	R1:@B37-12 R2:@B37-17	R3:@B37-67
279	PCT			@B37-12	B-12(N)	
280	PCT			@B37-17	B-17(B)	
281	PCT			@B37-67	B-67(N)	
282	PCT			@C-C37(A)	C-PAC(A)	RC-62(R) RC-74(R)
283	PCT		SEC	@SEC38(M)	R1:@SI-PAC4.6R2:@B-B38	R3:@C-C38
284	PCT			@SI-PAC4.6(B)	SI-PAC4.6(B)	RF-10(B) RF-18(N)
285	PCT			@B-B38(B)	R1:@B38-12 R2:@B38-17	R3:@B38-67
286	PCT			@B38-12	B-12(N)	
287	PCT			@B38-17	B-17(B)	
288	PCT			@B38-67	B-67(N)	
289	PCT			@C-C38(A)	C-PAC(A)	RC-62(R) RC-74(R)

Figura 3. Cálculo del nivel de riesgo de dos secuencias (37 y 38) utilizando el método “evaluación simple”.

Como se aprecia, el código de colores (ver Figura 2) permite identificar dos niveles de riesgo para las secuencias resaltadas, Alto (A) para la secuencia 37 y Medio (M) para la 38. De

manera similar, se aprecian los niveles estimados para iniciadores, barreras y consecuencias. Este proceso puede ser representado gráficamente en las propias secuencias de interés.

Además, es posible graficar los análisis utilizando las múltiples opciones de representación gráfica del sistema. A continuación, en la Figura 4 se ilustran dos gráficas comparativas.

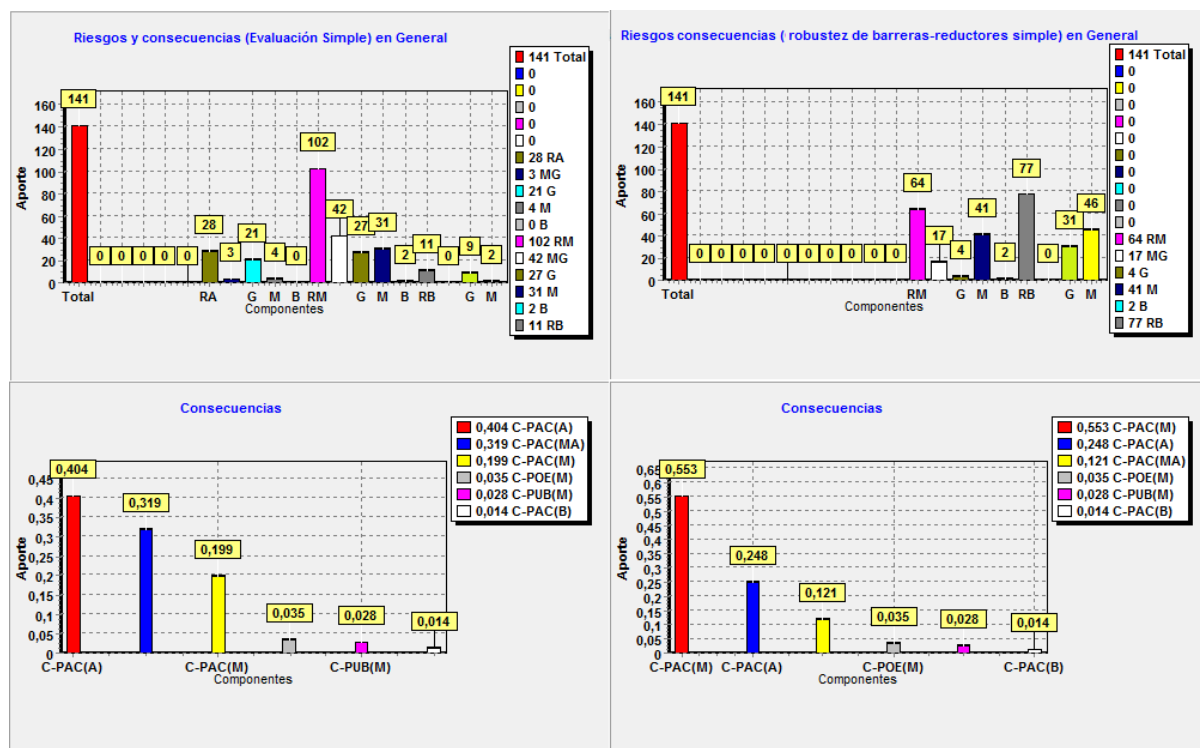


Figura 4. Perfiles de riesgo y de consecuencias para los métodos de análisis de riesgo “Evaluación simple” (izquierda) y “Con robustez de barreras – reductores simple” (derecha).

La aplicación de métodos diversos de evaluación de riesgo permite apreciar el efecto sobre la distribución de los riesgos (parte superior) cuando no se consideran (izquierda) y cuando se tienen en cuenta (derecha) las robusteces de las barreras y reductores. En este caso se presenta también la distribución de los rangos de consecuencias. Obsérvese como desaparecen los riesgos altos (RA) en el histograma derecho al aplicarse los reductores. En la parte inferior se aprecia el cambio de distribución de las consecuencias para pacientes y resto del personal, entre los casos de ausencia (izquierda) y presencia (derecha) de reductores de consecuencias. En la izquierda, las fracciones mayores de consecuencias corresponden a pacientes con niveles altos {C-PAC(A)} y muy altos {C-PAC(MA)}. En la derecha, al incorporar los reductores de consecuencias, la fracción más importante de afectación de los pacientes pasa al rango de los valores medios {C-PAC(M)}.

Los resultados de los cálculos de riesgo a nivel de secuencias, son arrastrados hacia cada una de las etapas incluidas en el análisis de riesgo del servicio de radioterapia, de manera analítica y gráfica (Figura 5). El código de colores utilizado corresponde con el descrito en la Figura 2.

Con robustez de barreras

MATRIZ DE DEPENDENCIAS DE SISTEMAS

No	Sistema	Red	IDE-Ciñ	Compon. (CMR)	DEP1	DEP2	DEP3	DEP4	DEP5	DEP6	DEP7
1	RAD			@LINAC(A)	@IEQ	@ACPS	@MANEQ	@PCT	@ADAP	@DV	@PT
2	RAD			@LINAC(A)	@EM	@IT	@PPTD	@EJT			



Figura 5. Representación analítica y gráfica del arrastre de resultados del análisis de riesgo desde secuencias a etapas del tratamiento.

El histograma de la Figura 7 muestra el caso de incrementos de riesgo (cantidad de secuencias cuyo riesgo crece) ante inhabilitación de barreras. En dicha figura puede ser apreciada la importancia diferenciada para 4 de las barreras utilizadas en el control de los riesgos en radioterapia con acelerador lineal (B-21, B-67, B-12 y B-71).

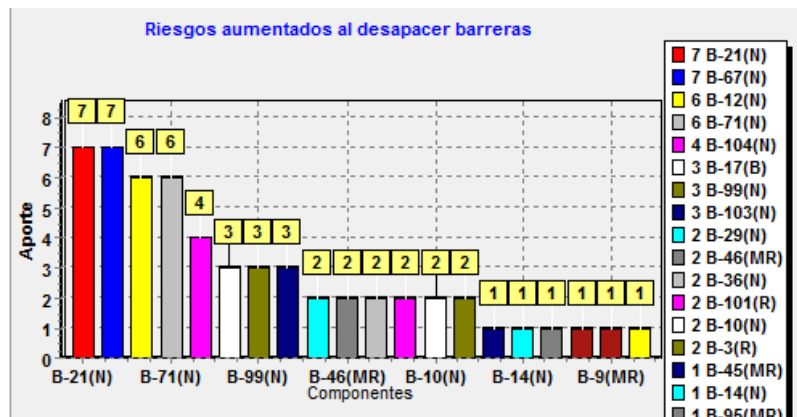


Figura 7. Distribución de barreras por el incremento de riesgo asociado a su inhabilitación.

Una potencialidad similar a la ilustrada en la Figura 7 se ha desarrollado para reductores de frecuencias y de consecuencias.

El sistema SECURE-Matriz de Riesgo permite además la inhabilitación simultánea de componentes, por ejemplo de barreras y reductores (configuración degradada) y su posterior análisis de sensibilidad. Una muestra de una combinación importante, utilizando esta opción, se logra cuando se inhabilitan las barreras “Imagen portal en la sesión inicial de tratamiento” (B-71), “Dosimetría in vivo” (B-21), junto al reductor de frecuencia, “Mantener la carga de trabajo moderada” (RF-24) y los reductores de consecuencia “Revisión médica semanal del paciente” (RC-74) y “Posicionado diario del paciente” (RC-62). Tal combinación ha sido configurada a propósito, considerando la alta importancia de estos contribuyentes.

Para demostrar la validez de esta aseveración, se ilustra en la Figura 8, a través de una comparación, los perfiles de riesgo para la configuración original y para la configuración degradada de referencia. El incremento de los riesgos altos (RA) en presencia de la configuración degradada confirma la importancia de los componentes inhabilitados.

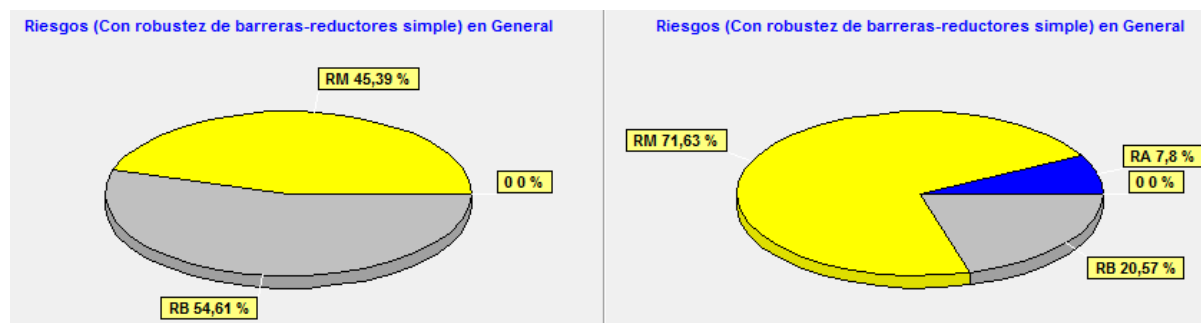


Figura 8. Gráfica comparativa de perfiles de riesgo entre la configuración original y la configuración degradada del tratamiento.

3. CONCLUSIONES

1. Se desarrolló un sistema flexible y con amplias capacidades para realizar análisis de riesgo, basado en las metodologías de “Control de Configuración” y “Matriz de Riesgo”.
2. Se aplicó a estudios complejos como el proceso de tratamiento de radioterapia con acelerador lineal, demostrándose la consistencia de los resultados obtenidos mediante comparaciones con los resultados publicados en el documento IAEA TECDOC-1685 [2] y los derivados del software SEVRRRA [7].
3. Se desarrollaron nuevas opciones de análisis de riesgo e indicadores, que facilitan notablemente el trabajo del analista y la realización de aplicaciones.

4. REFERENCIAS

1. Vilaragut, J.J., Ferro, R., Rodríguez, M., Ortiz, P., et al. “Análisis Probabilista de Seguridad (APS) del proceso de tratamiento de radioterapia con un Acelerador Lineal de usos médicos. *Proceedings del Congreso de la Asociación Internacional de Protección Radiológica (IRPA 12)*, Buenos Aires (2008).
2. International Atomic Energy Agency, *Aplicación del método de la matriz de riesgo a la radioterapia*, IAEA-TECDOC Series, IAEA. Vienna (2012).
3. Vilaragut, J.J, Ferro R, Troncoso M: “Aplicación de matrices de riesgo para evaluar la seguridad del tratamiento con teleterapia”, *Revista Nucleus* **No. 39** (2006).
4. International Commission on Radiological Protection, “Prevention of Accidental Exposure to Patients Undergoing Radiation Therapy”, **ICRP Publication 86. *Annals of the ICRP 30 (3)***, Pergamon Press, Oxford (2002).
5. Duménigo, C., Ramírez, M.L., Ortiz López, P., et al. “Risk Analysis Methods: their importance for the safety assessment of practices using radiation”, *Proceedings del Congreso de la Asociación Internacional de Protección Radiológica IRPA-2008* (2008).
6. ACCIRAD, *Patient safety in external beam radiotherapy-Guidelines on risk assessment and analysis of adverse events and near misses*(2013).
7. Duménigo, C., “Accident prevention in radiotherapy. Using of the software SEVRRRA to implement the risk matrix method”, (2013).
8. Mc Donnell, J., Papadopulos, S., Paz, A., et al., « Aplicación de SEVRRRA para la evaluación de condiciones de riesgo en braquiterapia HDR”, *Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares*, IRPA, Rio de Janeiro, Brazil (2013).
9. Sawanta, A., Dieterich, S., “Failure mode and effect analysis-based quality assurance for dynamic MLC tracking systems”, Stanford University, Stanford, California, *Med. Phys.* **37**, (2010).
10. Saiful Huq, M., “A method for evaluating quality assurance needs in radiation therapy”, *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, **Vol. 71, No. 1**, Supplement, pp. S170–S173 (2008).
11. Holmberg, O., “Learning from accidents and incidents SAFRON”, Vienna, (2013).
12. Lee, R.C., “Quantitative approaches to patient safety: Research in Risk Analysis and Risk Management as Applied to Radiotherapy”, October, (2004).
13. Torres, A., Perdomo, M., Rivero, J.J., “Computerized matrix of safety basic principles: an useful alternative for their learning and application”, *Revista Ingeniería Mecánica*, **Vol. 14, No. 3**, ISSN 1815-5944, p. 221-229, (2011).
14. Torres, A., Perdomo, M., “Control de configuraciones peligrosas en centrales nucleares a través de matrices de dependencia”, *Revista Nucleus*, **No. 47**, pag. 8 – 15, ISSN 0864-084X, web: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-084X2010000100002&script=sci_arttext. (2010)
15. Kolluru, R., Bartell, S., Pitblado, R., Stricoff, S., “*Risk Assessment and Management Handbook*”, McGraw-Hill, New York (1996).
16. Salomón, J., Perdomo, M., Torres, A., Valhuerdi, C., et al. “Análisis de Riesgo Industrial”, ISBN 980-00-1491-8, Universidad Central de Venezuela, Venezuela (2000)