

Universidad Miguel Hernández.

Master Universitario en Prevención de Riesgos
Laborales.



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

RECOMENDACIONES PREVENTIVAS PARA LA
APLICACIÓN DE RADIOTERAPIA MEDIANTE
BRAQUITERAPIA.

Alumno: Beatriz Quiles Hevia

Tutor: Jerónimo Maqueda.

Año académico 2021/2022.



INFORME DEL DIRECTOR DEL TRABAJO FIN MASTER DEL MASTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

D. JERÓNIMO MAQUEDA BLASCO, Tutor del Trabajo Fin de Máster, titulado 'RECOMENDACIONES PREVENTIVAS PARA LA APLICACIÓN DE RADIOTERAPIA MEDIANTE BRAQUITERAPIA' y realizado por la estudiante Beatriz Quiles Hevia.

Hace constar que el TFM ha sido realizado bajo mi supervisión y reúne los requisitos para ser evaluado.

Fecha de la autorización: 14 de junio de 2022

Fdo.: Jerónimo Maqueda Blasco
Tutor/a TFM



RESUMEN

La braquiterapia es una técnica especial de radioterapia, en la que se administra el tratamiento colocando una o varias fuentes radioactivas dentro o alrededor del tumor. Al tratarse de un tratamiento con fuentes radiactivas es de vital importancia las medidas de seguridad para la protección radiológica.

El objetivo del TFM ha consistido en la identificación de las medidas preventivas que garanticen la seguridad para la aplicación de braquiterapia mediante una fuente radiactiva de Iridio-192. Ello ha permitido describir y determinar las condiciones de seguridad en el almacenamiento de la fuente radiactiva y las normas de trabajo de las diferentes áreas en función del riesgo de radiación, tanto en la práctica de la braquiterapia intersticial como en la braquiterapia superficial (Plesioterapia) en las instalaciones del servicio de Oncología Radioterápica de un hospital universitario terciario.

Los resultados ponen de manifiesto que el servicio de Oncología Radioterápica del hospital universitario terciario evaluado cumple con todos los requisitos de seguridad establecidos por el consejo de seguridad nuclear y los Reales Decretos 1439/2010, 1566/1998 y 783/2001. No detectándose ningún aspecto negativo en materia de prevención de riesgos laborales. Si bien hemos creído necesario la elaboración de un algoritmo de emergencia para dos supuestos concretos como son: el no retorno de la fuente y el desprendimiento de la fuente. Estos algoritmos ponen de manifiesto que el aspecto más importante ante un hipotético accidente es el conocimiento de las medidas de seguridad para tomar decisiones rápidas y ajustadas al riesgo detectado.

A la vista de nuestros resultados podemos concluir que la técnica de braquiterapia desarrollada en el servicio de Oncología Radioterápica del hospital evaluado no conlleva un riesgo laboral añadido para el personal, si bien es necesario el conocimiento de pautas rápidas y eficaces ante hipotéticos accidentes durante la praxis de la braquiterapia intersticial y superficial a través de algoritmos de emergencia sencillos y prácticos puestos en conocimiento de todas las categorías laborales para actuar de la manera más eficiente y segura.

PALABRAS CLAVE: braquiterapia, protección radiológica, seguridad, accidente, prevención.

Índice.

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Historia y evolución de la braquiterapia.	5
1.2. Generalidades de la Braquiterapia	5
1.2.1. Isótopos radioactivos.	6
1.2.2. Tipos de Braquiterapia.	7
1.3. Procedimiento en un tratamiento de Braquiterapia de alta tasa de dosis.	10
1.4. Accidentes en Braquiterapia.	11
1.5. Legislación en materia de protección radiológica.....	12
1.6. Salud laboral y radiaciones ionizantes.	15
1.7. Gestión y eliminación de residuos.	16
2. JUSTIFICACIÓN.	17
3. OBJETIVOS	18
4. MATERIAL Y MÉTODOS.	19
5. RESULTADOS.	20
5.1. Descripción detallada de las tareas de las personas que realizan la técnica de braquiterapia.	20
5.1.1. Técnica braquiterapia intersticial:.....	20
5.1.2. Técnica braquiterapia superficial (Plesioterapia):.....	25
5.2. Organización del servicio.	26
5.3. Clasificación del personal. Valores Límites de Exposición.	27
5.4. Evaluación de riesgo de irradiación. Normas de trabajo.....	28
5.5. Medidas de protección colectiva.	30
5.5. Medidas de protección individual.	41
5.6. Medidas de vigilancia de la salud.....	41
5.7. Protección de maternidad y lactancia.....	42
5.8. Algoritmos de seguridad.	44
6. DISCUSIÓN.	48
7. CONCLUSIONES.	50
8. BIBLIOGRAFÍA.....	51

Índice de figuras.

<i>Figura 1. Inserción de agujas de braquiterapia de mama. Administración de tratamiento.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2. Aplicadores en braquiterapia ginecológica.</i>	<i>8</i>
<i>Figura 3. Plesioterapia de piel.</i>	<i>8</i>
<i>Figura 4. Sistema Flexitron de Alta tasa de Dosis.</i>	<i>9</i>
<i>Figura 5. Esquema de una instalación de braquiterapia de alta tasa.</i>	<i>11</i>
<i>Figura 6. Diario de operaciones.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 7. Zonas vigiladas con riesgo de contaminación y riesgo de irradiación.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 8. Área de braquiterapia señalizada como zona vigilada con trébol gris claro.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 9. Zona de quirófano señalizada como zona controlada con trébol verde.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 10. Búnker de braquiterapia mientras no se realiza un tratamiento, señalizado como zona controlada de permanencia reglamentaria, con trébol naranja.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 11. Contenedor blindado y pinzas para manipular la fuente.</i>	<i>35</i>
<i>Figura 12. Tratamiento en curso que indica que la fuente está en el catéter nº1.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 13. Seta de emergencia en el puesto de control y en el búnker de braquiterapia.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 14. Botón de último hombre.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 15. Señal luminosa verde y panel en cero, indican que no existe radiación en estos momentos.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 16. Señal luminosa roja y panel con nivel elevado, indican que existe radiación en estos momentos.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 17. Llave de seguridad en posición de no tratamiento.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 18. Sistema de video vigilancia.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 19. Algoritmo de emergencia. No retorno de la fuente.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 20. Mapa del área de braquiterapia con los dispositivos de seguridad numerados....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 21. Algoritmo de emergencia. No retorno de la fuente. Continuación.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 22. Algoritmo de emergencia. Desprendimiento de la fuente.....</i>	<i>47</i>

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Historia y evolución de la braquiterapia.

Los inicios de la Radioterapia se remontan al siglo XIX ¹ dónde una serie de acontecimientos impulsaron su nacimiento. El primer hito fue el descubrimiento de los Rayos X por parte del físico alemán Wilhelm Röntgen en 1895, a lo que le seguiría un año después Henry Becquerel con su descubrimiento de la radioactividad natural. Por su parte, el descubrimiento de Marie Curie del radio en 1898 marco el inicio de la utilización de las radiaciones ionizantes como tratamiento. Al inicio se utilizó la fuente de Ra223 como la más frecuente, en la actualidad ha sido descartada por su riesgo radiobiológico y sustituida por Cs137, Ir 192, Co60, Pd103...

El tratamiento de braquiterapia ha ido evolucionando a lo largo de los años, alcanzando su máximo nivel de desarrollo en la última década de forma exponencial ². Los dos progresos principales son, por una parte, los avances en la planificación y dosimetría que ha pasado en los últimos años de dosimetrías geométricas y reglas fijas con los sistemas de Manchester y París a programas de planificación sofisticados con programaciones robustas como el sistema Motecarlo y planificadores en tiempo real ³. Y, por otra parte, el desarrollo de nuevos aplicadores de menor tamaño y la evolución de las técnicas de imagen para la adquisición de las planificaciones, lo que nos permite reducir los volúmenes tumorales y generar menor toxicidad con los tratamientos ⁴.

1.2. Generalidades de la Braquiterapia ⁵.

La braquiterapia es una modalidad de Radioterapia que utiliza fuentes radioactivas para administrar la dosis directamente en el interior del tumor o alrededores. Estas fuentes se colocan en contacto con la piel del paciente, dentro del tumor, alrededor del tumor o dentro de cavidades naturales del paciente.

La principal ventaja que presenta frente a la radioterapia externa es la rápida caída de dosis en función de la distancia de la fuente, lo que permite administrar altas dosis en el tumor y mínimas dosis en los tejidos sanos que rodean al tumor, esta dosis siempre es menor que la recibida con la radioterapia externa.

Los principales inconvenientes son la accesibilidad al tumor, es decir, debe realizarse sobre volúmenes accesibles o bien insertando agujas en su interior o a través de guías o

aplicadores que se introducen durante un acto quirúrgico y el riesgo radiológico al tratarse de fuentes radioactivas.

Las patologías más frecuentes tratadas con esta técnica son: el cáncer de próstata, tumores ginecológicos, cáncer de mama, tumores epidermoides y basocelulares de piel, cáncer de esófago, melanoma de coroides, cáncer de lengua...

1.2.1. Isótopos radioactivos ⁶.

- Iridio 192.

Para obtener este isótopo es necesario el bombardeo y posterior captura de neutrones sobre Ir¹⁹¹ estable dentro de un reactor nuclear. La energía media de emisión de radiación gamma es de 0.38 MeV y el periodo de semidesintegración es de 73.84 días. Se puede utilizar para tratamiento de baja tasa de dosis o de alta tasa ya que tiene un rango de más de 40 energías.

En baja tasa de dosis se utilizan hilos flexibles de una aleación de platino con iridio y se utilizan sobretodo en braquiterapia intersticial por su flexibilidad y maleabilidad. La actividad más usual en este caso suele ser de 2 mCi/cm.

En alta tasa se utilizan fuentes de menor tamaño y está esta recogida dentro de una funda de acero inoxidable que absorbe el componente beta indeseable de la radiación, así como dentro de un sistema de braquiterapia conocida como flexitron o microselectron, dependiendo de la casa comercial . La actividad de la fuente es de 10 Ci.

- Yodo 125.

La energía media de emisión de radiación gamma es de 35.5 keV y la vida media es de 60 días. Se utiliza en forma de semillas para los implantes permanentes de cáncer de próstata de baja tasa.

- Cesio 137.

Es un isótopo artificial creado por fusión nuclear en reactores nucleares. La energía media de emisión de radiación gamma es 0.662 MeV y emite también radiación beta que es detenida por la funda de acero que contiene la fuente. La vida media de esta fuente es de 30.18 años.

1.2.2. Tipos de Braquiterapia. ⁷

A. En función de la localización.

- Braquiterapia intersticial: Las fuentes son implantadas dentro del tumor o lecho tumoral mediante agujas, tubos o semillas (Figura 1). Se realiza en tumores de mama, próstata, piel y sarcomas. Esta aplicación se realiza en su gran mayoría con alta tasa de dosis, aunque en la próstata también se usa la baja tasa de dosis.



Figura 1. Inserción de agujas de braquiterapia de mama. Administración de tratamiento.

- Braquiterapia endocavitaria: Las fuentes son colocadas en una cavidad natural del cuerpo en contacto con el tumor. Se emplea en el cáncer de endometrio, cérvix, vagina y cavum. Se utilizan distintos tipos de aplicadores rígidos o flexibles, moldes y cilindros vaginales según la cavidad anatómica (Figura 2). También suele administrarse como alta tasa de dosis.

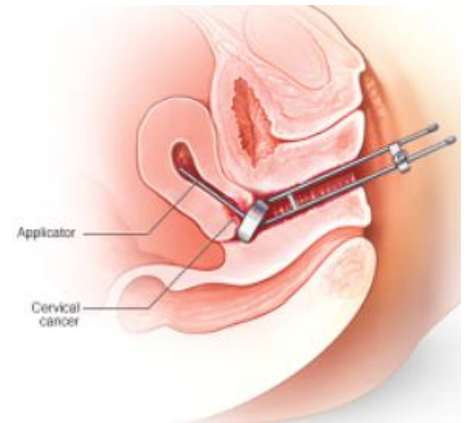


Figura 2. Aplicadores en braquiterapia ginecológica.

- Braquiterapia endoluminal: Las fuentes son colocadas en la luz de un conducto, esófago, bronquio, vía biliar.
- Braquiterapia superficial, de contacto o plesioterapia: Las fuentes se apoyan en un molde o aplicador en contacto con la superficie, se realizan moldes personalizados adaptados a la anatomía del paciente y se emplea en aquellos tumores de piel superficiales y planos (Figura 3).



Figura 3. Plesioterapia de piel.

B. En función de la tasa de dosis.

Se divide la braquiterapia en función de la actividad de la fuente empleada.

- Braquiterapia de baja tasa (LDR): cuando la tasa de dosis oscila entre 0.4 Gy/h – 2Gy/h. Se utiliza tradicionalmente para los implantes permanentes de carga manual. En implantes temporales precisan un tratamiento de uno o más días de forma continua en el hospital por tanto requiere una hospitalización más prolongada, una habitación con blindaje y una vigilancia continua.
- Braquiterapia de media tasa (MDR): cuando la tasa de dosis oscila entre 2 Gy/h – 12Gy/h. Es una modalidad poca utilizada.
- Braquiterapia de alta tasa (HDR): cuando la tasa de dosis es mayor a 12 Gy/h. Lo más frecuente es utilizar fuentes radioactivas de Iridio¹⁹² con muy alta actividad, por lo que se necesita un búnker blindado para su administración y un sistema de alta tasa (Figura 4). La HDR se administra en pocos minutos durante varias sesiones a la semana y permiten que el paciente reciba el tratamiento de forma ambulatoria. La mayoría son de carga diferida automática para minimizar el riesgo de radiación al personal médico.



Figura 4. Sistema Flexitron de Alta tasa de Dosis.

C. En función del método de carga.

- Carga manual: es la primera modalidad empleada en braquiterapia, lo más frecuente son los implantes de LDR en el cáncer de próstata. Las semillas radioactivas son introducidas de forma manual (puede ser con ayuda técnica o no) por parte del oncólogo radioterápico, esto supone un mayor riesgo de radiación para el personal.

- Carga diferida automática: se colocan aplicadores en los que posteriormente se introducirá la fuente radioactiva de forma automática y remota por una máquina. Es la modalidad más empleada actualmente y minimiza el riesgo de radiación al personal.

1.3. Procedimiento en un tratamiento de Braquiterapia de alta tasa de dosis⁵.

En función de la localización tenemos diversas técnicas de braquiterapia como hemos explicado en el apartado anterior, por tanto, dependiendo de esto necesitaremos un quirófano (braquiterapia intersticial o endocavitaria) o una sala de curas (plesioterapia) para iniciar el procedimiento, si bien los pasos serán similares en ambos casos.

- El paciente necesitará una sedación suave, anestesia general, epidural o ningún tipo de sedación en función de la localización.

- Se insertan los catéteres o aplicadores en la zona a tratar o se crea la máscara de plesioterapia por parte del oncólogo radioterápico.

- Tras la colocación del aplicador se realiza el TC (tomografía computerizada) de planificación de la zona de tratamiento, para determinar la posición del aplicador y su relación con el tumor y los órganos cercanos.

- Se realiza la planificación en el sistema de planificación, se contornea el GTV (Gross Tumor Volume) del tumor y se le da un margen para evitar errores de movimiento, también se contornean los órganos de riesgo cercanos para limitar la dosis de radiación recibida. Se decide la dosis y el fraccionamiento del tratamiento.

- Se lleva a cabo la reconstrucción de los catéteres y una dosimetría clínica por parte del Radiofísico.

- Se evalúa y aprueba el plan de tratamiento por parte del oncólogo radioterápico y el radiofísico.

- Se pasa al paciente al búnker de tratamiento y se conectan los catéteres al equipo de radiación. El personal médico abandona el búnker para que el paciente reciba el tratamiento (Figura 5).

- Se efectúa un recorrido de comprobación por cada uno de los catéteres con una semilla no radioactiva, idéntica a la fuente de tratamiento. Una vez se ha asegurado que no existe ninguna obstrucción se inicia el tratamiento de irradiación.

- El paciente es controlado en todo momento por una cámara de vigilancia y en otro monitor se detalla el catéter y posición en el que se encuentra la fuente radioactiva en tiempo real.
 - Cuando finaliza el tratamiento la fuente se almacena de nuevo de forma automática.
- Cuando el dosímetro de sala indica que ya no existe radiación dentro del búnker podemos desconectar al paciente.

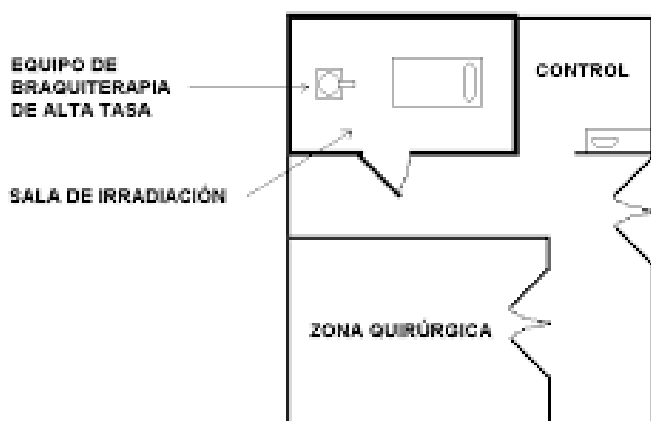


Figura 5. Esquema de una instalación de braquiterapia de alta tasa.

1.4. Accidentes en Braquiterapia.

Los accidentes en braquiterapia suelen estar provocados por una combinación de errores, siendo el error humano la principal causa de ellos.

En el año 2000 la International Commission on Radiological Protection (ICPR) publicó el ICPR86⁸ donde se recogían más de 2000 accidentes relacionados con la radioterapia hasta la fecha e informaba de las principales causas y factores relacionados con estos accidentes. Así como, capítulos específicos de los errores en braquiterapia que podían generar accidentes, entre los que destacaban: problemas con el equipo, transporte de la fuente y blindaje inadecuado, calibración errónea de la fuente, pérdida de la fuente radioactiva por desprendimiento del implante dentro de la habitación del paciente, errores a la hora de suministrar el tratamiento (errores en la prescripción, la colocación de los catéteres, posición de los catéteres, introducción de los datos de forma inversa o en distintas unidades...), fallo en los controles de seguridad, falta de conocimiento del sistema de emergencia por parte de los operadores, ausencia del supervisor en el momento del tratamiento...⁸

Unos años más tarde en 2000 una nueva publicación del ICPR⁹ detalló los accidentes más específicos de la braquiterapia de alta tasa de dosis, volviendo a hacer hincapié en el conjunto de errores que pueden provocar un accidente.

El accidente más grave tuvo lugar en EEUU en 1992, durante el tratamiento de un paciente con HDR, en la que una fuente se desprendió del equipo y quedó alojada dentro del paciente. En ese caso el personal detectó señales contradictorias, ya que el monitor de radiación de área detectaba radiación pero la fuente indicada blindaje seguro. Se asumió que era un error del monitor que había fallado con anterioridad y no se le dio importancia, sin comprobar con un monitor portátil de radiación si existía riesgo se devolvió al paciente a su habitación. Cuatro días más tarde la fuente radiactiva se desprendió del paciente junto con tejido necrótico y fue desechada en un contenedor de materia biopeligrosa (no radiactiva), sin comprobar la radiación en ningún momento. El paciente murió al día siguiente habiendo recibido una dosis de radiación de 16.000 Gy cuando la dosis prescrita era de 18 Gy. Se detectó la radiación en el momento de incinerar los restos biológicos cuando ya había irradiado a 94 personas (entre 400 microSievert-200 miliSievert), incluyendo al personal sanitario, personal de transporte y personal encargado de la recogida de las basuras¹⁰.

Se asumió que la causa inicial del accidente fue el fallo de soldadura entre la fuente y el cable de transferencia pero queda patente que la concatenación de los errores humanos, el descuido y el desconocimiento de los sistemas de seguridad perpetuaron los errores para que se produjera el accidente.

Por último, mencionar un peligro potencial que sería el robo de la fuente para generar una bomba sucia con fines terroristas.

1.5. Legislación en materia de protección radiológica.

A nivel Europeo la protección radiológica es controlada por la Comisión Europea y se inició con el Tratado del EURATOM firmado en 1957, de éste se derivan dos directivas, la Directiva 80/836 sobre normas básicas de seguridad y la Directiva 84/446 relativa a la protección de las personas sometidas a exposiciones médicas.

La primera directiva fue revisada en 1996 dando lugar a la Directiva 96/29 que actualmente ha sido derogada por la Directiva 2013/59/Euratom del Consejo, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la

exposición a radiaciones ionizantes ¹¹. La segunda fue revisada en 1997 y ésta se centra en la protección de la salud frente a los riesgos derivados de las radiaciones ionizantes en exposiciones médicas¹².

A nivel estatal tenemos múltiples reglamentos derivados de las anteriores directivas, por lo que vamos a destacar los más importantes.

- Ley de Prevención de Riesgos Laborales 31/1995¹³, en ésta se recogen los derechos de los trabajadores, *“Los trabajadores tienen derecho a una protección eficaz en materia de seguridad y salud en el trabajo”*, los deberes de los empresarios o Administraciones públicas y las medidas de acción preventiva para evitar o minimizar los riesgos.

- Real Decreto 601/2019, sobre justificación y optimización del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas ¹⁴. Este es una actualización del Real Decreto 815/2001. El punto más importante es que todas las exposiciones médicas tienen que proporcionar un beneficio neto suficiente, es decir estar justificadas. Con respecto a la parte de Radioterapia se detalla que, *“el especialista en Oncología Radioterápica será el responsable de valorar la correcta indicación del tratamiento, seleccionar los volúmenes a irradiar y decidir los parámetros clínicos de irradiación que deben administrarse en cada volumen, dirigir y supervisar los tratamientos y emitir el informe clínico final, en el que se indique el resultado del tratamiento, así como realizar el seguimiento de la evolución del paciente.”* Junto con esto subrayamos que todo el personal implicado en el tratamiento con Radioterapia debe actualizar sus conocimientos en protección radiológica de forma continua.

- Real Decreto 1439/2010, por el que se modifica el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, aprobado por Real Decreto 783/2001 ¹⁵ se realizan pocas modificaciones, manteniéndose los puntos más importantes en el Real Decreto 783/2001 ¹⁶. El objetivo es *“establecer las normas relativas a la protección de los trabajadores y de los miembros del público contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes”*. Los puntos más destacados y aplicados a nuestro trabajo son:

- El límite de dosis para los trabajadores expuestos será de 100 mSV en 5 años consecutivos, sin superar la dosis de 50 mSv en cualquier año. El límite dosis al cristalino será de 150 msV/año oficial, el límite para la piel será de 500 mSv/ año oficial y el límite para manos, antebrazos, pies y tobillos será de 500 msV/año oficial.
- Durante el embarazo y la lactancia de trabajadoras la exposición debe ser tan baja como sea razonablemente posible, sin superar 1 mSV.

- Se definen las distintas zonas y tipos de trabajadores en función del riesgo radiológico.
- Se debe realizar una vigilancia del ambiente de trabajo, una vigilancia individual y un control dosimétrico.
- Todas las prácticas y actividades recogidas en este Decreto pueden ser inspeccionadas por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), y pueden suspenderlas inmediatamente si encuentran peligro para las personas.
- Se clasifican las infracciones en leves, graves y muy graves.
- Se establece la señalización de las zonas de acuerdo a las norma UNE-73-302.

- Real Decreto 1566/1998, por el que se establecen los criterios de calidad en radioterapia

¹⁷. El objetivo es *“establecer los criterios de calidad en radioterapia para asegurar la optimización del tratamiento de radioterapia y la protección radiológica del paciente”*. En este Real Decreto se detallan puntos importantes para el buen funcionamiento de los servicios de Radioterapia:

- Es obligatorio la elaboración de un Programa de Garantía de Calidad (PGC) en todos los centros que cuenten con Unidades Asistenciales de Radioterapia.
- Los procedimientos tienen que actualizarse periódicamente.
- Todos los tratamientos tienen que estar supervisados por un oncólogo radioterápico y deben contar con una dosimetría clínica individualizada.
- Los tratamientos en embarazadas tienen que contar con la seguridad de que el feto recibe la mínima dosis posible.
- Ante reacciones adversas inesperadas se debe realizar una investigación de la causas y emitir un informe.
- Se deben realizar hojas de tratamiento de cada paciente.
- Se debe informar siempre previo al tratamiento y los posibles efectos secundarios, dejando constancia por escrito en el consentimiento informado.
- Cada servicio de Radioterapia debe contar con un servicio de Radiofísica, encargado de realizar el informe dosimétrico.
- Debe realizarse un control de calidad de todas las etapas clínicas.
- Se guardarán los informes de tratamiento durante 30 años.
- Se realizarán auditorías para comprobar los PGC.

1.6. Salud laboral y radiaciones ionizantes.

Las radiaciones ionizantes son clasificadas por el IARC (International Agency for Research on Cancer) como agentes del grupo 1, es decir cancerígenos para los humanos¹⁸.

Estas actúan sobre las células provocando daño en la molécula de ADN. El daño producido al depositarse la radiación puede ser por dos mecanismos, efecto directo sobre el ADN, o bien efecto indirecto al ionizar otras moléculas de la célula.¹⁹ Estas alteraciones en el ADN pueden producir daño en la persona que recibe la radiación o producir cambios genéticos que se manifiesten en su descendencia.

La exposición a la radiación ionizante durante la jornada laboral puede provocar problemas en la salud de los trabajadores, estos pueden ir desde simples dolencias a enfermedad graves debido principalmente a dos factores, la dosis de radiación a la que se expongan y la dosis por unidad de tiempo recibida. Las enfermedades desarrolladas pueden presentarse de forma inmediata o tras un largo periodo de tiempo incluso tras el cese de la actividad laboral²⁰.

La relación entre la exposición a dosis bajas de radiación en profesionales y la aparición de enfermedades como pueden ser los trastornos hematológicos o cáncer de tumores sólidos es una gran controversia. En trastornos malignos hematológicos se ha descrito un riesgo relativo tras la exposición a radiación ionizante por parte de profesionales, aunque son necesario más estudios para establecer una clara causalidad²¹. Los principales estudios realizados para buscar una correlación están basados en la población superviviente a las bombas de Hiroshima y Nagasaki²² y es complicada su extrapolación dada la diferencia entre la dosis que recibieron estos supervivientes con respecto a la dosis bajas que podrían recibir los trabajadores.

En España dentro del listado de enfermedades profesionales causadas por agentes carcinógenos se recogen los síndromes linfoproliferativos y mieloproliferativos y el carcinoma epidermoide de piel²³.

En la monografía del IARC que hace una revisión sobre los carcinógenos detalla las relaciones entre los diferentes cánceres, tanto de órgano sólido como hematológico, relacionado con los trabajadores expuestos a las radiaciones ionizantes, aunque en la mayoría de los casos se tratan sobre trabajadores de centrales nucleares. Aunque si puede

existir una exposición mayor en los trabajadores en servicios de Radioterapia, expuestos a altas tasas de neutrones²⁴.

Como se menciona en el apartado anterior a partir del Real Decreto 783/2001¹⁶ se estableció que debe realizarse una vigilancia especial de la salud de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes. Para esto es necesario un control específico con una anamnesis y exploración física detallada así como el control dosimétrico, que nos informa de la dosis de radiación a la que ha estado expuesto el trabajador.

1.7. Gestión y eliminación de residuos.

En los servicios de Radioterapia que cuentan con Unidades de Braquiterapia hay que tener especial cuidado a la hora de la retirada del material radioactivo en desuso. En la HDR las fuentes de Iridio o Cesio deben ser retiradas por la empresa suministradora o en su defecto por la Empresa Nacional de Residuos Radioactivos S.A. (ENRESA)²⁵. Las medidas para la gestión de estos residuos debe buscar minimizar el tiempo de exposición a la fuente desde que se deshecha para el uso médico hasta su retirada, manteniéndola en el contenedor blindado todo el tiempo.

La gestión de los residuos radiactivos en España es competencia, desde el año 1984, de ENRESA, cuyas actividades están recogidas en el Real Decreto 102/2014, de 21 de febrero, para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos²⁶.

2. JUSTIFICACIÓN.

La braquiterapia es una técnica especial de radioterapia, en la que se administra el tratamiento colocando una o varias fuentes radioactivas dentro o alrededor del tumor por medio de la inserción de agujas, catéteres, aplicadores o máscaras termoplásticas. El objetivo es alcanzar una alta tasa de dosis sobre el tumor, reducir el número de sesiones y el tiempo de tratamiento. Así como disminuir la dosis sobre los órganos sanos cercanos, minimizando así los posibles efectos secundarios.

Consiste en un tratamiento médico complejo que implica a diferentes categorías profesionales que tienen que trabajar en equipo y consonancia. Al tratarse de un tratamiento que precisa de fuentes radiactivas es de vital importancia las medidas preventivas y la buena práctica médica para la protección del riesgo radiológico, tanto hacia el personal médico, como hacia el paciente.

Las medidas de seguridad para la protección radiológica pueden ser complicadas, es de vital importancia el conocimiento de las zonas de seguridad, las normas de trabajo, la jerarquía del servicio así como la vigilancia de la salud de los trabajadores con exámenes médicos periódicos.

Los accidentes en braquiterapia son agravados principalmente por el factor humano, siendo el motivo más frecuente la falta de conocimiento de las medidas de seguridad y los protocolos de actuación. Es necesario conocer cuáles pueden ser los accidentes más frecuentes y la manera de solucionarlos. También es de vital importancia realizar simulacros de emergencia ante los diferentes accidentes para saber actuar con la mayor eficiencia posible.

En este trabajo de Fin de Máster se va a realizar una revisión de todas las medidas de protección tanto colectivas como individuales del servicio de Oncología Radioterápica del Hospital universitario terciario y se va a elaborar un algoritmo claro de emergencia antes posibles incidentes para enseñar al personal cómo actuar y así estar preparados para minimizar posibles accidentes.

3. OBJETIVOS

El objetivo principal del TFM es identificar las medidas preventivas que garanticen la seguridad para la aplicación de braquiterapia mediante una fuente radiactiva de Iridio-192.

Los objetivos secundarios son:

- Identificar las condiciones de seguridad en el almacenamiento de la fuente radiactiva y las normas de trabajo de las diferentes áreas en función del riesgo de radiación.
- Actualizar las medidas actuales en el servicio de Oncología Radioterápica de un hospital universitario terciario, con la creación de un algoritmo de emergencia.



4. MATERIAL Y MÉTODOS.

Se realiza una descripción de las instalaciones del servicio de Braquiterapia del Hospital universitario terciario, las tareas del personal y las medidas preventivas tanto colectivas e individuales que se lleva a cabo para la administración del tratamiento de braquiterapia.

Para generar los algoritmos de seguridad hemos realizado una revisión bibliográfica para basarnos en la evidencia disponible hasta la fecha acerca de las medidas de seguridad para la aplicación de braquiterapia. Para su desarrollo se realizó una búsqueda en las principales bases de datos y bibliotecas virtuales (PubMed, Cochrane Library, Google Scholar y Embase) usando como palabras clave: “brachytherapy”, “safety”, “guidelines”, “highdose” “accident” “quality control” “protection”. Se ha realizado una búsqueda libre con las siguientes ecuaciones: “brachytherapy” AND “safety” AND “guidelines” OR “quality control”; “brachytherapy” AND “protection”; “brachytherapy” AND “highdose” AND “accident”.

Criterios de inclusión:

- Publicaciones entre 2010-2022
- Ensayos clínicos, estudios retrospectivos, recomendaciones de sociedades científicas, artículos científicos y comunicaciones de la Sociedad Española de Física Médica.
- Se seleccionan artículos que tratan sobre la seguridad en instalaciones de braquiterapia, protección radiológica, control de calidad y guías clínicas

Criterios de exclusión:

- Publicaciones anteriores a 2010.
- Artículos que se centran en el tratamiento de braquiterapia, en las distintas patologías oncológicas, dosis de braquiterapia y actualizaciones únicamente desde el punto de vista de cuidados médicos.

5. RESULTADOS.

5.1. Descripción detallada de las tareas de las personas que realizan la técnica de braquiterapia.

En este apartado vamos a describir detalladamente las funciones de cada uno de los miembros del equipo de braquiterapia de un hospital universitario terciario en las dos técnicas empleadas, la braquiterapia intersticial y la braquiterapia superficial.

Todos los profesionales tienen unas tareas asignadas que deben realizarse en consonancia entre sí para que el tratamiento pueda llevarse a cabo.

5.1.1. Técnica braquiterapia intersticial:

Médico (Oncólogo Radioterápico):

Las principales funciones del Oncólogo Radioterápico se dirigen a realizar una primera visita en la que se explicara al paciente su enfermedad y la necesidad de realizar el tratamiento que se propone, es el encargado de realizar la técnica de braquiterapia y aprobar el tratamiento. En la tabla 1 se detalla cada una de sus funciones en profundidad.

Previo al tratamiento de Braquiterapia.	En relación con el paciente	<ul style="list-style-type: none">• Anamnesis detallada, exploración física• Se explica la técnica de braquiterapia, posibles efectos secundarios y procedimiento a realizar.• Se realiza tarea de braquiterapia en sistema interno del servicio (Mosaik) para añadir a la lista de espera.• Firma el consentimiento informado.• Se deriva a enfermería.
	Interconsultas	<ul style="list-style-type: none">• Se solicita estudio preoperatorio.• Se realiza interconsulta a servicio de Anestesia.
	Aplicación de la técnica	<ul style="list-style-type: none">• Primera visita en el área de consultas de Oncología Radioterápica.• En braquiterapia de mama se realiza TC de simulación pretratamiento para valorar disposición de las agujas y número.• En el caso de la braquiterapia de próstata se debe realizar una volumetría previa para valorar volumen de la próstata y posibles calcificaciones o dificultades en el acceso de la ecografía.
El 1º día del tratamiento de Braquiterapia de mama ginecológica o piel.	En el quirófano.	<ul style="list-style-type: none">• Se realiza una exploración de la zona de tratamiento.• Colocación de paños estériles para delimitar el campo de trabajo.• Mediante ecografía se localiza lecho tumoral en el caso de la mama útero/ cérvix en las braquiterapia ginecológica.

		<ul style="list-style-type: none"> • Se insertan las agujas o aplicadores en la zona de tratamiento. • En la braquiterapia de mama o piel las agujas se sustituyen por tubos plásticos del sistema Confort para mayor comodidad del paciente. • Se colocan los botones de seguridad para evitar el movimiento de los catéteres
	Preparación del tratamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Se adquieren las imágenes del TC de planificación en el sistema de planificación, para determinar la posición del aplicador/ catéteres y su relación con el tumor y los órganos cercanos. • Se realiza la planificación, se contornea el GTV (Gross Tumor Volume) del tumor y se le da un margen para evitar errores de movimiento, también se contornean los órganos de riesgo cercanos para limitar la dosis de radiación recibida. • Se decide la dosis y el fraccionamiento del tratamiento. • Se aprueba la planificación.
	En el búnker de braquiterapia.	<ul style="list-style-type: none"> • Se conectan los catéteres a los tubos de transmisión por donde pasará la fuente de Iridio 192 dentro del búnker de tratamiento. • Se encuentra presente durante la administración del tratamiento de braquiterapia para vigilancia del paciente a través de sistema de vigilancia mientras recibe la radiación. • Valoración del tratamiento de braquiterapia para detectar posibles errores o accidentes.
	Fin del tratamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Firma en el libro del CSN, identificando el paciente, el día, el número de sesión y el tratamiento administrado. • Se desconecta el paciente del Flexitron. • Tras el fin del tratamiento de braquiterapia, se retira el implante si es de sesión única. • En la braquiterapia ginecológica se retira el aplicador en quirófano.
El 1º día del tratamiento de Braquiterapia de próstata	En el quirófano.	<ul style="list-style-type: none"> • Se realiza una ecografía prostática para comprobar la zona de tratamiento. • Se coloca paños estériles para delimitar el campo. • Se coloca rejilla de braquiterapia de próstata, sistema necesario para insertar las agujas en el lugar correcto. • Delimitación de próstata, uretra y recto con las imágenes obtenidas mediante la ecografía. • Se insertan las agujas en las posiciones elegidas conjuntamente con el radiofísico para una buena cobertura del volumen de la próstata. • Comprobación de la profundidad de cada aguja. • Nueva ecografía para tomar de nuevo el volumen de la próstata para corregir posibles errores de desplazamiento al pinchar. • Se delimitan de nuevo los volúmenes. • Se aprueba la planificación. • Nueva comprobación de la profundidad de las agujas. • Se cierra el sistema para evitar posibles desplazamientos.
	En el búnker de braquiterapia.	<ul style="list-style-type: none"> • Se conectan los catéteres a los tubos de transmisión por donde pasará la fuente de Iridio 192 dentro del búnker de tratamiento.

		<ul style="list-style-type: none"> • Se encuentra presente durante la administración del tratamiento de braquiterapia para vigilancia del paciente a través de sistema de vigilancia mientras recibe la radiación. • Valoración del tratamiento de braquiterapia para detectar posibles errores o accidentes. •
	Fin del tratamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Firma en el libro del CSN, identificando el paciente, el día, el número de sesión y el tratamiento administrado. • Se desconecta el paciente del Flexitron. • Tras el fin del tratamiento de braquiterapia, se retiran las agujas y se hace compresión para evitar el sangrado.

Tabla 1. Funciones del Médico Oncólogo Radioterápico en Braquiterapia intersticial.

Médico (Anestesista):

El anestesista es el encargado de realizar la técnica de anestesia que considere para cada tipo de aplicación de braquiterapia, así como de vigilar las constantes del paciente durante el procedimiento y su posterior evolución. En la tabla 2 se detalla cada una de sus funciones en profundidad.

Previo al tratamiento de Braquiterapia.	En relación con el paciente	<ul style="list-style-type: none"> • Primera visita en el área de consultas de Anestesia. • Anamnesis detallada, exploración física. • Se valora estudio preoperatorio para decidir técnica de anestesia y si existen contraindicaciones para realizarla. • Se explica la técnica de anestesia elegida (anestesia epidural, sedación, anestesia general...) • Firma el consentimiento informado para la anestesia.
El 1º día del tratamiento de Braquiterapia.	En el quirófano	<ul style="list-style-type: none"> • Se realiza técnica de anestesia seleccionada. • Monitorización continua de signos vitales y estado del paciente durante el proceso de braquiterapia. • Valoración de despertar tras el fin de la intervención.
	Fin del tratamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Se dan las recomendaciones de tolerancia y los signos de alarma al personal de enfermería para vigilancia del paciente. • Se rellena formulario de anestesia y transcurso de la intervención para adjuntarlo a la historia clínica del paciente. • Se encuentra presente durante la administración del tratamiento de braquiterapia para vigilancia del paciente a través de sistema de vigilancia mientras recibe la radiación.

Tabla 2. Funciones del Anestesista.

Radiofísicos:

Las principales funciones de los Radiofísicos son, la realización de la planificación, generar una dosimetría clínica con la dosis prescrita y la protección de los órganos de riesgo. En la tabla 3 se detalla cada una de sus funciones en profundidad.

	Braquiterapia de mama, ginecológica o piel.	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción de los catéteres en el TC de planificación. • Se realiza una dosimetría clínica sobre el PTV previsto por el médico. • Se añaden dosis limitantes a los órganos de riesgo para ajustar la dosimetría. • Se comprueba planificación realizada por el sistema. • Se comenta con el médico la cobertura del PTV y los órganos de riesgo. • Se aprueba la planificación. • Se envía la planificación al sistema de tratamiento. • Se encuentra presente al inicio de la administración del tratamiento de braquiterapia para vigilar posibles errores o fallos en el sistema.
El 1º día del tratamiento de Braquiterapia.	Braquiterapia de próstata.	<ul style="list-style-type: none"> • Se adquieren imágenes de la ecografía de la próstata. • Se colocan láseres de posicionamiento para comprobar que no se mueve el paciente durante la implantación de agujas. • Se realiza una planificación preliminar tras la delimitación de los órganos por parte del oncólogo radioterápico. • Se eligen las posiciones de las agujas para una buena cobertura del volumen de la próstata. • Se comprueba cada aguja conjuntamente mientras el médico la introduce y se anota la profundidad. • Se adquiere nueva ecografía. • Se ajusta la planificación con las agujas colocadas y se realizan los ajustes necesarios. • Se aprueba la planificación. • Nueva comprobación de la profundidad de las agujas. • Se envía la planificación al sistema de tratamiento. • Se encuentra presente al inicio de la administración del tratamiento de braquiterapia para vigilar posibles errores o fallos en el sistema.

Tabla 3. Funciones del Radiofísico.

Enfermeros:

Los enfermeros tienen como funciones principales, el cuidado del paciente tanto antes de la braquiterapia como después de esta, y la asistencia al oncólogo radioterápico para poder realizar la intervención. En la tabla 4 se detalla cada una de sus funciones en profundidad.

Previo al tratamiento de Braquiterapia.	En relación con el paciente	<ul style="list-style-type: none"> Primera visita en el área de consultas de enfermería de Oncología Radioterápica. Se realiza analítica completa y electrocardiograma solicitados para preoperatorio. Se explican cuidados de la piel y recomendaciones previas al tratamiento. Se añade el paciente a lista de espera y se cita para el 1º día de braquiterapia.
El 1º día del tratamiento de Braquiterapia.	En el quirófano.	<ul style="list-style-type: none"> Asistencia al anestésista para realizar técnica propuesta. Sondaje del paciente en caso de braquiterapia de próstata. Esterilización del campo de tratamiento. Asistencia al oncólogo radioterápico para realización de braquiterapia. Administración de medicación necesaria.
	Preparación del tratamiento.	<ul style="list-style-type: none"> Control del paciente una vez finaliza la intervención.
	Fin del tratamiento.	<ul style="list-style-type: none"> Se encuentra presente durante la administración del tratamiento de braquiterapia para vigilancia del paciente a través de sistema de vigilancia mientras recibe la radiación. Inicio de tolerancia en el tiempo propuesto por el anestésista. Vigilancia y cuidado durante el tiempo de ingreso del paciente. Retirada de la sonda previa al alta. Se realizan curas de los puntos de inserción de los catéteres. Vendajes compresivos para evitar sangrados tras la retirada de agujas. Se explican cuidados y recomendaciones de la zona de tratamiento.

Tabla 4. Funciones del Enfermero.

Técnicos especialistas en radioterapia:

Son los encargados de realizar el TAC de planificación al paciente en la braquiterapia de mama, ginecológicas o piel. Colocan la paciente en la posición adecuada y realizan cortes milimétricos para que el aplicador y el tumor puede ser planificado por parte del oncólogo radioterápico y el Radiofísico.

Celadores:

Realizan múltiples funciones el día de la braquiterapia entre ellas destacan, el traslado del paciente a las diferentes estancias (quirófano, TC de planificación, sala de tratamiento y habitación), la colocación del paciente en la mesa de quirófano y el montaje de sistema de perneras y ecógrafo para la braquiterapia de próstata.

Personal de limpieza:

Son los encargados de la limpieza del área de quirófano tras cada paciente y del búnker de tratamiento tras el fin de la jornada laboral.

5.1.2. Técnica braquiterapia superficial (Plesioterapia):

Médico (Oncólogo Radioterápico):

Al igual que en la braquiterapia intersticial las principales funciones del Oncólogo Radioterápico se dirigen a realizar una primera visita en la que se explicara al paciente su enfermedad y la necesidad de realizar el tratamiento que se propone, aunque en esta ocasión se realizará una máscara de plesioterapia. En la tabla 5 se detalla cada una de sus funciones en profundidad.

Previo al tratamiento de Braquiterapia.	En relación con el paciente	<ul style="list-style-type: none">• Primera visita en el área de consultas de Oncología Radioterápica.• Anamnesis detallada, exploración física.• Se explica la técnica de braquiterapia, posibles efectos secundarios y procedimiento a realizar.• Se realiza tarea de braquiterapia en sistema Mosaiq para añadir a la lista de espera.• Firma el consentimiento informado para braquiterapia.• Se entrega cita para TAC de planificación.• Se pasa al paciente a enfermería.
El día del TAC de planificación.	Preparación del tratamiento.	<ul style="list-style-type: none">• Se realiza una exploración de la zona de tratamiento.• Se diseña la máscara de plesioterapia.• Se adquieren las imágenes del TC de planificación en el sistema de planificación, para determinar la posición del aplicador/ catéteres y su relación con el tumor y los órganos cercanos.
	Planificación del tratamiento.	<ul style="list-style-type: none">• Se realiza la planificación, se contornea el GTV (Gross Tumor Volume) del tumor y se le da un margen para evitar errores de movimiento, también se contornean los órganos de riesgo cercanos para limitar la dosis de radiación recibida.• Se decide la dosis y el fraccionamiento del tratamiento.• Se aprueba la planificación.
El 1º día del tratamiento de Braquiterapia.		<ul style="list-style-type: none">• Se conectan los catéteres a los tubos de transmisión por donde pasará la fuente de Iridio 192 dentro del búnker de tratamiento.• Se encuentra presente durante la administración del tratamiento de braquiterapia para vigilancia del paciente a través de sistema de vigilancia mientras recibe la radiación.

		<ul style="list-style-type: none"> • Valoración del tratamiento de braquiterapia para detectar posibles errores o accidentes. • Firma en el libro del CSN, identificando el paciente, el día, el número de sesión y el tratamiento administrado. • Se desconecta el paciente del Flexitron. • Tras el fin del tratamiento de braquiterapia, se retira la máscara y el paciente se va a su casa, acudirá de forma ambulatoria a días alternos.
--	--	---

Tabla 5. Funciones del Médico Oncólogo Radioterápico en Braquiterapia superficial.

Las funciones de los radiofísicos no varían con respecto a la braquiterapia intersticial, sino que están simplificadas ya que no tienen que realizar la parte del quirófano. En esta ocasión deben realizar las siguientes tareas:

- Reconstrucción de los catéteres en el TC de planificación.
- Realizar una dosimetría clínica sobre el PTV previsto por el médico.
- Añadir dosis limitantes a los órganos de riesgo para ajustar la dosimetría.
- Comprobar la planificación realizada por el sistema.
- Comentar con el médico la cobertura del PTV y los órganos de riesgo.
- Aprobar la planificación.
- Enviar la planificación al sistema de tratamiento.

Las funciones realizadas por los enfermeros, técnicos especialistas en radioterapia, celadores y personal de limpieza son las mismas que en la braquiterapia intersticial.

5.2. Organización del servicio.

El titular y responsable de la Instalación radioactiva es el Director Gerente del Hospital. Sin embargo el jefe del Servicio de Protección Radiológica es el encargado y responsable del cumplimiento de la legislación vigente en la protección contra las radiaciones ionizantes. Sus funciones básicas son, el deber de comunicar al titular de la instalación (Gerente del Hospital) si se ha incumplido alguna norma y debe tomar las medidas necesarias de seguridad así como iniciar el plan de emergencia si se le comunica un posible accidente. La responsabilidad inmediata tras ellos recae en los supervisores y operadores.

Durante la jornada laboral ordinaria el Jefe de Servicio será el supervisor responsable y fuera de éste será el médico especialista en Oncología Radioterápica que se encuentre de guardia en ese momento.

Los radiofísicos pueden realizar los controles de calidad y la dosimetría de áreas bajo la autorización del Jefe de Servicio de Protección Radiológica.

Todos los médicos especialistas en Oncología Radioterápica deben contar con la licencia de Supervisor en Instalación Radioactivas en el campo de Radioterapia para poder realizar guardias y ser responsables durante este tiempo de la Instalación. Sólo se podrán realizar tratamiento de braquiterapia bajo la supervisión de un médico con licencia de supervisor. Estos son además los responsables de los equipos de braquiterapia cuando no están en funcionamiento y no puede manipularse por ninguna persona ajena a la instalación.

El personal de enfermería y los Técnicos especialistas en radioterapia deben contar con la licencia de Operador de Instalaciones radioactivas para poder manejar el equipo.

Tanto la licenciada de Supervisor como de Operador son válidos solo en un campo de aplicación, en nuestro caso en el campo de Radioterapia. Estas cuentan con una validez de 5 años, tras los cuáles deben renovarse tras un examen médico detallado siempre con una antelación de 2-3 meses antes de la fecha de caducidad.

5.3. Clasificación del personal. Valores Límites de Exposición.

Según el Real Decreto 783/2001 en el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes ¹⁶, el personal se puede clasificar en dos grupos según el riesgo que tenga de recibir una determinada dosis de radiación.

- Categoría A: son aquellos trabajadores que pueden recibir una dosis superior a 6 mSv o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites establecidos.

- Categoría B: al contrario de la anterior, son aquellos trabajadores que en condiciones de trabajo normal es improbable que sobrepasen los valores mencionados.

En el servicio de Oncología Radioterápica todo el personal (médicos, radiofísicos, enfermeros, técnicos especialistas en radioterapia y celadores) es de categoría B. Sin embargo está establecido que todo el personal debe contar con dosímetro personal para la medición de la radiación y debe portarlo durante toda la jornada laboral de forma obligatoria. Por parte del servicio de Protección Radiológica se han establecido unas normas de uso del dosímetro de obligado cumplimiento, que son las siguientes:

- La correcta utilización y la conservación del dosímetro es un deber de cada trabajador.
- Son de uso individual e intransferible.
- Solo puede utilizarse dentro del centro de trabajo y durante la jornada laboral.
- Si se realizan exposiciones médicas como pacientes debe retirarse.
- Son responsables de su custodia y de almacenarlo en un lugar libre de radiaciones.
- Se debe cambiar cada mes para evaluar la exposición a la radiación.

Con respecto a los límites de dosis de radiación recibida según el Real Decreto 1439/2010¹⁶ y el Real Decreto 783/2001¹⁶, hemos creado esta tabla (Tabla 6) para su mejor comprensión.

	Dosis efectiva	Dosis equivalente cristalino.	Dosis equivalente piel.	Dosis equivalente manos, antebrazos, pies y tobillos.
Trabajador expuesto	100 mSv/5 años. 50 mSv/ año oficial.	150 mSv / año oficial.	500 mSv/ año oficial.	500 mSv/ año oficial.
Estudiantes	6 mSv/año oficial	50 mSv/año oficial.	150 mSv/ año oficial.	150 mSv/ año oficial.
Embarazadas	1 mSv al feto desde la comunicación de su embarazo hasta el final de la gestación.			
Público	1 mSv/ año oficial.	15 mSv/ año oficial.	50 mSv/ año oficial.	50 mSv/ año oficial.

Tabla 6. Límite de dosis

En el caso de que en el registro dosimétrico se superen estas dosis será necesario un control y seguimiento por parte del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales para determinar cuál ha sido el motivo y eliminarlo.

5.4. Evaluación de riesgo de irradiación. Normas de trabajo.

➤ TC de planificación:

Existe riesgo de irradiación externa. No existe riesgo de contaminación radiactiva ya que el TC solo emite radiación cuando está funcionando y al finalizar la adquisición de imágenes la radiación desaparece y no queda de forma residual en la sala ni en el paciente.

El interior de la sala del TC está señalizado como zona controlada y las cabinas de cambio de los pacientes y el puesto de control como zona vigilada. En los siguientes apartados explicaremos las zonas en detalle.

Normas de trabajo:

- Durante la realización del TC el personal debe estar en el puesto de control.
- Ningún paciente puede estar en la cabina de cambio mientras se está realizando el TC de otro paciente.
- Debemos evitar que los familiares entren en las cambias para minimizar posibles accidentes de permanencia del familiar.
- Comprobar antes de realizar el TC que las cabinas están vacías.
- Antes de realizar el TC comprobar el cierre de la puerta.
- Minimizar el número de imágenes adquiridas y ajustar la técnica en cada caso.
- En niños utilizar protectores gonadales si es posible.

➤ Búnker de Braquiterapia:

Existe riesgo de irradiación externa. No existe riesgo de irradiación radioactiva. Durante el tratamiento se convierte en un área controlada de acceso prohibido y solo puedo permanecer el paciente, no siendo posible ningún acompañante ni personal médico bajo ninguna circunstancia.

Normas de trabajo:

- Previo al tratamiento de braquiterapia el paciente debe ser informado de las normas vigentes durante el tratamiento, tratando de no moverse y podrá solicitar ayuda ante cualquiera anomalía.
- Durante la administración de la braquiterapia el paciente permanecerá solo dentro del búnker, será vigilado por medio de un sistema de vigilancia (cámara y audio) en el puesto de control. Todo el personal debe encontrarse en el puesto de control.
- El tratamiento solo puede ser realizado bajo la supervisión de un médico con licencia de Supervisor de Instalación de Radioterapia.
- La fuente radioactiva y los mandos del sistema de tratamiento solo pueden ser manipulados por un Supervisor/Operador.
- En caso de emergencia la fuente se manipulará siempre con pinzas, bajo ninguna circunstancia se tocará con la mano.
- Al terminar el tratamiento se monitorizará con un detector que la fuente se encuentra en posición de seguridad dentro del equipo.

- Las visitas deben seguir las indicaciones del personal, está prohibido el acceso al área de braquiterapia de mujeres embarazadas y los niños.
- El personal de cocina dejará la comida a la entrada del área de braquiterapia y será el personal de enfermería el encargado de entregarla a los pacientes.
- El personal ajeno solo podrá intervenir bajo la supervisión del enfermero responsable y nunca durante el tratamiento.
- Se debe rellenar el diario de operaciones fechado por el CSN indicando el paciente, la fecha, la técnica de braquiterapia, el implante y el número de sesión así como el médico responsable del tratamiento y las posibles incidencias ocurridas (Figura 6).

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

AUTORIZACIÓN DIARIO DE OPERACIÓN

CLASE DE INSTALACIÓN 2ª CATEGORÍA
 DENOMINACIÓN RADIODIAGNÓSTICO/LRA/0610
 TITULAR SERVICIO MURCIANO SALUD III-VIRGEN A
 EMPLAZAMIENTO EL PALMAR (MURCIA)

EL CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR, DE ACUERDO CON LO DISPUESTO EN LA LEY 15/1989, EN EL ESTATUTO DEL CONSEJO Y EN EL ART. 70 DEL VIGENTE REGLAMENTO DE INSTALACIONES NUCLEARES Y RADIACTIVAS, AUTORIZA ESTE DIARIO DE LA INSTALACIÓN, CONSTITUIDO POR:

100 HOJAS FOLIADAS DEL N.º 1 AL 100
 LA AUTORIZACIÓN DEL DIARIO NO SUPONE LA DE LA INSTALACIÓN.

Murcia 10 DE diciembre DE 2019
 POR EL CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Figura 6. Diario de operaciones.

5.5. Medidas de protección colectiva.

La protección radiológica se centra en un pilar básico, el principio ALARA “As low as Reasonably Achievable”, es decir tan bajo como sea razonablemente posible.

Según la Sociedad Española de Física Médica los tres puntos principales a tener en cuenta a la hora de la protección radiológica, la distancia, el tiempo y el blindaje²⁵.

- La distancia, debemos intentar que sea la máxima posible con respecto a la fuente de radiación. La dosis de radiación recibida se atenúa el inverso del cuadrado de la distancia.

- El tiempo, minimizarlo nos garantiza una menor radiación ya que guarda una relación proporcional.
- El blindaje, si el tiempo y la distancia que necesitamos para realizar nuestro trabajo nos expone a una dosis superior a la permitida debemos usar los blindajes para tratar de reducirla. El material del blindaje se debe adecuar al tipo de radiación y a la actividad que deba realizarse.

La señalización de las zonas de trabajo es una medida de protección importante y su significado debe ser conocido por todos los trabajadores. En el servicio de Radioterapia solo existe el riesgo de irradiación externa y no de contaminación radioactiva. Por tanto todas las señales que se encuentren en el servicio serán de un trébol de diferentes colores con puntas radiadas alrededor que indica el riesgo de irradiación, sin los puntos alrededor que marcan la contaminación radioactiva (Figura 7).



Figura 7. Zonas vigiladas con riesgo de contaminación y riesgo de irradiación.

Las zonas se dividen en dos grupos²⁷:

- Zona vigilada, es aquella en la que existe el riesgo de recibir una dosis superior a 1 mSv por año oficial o superar 1/10 los límites establecidos para cristalino, piel o extremidades. Se señala con el color gris claro.
 - Zona controlada, es aquella en la que existe el riesgo de recibir una dosis superior a 3 mSv por año oficial o superar 3/10 los límites establecidos para cristalino, piel o extremidades. Se señala con el color verde.
- Dentro de las zonas controladas existe otra división dependiendo cuando se alcanzarían estos límites.

- Zona de permanencia limitada, se pueden superar los límites fijados. Se señala con el color amarillo
- Zona de permanencia reglamentaria, en cortos períodos de tiempo se pueden superar los límites fijados. Se señala con el color naranja.
- Zona de acceso prohibido, en una sola exposición se pueden superar los límites fijados. Se señala con el color rojo.

Toda el área de braquiterapia está considerada como zona vigilada y está restringido su acceso a personal autorizado (Figura 8).



Figura 8. Área de braquiterapia señalizada como zona vigilada con trébol gris claro.

El puesto de control desde dónde se vigila el tratamiento de braquiterapia y el quirófano se consideran zonas controladas (Figura 9).



Figura 9. Zona de quirófano señalizada como zona controlada con trébol verde.

El búnker de braquiterapia se considera zona controlada de permanencia reglamentaria y durante el tratamiento se convierte en zona controlada de acceso prohibido (Figura 10).



Figura 10. Búnker de braquiterapia mientras no se realiza un tratamiento, señalizado como zona controlada de permanencia reglamentaria, con trébol naranja.

Tras la descripción de las zonas de seguridad vamos a detallar los siguientes sistemas de seguridad que deben ser conocidos por todo el personal:

- Contenedor blindado (Figura 11).

Este contenedor debe permanecer siempre dentro del búnker de braquiterapia y asegurarnos siempre antes del inicio de cada tratamiento que se encuentra lo más cerca al sistema de braquiterapia (Flexitron). En caso de emergencia de no retorno de la fuente, tendríamos que entrar en el búnker y utilizando las pinzas que se encuentran unidas al

contenedor introducir la fuente dentro de este. Está terminantemente prohibido manipular la fuente con las manos.



Figura 11. Contenedor blindado y pinzas para manipular la fuente.

- Monitor del tratamiento (Figura 12).

Es el sistema que muestra en tiempo real como va el tratamiento. Mientras la semilla radiactiva está recorriendo los diferentes catéteres para conformar el tratamiento prescrito es de vital importancia que los operadores/supervisor, que están vigilando el tratamiento, conozcan en todo momento en que canal y posición se encuentra la fuente. Esto sería imprescindible si todos los sistemas de seguridad fallarán y el supervisor tuviera que entrar a retirar el catéter donde se encuentra la fuente atascada que no ha retornado a la posición de seguridad.

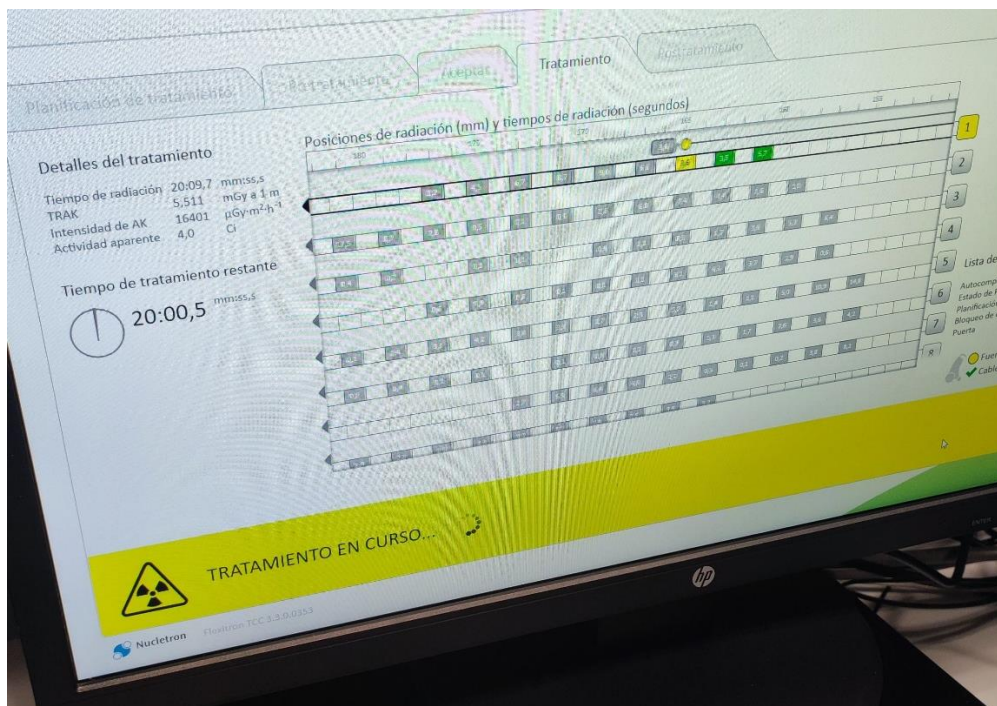


Figura 12. Tratamiento en curso que indica que la fuente está en el catéter nº1.

- Setas de emergencia (Figura 13).

Durante el tratamiento de braquiterapia pueden ocurrir incidencias que obliguen a parar el tratamiento. Las setas de emergencia son botones que al pulsarlos retraen automáticamente la fuente a la posición de seguridad y finalizan el tratamiento. Tenemos una primera seta en el puesto de control y una segunda al lado de la puerta al entrar en el búnker de braquiterapia.



Figura 13. Seta de emergencia en el puesto de control y en el búnker de braquiterapia.

- Botón de último hombre (Figura 14).

Es un sistema de seguridad que debe pulsarse por la última persona que abandona el búnker de braquiterapia antes de iniciar el tratamiento, que indica que no queda nadie en la sala a excepción del paciente.



Figura 14. Botón de último hombre.

- Medidor de radiación portátil.

Es utilizado para medir si existe radiación dentro del búnker de braquiterapia o en otra área de la zona de braquiterapia. Es más utilizado en el tratamiento de baja tasa.

- Medidor de radiación de sala (tipo Geiger-Muller).

Nos muestra la radiación que existe en tiempo real dentro del búnker de braquiterapia, está formado por un panel con números que se elevan cuando la fuente de braquiterapia está fuera de la posición de seguridad y por una señal luminosa que pasa del verde al rojo en esa situación (Figura 15 y Figura 16). El panel y la señal luminosa están en el puesto de control y otra señal luminosa encima de la puerta del búnker de braquiterapia.



Figura 15. Señal luminosa verde y panel en cero, indican que no existe radiación en estos momentos.



Figura 16. Señal luminosa roja y panel con nivel elevado, indican que existe radiación en estos momentos.

- Sistema de alarma.

El objetivo es evitar el robo o el sabotaje del material radioactivo. Depende de la empresa de seguridad propia del hospital universitario terciario con teléfono interno directo (369447) desde las 8:00 a las 22:00 horas.

- Llave de seguridad.

Si la llave de seguridad del equipo donde se almacena la fuente se encuentra en esta posición (Figura 17) la fuente no podrá salir. Para iniciar el tratamiento es necesario cambiarla de posición hacia la derecha y la luz blanca pasará a verde.



Figura 17. Llave de seguridad en posición de no tratamiento.

- Sistema blindado de puertas.

Tanto la puerta del búnker como las puertas acristaladas del pastillo tienen un enclavamiento que impiden que la fuente salga si no están cerradas simultáneamente.

- Sistema de vigilancia y comunicación con el paciente.

Necesario para vigilar al paciente en todo momento durante el tratamiento y comunicarnos con él si fuera necesario. Está formado por una cámara en tiempo real y un sistema de micrófonos y altavoces (Figura 18).

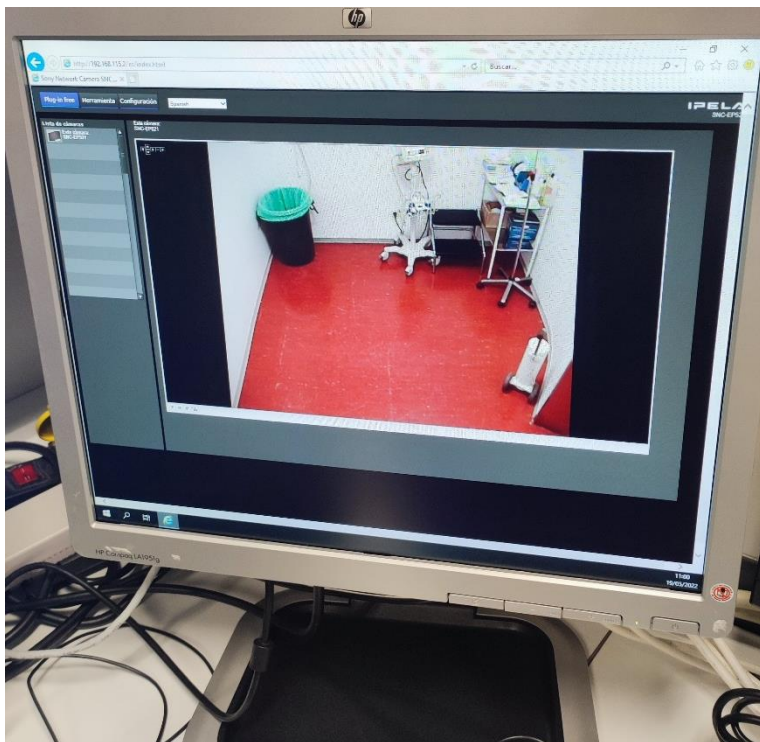


Figura 18. Sistema de video vigilancia.

Con todos estos sistemas descritos las condiciones para que el inicio del tratamiento de braquiterapia pueda llevarse a cabo son las siguientes:

- El paciente debe encontrarse solo en la habitación.
- La llave de seguridad debe estar en posición de tratamiento.
- El contenedor blindado debe estar lo más cerca posible
- Se debe pulsar el botón de último hombre.
- Cerrar la puerta del búnker y ambas puertas acristaladas de los pasillos.
- Todo el personal debe encontrarse en el puesto de control.

5.5. Medidas de protección individual.

Todos los trabajadores deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Portar dosímetro en todo momento durante su jornada laboral.
- Conocer las normas de trabajo en el área de braquiterapia.
- Conocer las medidas de seguridad colectiva.
- Conocer los métodos para reducir el riesgo de irradiación.
- Conocer dónde se encuentran los sistemas de seguridad para detener el tratamiento.
- Comprobar el circuito de seguridad antes de iniciar el tratamiento.
- Realizar simulacros de emergencia cada cierto periodo de tiempo.
- Saber emplear los monitores portátiles de radiación.
- Conocer la jerarquía del servicio para saber a quién dirigirse ante algún problema.
- Avisar ante cualquier incidente no esperado.
- Informar de irregularidades durante el tratamiento.
- Realizar los reconocimientos médicos indicados.

5.6. Medidas de vigilancia de la salud

Los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes deben realizarse un reconocimiento médico antes de iniciar a trabajar y anualmente.

Hemos creado una guía de un reconocimiento médico para un trabajador expuesto a radiaciones ionizantes.

- Anamnesis:
 - Antecedentes personales de radiaciones ionizantes.
 - Antecedentes de riesgos biológicos.
 - Antecedentes laborales.
 - Antecedentes personales (alergias, estado vacunal, enfermedades médicas, intervenciones quirúrgicas, antecedentes ginecológicos, medicación habitual, discapacidad, bajas laborales previas.)
 - Hábitos personales (ejercicio, tóxicos, alimentación, trastornos del sueño).
 - Estado actual.
 - Antecedentes familiares.
- Exploración física:
 - Exploración física general.

- Exploración dermatológica.
- Exploración neurológica.
- Exploración aparato locomotor (columna, miembros superiores e inferiores)
- Exploración cabeza y cuello.
- Exploración torácica.
- Exploración abdominal.
- Exploraciones instrumentales:
 - Biometría (IMC, frecuencia cardíaca, tensión arterial).
 - Audiometría tonal.
 - Exploración visual (monocular, binocular, fondo de ojo, tensión ocular).
 - Espirometría.
 - Electrocardiograma.
- Exploraciones complementarias:
 - Análisis de sangre completo (hemograma, coagulación, bioquímica).
 - Proteinograma.
 - Análisis de orina.
 - Serología (VHC, VHB, VIH)
 - Pruebas especiales (Inmunoglobulinas).

Junto con los reconocimientos anuales se debe hacer una vigilancia dosimétrica individual mensual para detectar la exposición a radiación y si fuera necesario intervenir al superar la dosis prevista.

5.7. Protección de maternidad y lactancia

Por parte del CSN se elaboró un documento²⁷ dónde se daban las pautas para que los encargados de riesgos laborales conocieran las particularidades a tener en cuenta en las trabajadoras embarazadas.

El punto primordial para iniciar la protección y la vigilancia de las trabajadoras embarazadas radica en la comunicación por parte de la trabajadora de su estado lo antes posible incluso antes de la concepción si está planeando el embarazo, ya que se iniciarán las medidas de protección lo antes posible.

Como hemos comentado en el apartado de límite de exposición, la dosis al feto debe ser inferior a 1 mSv, es decir debe equiparse al público, esto fue recogido en el Real Decreto 783/2001¹⁶.

Estas nuevas medidas no implican que la trabajadora no pueda realizar sus funciones normales sino que deberán ser revisadas y controlar la dosis de radiación a la que se expone al realizarlas. Está permitido permanecer en áreas vigiladas o controladas siempre que se haya analizado el riesgo.

Existen diferentes recomendaciones durante la jornada laboral de las trabajadoras embarazadas en los servicios de Radioterapia.

- Junto con el dosímetro personal, llevará un segundo dosímetro personal sobre el abdomen.
- Debe seguir las normas básicas de protección, permanecer detrás de los blindajes, el mínimo tiempo posible y a la mayor distancia.
- Podrá utilizar delantal plomado para minimizar el riesgo en determinadas circunstancias, colocar el dosímetro por debajo.
- Con respecto a las tareas de braquiterapia, no podrá realizar braquiterapia de baja tasa, manipulación de fuentes de baja tasa ni cuidado de enfermos tratados con esta técnica.
- No podrá participar en situaciones de emergencia.

Con respecto al periodo de lactancia, ya que en el servicio de Oncología Radioterápica analizado no existe riesgo de contaminación radiactiva no es necesario tomar ninguna medida adicional para la protección de estas trabajadoras.

Por parte del servicio de prevención además de la vigilancia dosimétrica, informar a la trabajadora de los nuevos límites y las medidas a tomar también es importante comunicarle y tranquilizarla ya que no presenta un mayor riesgo de malformaciones ni problemas durante el embarazo que la población, si se mantienen los niveles por debajo de mSv, por tanto debemos transmitirle que puede continuar en su puesto de trabajo con total seguridad.

5.8. Algoritmos de seguridad.

Tras la revisión de la literatura y la descripción de las medidas de seguridad hemos elaborado un algoritmo de emergencia ante posibles accidentes o errores durante el tratamiento, para implantar en el servicio de Oncología Radioterápica del hospital universitario terciario evaluado.

ALGORITMO DE EMERGENCIA: NO RETORNO DE LA FUENTE. (Figura 19).

Esta situación ocurre cuando ha finalizado el tratamiento pero el cable de la fuente no se recoge, el monitor de radiación sigue indicando que existe radiación en el búnker de tratamiento.

Lo primero a tener en cuenta es que deben aplicarse las normas básicas de protección (tiempo, distancia y blindajes).



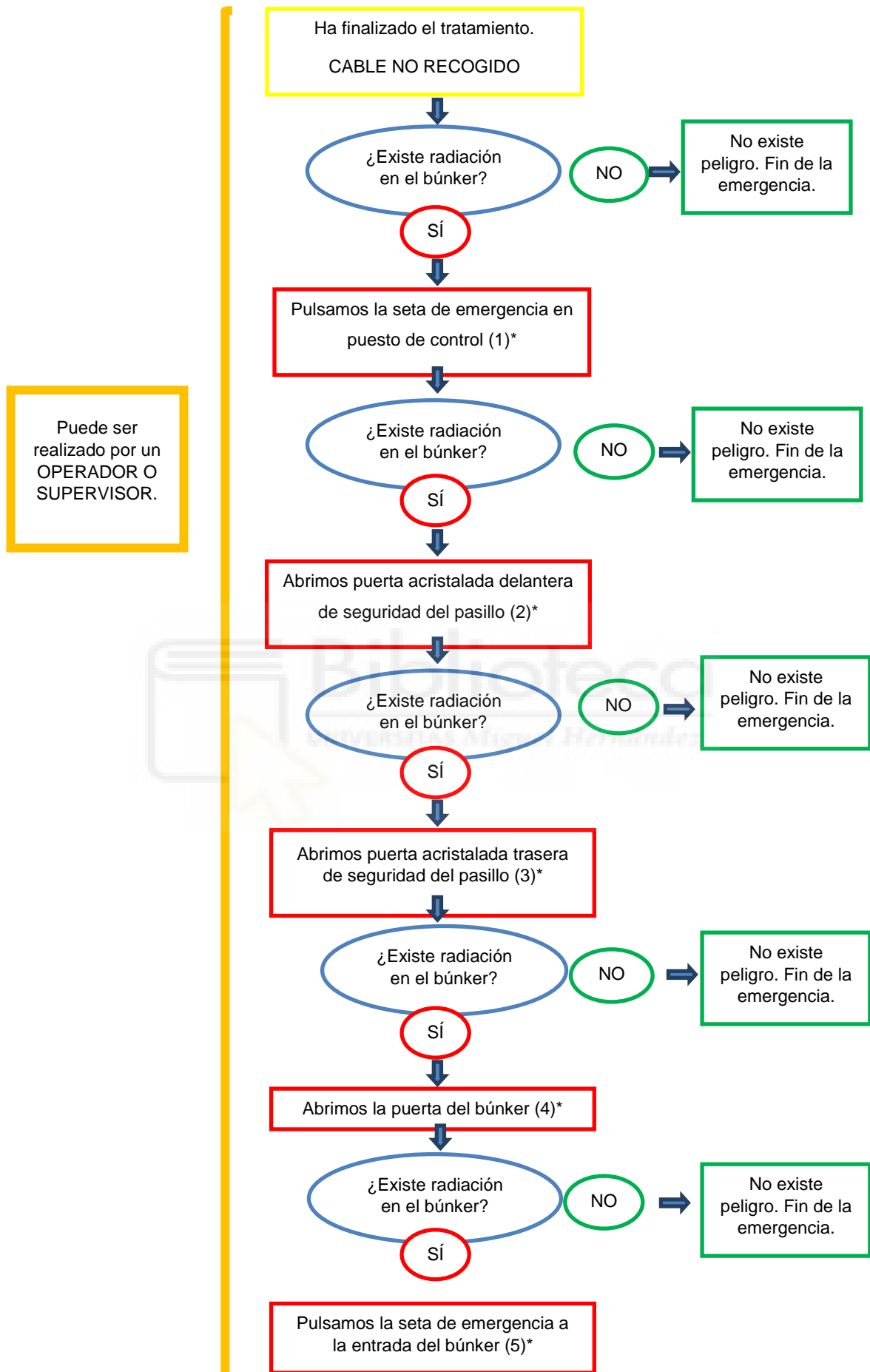


Figura 19. Algoritmo de emergencia. No retorno de la fuente.

* En el siguiente mapa del área de braquiterapia se muestra con números dónde se encuentran los dispositivos de seguridad (Figura 20).

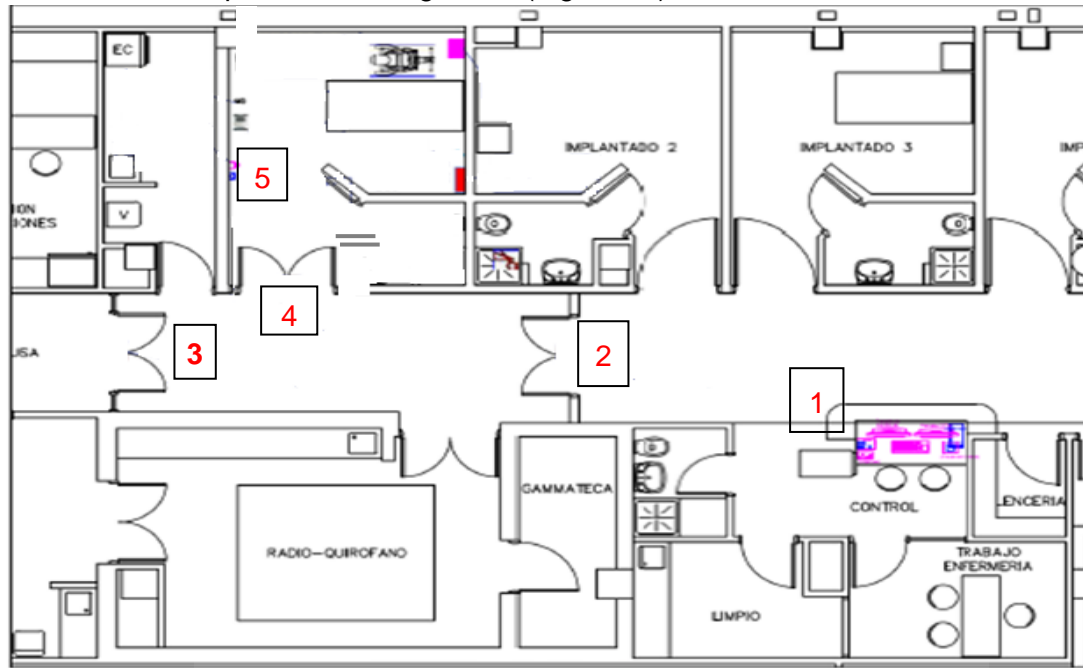


Figura 20. Mapa del área de braquiterapia con los dispositivos de seguridad numerados.

Tras todos estos pasos, se comprueba si sigue existiendo radiación con un medidor de radiación portátil. Y los siguientes pasos se detallan a continuación (Figura 21).

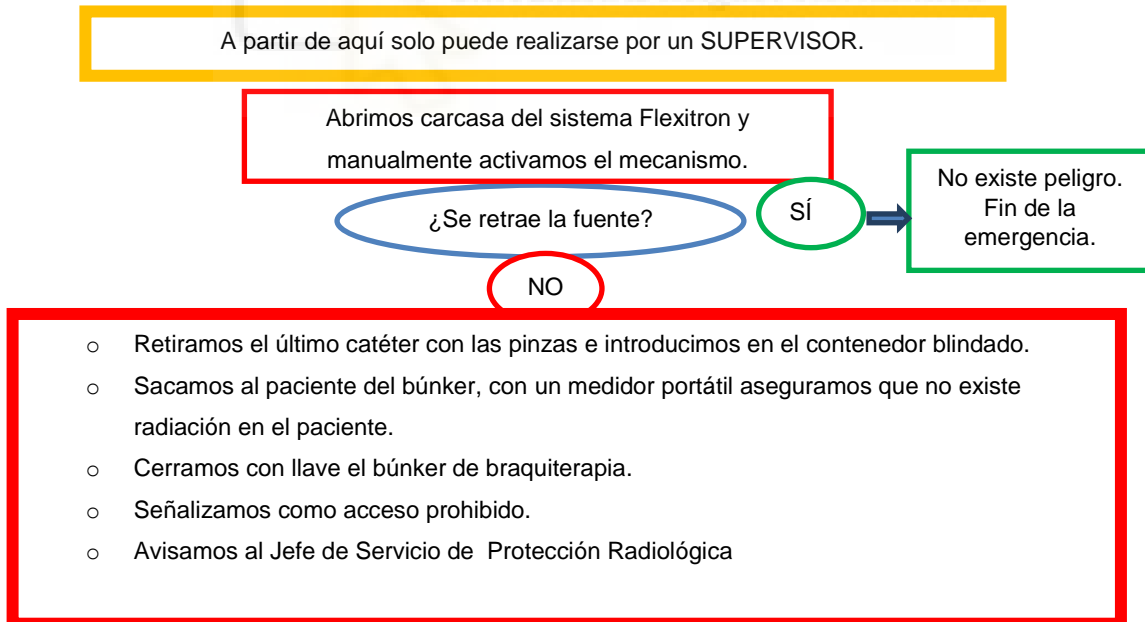


Figura 21. Algoritmo de emergencia. No retorno de la fuente. Continuación.

ALGORITMO DE EMERGENCIA: DESPRENDIMIENTO DE LA FUENTE (Figura 22).

Esta situación puede ocurrir en cualquier momento a lo largo del tratamiento, la fuente se desprende del cable, se detecta una alarma y activamos los sistemas de seguridad para retirar la fuente. Sin embargo lo que ocurre es que retira el cable pero la fuente no, por tanto el monitor de radiación sigue indicando que existe radiación en el búnker de tratamiento.

Al igual que en el caso anterior lo primero a tener en cuenta es que deben aplicarse las normas básicas de protección (tiempo, distancia y blindajes).

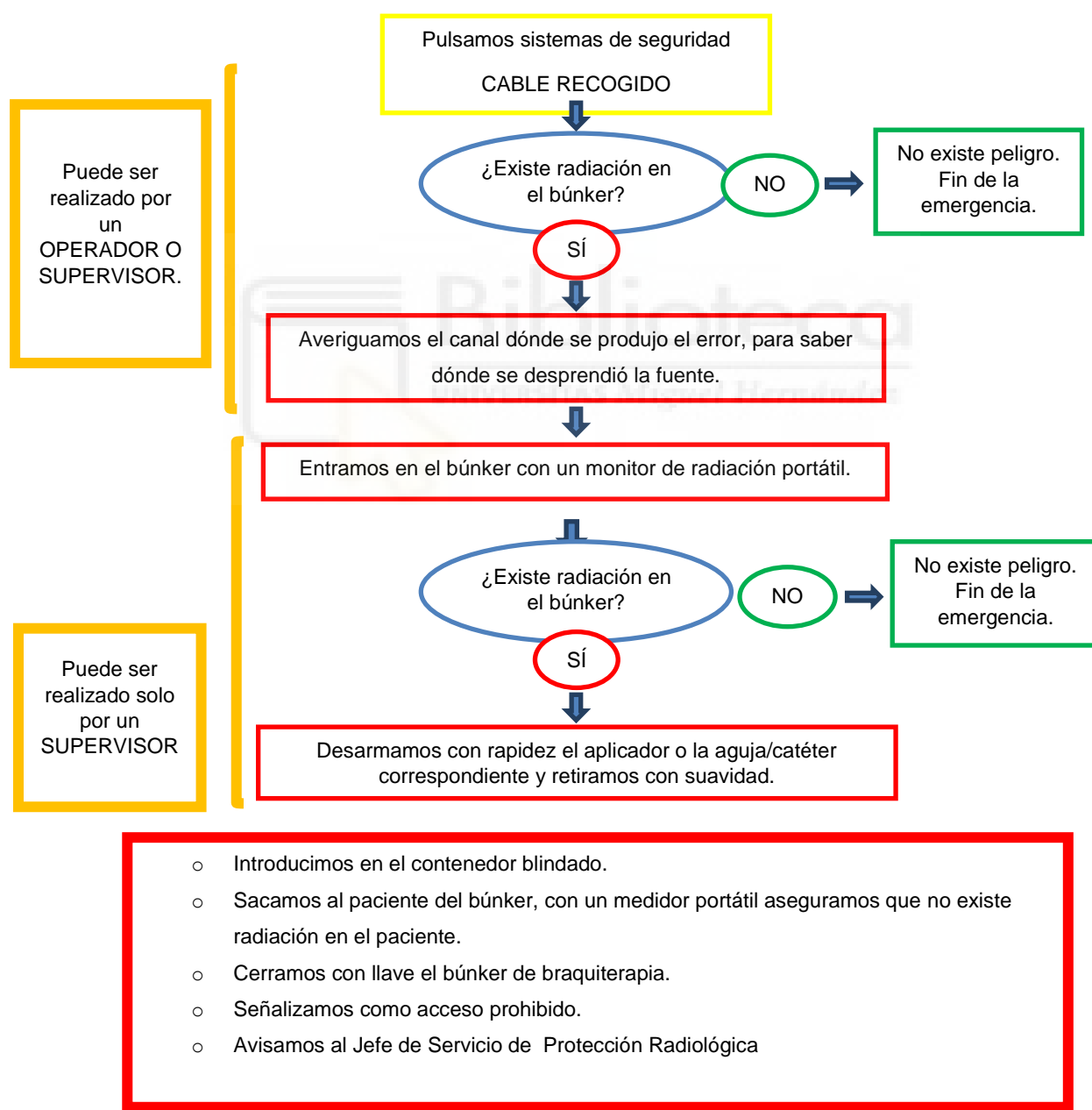


Figura 22. Algoritmo de emergencia. Desprendimiento de la fuente.

6. DISCUSIÓN.

Hoy en día los tratamientos de braquiterapia han adquirido unos niveles de seguridad elevados, *Bruce Thomadsen*²⁸ recoge diferentes mejoras que se han generado a lo largo de los años para aumentar la seguridad, entre ellos destacan la mejora en los búnkeres de tratamiento, el recubrimiento de las fuentes para proteger al personal y la carga diferida. Sin embargo a pesar las mejoras en imagen y planificación, destaca que la protección radiológica del paciente es similar a décadas anteriores, por tanto es de vital importancia la comprobación de la fuente y los tiempos de permanencia en cada catéter.

*Felder S et al*²⁹ reportan 94 eventos relacionados con problemas de seguridad, lo que representa un 2.8% de todos sus tratamientos realizados entre 2007 y 2016, de estos el 54% se clasificaron como accidentes reales siendo las causas principales los procedimientos de braquiterapia poco comunes, el uso de un software diferente o la entrada manual de datos.

Ante cualquier incidencia que se desarrolle durante la jornada de trabajo deben de seguirse unas normas generales para solucionarla y así poder reducir o minimizar posibles accidentes. Si un operador o supervisor detectan una anomalía inmediatamente deben comunicarlo al supervisor responsable, al jefe del Servicio de Protección Radiológica, anotarse en el Diario de Operaciones de la instalación y comunicarlo al CSN. Una vez declarado el incidente tienen que recogerse todos los datos pertinentes para esclarecerlo. Se recogerá una descripción del incidente, con la fecha y hora, las personas presentes en el momento y el personal que intervino en la emergencia, cuánto duro el accidente y en consecuencia la exposición, el material y el equipo utilizado, la dosis equivalente con una medida estimada de la radiación y cualquier dato que sea de interés para esclarecer lo ocurrido. Y uno de los puntos más importantes es que tras un accidente debe recogerse los dosímetros personales de todos los implicados para elaborar un informe personal.

La Sociedad Francesa de Oncología Radioterápica publicó un documento para la valoración de la seguridad en Braquiterapia³⁰, en el analizaron los riesgos de radiación y concluye que para evitar posibles accidentes es necesario una buena gestión en cuatro momentos destacados. Subraya la importancia de atender a la organización, la preparación, la planificación y la administración del tratamiento, a la hora de evitar posibles accidentes.

La Sociedad Estadounidense de Oncología Radioterápica (ASTRO) realizó un informe técnico sobre el estado de la seguridad en la braquiterapia de alta tasa³¹, en este se recoge

que la tasa de incidentes entre 2009 y 2010 en Estados Unidos fue de un 0.02% y que se debieron al error humano a la hora de realizar las tareas asignadas y a no seguir correctamente las medidas de seguridad. Como mejoras para implantar destacan que es necesario que los profesionales conozcan todos los sistemas de seguridad y protocolos, deben seguirlos en caso de accidente y notificarlos. Es necesaria la capacitación antes de realizar nuevas técnicas y el entrenamiento tanto teórico como práctico, los primeros procedimientos deben ser supervisados al menos las primeras cinco veces. Por último destacan que la creación de bases de datos con los accidentes o errores acaecidos es de vital importancia para generar protocolos de seguridad.

Kumagi et al ³²informan del primer accidente que tuvieron en Japón con una fuente atascada dentro de un tratamiento de braquiterapia. Gracias a esto crean un algoritmo de trabajo y destacan la importancia de que cada miembro del personal conozca cuál es su función en una emergencia.



7. CONCLUSIONES.

1. Podemos dividir las medidas preventivas descritas en medidas colectivas e individuales. Las medidas colectivas más importantes, para la aplicación de braquiterapia mediante una fuente de Iridio-192, son mantener la mayor distancia posible a la fuente de irradiación, permanecer el menor tiempo posible cerca de la fuente de irradiación, asegurar un buen blindaje y el conocimiento y buena señalización de las zonas de radiación.

Entre las medidas individuales para la aplicación de braquiterapia mediante una fuente de Iridio-192 se encuentran, portar un dosímetro durante la jornada laboral, conocer las normas de trabajo, las medidas preventivas colectivas y los sistemas de seguridad, realizar simulacros de emergencia, conocer la jerarquía del servicio para avisar ante cualquier incidente o irregularidad durante el tratamiento y realizar las revisiones de salud pertinentes.

2. Las condiciones de seguridad para asegurar el correcto almacenamiento de la fuente y la administración del tratamiento de braquiterapia deben ser conocidas por el personal. Entre ellas destacan el contenedor blindado para el almacenamiento de la fuente, las setas de emergencia y botón de último hombre, los medidores de radiación de sala y portátil, la llave de seguridad y el sistema de blindaje de puertas. Se han descrito detalladamente las normas de trabajo de todo el personal, identificándose el riesgo de irradiación en cada una de las tareas realizadas.

3. Tras la descripción de las medidas preventivas y las condiciones de seguridad, hemos actualizado el protocolo de seguridad creando dos algoritmos de emergencia siguiendo las recomendaciones de la Sociedad Estadounidense de Oncología Radioterápica y con base en el algoritmo creado por Kumagi et al tras el accidente reportado en Japón. Estos dos algoritmos de emergencia, permiten conocer de forma práctica y sencilla la actuación por parte de todo el personal y así actuar de forma más eficiente y segura. La mejora que pretendemos conseguir con estos algoritmos es acortar el tiempo de reacción ante incidentes y así disminuir la exposición a la radiación de los trabajadores. Estos se van a implantar en el servicio de Oncología Radioterápica del hospital universitario terciario evaluado.

8. BIBLIOGRAFÍA.

1. Domínguez, M. A., Rico, M., & Vila, M. T. (2009). Role of radiotherapy in the XXI century. *Anales del sistema sanitario de Navarra*, 32 Suppl 2, 5–12.
2. Rivard, M. J., Venselaar, J. L. M., & Beaulieu, L. (2009). The evolution of brachytherapy treatment planning: The evolution of brachytherapy treatment planning. *Medical Physics*, 36(6), 2136–2153.
3. Villafranca, E., Romero, P., Sola, A., Asín, G., Rico, M., & Vila, M. T. (2009). Braquiterapia guiada por imagen. *Anales Del Sistema Sanitario de Navarra*, 32, 51–59.
4. Kaanders, J. H. A. M., van den Bosch, S., Dijkema, T., Al-Mamgani, A., Raaijmakers, C. P. J., & Vogel, W. V. (2020). Advances in cancer imaging require renewed radiotherapy dose and target volume concepts. *Radiotherapy and Oncology: Journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology*, 148, 140–142.
5. Gerbaulet, A., Pötter, R. and Mazeron, J., 2014. The GEC ESTRO handbook of brachytherapy. Part I: The basics of brachytherapy. 2nd ed. pp.15-32.
6. Guinot J.L., Lanzós E., Muñoz V., Polo A. and Ramos A., 2008. Guía de Braquiterapia. 1º ed. Medical Practice Group, pp.18-21.
7. Guinot J.L., Lanzós E., Muñoz V., Polo A. and Ramos A., 2008. Guía de Braquiterapia. 1º ed. Medical Practice Group, pp.16-18.
8. ICRP, 2000. Prevention of Accidents to Patients Undergoing Radiation Therapy. ICRP Publication 86. Ann. ICRP 30 (3).
9. Valentin J. Prevention of high-dose-rate brachytherapy accidents. ICRP Publication 97. Ann ICRP 2005; 35: 1-51
10. Report to Congress on Abnormal Occurrences. 92-18. Loss of Iridium-192 Source and Medical Therapy Misadministration at Indiana Regional Cancer Center in Indiana, Pennsylvania, NUREG-0090, Volume 15, No. 4. USNRC, Washington DC (1992).
11. Directiva 2013/59/Euratom del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan las Directivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom y 2003/122/Euratom

12. Directiva 97/43/Euratom del Consejo de 30 de junio de 1997 relativa a la protección de la salud frente a los riesgos derivados de las radiaciones ionizantes en exposiciones médicas, por la que se deroga la Directiva 84/466/Euratom
13. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.
14. Real Decreto 601/2019, de 18 de octubre, sobre justificación y optimización del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas.
15. Real Decreto 1439/2010, de 5 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, aprobado por Real Decreto 783/2001, de 6 de julio.
16. Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes.
17. Real Decreto 1566/1998, de 17 de julio, por el que se establecen los criterios de calidad en radioterapia.
18. List of Classifications – IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans [Internet].[citado el 24 abril de 2022]. monographs.iarc.who.int.
19. Pascual A., Gadea E., NTP 614: Radiaciones ionizantes: normas de protección. Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo.
20. Cortés Díaz, J. (2018). Técnicas de prevención de riesgos laborales : seguridad y salud en el trabajo, 11ª ed. Editorial Tébar, pp. 500.
21. Arias, A. M., Gill, J. J. M., & Gil, J. J. M. (s/f). Trastornos hematopoyéticos en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes Hematopoietic disease in workersexposed to ionizing radiation. Isciii.es.
22. Preston, D. L., Shimizu, Y., Pierce, D. A., Suyama, A., & Mabuchi, K. (2003). Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997. *Radiation Research*, 160(4), 381–407.
23. Enfermedades profesionales causadas por agentes carcinógenos principios generales de actuación en el diagnóstico precoz del cáncer de origen profesional. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el trabajo.

24. IARC monographs on the Evaluation of carcinogenic risks to humans, pp 125-168. [citado el 23 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono100D.pdf>
25. Perez-Calatayud, J., Corredoira Silva, E., Crispin Contreras, V., EudaldoPuell, T., Frutos Baraja, J. de, Pino Sorroche, F., PujadesClaumarchirant, M. C., &Richart Sancho, J. (2015). Radiation Protection in Brachytherapy Report of the SEFM Task Group on Brachytherapy. *Revista de Fisica Medica*, 16(2), 11-47.
26. Real Decreto 102/2014, de 21 de febrero, para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos.
27. Protección de las trabajadoras gestantes expuestas a radiaciones ionizantes en el ámbito sanitario / CSN [Internet]. [citado el 22 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/914805/Protecci%C3%B3n%20de%20las%20trabajadoras%20gestantes%20expuestas%20a%20radiaciones%20ionizantes%20en%20el%20%C3%A1mbito%20sanitario>
28. Thomadsen B. Radiation protection responsibility in brachytherapy. *Health Phys* 2019;116(2):189–204
29. Felder S, Morley L, Ng E, Chan K, Ballantyne H, Di Tomasso A, et al. Brachytherapy patient safety events in an academic radiation medicine program. *Brachytherapy*. 2018;17(1):16–23.
30. Marcié S, Marinello G, Peiffert D, Lartigau É. Sécurité en curiethérapie. *Cancer Radiother*. 2013;17(2):166–9.
31. A review of safety, quality management, and practice guidelines for high-dose-rate brachytherapy: executive summary. *Practical radiation oncology* 2014 Mar-Apr. Vol. 4 (2) pp. 65-70.
32. Kumagai S, Arai N, Takata T, Kon D, Saitoh T, Oba H, et al. First experience of ¹⁹²Ir source stuck event during high-dose-rate brachytherapy in Japan. *J ContempBrachytherapy*. 2020;12(1):53–60.