



Universidad del  
**Rosario**

Exposición a radiaciones ionizantes en personal de la salud, revisión de alcance de la literatura, 2010-2020

Por  
Paola Lizzeth Choachí Díaz

Trabajo presentado como requisito para optar por el título de Magister en seguridad y Salud en el trabajo Universidad del Rosario

Bogotá D.C., 2021

Exposición a radiaciones ionizantes en personal de la salud, revisión de alcance de la  
literatura, 2010-2020

Por  
Paola Lizzeth Choachí Díaz

Tutora  
Marcela Varona Uribe

Maestría en Seguridad y Salud en el trabajo Universidad del Rosario

Bogotá D.C., 2021

## **EXPOSICION A RADIACIONES IONIZANTES EN PERSONAL DE LA SALUD, REVISIÓN DE ALCANCE DE LA LITERATURA, 2010-2020**

**Nombre del investigador:** Paola Lizzeth Choachí Diaz, Estudiante de Maestría en Seguridad y Salud en el Trabajo, Universidad del Rosario.

### **Introducción:**

Las radiaciones ionizantes han sido desde su descubrimiento una herramienta fundamental en las aplicaciones tanto médicas como industriales y son consideradas de gran utilidad para la investigación y el desarrollo de los países. Sin embargo, las mismas propiedades que las hacen útiles en esos campos, las convierten en elementos generadores de riesgos para la salud de las personas expuestas. Los efectos secundarios a la exposición a altas dosis de radiación ionizante son bien conocidos, pero los efectos a bajas dosis (menores a 100 mSV durante toda la vida) de radiación son más difíciles de establecer debido a que los efectos determinísticos no ocurren en estos niveles.

Por lo tanto, el conocimiento de las consecuencias en la salud de las personas derivadas de los factores de riesgo físico presentes en el ambiente laboral permitirá actuar acertadamente en la prevención de posibles lesiones, así como al diagnóstico temprano de las enfermedades relacionadas con la exposición.

La exposición rutinaria y continua a la radiación puede causar efectos nocivos en el cuerpo humano por efecto directo o indirecto en las células, causando daño fisiológico y / o funcional a los órganos. Para cualquier dosis de radiación, existe el riesgo de neoplasia y muerte celular, con una relación directa entre la dosis y el riesgo

**Objetivo:** Determinar la prevalencia y los efectos en la salud que presente el personal de la salud expuesto a radiación ionizante entre los años 2010-2020 según la evidencia revisada.

**Materiales y métodos:** Se realizará una revisión de alcance en los idiomas inglés y español, usando los términos de búsqueda “exposure”, “radiation”, “health effects”, “ionizing”, “doce” “Occupational Exposure”, “Occupational Diseases”, “Health Personnel”, risk, “exposición a Riesgos ambientales”. Se incluyeron únicamente artículos a texto completo.

**Resultados:** El rango de edad de los profesionales de la salud expuestos a radiaciones ionizantes esta entre los 30 años y los 70 años. Los cardiólogos intervencionistas son los profesionales con mayor exposición a estas. La dosis de exposición de los trabajadores de la salud fue inferiores a 20 mSv/año presentándose la mayoría de los efectos a dosis bajas de radiaciones ionizantes.

**Conclusión:** Dentro de la revisión de alcance se evidencia que los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes tienen mayor riesgo de desarrollar alteraciones en el cristalino, alteraciones hormonales tiroideas, riesgo de desarrollar cáncer de mama y otras alteraciones relacionadas con la dosis y el tiempo de exposición a las radiaciones.

**Palabras Claves:** “exposure”, “radiation”, “health effects”, “ionizing”, “doce” “Occupational Exposure”, “Occupational Diseases”, “Health Personnel”, risk, “exposición a Riesgos ambientales”.

## **INTRODUCCION**

La radiación es energía emitida, transmitida o absorbida en forma de ondas o de partículas energéticas y se divide en ionizante y no ionizante. La radiación no ionizante, de mayor longitud de onda, abarca fenómenos como la luz (visible, infrarroja, ultravioleta), las ondas de radio, televisión, las microondas y el radar. La radiación ionizante de menor longitud de onda, los rayos X y gamma. A esto se le denomina el espectro electromagnético. (1)

La radiación ionizante se refiere al tipo de radiación que tiene suficiente energía como para romper enlaces químicos y producir pares de iones (átomos cargados eléctricamente) cuando atraviesa la materia, es decir, alterar el estado físico de los átomos o de las moléculas dividiéndolas en dos partes cargadas eléctricamente, una positiva y otra negativa. (1)

Las radiaciones ionizantes pueden clasificarse en corpusculares y electromagnéticas. Las corpusculares son flujos de partículas (tienen masa) emitidas por átomos inestables, aceleradores o reactores nucleares, perteneciendo a esta categoría las radiaciones alfa y beta, los protones y los neutrones. Las electromagnéticas son ondas que se desplazan a la velocidad de la luz, emitidas por átomos inestables o generados en equipos, corresponden a los rayos X y gamma. (1)

Se define como exposición a todo acto o situación de estar sometido a irradiación. La exposición puede ser externa (irradiación causada por fuentes situadas fuera del cuerpo humano), o interna (irradiación causada por fuentes existentes dentro del cuerpo humano). Se considera Exposición crónica a la que se produce durante un período largo de tiempo, más de un año en el caso de los seres humanos y exposición a dosis bajas, aquellas que no superen los 20 mSv-año en promedio durante 5 años o 100 mSv durante 5 años, de tal forma que si se superan dichos niveles se clasifica como moderada o severa. (1)

Para efectos de la protección radiológica se han descrito tres categorías de exposición: exposiciones ocupacionales, exposiciones del público, y exposiciones médicas de pacientes.

(1) El foco de este documento son las ocupacionales.

Los mecanismos que conducen a la aparición de los efectos adversos en salud luego de la exposición a radiaciones ionizantes son objeto de estudio permanente.

A diferencia de otras formas de radiación, la radiación ionizante es capaz de depositar suficiente energía localizada para arrancar electrones de los átomos con los que interactúa. Así, cuando la radiación colisiona al azar con átomos y moléculas al atravesar células vivas, da lugar a iones y radicales libres que rompen los enlaces químicos y provoca otros cambios moleculares que dañan las células afectadas. (2)

Los efectos de la radiación abarcan una amplia variedad de reacciones, que varían de modo notable en sus relaciones dosis-respuesta, manifestaciones clínicas, cronología y pronóstico

(Mettler y Upton 1995). Los efectos suelen subdividirse por comodidad en dos amplios grupos: (1) efectos heredables, que se manifiestan en los descendientes de los individuos expuestos, y (2) efectos somáticos, que se manifiestan en los propios individuos expuestos. En estos últimos se incluyen los efectos agudos, que aparecen relativamente pronto después de la irradiación, así como los efectos tardíos (o crónicos), como el cáncer, que puede no aparecer hasta que han transcurrido meses, años o decenios.

Los efectos agudos de la radiación se deben sobre todo a la depleción de células progenitoras en los tejidos afectados, y sólo pueden inducirse por dosis lo bastante grandes para matar muchas de estas células. Por este motivo, tales efectos se consideran de naturaleza no estocástica, o determinista (CIPR 1984 y 1991), en contraste con los efectos mutágenos y cancerígenos de la radiación, que se consideran fenómenos estocásticos resultantes de alteraciones moleculares aleatorias en células individuales que aumentan como funciones lineales, sin umbral, de la dosis (NAS 1990; CIPR 1991) (2)

Los efectos a largo plazo del material radiactivo liberado sobre la salud no pueden predecirse con certeza, pero las estimaciones de los riesgos resultantes de efectos cancerígenos, basadas en modelos de incidencia de dosis sin umbral, suponen que pueden producirse hasta 30.000 muertes adicionales por cáncer en la población del hemisferio norte durante los 70 próximos años a consecuencia del accidente, aunque es probable que los casos adicionales de cáncer en cualquier país sean demasiado escasos para permitir su detección epidemiológica (USDOE 1987).(2)

La radiación ionizante tiene suficiente energía para producir cambios en la estructura de las moléculas incluyendo el ADN de las células del cuerpo (esto varía de acuerdo con la radiosensibilidad de las células). Los denominados órganos críticos son los principales órganos que se ven más afectados por la radiación y dan lugar a consecuencias más graves para el organismo, son la médula ósea, del intestino delgado, y las gónadas.

Silva-Júnior F y cols en Brasil, en el 2020 realizaron un estudio cuyo objetivo fue evaluar la influencia potencial de la exposición ocupacional a la radiación ionizante (IR) en los profesionales de la salud, estableciendo el daño del ADN mediante el ensayo del cometa, la determinación de micronúcleos (MN) y analizando los factores asociados entre dichas pruebas, los factores socioeconómicos y de estilo de vida. Dentro de los resultados más relevantes se encontraron asociaciones entre en el tiempo de exposición, las horas trabajadas por semana y el estrés percibido. Se encontraron correlaciones entre la edad, el consumo de alcohol y la frecuencia de las radiografías durante la vida. Las variables que resultaron significativas en el análisis ajustado fueron el color de la piel y la exposición reciente a la radiación. Gran parte de la población tenía más de 30 años edad (78%), color de piel blanca (92%), y pertenecían a clase económica B (56%). Los antecedentes familiares de cáncer fueron recogidos, y el 42% de los entrevistados refirió tener antecedentes de algún tipo de cáncer en su familia. La mayoría de los encuestados (53%) se declararon en un estado de alto nivel de estrés. En cuanto a la puntuación en la escala PSS-10, el 56% obtuvo más de 16 puntos, reportando un nivel de estrés entre medio a alto. Se detectaron diferencias estadísticas entre el grupo expuesto y el control interno en las variables edad, sexo, color de piel, ABEP (Asociación Brasileña de estudios poblacionales), estrés y radiografía en los últimos 12 meses.

En relación con la exposición no ocupacional a los rayos X, 38% de los trabajadores reportaron haber recibido de 5 a 10 radiografías durante su vida, hasta el momento de la entrevista, y el 89% recibió de 0 a 2 radiografías en la última 12 meses. (3)

Luna-Sánchez S Y cols en Madrid España. 2019 realizaron un estudio cuyo objetivo fue analizar posibles alteraciones de la función tiroidea relacionadas con valores dosimétricos en trabajadores sanitarios expuestos a radiaciones ionizantes. El 7,1% de los trabajadores mostró un aumento de la hormona estimulante del tiroides en suero sin alteración de T3 libre o T4 libre. Una relación significativa entre los trabajadores con aumento de la hormona estimulante de la tiroides y los valores dosimétricos del año anterior (razón de probabilidades 6,35; IC del 95%: 1,20-98,1,  $p = 0,021$ ) y el período de exposición a la radiación de 5 años anterior (razón de probabilidad: 1,72; IC del 95%:1,12-3,34,  $p = 0,007$ ). (4)

El estudio llevado a cabo por Deas SD y cols en Texas, USA en el 2017 evaluó los efectos sobre la salud por exposición a radiaciones ionizantes. Reportan que la tasa de dosis anual per cápita ha aumentado en los Estados Unidos y existe una creciente preocupación por los riesgos que plantea la exposición ocupacional a dosis bajas entre los trabajadores de las industrias nucleares y la atención médica. Los accidentes nucleares recientes y el terrorismo han aumentado la preocupación por la exposición catastrófica a altas dosis de radiación ionizante. Esta revisión destaca la investigación reciente sobre los riesgos para la salud pulmonar que plantea la exposición a la radiación ionizante y los posibles tratamientos. Los resultados muestran que la exposición a altas dosis de radiación ionizante causa neumonitis y fibrosis pulmonar, sin embargo, se necesita más investigación para desarrollar mitigadores que mejoren los resultados en catástrofes nucleares. La radiación ocupacional a largo plazo y en dosis bajas puede aumentar el riesgo de cáncer de pulmón. Realizar más investigaciones para definir mejor este riesgo podrían conducir a mejores protocolos de seguridad y programas de detección. (5)

En Estados Unidos en el 2010 Schonfeld SJ y cols demostraron que la radiación ionizante, es un factor de riesgo para el cáncer de mama, ya que induce daño oxidativo e inflamación crónica. La variación polimórfica en el estrés oxidativo y los genes de las vías mediadas por la inflamación pueden modificar el riesgo de cáncer de mama relacionado con la radiación. Los resultados mostraron una interacción entre la variante rs5277 en PTGS2 y el riesgo de cáncer de mama relacionado con la radiación.

El efecto de OR (EOR) (efecto de la radiación ocupacional) / Gy de exposición ocupacional a la radiación = 5,5 (IC del 95%:1,2-12,5) para el genotipo GG versus EOR / Gy \ 0 (95% CI \ 0-3,8) y EOR / Gy \ 0 (95% CI \ 0-14,8) para GC y CC genotipos, respectivamente, ( $p$  interacción = 0,04).

La asociación entre radiación y cáncer de mama no fue modificada por otros SNP (polimorfismos de nucleótido único) examinados. Este estudio sugiere que la variación en PTGS2 puede modificar el riesgo de cáncer de mama de ocupacional por exposición a la radiación. (6)

Hernández C y cols en Medellín, Colombia en el 2019 reportaron que el número y la complejidad de los procedimientos de diagnóstico e intervencionismo cardiovascular han incrementado de manera significativa, hecho que genera mayor exposición a dosis bajas de radiación ionizante debido a la radiación dispersa por el paciente. El cristalino es una de las

estructuras más sensibles a la radiación y las cataratas son la enfermedad ocular más estudiada y frecuente en el personal de la salud ocupacionalmente expuesto a dosis bajas de radiación. La formación de cataratas es un proceso multifactorial y la exposición a la radiación ionizante se ha asociado a opacidades subcapsulares posteriores, que es la forma más común de lesión, seguida por las cataratas corticales. Concluyen que hay mayor prevalencia de opacidades subcapsulares posteriores en el personal expuesto a radiación ionizante, especialmente en los cardiólogos intervencionistas (por trabajar muy cerca del generador de rayos X), las cuales están relacionadas con la duración de la práctica del intervencionismo cardíaco y disminuyen con el uso regular de los lentes plomados. Lo llamativo de muchos estudios es el bajo uso por parte de las cardiólogas intervencionistas de los elementos de protección radiológica, especialmente gafas y mampara plomada, las cuales han demostrado efectividad en la reducción de la radiación ionizante recibida por el personal de la sala de cateterismo cardíaco. En este artículo de revisión se presentan las estrategias que han demostrado reducir de manera significativa la dosis de radiación en el cristalino; se describen las características que ofrecen mejor protección, como lentes plomados, así como el uso de los campos blindados y finalmente se resalta la utilidad fundamental de la mampara plomada, la cuál debe ser usada de manera simultánea y sin excepción, adicional a las medidas descritas. (8)

Sierra B en Colombia en el 2011 evaluaron el efecto genotóxico de la radiación ionizante en el ADN linfocitario, en médicos ortopedistas expuestos laboralmente a dosis menores de 20mSv/año, por el uso de intensificador de imágenes durante intervenciones quirúrgicas, comparado con un grupo de no expuestos de la población general. Observaron que el efecto genotóxico en la cohorte expuesta en la medición realizada al inicio del estudio y a los seis meses de seguimiento con relación a la frecuencias de micronúcleos, fue equiparable a las de los no expuestos, por la adopción de medidas individuales de radioprotección (Me 8, IC95%: 6-12 vs Me 4 IC95%: 2,4-8,  $p < 0,05$ ), los valores mayores del ensayo de micronúcleos en los expuestos se correlacionaron con el tiempo de exposición en años, la dosis del primer mes y la dosis acumulada. Los resultados del ensayo de micronúcleos en grupo no expuesto no mostraron diferencias entre las dos tomas. La dosis efectiva acumulada de tórax durante el periodo de observación fue mayor en la cohorte expuesta (Me 3,44mSv/6m, IC95% 1,66-3,99). Las dosimetrías de mano y cuello no arrojaron valores por encima de lo permitido. No se encontró correlación entre las dosis efectivas y la frecuencia de micronúcleos. (9)

En New York en el 2015 Monastiriotis S y Cols revisaron la exposición a la radiación en la reparación endovascular de aneurismas de la aorta abdominal y torácica, la reparación aórtica endovascular se ha vuelto cada vez más popular en los últimos años para el tratamiento de aneurismas aórticos (EVAR) y aneurismas aórticos torácicos. La EVAR es menos invasiva en comparación con el abordaje abierto clásico, relacionada con una disminución de la morbilidad y la mortalidad posoperatorias inmediatas. Esos beneficios caracterizados por la REVA no lo hacen venir sin un costo, ya que la REVA requiere que el paciente esté expuesto a una cantidad significativa de radiación durante el preoperatorio, colocación del injerto y

seguimiento consecutivo. Esta revisión sistemática examina la exposición a la radiación de los pacientes y el personal, así como formas de mejorarla.

La exposición a la radiación durante la REVA (reparación aortica endovascular), un procedimiento común que se realiza con una frecuencia creciente no puede ser ignorado. La media de DAP (Dosis por área) y DE (dosis efectiva) para EVAR son 79,5 Gy<sub>cm</sub> 2y 20 mSv, y estos aumentan proporcionalmente a la complejidad del procedimiento. Además, la falta de Educación de especialistas endovasculares y necesidades de personal. Debe tratarse de forma sistemática. Proponen que todos los residentes y fellows en formación en especialidades que requieran el uso de fluoroscopia debe obtener una certificación en seguridad radiológica como requisito para la graduación. Esta puede lograrse a través de cursos prácticos en centros especializados del país. (14)

Goldswieg AM y Cols en 2017 Nueva York revisaron a los médicos y pacientes sus dosis efectivas de radiación por tipo de procedimiento según lo informado en la literatura y presentan datos recientes sobre estrategias de reducción de dosis. Tanto los pacientes como los médicos reciben dosis sustanciales de radiación ionizante. durante intervenciones endovasculares guiadas por fluoroscopia. Recomiendan que ambos grupos deben ser conscientes del alcance y los riesgos de esta exposición según se revisa en este documento. La exposición varía ampliamente según el tipo de procedimiento, al que están expuestos los pacientes y médicos, múltiples procedimientos endovasculares de alta radiación sufren dosis acumuladas. Más allá de maximizar la educación y la vigilancia con respecto al uso de la radiación, Se insta a los médicos y otro personal médico a que adopten medidas para reducir sus dosis propias y de sus pacientes. Estos incluyen el uso consciente de la radiación de equipo de fluoroscopia de emisión, blindaje máximo equivalente al plomo utilizando múltiples dispositivos de protección, monitoreo frecuente o en tiempo real del paciente y exposición del personal y el uso de imágenes de ultrasonido 3D en lugar de fluoroscopia. Estas técnicas, junto con las futuras tecnologías de reducción de la radiación, ayudarán para proteger a la comunidad vascular intervencionista. (15)

La exposición a la radiación del personal de la salud ha sido un motivo de preocupación por sus consecuencias a corto y largo plazo. Efectos a corto plazo ocurren cuando la exposición excede los 10 Gy, mientras que los efectos a largo plazo se presentan debido a múltiples períodos de exposición en niveles superiores a 0,1 Gy.

La trascendencia que busca el presente trabajo es evidenciar que los efectos perjudiciales de la radiación ionizante sobre la salud humana son de una gran diversidad, y abarcan desde lesiones con resultado fatal rápido a cánceres, defectos de nacimiento y trastornos hereditarios que aparecen meses, años o decenios después. La naturaleza, frecuencia y gravedad de los efectos dependen de la radiación en cuestión, así como de la dosis y las condiciones de exposición que se basa en datos encontrados en los diferentes estudios.

Los profesionales de la salud que trabajan en áreas con equipos generadores de radiación ionizante tienen mayor riesgo de exposición y pueden desencadenar diferentes alteraciones. Dentro de los profesionales con mayor número de posibles alteraciones están, los cardiólogos hemodinamistas, los ortopedistas, los técnicos radiólogos, los médicos de medicina nuclear,

así como todos aquellos profesionales que durante sus actos quirúrgicos se exponen a equipos que emitan estas radiaciones.

Los resultados mostrarán el panorama respecto a la situación laboral actual y permitirán que se tomen medidas correctivas como la capacitación del personal y la creación de sistemas de vigilancia epidemiológica ocupacional para radiaciones ionizantes.

Los cardiólogos intervencionistas y profesionales que trabajan en hemodinamia tienen significativamente más prevalencia de desarrollar cataratas subcapsulares posteriores que aquellas personas que no están expuestas.

Según las directrices del Consejo Nacional de Protección Radiológica (ICRP) una ocupación con menos de 1 muerte por cada 10.000 trabajadores/año se considera segura. De los especialistas que trabajan con radiación ionizante, los cardiólogos intervencionistas son los que tienen mayor exposición anual a radiación. Un cardiólogo intervencionista tiene una exposición anual a radiación que oscila entre 2-5 mSv año (equivalente a 150 radiografías de tórax año); en 30 años de trabajo la dosis de radiación aproximada equivale a 100 mSv. Dicha cantidad de radiación acumulada se asocia con la aparición de cáncer (mortal y no mortal) por cada 100 sujetos expuestos y un cáncer mortal en 200 sujetos expuestos. Hay dos efectos estocásticos que son importante mencionar. Uno es el reporte de mayor incidencia de tumores en el lado izquierdo del cerebro en cardiólogos y radiólogos intervencionistas; sin embargo, no se ha podido demostrar de manera consistente una relación directa entre la radiación craneal y la aparición de neoplasias cerebrales como glioblastoma multiforme, así como tampoco mayor incidencia de alteraciones del comportamiento como depresión o ansiedad (dosis crónicas bajas de radiación pueden causar efecto deletéreo en la neurogénesis del hipocampo y la plasticidad neuronal). (11)

El segundo efecto es la mayor incidencia de opacidades subcapsulares posteriores del cristalino, que han sido documentadas hasta en un 50% de los cardiólogos intervencionistas, y cataratas. Las razones de esta alta prevalencia se explican por la exposición del operador a la radiación dispersa, la poca utilización de las gafas de plomo (< del 30% de los operadores) y los límites previos de dosis ocupacional legales, que fueron demasiado altos para tener preocupación de este efecto.

La piel es el tejido más afectado por ser la primera barrera que recibe el haz de rayos X. Las lesiones pueden ir desde eritema transitorio, depilación dérmica y caída del cabello, hasta úlceras profundas permanentes.

La protección radiológica es un problema grave y de importancia para los intervencionistas como los cirujanos vasculares, porque los procedimientos endovasculares más complejos transmiten dosis medibles de radiación al cristalino.

## **METODOLOGÍA:**

Se llevó a cabo a cabo una revisión de alcance de literatura la cual corresponde a una síntesis de la evidencia disponible, realizando revisión de aspectos cuantitativos y cualitativos de estudios primarios con el objetivo de resumir la información relacionada con la presencia de efectos por exposición a radiaciones ionizantes de los trabajadores de salud.

Para este estudio con base en la revisión de alcance de la literatura entorno a la exposición a radiaciones ionizantes de los profesionales de la salud y los efectos en la salud, los criterios de selección que se tomaron en cuenta fueron: artículos a texto completo de los años 2010 a 2020, en idioma inglés o español sin distinción del número de artículos de un idioma, que estuvieran en los buscadores datos Pubmed, Medline, Cochrane library Scielo y Elsevier, en los idiomas inglés y español, usando los términos de búsqueda “exposure”, “radiation”, “health effects”, “ionizing”, “doce” “Occupational Exposure”, “Occupational Diseases”, “Health Per-sonnel”, risk, “exposición a Riesgos ambientales”

Durante el análisis de los artículos se priorizó aquellos que evidenciaran una trascendencia importante acerca del tema que se está desarrollando, por lo cual se aceptaron los artículos que relacionan como la influencia a la exposición ocupacional a radiaciones ionizantes y los efectos de la salud.

Las variables seleccionadas fueron: variable dependiente: efectos sobre el estado de la salud y variables independientes: sexo, edad, ocupación, tiempo de servicio, duración de la exposición, dosis de exposición y uso de elementos de protección personal (EPP). Las variables de potencial confusión fueron: antecedentes patológicos (neoplasias, hipertensión arterial, hipotiroidismo diabetes entre otras) y exposición a radiación no laboral.

Para el presente estudio se realizó un proceso de selección a través de la lectura de título, el resumen y la aplicación de criterios de selección. Aquellos que cumplieron con estos criterios, fueron organizados en una matriz diseñada en el programa Excel®, en la cual se consignaron tanto variables bibliométricas como conceptuales.

Posteriormente, se verificó la disponibilidad del material con disposición electrónica, definiendo si los artículos obtenidos tenían la relevancia con el objeto de la presente revisión de alcance.

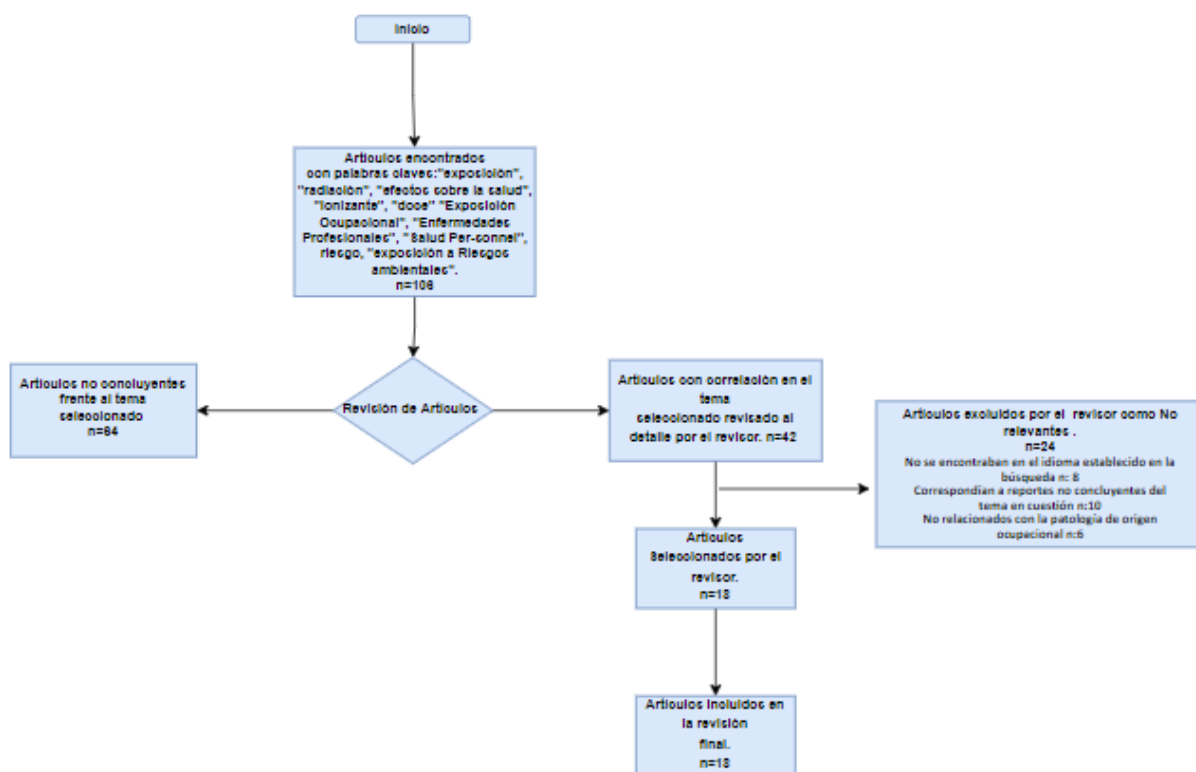
## **CONSIDERACIONES ÉTICAS**

Los proyectos de investigación en el campo de la salud humana deberán ajustarse a las “Normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud”, establecidas en la resolución No. 008430 de 1993 del Ministerio de Salud, considerando de manera especial la categoría de riesgo para los humanos que pueda generar la propuesta. Igualmente, es necesario mencionar la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial, en donde se explican los principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos.

## RESULTADOS

En el flujograma 1, se observa el proceso de selección de artículos de interés relevante para la revisión de alcance. Inicialmente mediante 2 motores de búsqueda se recolectaron un total de 106 artículos, de los cuales 64 no fueron concluyentes para el tema en cuestión, quedando por lo tanto 42 artículos de los cuales 24 se descartaron por no cumplir con los criterios de selección establecidos de la siguiente manera: no se encontraban en el idioma establecido en la búsqueda (n: 8), correspondían a reportes no concluyentes del tema en cuestión (n:10), no relacionados con la patología de origen ocupacional (n:6), quedando 18 artículos para su análisis.

Flujograma 1. Proceso de selección de los artículos



### Características demográficas y laborales de la población trabajadora expuesta a radiaciones Ionizantes

Rodrigues da Silva- Junior y cols realizaron un estudio de casos y controles en 2020, con el objetivo evaluar la influencia potencial de la exposición ocupacional a las radiaciones ionizantes (IR) en los profesionales de la salud, evaluando el daño del ADN utilizando el ensayo del cometa y la determinación de micronúcleos (MN) y analizando riesgos relativos, correlaciones y factores asociados entre resultados y factores socioeconómicos y de estilo de vida. El grupo incluía enfermeras, técnicos y radiólogos. Las personas de este grupo se consideraron expuestas directamente porque tenían contacto directo con IR (radiaciones

ionizantes) a través de radiología de diagnóstico convencional y contrastada utilizando máquinas de rayos X y un escáner de tomografía computarizada (CT scan). El grupo de control interno incluyó a nueve empleados no expuestos directamente, lo que significa que trabajaban en el departamento donde se realizaron los análisis, pero no tenían exposición directa a RI. La mayoría de los controles internos eran personal administrativo, incluidas secretarías, recepcionistas y especialistas en informática que trabajaban en el mismo departamento. Gran parte de la población tenía más de 30 años (78%), color de piel blanca (92%) y pertenecía a la clase económica B (56%). En cuanto al estilo de vida, la mayoría de los trabajadores reportaron ser fumadores (61%), no haber consumido nunca drogas de abuso (81%) y alrededor del 75% consumía bebidas alcohólicas en la actualidad. Se recopilaron antecedentes familiares de cáncer y el 42% de los entrevistados informó haber tenido antecedentes de algún tipo de cáncer en su familia. La mayoría de los encuestados (53%) se declararon en un estado de alto nivel de estrés. (3)

En España, Sanchez L. y cols en 2018, realizaron un estudio retrospectivo con el objetivo analizar posibles alteraciones de la función tiroidea relacionadas con valores dosimétricos en trabajadores sanitarios expuestos a radiaciones ionizantes. Se realizó un estudio retrospectivo de 46 empleados considerados de mayor riesgo por su exposición a radiaciones ionizantes (categoría A: son aquellos cuyas condiciones de trabajo pueden causar exposición a una dosis anual efectiva de más de 6 mSv o una dosis equivalente de más de 0.3 de los límites de dosis para el cristalino del ojo, la piel y las extremidades, establecido en 150, 500 y 500 mSv, respectivamente (Boletín Oficial de España 2001). Todos habían sido sometidos a un reconocimiento médico periódico en el servicio de prevención y salud laboral de un hospital de tercer nivel de Madrid durante el año 2014. La edad media de los 46 trabajadores sanitarios estudiados fue de 43 años ( $43 \pm 9$  años). La mayoría de ellos pertenecían al servicio de radioterapia. La mediana de años laborados en el puesto de trabajo actual fue de 8 años, con cuartiles inferior y superior de 4 y 17 años, respectivamente. De los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, el 13% tenía antecedentes de patología tiroidea: casi la mitad tenía hipotiroidismo primario (la mayoría de los casos estaban relacionados con tiroiditis autoinmune crónica) y ninguno de este grupo presentaba alteraciones de TSH, T3 sérico o T4 sérico en el momento del estudio. Además, el 23,9% refirió tener antecedentes familiares de enfermedad tiroidea. (4)

Schonfeld S. y cols en 2010, realizaron un estudio de casos y controles con el objetivo de realizar una estimación de las asociaciones entre la exposición a la radiación de diagnóstico ocupacional y el cáncer de mama mediante el modelado de la razón de probabilidades (OR). A principios de la década de 1980, el Instituto Nacional del Cáncer, en colaboración con la Universidad de Minnesota y el Registro Estadounidense de Tecnólogos Radiológicos (ARRT), inició el estudio USRT, que incluye a 146,022 (106,953 mujeres) tecnólogos radiológicos estadounidenses que fueron certificados por ARRT para al menos 2 años entre 1926 y 1982. Se enviaron por correo dos encuestas postales a todos los participantes elegibles durante los años 1983-1989 y 1994-1998 para recopilar información detallada relacionada con antecedentes laborales, antecedentes familiares de cáncer, antecedentes reproductivos y otros factores de riesgo de cáncer consumo de alcohol y tabaco) e información sobre el cáncer

de mama y otros resultados de salud. Todas las tecnólogas vivas que informaron un cáncer de mama primario en el primer o segundo cuestionario que se confirmó como un tumor de carcinoma ductal in situ o cáncer de mama invasivo por patología o registros médicos fueron elegibles para su inclusión en el estudio de casos y controles. Los controles elegibles incluyeron tecnólogas vivas que habían completado al menos uno de los dos cuestionarios y no informaron ningún diagnóstico previo de cáncer de mama. Los controles se seleccionaron aleatoriamente entre aquellos que emparejaron casos (relación 1,5: 1) según el año de nacimiento en estratos de 5 años. De 2.268 controles vivos seleccionados, 1.094 (48%) proporcionaron su consentimiento informado y una muestra de sangre y completaron una entrevista telefónica. En la población del grupo de casos el 98% eran caucásicos y el 34% habían nacido entre 1936 y 1945. En el grupo de los controles el 97% eran caucásico y el 35% habían nacido entre 1936 y 1945. (6)

En Brasil, Barbosa P. y cols en 2018 realizan un estudio de casos y controles con el objetivo de evaluar la prevalencia de cataratas en profesionales que trabajan en hemodinamia en Brasil. Los individuos incluidos en el estudio fueron asignados a uno de dos grupos: expuestos a radiación ionizante (G1) y no expuestos a radiación ionizante (G2). G1 estuvo integrado por CIs (cardiólogos intervencionistas) y profesionales de la salud en el campo de la hemodinámica cardíaca de varias regiones de Brasil. G2 estuvo integrado por cardiólogos no expuestos a radiaciones ionizantes. Un total de 278 aceptaron participar en el estudio, 156 en el grupo expuesto a radiación (G1) y 122 en el grupo no expuesto (G2). Se excluyeron 44 voluntarios de G1 y 34 de G2, por lo que se incluyeron 112 participantes en G1 y 88 en G2. La edad media fue  $44,95 \pm 10,23$  años en el G1 y  $48,07 \pm 12,18$  años en el G2 ( $p = 0,0264$ ). El 62% de los profesionales reportó menos de 20 años de trabajo, y la mitad de ellos mencionó entre 5 y 10 años de trabajo en el campo. (16)

En Finlandia Mrena S. y cols en 2011 realizaron un estudio con el objetivo de estimar la prevalencia de opacidades del cristalino entre los médicos expuestos ocupacionalmente a la radiación en general y por factores ocupacionales. De los 59 médicos expuestos a la radiación, 2 (3 ojos) habían sido operados de cataratas y fueron excluidos del análisis; por lo tanto, los resultados se obtuvieron para 57 sujetos. La edad media en el momento del examen de los 57 médicos restantes (28 hombres y 29 mujeres) fue de 58 años (mediana 60, rango 46-70 años). La mayoría eran radiólogos (40, incluidos 11 radiólogos intervencionistas). Además, se incluyeron 16 cardiólogos y un cirujano. La edad y el tabaquismo se asociaron con una prevalencia significativamente mayor de opacidades del cristalino en el análisis de regresión logística, incluso después del ajuste mutuo. Después de controlar por edad, sexo y tabaquismo, la razón de probabilidades (OR) fue de 0,13 (IC del 95 % - 0,02–0,28) por 10 mSv de dosis de radiación acumulada para todas las opacidades combinadas. (17)

Karatasak A. en 2017 realizó un estudio cuyo objetivo fue examinar la relación entre la exposición ocupacional a la radiación ionizante y la prevalencia de cambios en el cristalino en cardiólogos intervencionistas (CI) y los trabajadores del laboratorio de cateterismo, mediante un estudio de corte transversal. Se pidió a los participantes del estudio que completaran un cuestionario autoadministrado (Información de apoyo) que recopilaba datos relacionados con la demografía, la historia laboral y la práctica en el laboratorio de

cateterismo (años en la práctica, volumen de procedimiento semanal típico, tiempo de fluoroscopia, tipos de procedimientos realizados, máquinas de rayos X utilizadas, protección contra la radiación) y antecedentes médicos y oculares para identificar posibles factores de confusión (grado de errores de refracción, antecedentes de uso prolongado de esteroides, diabetes mellitus, exposición no ocupacional a la radiación). Durante el examen ocular posterior, el personal del estudio revisó el cuestionario en busca de inconsistencias o datos faltantes. En comparación con los controles, los participantes con exposición ocupacional a la radiación eran mayores (49+- 11 contra 39+-12 años,  $p= 0.002$ ) y más probable que sean hombres (82 vs. 61%,  $P=0,063$ ), pero por lo demás tenían una prevalencia similar de factores de riesgo para las opacidades del cristalino. Se evidencio que la edad es un factor asociado de manera independiente con la presencia de cambios en el cristalino. (18)

Roguin A y cols en el 2013, realizan un estudio con el objetivo de crear conciencia y crear un registro a gran escala sobre la presencia de tumores cerebrales y de cuello en médicos que realizan intervenciones y están expuestos a radiaciones ionizantes. El presente estudio incluyó datos de 31 médicos intervencionistas con cáncer de cerebro y cuello. El rango de edad de los pacientes fue de 49 a 67 años (mediana 54, media 54,7 - 7,1). Solo 1 de los pacientes en la presente serie de neoplasias malignas era mujer. El personal expuesto fueron cardiólogos intervencionistas, radiólogos, pediatras y electrofisiólogos. (19)

En China Zhichao Xie y cols realizan un estudio con el objetivo fue estimar la dosis de radiación acumulada anual para el personal individual de la UCI. Fue realizado en una UCI médica de 50 camas de un hospital docente académico del 1 de julio al 1 de octubre de 2014, 40 participantes (incluidos 18 enfermeros, 14 residentes y 8 médicos asistentes) fueron seleccionados al azar de los voluntarios que eran personal de tiempo completo en la UCI. Los residentes realizaban más tareas clínicas que otros y las enfermeras trabajaban en turnos de 8 horas. Se realizaron un total de 802 procedimientos radiológicos de cabecera durante el período de estudio, que incluyeron 613 radiografías de tórax y 189 tomografías computarizadas de cabeza. La edad media de todos los participantes fue de 29,7 años (rango: 23 a 46 años). El IMC medio fue de 20,5 kg/m<sup>2</sup> (rango: 16,5 a 24,8 kg/m<sup>2</sup> ). El cuarenta y cinco por ciento de los participantes eran hombres. La mayoría de las empleadas (77%) tenían menos de 35 años. Los enfermeros dedicaban  $40 \pm 0,45$  horas semanales al trabajo en sala, mientras que la semana laboral de los médicos era de  $54,5 \pm 0,89$  horas (20).

### **Determinar la prevalencia, los efectos por exposición a radiaciones ionizantes en los trabajadores de la salud y la dosis y el tiempo de exposición**

En Lituania Adliene D. y cols realizaron un estudio para analizar la dinámica de las dosis de radiación recibida por los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones médicas durante los últimos 26 años (1992 - 2017), para evaluar las dosis a los órganos (mano/piel, tiroides) que se ven más afectados por la radiación cuando el personal de medicina nuclear trabaja con radioisótopos y para evaluar el riesgo de salud atribuible a la vida del desarrollo de cáncer y otras enfermedades específicas del personal ocupacionalmente expuesto (21).

Se analizó un conjunto de 2059 dosis efectivas anuales medias correspondientes a 272 puestos de trabajo ocupados por trabajadores de medicina nuclear y radiología El período de

empleo más corto del personal, que se consideró para la investigación, fue de 3 años, el más largo, 26 años, con una media de 10 años. Los puestos de trabajo se clasificaron en 4 grupos: Grupo 1: médicos (cardiólogos, radioterapeutas, radiólogos, médicos - residentes); Grupo 2 - personal medio (tecnólogos de radiología, enfermeras de radiología, técnicos de radiología); Grupo 3 - personal técnico y de apoyo (auxiliares de radiología, auxiliares de enfermería, limpiadores, trabajadores auxiliares) y Grupo 4 - otros (ingeniero médico, técnico médico, especialista en diagnóstico de laboratorio, físico médico, biólogo médico). El número total de diferentes puestos de trabajo relacionados con los hospitales extraídos del Registro fue 22. (21). El análisis de los resultados del monitoreo de dosis reveló que las dosis más altas fueron recibidas por el personal de medicina nuclear asignado al Grupo 2 (tecnólogos, técnicos y enfermeras de radiología). La dosis anual promedio recibida por los miembros de este grupo fue de 1,79 mSv (1992–1999), 0,77 mSv (2000–2011) y 0,46 mSv. Se indicó la tendencia decreciente general de las dosis efectivas anuales para todos los grupos investigados de trabajadores ocupacionalmente expuestos. Se observaron algunas variaciones de dosis para el mismo grupo de trabajadores en diferentes hospitales, pero en general, las dosis más altas recibidas por el personal del hospital fueron del primer período (1992– 1999) cuando el sistema regulatorio nacional estaba en desarrollo y los resultados de dosis personal no fueron analizados sistemáticamente. (21)

No se encontró diferencia significativa entre las dosis recibidas por los radiólogos (médicos durante el segundo período (2000-2011, sin PET/CT (tomografía por emisión de positrones y la tomografía computarizada)) y el tercer período (2012-2017), después de la instalación de PET/CT. Por el contrario, las dosis en el último periodo fueron aún menores, salvo en dos casos: dosis al radiólogo R2.2 (1,09 mSv dentro del 2º periodo y 1,30 mSv dentro del 3º periodo) y al radiólogo R3.2 (1,14 mSv dentro del 3º periodo). Para el 3er período fueron varias veces más altas las dosis en los radiólogos en comparación con las recibidas por otros miembros del personal. La investigación ha demostrado que la carga de trabajo de ambos radiólogos fue mucho mayor que la habitual durante este período. Sin embargo, las dosis a los radiólogos nunca superaron el nivel de 2 mSv. (21)

La mediana de la dosis recibida por los físicos médicos por administración de un paciente fue de  $0,29 \pm 0,15$   $\mu$ Sv, para el técnico en radiología que trabajó con el sistema ALTHEA (sistema de infusión, fraccionador automático) -  $1,56 \pm 0,52$   $\mu$ Sv, para el tecnólogo que utilizó el sistema IRIDE (sistema automático de infusión/inyección) -  $1,11 \pm 0,33$   $\mu$ Sv y para el técnico en radiología que posicionó y dio de alta a los pacientes -  $0,57 \pm 0,27$   $\mu$ Sv. La dosis acumulada estimada recibida por el personal durante un examen PET (actividades T1+T2) trabajando con IRIDE fue de  $1,68$   $\mu$ Sv ( $4,85 \pm 0,18$  nSv/MBq) y trabajando con el sistema ALTHEA -  $2,14$   $\mu$ Sv ( $6,17 \pm 0,23$  nSv/MBq). Los valores de dosis estimados fueron similares a los proporcionados por Antic et al., 2014 y Schleipman y Gerbaudo, 2012 y estaban muy por debajo de los límites de dosis establecidos para los trabajadores ocupacionalmente expuestos (HN 73:2018; 2018). (21)

El análisis de los resultados ha demostrado que las dosis en las yemas de los dedos eran sensibles a la ubicación de la medición. Se encontró que la dosis promedio en las yemas de los dedos fue más de 2 veces mayor en comparación con la dosis media. (21)

Se encontró que las dosis para los técnicos de radiología y las enfermeras de radiología fueron las más altas a lo largo de los años. Sin embargo, sus dosis anuales nunca superaron el límite de dosis de 20 mSv y seguían la misma tendencia decreciente que las dosis del resto del personal. No se observó un aumento de las dosis al personal de medicina nuclear después de la instalación de dos nuevas máquinas PET/CT, lo que indica una mayor cultura de protección radiológica y la aplicación de las medidas técnicas y de protección pertinentes por parte del personal. Las dosis medidas en la yema del dedo fueron de 2 a 3 veces más altas que las dosis en la mano medidas con el anillo TLD (Los TLD se utilizan para medir la exposición a la radiación gamma, rayos X y beta.) y dependieron del tipo y la frecuencia del procedimiento de examen de medicina nuclear y del tipo y la actividad de los isótopos utilizados para el examen. (21)

Este estudio permitió la estimación del riesgo atribuible de por vida para el desarrollo de dos tipos de cáncer: cáncer de tiroides y leucemia entre el personal médico expuesto a la radiación ocupacionalmente. El riesgo proyectado era bajo,  $\sim 10^{-5}$ , sin embargo, se encontró que el riesgo de cáncer de tiroides para el personal femenino era 5,7 veces mayor que para los hombres. Los resultados obtenidos se utilizarán para la evaluación predictiva de los posibles efectos inducidos por la radiación en la salud de los trabajadores médicos expuestos a la radiación en el trabajo.

En España Luna-Sánchez y cols en el 2018 realizaron un estudio con el objetivo de analizar la posible asociación entre las alteraciones de las hormonas tiroideas y los valores dosimétricos anuales entre los trabajadores sanitarios con exposición ocupacional a radiaciones ionizantes. Se realizó un estudio retrospectivo de 46 empleados considerados de mayor riesgo por su exposición a radiaciones ionizantes (categoría A son aquellos cuyas condiciones de trabajo pueden causar exposición a una dosis anual efectiva de más de 6 mSv o una dosis equivalente de más de 0.3 de los límites de dosis para el cristalino del ojo, la piel y las extremidades, establecido en 150, 500 y 500 mSv, respectivamente (Boletín Oficial de España 2001). (4)

Para evaluar la función tiroidea se recopilaron datos sobre niveles séricos de TSH, niveles de T3 libre (fT3) y niveles de T4 libre (fT4), analizándolos mediante un sistema de inmunoensayo (ADVIA Centaur, Siemens Healthineers, Erlangen, Alemania). El mayor riesgo de exposición a radiación ionizante entre los trabajadores estudiados estuvo relacionado con la radiación externa de rayos X o rayos gamma, y como resultado se incluyó la medida de la dosis acumulada anual recibida debajo de la superficie del cuerpo, Hp(10), para el año 2014. También incluimos la medida de dosis acumulada, 5 años Hp(10), que abarca de 2010 a 2014. (4)

Se encontró función tiroidea alterada en el 7,1% de los sujetos estudiados ( $n = 3$ ), revelando niveles de TSH de  $9.55 \pm 3.48$  metro  $\text{UImL}^{-1}$ , que fueron superiores al rango normal, aunque sin alteraciones asociadas en la  $\text{fT3}$  o  $\text{fT4}$  sérica. De los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, el 13% tenía antecedentes de patología tiroidea: casi la mitad tenía hipotiroidismo primario (la mayoría de los casos estaban relacionados con tiroiditis autoinmune crónica) y ninguno de este grupo presentaba alteraciones de TSH,  $\text{fT3}$  sérico o  $\text{fT4}$  sérico en el momento del estudio. Además, el 23,9% refirió tener antecedentes familiares de enfermedad tiroidea. En cuanto a las lecturas dosimétricas, la mediana acumulada Hp (10) para 2014 fue 0 mSv (promedio 0.22, DE: 0.71; 0-4.5 mSv) y mediana acumulada Hp (10) para el período de 5 años estudiado fue 0 mSv (promedio 0,79, DE 2,26, rango 0-11,6 mSv). En todos los casos, estos valores se situaron por debajo de los límites anuales y de 5 años establecidos por la normativa legal española (Boletín Oficial de España 2001). (4)

Los tres trabajadores (una mujer y dos varones: un auxiliar de enfermería que trabajaba en el servicio de radioterapia, un técnico en radiología que trabajaba en el servicio de medicina nuclear y un médico que trabajaba en el servicio de cirugía vascular) que mostraron niveles elevados de TSH tenían valores de 0, 0,9 y 4,5 mSv para acumulados Hp (10) valores para 2014 y valores de 4.5, 8.6 y 11.6 mSv para acumulados Hp (10) para el período de 5 años, respectivamente. Aunque los valores dosimétricos de los trabajadores de este estudio estuvieron por debajo de los límites legales españoles, los hallazgos destacan los tres principios de la protección radiológica: justificación, optimización y limitación de procedimientos innecesarios. Los riesgos asociados con la exposición ocupacional a las radiaciones ionizantes pueden reducirse con una formación óptima en protección radiológica y el uso adecuado del equipo de protección individual. (4)

Barbosa P. y cols en Brasil en el año 2018 realizaron un estudio con el objetivo de evaluar la prevalencia de cataratas en profesionales que trabajan en hemodinámica. Los participantes elegibles fueron reclutados en conferencias de salud. Los individuos incluidos en el estudio fueron asignados a uno de dos grupos: expuestos a radiación ionizante (G1) y no expuestos a radiación ionizante (G2). G1 estuvo integrado por Cis (Cardiólogos intervencionistas) y profesionales de la salud en el campo de la hemodinamia cardíaca de varias regiones de Brasil G2 estuvo integrado por cardiólogos no expuestos a radiaciones ionizantes. Se incluyeron 112 participantes en G1 y 88 en G2. La edad media fue  $44,95 \pm 10,23$  años en el G1 y  $48,07 \pm 12,18$  años en el G2 ( $p = 0,0264$ ). En cuanto a los hallazgos oftalmológicos, 37 voluntarios (33%) en G1 y solo 14 (16%) en G2 tenían algún grado de opacidad del cristalino ( $p = 0,0058$ ). Cuando se analizó por tipo de catarata, no se encontró diferencia en la frecuencia de catarata cortical, con 15 individuos en G1 (13%) y 8 en G2 (9%) ( $p = 0.3438$ ). Sin embargo, la catarata PSC (subcapsular) fue significativamente más frecuente en G1 ( $n = 14$ , 13%) que en G2 ( $n = 2$ , 2%) ( $p = 0,0081$ ). La opacidad del cristalino en cortical + subcapsular se encontró en 28 voluntarios en G1 (25%) y 10 en G2 (11%) ( $p = 0.0147$ ). Se reporto opacidad del cristalino en 32 IC (38%) y 11 cardiólogos clínicos (CC) (15%) ( $p = 0,0011$ ). Se encontró catarata PSC en 11 CI (13%) y 2 CC (3%) ( $p = 0.0176$ ). La presencia de catarata cortical + catarata subcapsular se encontró en el 28% de los IC ( $n = 24$ ) y el 9% de los CC ( $n = 7$ ) ( $p = 0,0025$ ). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la frecuencia de

cataratas corticales (15% versus 7%,  $p = 0.0848$ ). En el grupo de no médicos expuestos a radiación, 5 participantes mostraron algún grado de opacidad del cristalino (18%), que también se detectó en 3 controles no médicos (23%) ( $p = 0,7357$ ). Se encontró catarata subcapsular en 3 no médicos expuestos a la radiación y en ningún control no médicos ( $p = 0,2114$ ). (16)

El 38,1% de los cardiólogos intervencionistas realizaron 50 procedimientos al mes y el 43,7% de los cardiólogos intervencionistas realizaron de 50 a 100 procedimientos por mes. El 82% de los cardiólogos intervencionistas informaron que realizaban procedimientos de diagnóstico en 30 minutos, utilizando entre cuatro y seis proyecciones de energía de rayos X (46,5%) y 15 fotogramas por segundo (70,9%). Para los procedimientos terapéuticos, el 66,1% de los CI informaron que los procedimientos duraron entre 30 y 60 minutos, con suministro de energía de rayos X en pulsos (en lugar de en una dosis continua). (16)

Los hallazgos mostraron una mayor prevalencia de cataratas en el ojo izquierdo que en el ojo derecho entre los participantes, con respecto al ojo afectado, la catarata en el ojo izquierdo fue más común, observándose catarata SCP en el 50% de los individuos expuestos, mientras que se identificó catarata en el ojo derecho en el 14% de los participantes expuestos. Esto también se informó en estudios anteriores que muestran que, durante los procedimientos intervencionistas, el lado izquierdo del cerebro recibe dosis más altas de radiación, debido a la posición del profesional durante las pruebas. La actividad profesional medida en años de trabajo y el número de procedimientos realizados anualmente pueden ser predictores de un mayor riesgo de daño, ya que se tiende a asociarlos con un aumento de la dosis acumulada. Sin embargo, se debe considerar que el uso de dispositivos de protección y la capacidad de los profesionales para realizar los procedimientos pueden cambiar significativamente estas dosis acumuladas. (16). Este estudio detectó la aparición temprana de opacidad del cristalino en cardiólogos intervencionistas brasileños.

Elmaraezy H. y cols en 2016 realizaron un estudio con el objetivo de evaluar el riesgo de desarrollar una catarata inducida por radiación en cardiólogos intervencionistas. El análisis indicó que la prevalencia agrupada de opacidades generales del cristalino posterior entre los CI fue del 33,4 % (IC del 95 % [19,6 %, 50,9 %]). La prevalencia general de cualquier opacidad del cristalino fue del 36 % (IC del 95 % [6 %, 84 %]). Los cardiólogos intervencionistas y el personal técnico que los acompaña expuestos a radiaciones ionizantes ocupacionales son más susceptibles a las cataratas que los controles no expuestos. El uso de medidas de protección contra la radiación es imprescindible y se recomiendan más investigaciones para determinar la dosis umbral de radiación. (22)

A continuación, se relacionan los artículos más relevantes incluidos en la revisión:

Autores/ año	País	Tipo estudio	Tamaño muestra	Objetivo	Características Población/ Región	Resultados
Rodrigues da Silva-J y cols 2020	Brasil	Casos y Control	63	Evaluar la influencia potencial de la exposición ocupacional a las radiaciones ionizantes (IR) en los profesionales de la salud, evaluando el daño del ADN utilizando los ensayos del cometa y micronúcleos (MN) y factores asociados entre resultados y factores socioeconómicos y de estilo de vida	El grupo expuesto estaba formado por 27 miembros personal del Departamento de Imagen, Hospital universitario Dr. Miguel Riet Corrêa Jr., Rio Grande, Brasil. El grupo incluía enfermeras, técnicos y radiólogos. Se incluyó también un grupo control	Se recopilaban antecedentes familiares de cáncer y el 42% de los entrevistados informó haber tenido tener antecedentes de algún tipo de cáncer en su familia. En relación con la exposición no ocupacional a los rayos X, el 38% de los trabajadores informó haber recibido de 5 a 10 rayos X durante su vida, hasta el momento de la entrevista, y el 89% recibió de 0 a 2 rayos X en los últimos 12 meses. El riesgo relativo de presentar mayores valores de % de daño en el ADN aumenta para los trabajadores con menos años de exposición (RR <sub>x</sub> 0,5670), sin embargo, el riesgo relativo de tener más % de daño de ADN es casi 4,5 veces mayor cuantas más horas trabajadas. A su vez, el riesgo relativo de tener un mayor número de MN también aumentó para trabajadores que tuvieron menos años de exposición (RR $\frac{1}{4}$ 0,8540), pero sin diferencia estadística. La exposición ocupacional a RI en profesionales de la salud conduce a un mayor nivel de daño al ADN y MN presentando daño genotóxico.
Luna-Sánchez, y cols 2018	España	Retrospectivo	46	Analizar la posible asociación entre las alteraciones de las hormonas tiroideas y los valores dosimétricos anuales y a 5 años entre los trabajadores sanitarios con exposición ocupacional a radiaciones ionizantes	La edad media de los 46 trabajadores sanitarios estudiados fue de 43 años (43 ± 9 años). La mayoría de ellos pertenecían al servicio de radioterapia. La mediana de años pasados en el puesto de trabajo actual fue de 8 años, con cuartiles inferior y superior de 4 y 17 años, respectivamente.	Se encontró función tiroidea alterada en el 7,1% de los sujetos estudiados (n = 3), revelando niveles de TSH de 9.55 ± 3.48 mU/L, que fueron superiores al rango normal, aunque sin alteraciones asociadas en la FT3 o FT4 sérica. De los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, el 13% tenía antecedentes de patología tiroidea. Además, el 23,9% refirió tener antecedentes familiares de enfermedad tiroidea. Las únicas asociaciones estadísticamente significativas encontradas fueron entre los casos de función tiroidea alterada (aumento de los niveles de TSH) y las lecturas anual y dosimétrica a los 5 años (OR 6,35; IC del 95%: 1,20–98,1, p = 0,021; y OR 1,72; IC del 95%: 1,12–3,34, p = 0,007, respectivamente). Estas asociaciones se analizaron ajustando por edad, sexo, patología tiroidea previa e historia familiar de patología tiroidea, manteniendo los resultados estadísticamente significativos, con la única excepción de la relación de valores dosimétricos anuales ajustados por antecedentes familiares de enfermedad de tiroides.
Sara J. Schonfeld y cols 2020	E.E.U.U	Casos y Control	1942	Estimación de las asociaciones entre la exposición a la radiación ocupacional y de diagnóstico con el cáncer de mama y evaluación de la heterogeneidad de la respuesta a la dosis entre los genotipos.	El Instituto Nacional del Cáncer, en colaboración con la Universidad de Minnesota y el Registro Estadounidense de Tecnólogos Radiológicos (ARRT), inició el estudio que incluyó a 146,022 (106,953 mujeres) tecnólogos radiológicos estadounidenses. Se recopiló información de antecedentes laborales, antecedentes familiares de cáncer, antecedentes reproductivos y otros factores de riesgo de cáncer	El riesgo de cáncer de mama aumentó significativamente con el aumento de la dosis acumulada de radiación ocupacional absorbida en la mama después del ajuste por año de nacimiento y la puntuación de la dosis de radiación de diagnóstico personal en la mama (EOR / Gy = 3,0, IC del 95%: 0,04 a 7,8; p = 0,046). Los genotipos TC (OR = 0,8, IC 95% 0,6-0,9) y CC (OR = 0,8, IC 95% 0,6-1,0) se asociaron con un riesgo reducido de cáncer de mama. Mujeres con el genotipo TT de rs1143634 en IL1B tenía un mayor riesgo de cáncer de mama en comparación con el genotipo CC (OR = 1,5, IC del 95%: 1,0–2,2; p = 0,05). El EOR / Gy de la exposición ocupacional a la radiación fue de 5.5 (95% CI 1.2-12.5) para el genotipo GG en comparación con EOR / Gy \ 0 (95% CI 0-3.8) y EOR / Gy \ 0 (95% CI 0 –14,8) para los genotipos GC y CC, respectivamente. Se observó un patrón similar para la exposición a la radiación diagnóstica, donde la puntuación de EOR / dosis unitaria de mama para el genotipo GG fue 1,9 (IC del 95% 0–5,7) en comparación con la puntuación de EOR / dosis unitaria de mama = 0,4 (IC del 95% 0– 6.4) y EOR / puntaje de dosis unitaria de mama = 0.1 (95% CI 0-18.8) para los genotipos GC y CC, respectivamente.
Terrence Lee, y cols 2015	EE.UU	Retrospectivo	65719	Determinar el riesgo de carcinoma de células basales (BCC) incidente por radiación ionizante de dosis baja acumulada en la cohorte de tecnólogos radiológicos de EE. UU	La mayoría de los tecnólogos eran mujeres (75%), la edad media de ingreso fue de 39 años (rango 22-90) y el año medio de nacimiento fue 1948 (rango 1905-1966). Hubo 3615 tecnólogos que informaron un incidente BCC (5,5% de la cohorte analítica). La tasa bruta de BCC fue de 3,25 por 1000 personas-año.	La edad media de diagnóstico de los casos de CBC fue de 52,3 años (DE: 10,2). La educación superior y los ingresos se asociaron con mayor riesgo de BCC, pero no el sexo o el estado civil. Un mayor consumo de alcohol, un menor índice de masa corporal y un ejercicio más frecuente se asociaron con aumento del riesgo de BCC. El riesgo elevado de BCC se asoció con un color de ojos, piel y cabello más claro y antecedentes de quemaduras solares. Un mayor número de radiografías dentales médicas personales autoinformadas se asoció con un mayor riesgo de BCC, así como con antecedentes de haber tenido alguna vez una tomografía o una tomografía computarizada. La dosis media acumulada de placa ocupacional, la dosis acumulada absorbida en la piel de la cabeza, el cuello y los brazos, y la dosis acumulada absorbida en la piel del tronco fue 47,9 mGy (DE: 57,4), 55,8 mGy (DE: 69,9) y 31,1 mGy (DE: 57,0), respectivamente. Utilizando una dosis acumulada en la piel de la cabeza, el cuello y los brazos, el 14% de los tecnólogos tenían dosis acumuladas superiores a 100 mGy y menos del 1% (200 tecnólogos) tenían dosis superiores a 0,5 Gy.

Pereira Barbosa y cols 2018	Brasil	Casos y Control	200	Evaluar la prevalencia de cataratas en profesionales que trabajan en hemodinámica en Brasil	Los participantes elegibles fueron reclutados en conferencias de salud. Los individuos incluidos en el estudio fueron asignados a uno de dos grupos: expuestos a radiación ionizante (G1) y no expuestos a radiación ionizante (G2). G1 estuvo integrado por profesionales de la salud en el campo de la hemodinámica cardíaca y el G2 por cardiólogos no expuestos a radiaciones ionizantes.	Participaron 112 individuos en el grupo 1 (G1) y 88 en el grupo 2 (G2). En cuanto a los hallazgos oftalmológicos, 37 voluntarios (33%) en G1 y solo 14 (16%) en G2 tenían algún grado de opacidad del cristalino ( $p = 0,0058$ ). La catarata PSC fue significativamente más frecuente en G1 ( $n = 14$ , 13%) que en G2 ( $n = 2$ , 2%) ( $p = 0,0081$ ). La opacidad del cristalino en cortical + subcapsular se encontró en 28 voluntarios en G1 (25%) y 10 en G2 (11%) ( $p = 0,0147$ ). Se encontró opacidad del cristalino en 32 IC (cardiólogos intervencionistas) (38%) y 11 cardiólogos clínicos (CC) (15%) ( $p = 0,0011$ ). Se encontró catarata PSC en 11 CI (13%) y 2 CC (3%) ( $p = 0,0176$ ). La presencia de catarata cortical + catarata subcapsular se encontró en el 28% de los IC ( $n = 24$ ) y el 9% de los CC ( $n = 7$ ) ( $p = 0,0025$ ). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la frecuencia de cataratas corticales (15% versus 7%, $p = 0,0848$ ). En el grupo de no médicos expuestos a radiación, 5 participantes mostraron algún grado de opacidad del cristalino (18%), que también se detectó en 3 controles no médicos (23%) ( $p = 0,7357$ ). Se encontró catarata subcapsular en 3 no médicos expuestos a la radiación y en ningún control no médicos ( $p = 0,2114$ ).
Cari M. y cols 2018	EE.UU	Retrospectivo	89897	Examinar la asociación entre la exposición ocupacional acumulada, de dosis baja a moderada a la radiación e incidencia de cáncer de tiroides en la cohorte de tecnólogos radiológicos de EE. UU.	La cohorte USRT es una cohorte nacional de 146,022 tecnólogos radiológicos (73% mujeres) que fueron certificados por primera vez por el Registro Americano de Tecnólogos Radiológicos (ARRT) entre 1923 y 1980	Durante el período de seguimiento de 1983 a 2013 en 476 se identificaron los diagnósticos de cáncer de tiroides. De los 368 cánceres de tiroides autoinformados que se sometieron a revisión de historia clínica, 350 (95%) fueron confirmados como cáncer de tiroides invasivo; 303 (87%) eran papilares, 23 (7%) foliculares y 6 (2%) tiroides medular carcinomas. La mediana de edad en el momento del diagnóstico fue de 51 años para las mujeres y 54 para los hombres. El riesgo de cáncer de tiroides no se asoció con la dosis acumulada de radiación ionizante ocupacional para la glándula tiroides en modelos ajustados ( $ERR / 100 \text{ mGy} = -0,05$ , IC del 95% $-0,10, 0,34$ ). Restringir a los casos de cáncer de tiroides papilar arrojó resultados casi idénticos ( $ERR / 100 \text{ mGy} = -0,05$ , IC del 95%).
Masahiro K. y cols 2013	Japon	Descriptivo	132	Determinar la dosis y los factores de riesgo de exposición a las radiaciones del personal médico	La dosis de exposición a la radiación para el personal médico de la División de Endoscopia Respiratoria del Hospital del Centro Nacional del Cáncer en Tokio, Japón se midió entre el 1 de octubre de 2012 y el 28 de diciembre de 2012. El personal médico estaba integrado por médicos operadores, médicos asistentes, enfermeras y tecnólogos radiológicos. Para medir la dosis de radiación, los analizadores de radiación (MYDOSE miniX, PDM-117, ALOKA, Japón) se colocaron en bolsillos fuera de los protectores de radiación al comienzo de cada procedimiento.	La dosis de exposición a la radiación para el personal médico fue baja, especialmente para los médicos asistentes, enfermeras y tecnólogos radiológicos. Los médicos operadores estuvieron expuestos a una mediana de 12 (DE:1 - 99) metrosSv / examen de radiación. Se han informado algunos peligros para la salud derivados de la exposición a la radiación, entre los que se encuentran el cáncer y la formación de cataratas. Se estimó que la dosis media anual para los médicos operadores, auxiliares médicos, enfermeras y tecnólogos radiológicos es de 4, 3, 1, 08 mSv respectivamente. Estos valores podrían ser menores debido a la protección adicional de usar batas de plomo. Además, la dosis de exposición a la radiación para enfermeras y tecnólogos radiológicos es extremadamente baja.
Mrena S, y cols. 2011	Finlandia	Descriptivo	120	Estimar la prevalencia de opacidades del cristalino entre los médicos de ocupación expuestos a la radiación en general y por factores de riesgo ocupacionales	La población en riesgo se identificó a partir del registro nacional finlandés de exposición a la radiación en el trabajo mantenido por la Autoridad de Seguridad Nuclear y Radiación (STUK), una institución gubernamental responsable de la protección radiológica en Finlandia. En el momento del estudio, el registro de STUK cubría un total de 1312 médicos monitoreados por exposición a la radiación. Los sujetos elegibles eran médicos incluidos en el registro de exposición ocupacional de 45 a 70 años de edad. La duración media del trabajo de radiación fue de 24 años (mediana de 25, rango de 4 a 45 años).	De los 57 médicos examinados, 33 (58%) no tenían signos de catarata, mientras que se encontró opacidad del cristalino en 24 (42%) sujetos (IC 95% 29-56) cuando se incluyeron rastros corticales (9 sujetos sin otra opacidad). Cuando se excluyeron los rastros corticales, la prevalencia de opacidades LOCS II fue del 26 % (15 sujetos) (95 % IC 16-40). Las opacidades nucleares fueron el hallazgo más común en 8 (14 %) sujetos (95 % IC 6-26), incluidos los cambios de color nuclear observados en 6 (11 %) sujetos (95 % IC 4-22). Se encontraron opacidades corticales (cambios de grado 1-2) en 4 (7 %) casos (IC 95 % 2-17 %), con 9 (17 %) sujetos adicionales (IC 95 % 7-28) que mostraban rastros corticales. Se encontraron opacidades subcapsulares posteriores en 3 (5 %) sujetos (95 % IC % 1-15). Los pacientes con opacidades subcapsulares posteriores tenían 67, 68 y 70 años de edad y tenían antecedentes de trabajo de radiación de 31 a 36 años con dosis acumuladas de 11, 22 y 24 mSv. Los médicos con opacidades del cristalino eran mayores (edad media 64 frente a 54 años entre los sujetos sin ningún cambio en el cristalino, $P < 0,001$ ) y más comúnmente fumadores que aquellos sin tales cambios oculares. También habían tenido una carrera más larga (30 frente a 20 años, $p < 0,001$ ) y una dosis de radiación acumulada más alta (84 frente a 42 mSv, $P = 0,02$ ). Todas las opacidades del cristalino combinadas, así como las opacidades corticales y posteriores combinadas (opacidades no nucleares) se asociaron con el aumento de la edad. Fumar se asoció significativamente con todas las opacidades del cristalino combinadas, pero no con los cambios corticales y posteriores del cristalino. Después de controlar por edad, sexo y tabaquismo, la razón de probabilidades (OR) fue de 0,13 (IC del 95 % - 0,02-0,28) por 10 mSv de dosis de radiación acumulada para todas las opacidades combinadas.

Karatasakis A y cols 2018	EE.UU	Casos y Controles	117	Examinar la relación entre la exposición ocupacional a la radiación ionizante y la prevalencia de cambios en el cristalino en cardiólogos intervencionistas (CI) y laboratorio de cateterismo.	Un total de 117 asistentes dieron su consentimiento para participar en el estudio y se sometieron a un examen de los ojos dilatados. Usando los datos del cuestionario, se consideró que 99 participantes del estudio (85%) tenían una exposición ocupacional significativa a la radiación; 18 participantes (15 %) sin antecedentes de exposición ocupacional significativa a la radiación (industria, personal de investigación y otros) sirvieron como controles. La mayoría de los participantes expuestos (90 %) eran operadores [cardiólogos intervencionistas (CI)/cirujanos vasculares/miembros de cardiología], seguidos por técnicos de laboratorio de cateterismo (6 %) y enfermeras (4%).	La prevalencia de cualquier cambio en el cristalino cortical/PSC (MF -0,5) en cualquiera de los ojos fue mayor en los participantes expuestos en comparación con los controles (47 frente a 17 %, $p=0.015$ ). En el análisis multivariable, la historia de exposición ocupacional a la radiación se asoció de forma independiente con cambios en el cristalino cortical/PSC [OR: 6,07, IC del 95 %: 1,38–43,45, $p=0,015$ ], junto con la edad mayor de 60 años (OR: 7,72, IC 95%: 1,60-43,34, $p=0.011$ ). En el grupo expuesto, la dosis de radiación acumulada media en el cristalino fue de 4,5 Gy (rango: 0,1–22,5 Gy). Se encontraron cambios en el cristalino antes de las cataratas con dosis acumuladas en el cristalino tan bajas como 0,5 Gy. En general, la ubicación más común de los cambios en el cristalino fue la corteza del cristalino (33 % de los participantes), seguida de la región del PSC (12 %) y el núcleo del cristalino (11 %). En comparación con los controles, los participantes expuestos a la radiación ocupacional tenían una mayor prevalencia de cambios en el cristalino cortical (37 vs. 11 %), pero una prevalencia similar de cambios nucleares y PSC.
Ariel R. y cols 2013	Israel	observacional analítico cohorte	31	El objetivo del presente informe era aumentar la conciencia en cuanto a la exposición a radiaciones ionizantes y solicitar la creación de un registro a gran escala.	El presente estudio incluyó datos de 31 médicos intervencionistas con cáncer de cerebro y cuello. El rango de edad de los pacientes fue de 49 a 67 años (mediana 54, media 54,7 - 7,1). Solo 1 de los pacientes en la presente serie de neoplasias malignas era mujer. El número medio de años en la práctica intervencionista activa fue de 23,5 a 5,9 años. El período de latencia desde el inicio del trabajo hasta el diagnóstico de cáncer fue de 12 a 32 años (mediana 22).	El tipo de tumor agresor más común fue el glioblastoma multiforme, identificado en 17 de 31 casos (55%), con 2 casos de astrocitoma y 5 de meningioma. Un hallazgo sorprendente fue la aparición desproporcionada de tumores en el lado izquierdo del cerebro. Se dispuso de datos de localización anatómica de 26 casos, y en 22 (85%), la malignidad fue del lado izquierdo. El tumor estaba en la línea media en 1 cardiólogo intervencionista (que había realizado la mayoría de los casos utilizando la técnica de Sones en la que la cabeza normalmente se centraba más cerca de la fuente de rayos X). El tumor fue del lado derecho en 3 operadores (2 cardiólogos y 1 radiólogo).
D. Adlienea y cols 2020	Lituania	Retrospectivo	272	Analizar la dinámica de las dosis de radiación recibidas por trabajadores de radiación médica ocupacionalmente en Lituania durante los últimos 26 años, para evaluar las dosis a los órganos correspondientes (mano/piel, tiroides) que se ven afectados principalmente por la radiación cuando el personal de medicina nuclear está trabajando con radioisótopos y evaluar el riesgo de vida atribuible a la salud del desarrollo de cáncer y otras enfermedades específicas	Se analizó un conjunto de 2059 dosis efectivas anuales medias correspondientes a 272 puestos de trabajo ocupados por trabajadores de medicina nuclear y radiología durante 26 años en cinco hospitales lituanos. El período de empleo más corto del personal, que se consideró para la investigación, fue de 3 años, el más largo, 26 años, con una media de 10 años. El análisis de los resultados del monitoreo de dosis reveló que las dosis más altas fueron recibidas por el personal de medicina nuclear (tecnólogos, técnicos y enfermeras de radiología). La dosis anual promedio recibida por los miembros de este grupo fue de 1,79 mSv (1992–1999), 0,77 mSv (2000–2011) y 0,46 mSv. Se indicó la tendencia decreciente general de las dosis efectivas anuales para todos los grupos investigados de trabajadores ocupacionalmente expuestos.	El análisis de los resultados del monitoreo de dosis reveló que las dosis más altas fueron recibidas por el personal de medicina nuclear asignado al Grupo 2 (tecnólogos, técnicos y enfermeras de radiología). La dosis anual promedio recibida por los miembros de este grupo fue de 1,79 mSv (1992–1999), 0,77 mSv (2000–2011) y 0,46 mSv. Se indicó la tendencia decreciente de las dosis efectivas anuales para todos los grupos investigados de trabajadores ocupacionalmente expuestos. Se observaron algunas variaciones de dosis para el mismo grupo de trabajadores en diferentes hospitales, pero en general las dosis más altas recibidas por el personal del hospital fueron del primer período (1992–1999) cuando el sistema regulatorio nacional estaba en desarrollo.
Fu Ru Wang y cols 2015	China	Casos y Control	79	Investigar la exposición a la radiación de rayos X ocupacional y el riesgo de cáncer	Se realizó un estudio de cohorte con trabajadores de la salud en 13 ciudades de la provincia de Jiangsu, desde 1950 hasta 2011. Seleccionaron a los trabajadores de rayos X de diagnóstico médico que trabajaban en el departamento de radiología en hospitales seleccionados desde 1950 hasta 1980 como grupo de radiología (3961 sujetos hasta 2011). El grupo de control fueron aquellos trabajadores médicos que no habían realizado trabajo de radiación en el mismo hospital durante el mismo período (3.742 sujetos hasta el 30 de junio de 2011).	Para el grupo de cáncer de mama, las proporciones de antecedentes de aborto fueron del 43,5 % en el grupo de casos y del 37,5 % en el grupo de control, mientras que la edad promedio del primer aborto fue de 30,0 años y 26,6 años respectivamente. Las tasas de lactancia materna fueron 75,0% en caso y 87,0% en control, mientras que las tasas de uso de anticonceptivos orales fueron 25,0% y 13,0% respectivamente. Para el grupo de cáncer de esófago, las proporciones de fumadores fueron 53,6% en el grupo de casos y 38,9% en el grupo control, mientras que las edades promedio de iniciación al tabaquismo fueron 21,8 y 23,8 años, respectivamente. Alrededor del 55,6% eran bebedores en el grupo de casos, mientras que alrededor del 44,4% eran bebedores en el grupo de control, con edades promedio de iniciación al consumo de alcohol de 24,3 y 23,8 años, respectivamente. Los resultados de la regresión logística mostraron que la exposición a la radiación ocupacional se asoció significativamente con un mayor riesgo de cáncer, en comparación con el control (OR ajustado = 2,90, IC del 95 %: 1,19-7,04 para cáncer de mama; OR=4,19, IC95%: 1,87-9,38 para cáncer de esófago y OR=3,43, IC95%: 1,92-6,12 para cáncer total, respectivamente). Se encontró que la radiación de rayos X ocupacional de baja dosis a largo plazo se asoció con un mayor riesgo de cáncer, especialmente para el cáncer de mama y el cáncer de esófago. Esto indicó que se necesitan estrategias adecuadas de prevención e intervención para reducir el riesgo de cáncer entre los trabajadores de la salud.

El artículo se realizó bajo la modalidad de revisión de alcance de la literatura entre los años 2010 y 2020, con el fin de determinar la prevalencia, los efectos por exposición a radiaciones ionizantes en los trabajadores de la salud y la dosis y el tiempo de exposición.

La radiación Ionizante está ampliamente estudiada como factor de riesgo directo en la aparición de diferentes patologías como cataratas, cáncer, hipotiroidismo, daños en el ADN, alteraciones en la piel entre otras y aunque cada vez se hace un mayor uso de tecnologías, se sigue generando exposición y riesgo a los trabajadores de la salud.

La edad de los profesionales que participaron en los diferentes estudios esta entre los 30 años y los 70 años, la mayor participación fue del sexo masculino 54,5% con respecto al femenino 45,5%.

Los profesionales de la salud con mayor riesgo de exposición son aquellos que se desempeñan en las áreas de hemodinamia, radiología y medicina nuclear; los cardiólogos intervencionistas mostraron un mayor riesgo de exposición y de presentar opacidades en el cristalino. Existen factores propios del individuo que se asocian a mayor presencia de alteración y efectos en la salud por radiaciones ionizantes. En el estudio de Da Silva-Junior y cols se destacó que a mayor estrés percibido mayor es el daño genético y mutagénico. Esto demuestra lo importante que es evaluar el estrés percibido en los estudios ocupacionales, principalmente porque el estrés psicológico puede contribuir al proceso de carcinogénesis a través del estrés oxidativo, el cual puede causar daño celular, jugando un papel importante en el desarrollo de cambios genéticos. Otros factores de estilo de vida que mostraron correlación para el envejecimiento son el consumo de alcohol y el número de radiografías realizadas durante los últimos 12 meses. (3)

Mediante el análisis bivariado de regresión de Poisson el porcentaje de daño de ADN se asoció con el color de la piel, en especial con la piel negra, esto muestra que la vulnerabilidad social asociada a la exposición a agentes ambientales contribuye a un mayor daño al ADN. Estos hallazgos enfatizan que se debe considerar no solo el factor de exposición ambiental y ocupacional al realizar un estudio ocupacional, sino también los factores socioeconómicos y el estilo de vida.

Otro efecto evaluado durante la revisión es la presencia de mayor riesgo de hipotiroidismo subclínico el cual está asociado a dosis más altas de radiación ionizante entre los trabajadores expuestos a pesar de tener valores sustancialmente por debajo de los límites legalmente obligatorios, lo que podría sugerir que la exposición ocupacional a dosis bajas de radiación puede provocar alteraciones en el funcionamiento de la tiroides. Esto se observó en el estudio de Luna-Sanchez y cols. La prevalencia de hipotiroidismo subclínico en este estudio fue de (7,1%) se encuentra en el medio de un amplio rango descrito para la población adulta (4-20%); la variabilidad de este rango es el resultado de diferencias en la edad, el sexo, el índice de masa corporal, la raza, la ingesta de yodo en la dieta y las concentraciones de corte de TSH sérica que se utilizan para definir la afección. (4)

Una de las profesiones relacionadas con mayores efectos por exposición a radiaciones ionizantes es la de los cardiólogos intensivistas en ellos se ha visto una mayor prevalencia en desarrollar cataratas subcapsulares del ojo izquierdo por exposición a dosis altas de radiaciones ionizantes. La actividad profesional medida en años de trabajo y el número de procedimientos realizados anualmente pueden ser predictores de un mayor riesgo de daño, ya que se tiende a asociarlos con un aumento de la dosis acumulada.

En cuanto al uso de elementos de protección personal EPP, anteojos de plomo (con o sin protección lateral), el 40% de los voluntarios expuestos a la radiación informaron ser usuarios habituales, aunque este resultado no mostró una correlación estadísticamente significativa con la frecuencia de uso de lentes. Lo mismo se observó con el uso rutinario de blindaje de plomo, reportado por aproximadamente el 30% de los profesionales. Las razones de la baja frecuencia de uso rutinario de dispositivos de protección reportadas por los participantes fue incomodidad ergonómica, falta de disponibilidad de dispositivo de protección, entre otras. según Pereira Barbosa y cols (16). Las neoplasias malignas, otro efecto en la salud de los profesionales expuestos a radiaciones son relacionadas en el estudio realizado por Roguin y cols. Los hallazgos presentes plantean una preocupación adicional con respecto a las neoplasias malignas inducidas por la exposición a la radiación ocupacional. Además, la preponderancia de los tumores fueron glioblastoma multiforme, meningiomas o astrocitomas, todos ellos malignos que se sabe que están asociados con la exposición a la radiación. El hallazgo más llamativo del presente informe fue la cantidad desproporcionada de tumores en el lado izquierdo del cerebro, la región de la cabeza que se sabe que está más expuesta a la radiación y menos protegida por los blindajes tradicionales. Este patrón desproporcionado de lesiones en el lado izquierdo refleja los efectos de una distribución de dosis diferencial de exposición a la radiación en los intervencionistas que normalmente trabajan con el lado izquierdo de la cabeza en la proximidad más cercana al haz de rayos X primario y la dispersión. Estas observaciones también son consistentes con informes anteriores de que la exposición anual de la cabeza de los cardiólogos (que oscila entre 20 y 30 mSv/año) es casi 10 veces mayor que la exposición de todo el cuerpo, con el lado izquierdo de la cabeza experimentando el doble de los niveles de exposición del lado derecho. (19)

En los estudios revisados la dosis de exposición a pesar de ser altas no superó los 20 Smv/año, esto se atribuye a que se han venido tomando medidas técnicas y de protección, generando una mayor cultura de protección radiológica. (21)

Por lo anterior se demuestra que los efectos en la salud de los trabajadores expuestos ocupacionalmente a radiaciones ionizantes están relacionados con la dosis y el tiempo de exposición, de igual manera con el adecuado y permanente uso de los elementos de protección personal. Existen factores propios del individuo y del medio ambiente que pueden estar relacionados con algunos efectos.

## **CONCLUSIONES**

- El rango de edad de los profesionales de la salud expuestos a radiaciones ionizantes esta entre los 30 años y los 70 años. Los cardiólogos Intervencionistas son los profesionales con mayor exposición a radiaciones Ionizantes y los hombres tuvieron una mayor participación en los estudios revisados.
- Las opacidades del cristalino son los efectos de la salud con mayor prevalencia en los profesionales expuestos, siendo los cardiólogos intervencionistas quienes presentan con mayor frecuencia esta patología.
- La dosis de exposición de los trabajadores de la salud fue inferiores a 20 mSv/año. La mayoría de los efectos se presentan a dosis bajas de radiaciones ionizantes.
- Los profesionales de la salud no realizan un adecuado uso de los EPP, por incomodidad y por falta de educación sobre los efectos que produce la radiación Ionizante

## **RECOMENDACIONES**

- El uso adecuado de los elementos de protección personal disminuye el riesgo de exposición, es importante realizar capacitación continua al personal expuesto a radiaciones y hacer énfasis en el uso de los elementos de protección personal establecidos para mitigar la exposición y el daño posible.
- La vigilancia epidemiologia de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes es importante ya que nos permite identificar a tiempo las dosis de exposición y el tiempo de exposición, teniendo en cuenta lo anterior es importante realizar mediciones dosimétricas.
- El principio ALARA debe estar inmerso en las actividades que generan exposición a radiaciones ionizantes y así justificar, optimizar y limitar procedimientos innecesarios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Polo Alvarado, B., & Cardenas, H. (2016). *NUEVOS PROTOCOLOS PARA EL DIAGNÓSTICO DE ENFERMEDADES PROFESIONALES* (2nd ed., pp. 459-487). BOGOTA: Sociedad Colombiana de Medicina del Trabajo. (1)

Capítulo 48. Radiaciones Ionizantes. (2021). Retrieved 22 May 2021, from <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+48.+Radiaciones+ionizantes>. (2)

Silva-Júnior, F., Tavella, R., Fernandes, C., Mortola, A., Peraza, G., & García, E. (2020). Riesgo genotóxico en profesionales de la salud expuestos ocupacionalmente a bajas dosis de radiación ionizante. *Toxicología y salud industrial*, 36 (5), 356-370. doi: 10.1177 / 0748233720932081 (3)

Luna-Sánchez, S., del Campo, M., Morán, J., Fernández, I., Checa, F., & de la Hoz, R. (2019). Función tiroidea en trabajadores sanitarios expuestos a radiaciones ionizantes. *Física de la salud*, 117 (4), 403-407. doi: 10.1097 / hp.0000000000001071 (4)

Deas, S., Huprikar, N. y Skabelund, A. (2017). Exposición a la radiación y enfermedad pulmonar en el mundo nuclear actual. *Opinión actual en medicina pulmonar*, 23 (2), 167-172. doi: 10.1097 / mcp.0000000000000349 (5)

Schonfeld, S., Bhatti, P., Brown, E., Linet, M., Simon, S. y Weinstock, R. et al. (2010). Polimorfismos en los genes de las vías de inflamación y estrés oxidativo, radiación ionizante de baja dosis y el riesgo de cáncer de mama entre los tecnólogos radiológicos de EE. UU. *Control y causas del cáncer*, 21 (11), 1857-1866. doi: 10.1007 / s10552-010-9613-7 (6)

Polo Alvarado, B., & Cárdenas, H. (2016). *Nuevos Protocolos para el diagnóstico de enfermedades profesionales* (2ª ed., Págs. 459-487). (7)

Badel, A., Rico-Mesa, J., Gaviria, M., Arango-Isaza, D. y Hernández Chica, C. (2018). Radiación ionizante: revisión de tema y recomendaciones para la práctica. *Revista Colombiana De Cardiología*, 25 (3), 222-229. doi: 10.1016 / j.rccar.2017.10.008 (8)

Sierra Cano, B. (2011). Evaluación del efecto genotóxico de la radiación ionizante en médicos ortopedistas expuestos laboralmente, en cuatro instituciones de salud en Bogotá, Colombia 2011 (9)

Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección. (2021). Consultado el 29 de noviembre de 2021 en <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures> (10)

Sociedad Española de Protección Radiológica. (2008). *Las recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica*. Madrid. (11)

Mohapatra A, Greenberg RK, Mastracci TM, Eagleton MJ, Thornsberry B. Radiation exposure to operating room personnel and patients during endovascular procedures. *J Vasc Surg.* 2013 Sep;58(3):702-9. doi: 10.1016/j.jvs.2013.02.032. Epub 2013 Jun 28. PMID: 23810300. (12)

Attigah N, Oikonomou K, Hinz U, Knoch T, Demirel S, Verhoeven E, Böckler D. Radiation exposure to eye lens and operator hands during endovascular procedures in hybrid operating rooms. *J Vasc Surg.* 2016 Jan;63(1):198-203. doi: 10.1016/j.jvs.2015.08.051. Epub 2015 Oct 21. PMID: 26474506. (13)

Monastiriotes S, Comito M, Labropoulos N. Radiation exposure in endovascular repair of abdominal and thoracic aortic aneurysms. *J Vasc Surg.* 2015 Sep;62(3):753-61. doi: 10.1016/j.jvs.2015.05.033. Epub 2015 Jul 10. PMID: 26169014. (14)

Goldswieg AM, Abbott JD, Aronow HD. Physician and Patient Radiation Exposure During Endovascular Procedures. *Curr Treat Options Cardiovasc Med.* 2017 Feb;19(2):10. doi: 10.1007/s11936-017-0507-9. PMID: 28275940. (15)

Barbosa AHP, Medeiros RB, Corpa AMR, Higa FS, Souza MT, Barbosa PL, Moreira AC, Quadros AS, Lemke VMG, Cantarelli MJC. Prevalence of Lens Opacity in Interventional Cardiologists and Professional Working in the Hemodynamics in Brazil. *Arq Bras Cardiol.* 2019 Apr;112(4):392-399. doi: 10.5935/abc.20190028. Epub 2019 Feb 21. PMID: 30810610; PMCID: PMC6459427. (16)

Mrena, S., Kivelä, T., Kurttio, P., & Auvinen, A. (2011). Lens opacities among physicians occupationally exposed to ionizing radiation – a pilot study in Finland. *Scandinavian Journal Of Work, Environment & Health*, 37(3), 237-243. doi: 10.5271/sjweh.3152 (17)

Karatasakis A, Brilakis HS, Danek BA, Karacsonyi J, Martinez-Parachini JR, Nguyen-Trong PJ, Alame AJ, Roesle MK, Rangan BV, Rosenfield K, Mehran R, Mahmud E, Chambers CE, Banerjee S, Brilakis ES. Radiation-associated lens changes in the cardiac catheterization laboratory: Results from the IC-CATARACT (CATaracts Attributed to RADIation in the CaTh lab) study. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2018 Mar 1;91(4):647-654. doi: 10.1002/ccd.27173. Epub 2017 Jul 14. PMID: 28707381. (18)

Roguin A, Goldstein J, Bar O, Goldstein JA. Brain and neck tumors among physicians performing interventional procedures. *Am J Cardiol.* 2013 May 1;111(9):1368-72. doi: 10.1016/j.amjcard.2012.12.060. Epub 2013 Feb 16. PMID: 23419190. (19)

Xie Z, Liao X, Kang Y, Zhang J, Jia L. Radiation Exposure to Staff in Intensive Care Unit with Portable CT Scanner. *Biomed Res Int.* 2016;2016:5656480. doi: 10.1155/2016/5656480. Epub 2016 Jul 31. PMID: 27556036; PMCID: PMC4983358. (20)

Adliene D, Grieciene B, Skovorodko K, Laurikaitiene J, Puiso J. Occupational radiation exposure of health professionals and cancer risk assessment for Lithuanian nuclear medicine workers. *Environ Res.* 2020 Apr;183:109144. doi: 10.1016/j.envres.2020.109144. Epub 2020 Jan 18. PMID: 32028181. (21)

Elmaraezy A, Ebraheem Morra M, Tarek Mohammed A, Al-Habaa A, Elgebaly A, Abdelmotaleb Ghazy A, Khalil AM, Tien Huy N, Hirayama K. Risk of cataract among interventional cardiologists and catheterization lab staff: A systematic review and meta-analysis. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2017 Jul;90(1):1-9. doi: 10.1002/ccd.27114. Epub 2017 May 13. PMID: 28500744. (22)