

Alteraciones clínicas en la salud del personal expuesto a radiaciones ionizantes en los hospitales

Clinical alterations in the health of personnel exposed to ionizing radiation in hospitals

Autores

Valeria Patricia Ávila Carrillo. <https://orcid.org/0000-0002-9633-443X>
Graduado de la Maestría de Seguridad y Salud Ocupacional Quinta Cohorte. Universidad San Gregorio de Portoviejo. Manabí. Ecuador
vavila8o8@gmail.com

Fecha de recibido: 2021-11-15
Fecha de aceptado para publicación: 2022-05-12
Fecha de publicación: 2022-06-30



Resumen

En las ciencias médicas las radiaciones ionizantes se usan con fines diagnósticos, terapéuticos e intervencionistas. Pero la exposición de los trabajadores representa un riesgo para su salud. El objetivo es identificar las alteraciones clínicas en la salud del personal expuesto a radiaciones ionizantes en los hospitales. La investigación consiste en una revisión sistemática exploratoria, se realizaron búsquedas en español, inglés y portugués en los metabuscadores Google Académico y SemanticScholar, así como en Scopus, ScienceDirect, PubMed, LILACS, SciELO y biblioteca Cochrane. La investigación permitió evidenciar la existencia de distintas alteraciones clínicas en la salud del personal expuesto. Entre ellas destacan el papel de las radiaciones en la incidencia de cánceres como la leucemia y varios linfomas, la infertilidad tanto masculina como femenina, las afecciones oculares como las cataratas y las alteraciones de la función tiroidea.

Palabras clave: Riesgos laborales, Exposición ocupacional, Radiación ionizante, Protección radiológica



Abstract

In medical sciences, ionizing radiation is used for diagnostic, therapeutic and interventional purposes. But the exposure of workers represents a risk to their health. The objective is to identify clinical alterations in the health of personnel exposed to ionizing radiation in hospitals. The research consists of an exploratory systematic review, searches were carried out in Spanish, English and Portuguese in the Google Academic and SemanticScholar metasearch engines, as well as in Scopus, ScienceDirect, PubMed, LILACS, SciELO and the Cochrane library. The investigation made it possible to demonstrate the existence of different clinical alterations in the health of the exposed personnel. These include the role of radiation in the incidence of cancers such as leukemia and various lymphomas, infertility, both male and female, eye conditions such as cataracts, and alterations in thyroid function.

Keywords: Occupational Risks, Occupational exposure, Ionizing radiation, Radiation protection

Introducción

Las radiaciones ionizantes consisten en ondas electromagnéticas naturales o artificiales, se caracterizan por tener la capacidad de producir iones en su paso a través de la materia de forma directa o indirecta. Viene a ser energía transportada por diversas partículas y rayos derivados de material radioactivo. Tienden a utilizarse en las industrias, en la agricultura, así como en la práctica médica. En esta última, se asocia con el uso de sistemas de rayos X para contribuir al diagnóstico por imágenes, por ejemplo, a través de tomografías computarizadas, fluoroscopia, radiología general, mamografías y radiologías dentales. También en intervenciones como el cateterismo en sus diversas formas y para tratamientos tipo radioterapia (Bueno et al., 2020; Hernández Piñero y Pernalet Ruiz, 2017; Ubeda de la C et al., 2018).

Por otro lado, esto tiene un costo para la salud del personal sanitario. Según las cifras que presentan Carranza et al. (2012), a nivel mundial más de 20 millones de trabajadores están expuestos a radiaciones ionizantes. Dentro de este tipo de personal, Bernal Troetsch (2019), menciona a los licenciados en radiología, personal médico y de enfermería tanto que realiza labores



relacionadas tanto para radiodiagnóstico como para radioterapia y radiología intervencionista y personal auxiliar de dichas áreas.

Los efectos clínicos producidos por la radiación son variados. Una clasificación los divide entre efectos estocásticos, que son consecuencia del daño celular a una o varias células; y determinísticos, en los que se provoca muerte celular de una cantidad de células y que no puede ser compensada por los mecanismos correspondientes. Cabe mencionar que en los estocásticos la posibilidad de que aparezca el efecto es una función de la dosis y se desconoce si existe un umbral. Por su parte, en los efectos determinísticos la magnitud del efecto depende de la dosis, es decir, existe un umbral por debajo del cual no se produce el daño (Puerta-Ortiz y Morales-Aramburo, 2020; Ramos-Avasola, Uribe, et al., 2020).

Desde otro punto de vista, los efectos dañinos que se producen por la exposición a radiaciones ionizantes se clasifican en somáticos y hereditarios. Los somáticos son los que suceden en la persona expuesta y los hereditarios ocurren en la descendencia del sujeto expuesto a la radiación (Ramos-Avasola, Rivera, et al., 2020).

Existen distintos ejemplos de los efectos de las radiaciones en la salud de los trabajadores expuestos a ella. Es clásica la asociación entre radiaciones y cáncer, tal como lo plantean tanto Hernández Piñero y Pernalet Ruiz (2017) como Satta et al. (2020). Por otro lado, Hernández et al. (2020), plantea la existencia de una relación entre una exposición ocupacional a radiaciones y la aparición de cataratas. Incluso se han comenzado a elaborar hipótesis sobre la relación de las radiaciones con un aumento en el riesgo cardiovascular (Aristizábal, 2020) y en la aparición de mal de Parkinson (Azizova et al., 2021).

Según Puerta-Ortiz y Morales-Aramburo (2020, p. 62), existen unos tejidos más radiosensibles que otros. Los autores afirman que “la piel y los tejidos hematopoyéticos se consideran los más radiosensibles, mientras que las células del tejido nervioso y muscular son las más resistentes”.

Ahora bien, existen dos fenómenos a nivel celular que son inducidos por las radiaciones y forman parte de su mecanismo para generar daño al individuo expuesto. Estos son las llamadas aberraciones cromosómicas y los micronúcleos. Las primeras, representan el principal indicador biológico de actividad mutagénica para evaluar la exposición a mutágenos y agentes carcinogénicos (Ramos-Avasola, Rivera, et al., 2020).



En resumen, según lo expresan Ubeda de la C et al. (2018), la exposición a las radiaciones ionizantes puede producirse como consecuencia de las diversas actividades llevadas a cabo por el ser humano, particularmente por el trabajo. En este sentido, la exposición ocupacional, sobre todo en el campo médico, representa un problema que hay que atender para minimizar los riesgos del personal.

En vista de la abundante información existente se hace necesario realizar una sistematización de los datos relacionados con los efectos de las radiaciones ionizantes en el personal de salud. Por ello, el objetivo del presente estudio es identificar las alteraciones clínicas en la salud del personal expuesto a radiaciones ionizantes en los hospitales mediante una revisión sistemática con fuentes secundarias.

Metodología

Esta investigación se basó en los postulados de las revisiones sistemáticas exploratorias (RSE), que según Fernández-Sánchez et al. (2020), permiten obtener una panorámica amplia sobre la mejor evidencia de un tema en particular. Estas revisiones, a través de una pregunta enfocada a un problema sirven para la identificación de lagunas sobre un área en la cual se ha investigado poco o nada.

Las búsquedas se realizaron en español, inglés y portugués. Se utilizaron como palabras clave en español los términos radiaciones ionizantes, exposición ocupacional a radiaciones ionizantes, riesgos ocupacionales de las radiaciones ionizantes, alteraciones clínicas como consecuencia de las radiaciones ionizantes. En inglés las palabras de búsqueda fueron ionizing radiation, occupational exposure to ionizing radiation, occupational risks of ionizing radiation, clinical changes as a consequence of ionizing radiation. Mientras que, en portugués, las palabras clave fueron radiação ionizante, exposição ocupacional à radiação ionizante, riscos ocupacionais da radiação ionizante, alterações clínicas como consequência da radiação ionizante.

La revisión de las fuentes se hizo en los metabuscadores Google Académico y SemanticScholar, así como en las bases de datos o buscadores especializados como Scopus, ScienceDirect, PubMed, LILACS, SciELO y biblioteca Cochrane. En una primera etapa de búsqueda el resultado fue de 1221 artículos, luego de eliminar los duplicados y descartar los estudios no pertinentes quedaron 133 artículos. Como criterios de inclusión para la sección de



resultados se tomó en cuenta que el año de publicación fuera a partir del año 2016 y que el estudio tuviera un diseño transversal, de casos y controles, de cohorte, revisiones sistemáticas y / o metaanálisis.

Se obtuvieron artículos completos y se realizó un análisis de los contenidos para verificar la pertinencia para ser incluidos en el presente estudio. En total se incluyeron 30 artículos que cumplieron con los criterios de inclusión. Los datos se presentaron en matrices que incluyeron los siguientes elementos de cada artículo: autor, año de publicación, título del artículo, país donde se desarrolló el estudio, la metodología y los aportes o hallazgos de cada publicación.

Resultados y discusión

La línea de investigación relacionada con las alteraciones clínicas del personal de salud expuesto a radiaciones ionizantes presenta un alto nivel de actividad. El problema es estudiado desde distintos ángulos y perspectivas. Por ejemplo, Hamada et al. (2019), se enfocan en los efectos en el ojo que se producen como consecuencia de la exposición ocupacional a radiaciones. Mientras que Luigi et al. (2020), centran su investigación en la relación entre las radiaciones ionizantes en trabajadores sanitarios y las alteraciones funcionales de la glándula tiroides.

Atendiendo a la diversidad de estudios, en primer lugar, se presenta una tabla donde se establece el país de realización de los distintos estudios considerados (tabla 1), los países que más aportaron estudios a esta revisión fueron Colombia, Chile y Estados Unidos.

Tabla 1. Artículos sobre efectos clínicos de la exposición ocupacional a las radiaciones ionizantes por país.

País	No de artículos	%
Colombia	4	13,3
Estados Unidos	3	10
Chile	3	10
Italia	2	6,6
Inglaterra	2	6,6
Brasil	2	6,6
Polonia	2	6,6
Venezuela	2	6,6
India	1	3,3
España	1	3,3
Japón	1	3,3
Panamá	1	3,3
Tailandia	1	3,3
Rusia	1	3,3
China	1	3,3
Irlanda	1	3,3



País	No de artículos	%
Canadá	1	3,3
Europa (Multicéntrico)	1	3,3
Total	30	100

Posteriormente, se consideraron las investigaciones incluidas tomando en cuenta su diseño (tabla 2), siendo las revisiones de la literatura y sistemáticas las que aportaron un mayor porcentaje (46,7%). Por último, se organiza esta sección en base a los aportes de los investigadores sobre la exposición ocupacional a las radiaciones ionizantes y su efecto en los distintos órganos y sistemas que conforman el cuerpo humano (tabla 3).

Tabla 2. Artículos sobre efectos clínicos de la exposición ocupacional a las radiaciones ionizantes según diseño del estudio

Autor (año)	Diseño del estudio	No.	%
Hamada et al. (2019)	Revisión de la literatura o Revisión sistemática	14	46,7
Della Vecchia et al. (2020)			
Hernández et al. (2020)			
Kumar et al. (2019)			
Kesari et al. (2018)			
Skrzypek et al. (2019)			
Wdowiak et al. (2019)			
Harbron y Pasqual (2020)			
Hernández Piñero y Pernalet Ruiz (2017)			
Hauptmann et al. (2020)			
Ubeda de la C et al. (2018)			
Aristizábal (2020)			
Puerta-Ortiz y Morales-Aramburo (2020)			
Bueno et al. (2020)			
Bernier et al. (2018)	Estudios de cohorte	6	20
Kelly et al. (2018)			
Demeter et al. (2019)			
Gillies et al. (2019)			
Fang et al. (2019)			
Azizova et al. (2021)			
Barbosa et al. (2019)	Casos y controles	6	20
Luigi et al. (2020)			
Escobar y Coronel (2019)			
Satta et al. (2020)			
Silva-Júnior et al. (2020)	Estudios transversales		
Ramos-Avasola, Rivera, et al. (2020)			
Krisanachinda et al. (2017)			



Autor (año)	Diseño del estudio	No.	%
Luna-Sánchez et al. (2019)		4	13,3
Ramos-Avasola, Uribe, et al. (2020)			
Bernal Troetsch (2019)			
TOTALES		30	100

Tabla 3. Investigaciones sobre efectos clínicos de la exposición ocupacional a las radiaciones ionizantes.

Autor (Año)	Efectos clínicos o variable	Resumen
Hamada et al. (2019)	Oculares	Estos estudios se enfocaron en los efectos de las radiaciones ionizantes sobre la vista del personal expuesto.
Barbosa et al. (2019)	Oculares	
Bernier et al. (2018)	Oculares	
Della Vecchia et al. (2020)	Oculares	
Kelly et al. (2018)	Oculares	Las radiaciones tienen un efecto negativo sobre el cristalino y esto trae como consecuencia que en el personal expuesto exista un aumento del riesgo de sufrir cataratas.
Demeter et al. (2019)	Oculares	
Krisanachinda et al. (2017)	Oculares	
Hernández et al. (2020)	Oculares	
Kumar et al. (2019)	Función reproductiva	La función reproductiva tanto en hombres como en mujeres se ve afectada por la exposición a radiaciones ionizantes. Hay riesgo elevado de esterilidad tanto masculina como femenina.
Kesari et al. (2018)	Función reproductiva	
Skrzypek et al. (2019)	Función reproductiva	
Wdowiak et al. (2019)	Función reproductiva	
Luigi et al. (2020)	Alteración tiroidea	Entre los trabajadores expuestos a las radiaciones ionizantes se eleva el riesgo de sufrir hipotiroidismo.
Luna-Sánchez et al. (2019)	Alteración tiroidea	
Escobar y Coronel (2019)	Alteración tiroidea	
Gillies et al. (2019)	Cáncer	El riesgo de cáncer aumenta entre los trabajadores de la salud expuestos a radiaciones ionizantes. Leucemia y Linfomas son los principales tipos asociados a este riesgo.
Harbron y Pasqual (2020)	Cáncer	
Satta et al. (2020)	Cáncer	
Hernández Piñero y Pernalet Ruiz (2017)	Cáncer	
Hauptmann et al. (2020)	Cáncer	
Silva-Júnior et al. (2020)	Genotoxicidad	
Fang et al. (2019)	Genotoxicidad	Es aceptado que las radiaciones producen daño a nivel del ADN lo que se considera un daño genotóxico.
Ubeda de la C et al. (2018)	Dosimetría	Los estudios de dosimetría han intentado dilucidar la dosis umbral para provocar daño en los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes
Aristizábal (2020)	Cardiovascular	Se exploran nuevas líneas de investigación que relacionan a las radiaciones ionizantes con alteraciones cardiovasculares e incluso con la enfermedad de Parkinson
Azizova et al. (2021)	Parkinson	
Ramos-Avasola et al. (2020)	Dosimetría	
Ramos-Avasola et al. (2020)	Análisis citogenético de linfocitos	
Puerta-Ortiz y Morales-Aramburo (2020)	Efectos biológicos	
Bueno et al. (2020)	Efectos secundarios	
Bernal Troetsch (2019)	Efectos secundarios	



Uno de los ejes es el que menciona los efectos de las radiaciones sobre la salud ocular de los trabajadores expuestos a radiaciones. En este sentido, Barbosa et al. (2019), refieren que el cristalino es uno de los órganos más radiosensibles del cuerpo y realizaron una investigación sobre la prevalencia de la opacidad del cristalino en cardiólogos intervencionistas y profesionales que trabajan en hemodinámica en Brasil. Compararon la prevalencia de cataratas en los profesionales y los compararon con población no expuesta a las radiaciones. Reportaron que la catarata fue más prevalente en los profesionales expuestos a radiaciones ionizantes, siendo la catarata subcapsular posterior el hallazgo más frecuente.

Por su parte, Bernier et al. (2018), estimaron el riesgo de cataratas en una cohorte de técnicos radiólogos de medicina nuclear (NM) sobre la base de sus antecedentes laborales y prácticas de protección radiológica. Entre sus conclusiones mencionan que se observó un mayor riesgo de cataratas entre los técnicos radiólogos que habían realizado al menos un procedimiento de medicina nuclear durante su trayectoria laboral.

Una revisión sistemática sobre el riesgo de cataratas en trabajadores de la salud expuestos a radiaciones ionizantes fue realizada por Della Vecchia et al. (2020), en esta se sintetiza la evidencia más reciente que respalda la hipótesis de un riesgo significativamente mayor de cataratas ocupacionales en los trabajadores de la salud que están expuestos a radiaciones ionizantes, especialmente en cardiólogos intervencionistas. Los datos también apoyan una relación dosis-respuesta entre dicha exposición y la prevalencia de opacidades, especialmente opacidades subcapsulares posteriores.

Cabe resaltar que los hallazgos evidenciaron la necesidad de adoptar medidas de control efectivas, entre ellas la capacitación adecuada, el cumplimiento de los procedimientos de protección y el uso constante de escudos y equipos de protección personal para los ojos en los trabajadores de la salud con exposición óptica a los rayos infrarrojos. Los programas periódicos de vigilancia de la salud, que posiblemente incluyan la evaluación del cristalino también son importantes para monitorear el riesgo de cataratas en estos trabajadores (Della Vecchia et al., 2020).

Un estudio realizado por Kelly et al. (2018), se enfoca en el efecto ocular de las radiaciones en centros de medicina del dolor. Los resultados evidenciaron que la dosis anual de exposición ocupacional a radiaciones ionizantes de los médicos especialistas en dolor que realizan procedimientos guiados por fluoroscopia es menor que las pautas internacionales recomendadas.



Otro de los temas en los que se han desarrollado varias investigaciones es en lo relacionado con la reproducción humana. Al respecto, Kumar et al. (2019), refieren que la exposición a radiaciones ionizantes puede tener efectos adversos sobre la reproducción humana que dependen de la dosis, duración, intensidad y frecuencia de la exposición a la radiación. La respuesta del ovario a la exposición a la radiación varía con la edad, la dosis y la duración. Una exposición ovárica a una dosis de 4 Gy puede causar esterilidad en mujeres jóvenes, aunque el riesgo aumenta en mujeres mayores de 40 años. Sobre la base de datos experimentales, se ha sugerido que la radiación ionizante puede inducir daños en el ADN de las células germinales, lo que puede provocar efectos nocivos en la descendencia, incluidos abortos espontáneos, bajo peso al nacer y anomalías congénitas. Sin embargo, no se ven pruebas claras de tales efectos en los estudios epidemiológicos.

Por otro lado, publicaciones como la realizada por Kesari et al. (2018) hacen hincapié en los efectos de las radiaciones en la calidad del esperma y las consecuencias de ello para la fertilidad masculina. De hecho, tanto Skrzypek et al., (2019) como Wdowiak et al. (2019), refieren que existen más investigaciones relacionadas con la infertilidad masculina en comparación con la infertilidad femenina causada por las radiaciones.

Se dice que la dosis mínima para causar daño detectable en el ADN es de 30 Gy. Al exceder esta dosis, aumenta el número de roturas de ADN monocatenario. Entre los hombres expuestos a radiaciones ionizantes se observó una disminución en la motilidad de los espermatozoides y en el porcentaje de espermatozoides morfológicamente normales, así como en una intensificación de la vacuolización. Incluso, el material genético en el esperma de estos hombres mostró una mayor fragmentación y metilación del ADN genómico (Wdowiak et al., 2019).

Respecto a los efectos de las radiaciones sobre la glándula tiroides, Luna-Sánchez et al. (2019), reportaron que en un grupo de trabajadores de la salud expuestos a radiación ionizante se observó un mayor riesgo de hipotiroidismo subclínico relacionado con las dosis de radiación.

Escobar y Coronel (2019), estudiaron un grupo de trabajadores expuestos ocupacionalmente a radiaciones ionizantes y lo compararon con un grupo de trabajadores no expuestos. Se evidenció que el 63% de trabajadores expuestos a radiaciones presentaron alteraciones en el ultrasonido tiroideo, un porcentaje superior al 43% de los no expuestos. La prevalencia de alteraciones tiroideas entre los expuestos fue de 44% para bocio difuso, 32% para



nódulos y 24% para quistes. Los investigadores concluyeron que las alteraciones tiroideas fueron más prevalentes entre los expuestos a radiaciones.

Una revisión sobre exposición ocupacional a radiaciones ionizantes no puede quedar completa sin tomar en cuenta el vínculo entre estas y la aparición de distintas formas de cáncer. En particular, se relaciona con leucemia (Gillies et al., 2019; Hernández Piñero y Pernalet Ruiz, 2017) y con linfomas, entre los que se incluyen el mieloma múltiple y la leucemia linfocítica crónica (Harbron y Pasqual, 2020).

En su estudio, Gillies et al. (2019), estimaron el riesgo de la radiación para la incidencia de leucemia y mortalidad derivadas de una cohorte de 173 081 trabajadores expuestos ocupacionalmente en el Reino Unido. Los participantes fueron monitoreados por exposición ocupacional a la radiación. Se siguió a la cohorte durante un total de 5,3 millones de personas-año y pudo identificarse tanto la incidencia como la mortalidad debida a la leucemia hasta el final del seguimiento. Se investigó la relación entre la dosis de radiación acumulada y la mortalidad por leucemia. Los resultados de este trabajo mostraron una dosis colectiva de 4.414 Sv-persona acumulada por la cohorte con una dosis acumulada promedio de 25,5 mSv.

Los trabajadores varones mostraron un mayor riesgo de leucemia (excluyendo la leucemia linfática crónica) asociado con el aumento de la dosis acumulada. En conclusión, este estudio proporciona más evidencia de que los riesgos de leucemia pueden aumentar con la exposición prolongada y a dosis bajas a la radiación externa. En este trabajo, los riesgos coincidieron con los coeficientes de riesgo en los que se basan las normas internacionales de seguridad radiológica, incluidos los límites de dosis y las restricciones utilizadas para controlar las exposiciones (Gillies et al., 2019).

Es importante tomar en cuenta las medidas de protección radiológica en los centros de salud donde se realizan actividades que impliquen el uso de radiaciones ionizantes con fines diagnósticos o terapéuticos. La salud de los trabajadores dependerá en gran medida del respeto a las dosis umbrales establecidas para evitar la aparición de patologías que sean consecuencia de dicha exposición.

También el trabajador debe tomar conciencia de su responsabilidad para con su propia salud. Si la institución ofrece los equipos de protección radiológica, es necesario que los miembros del personal les den el uso correspondiente. Este hecho contribuiría a la reducción de eventos asociados con la exposición ocupacional.



Conclusiones

El uso de radiaciones ionizantes en las instituciones hospitalarias implica un riesgo para la salud de los trabajadores quienes se exponen continuamente a estas. La investigación permitió evidenciar la existencia de distintas alteraciones clínicas en la salud del personal expuesto. Entre ellas destacan el papel de las radiaciones en la incidencia de cánceres como la leucemia y varios linfomas, la infertilidad tanto masculina como femenina destacando la infertilidad en la mujer especialmente cuando son mayores de 40 años; las afecciones oculares como las cataratas ya que la radiación prolongada según algunos autores afecta directamente al cristalino; y las alteraciones de la función tiroidea.

Esta línea de investigación se encuentra activa y al ser un campo muy amplio con la sistematización de la información se ha logrado obtener conocimientos precisos explorando nuevas relaciones que incluyen los posibles efectos de las radiaciones ionizantes en la salud cardiovascular y en enfermedades como la de Parkinson. El papel de las revisiones sistemáticas en la generación de evidencia ha sido fundamental para intentar entender los mecanismos involucrados en la etiología de las cataratas como consecuencia de la exposición ocupacional a las radiaciones ionizantes y la genotoxicidad ya que se menciona en varios estudios el daño en el ADN de las personas ocupacionalmente expuestas a largo plazo. No están claros aún los mecanismos etiológicos de las alteraciones tiroideas, pero algunos de los autores consultados reportaron casos de hipertiroidismo en sus investigaciones, además de bocio, nódulos y quistes.

Cabe resaltar que ante el riesgo de desarrollar las alteraciones mencionadas en este estudio es necesario establecer una corresponsabilidad entre las instituciones de salud que trabajan con radiaciones ionizantes y los trabajadores. Estudios de dosimetría aclaran y explican los rangos de la dosis umbral para provocar daño en los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, pero la mayor prevención está en proveer las condiciones y los equipos de protección personal para minimizar los riesgos de desarrollar enfermedades ocupacionales y los trabajadores comprometerse a utilizar los equipos de protección personal para cuidarse a sí mismos y crear autorresponsabilidad.

Referencias

Aristizábal, J. M. (2020). Riesgo cardiovascular relacionado con la radiación ionizante. *Revista Colombiana de Cardiología*, 27, 21–24. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2019.11.001>



- Azizova, T. V., Bannikova, M. V., Grigoryeva, E. S., Rybkina, V. L., & Hamada, N. (2021). Occupational exposure to chronic ionizing radiation increases risk of Parkinson's disease incidence in Russian Mayak workers. *International Journal of Epidemiology*, *49*(2), 435–447. <https://doi.org/10.1093/IJE/DYZ230>
- Barbosa, A. H. P., Medeiros, R. B., Corpa, A. M. R., Higa, F. S., Souza, M. T. de, Barbosa, P. L., Moreira, A. C., Quadros, A. S. de, Lemke, V. de M. G., & Cantarelli, M. J. de C. (2019). Prevalence of Lens Opacity in Interventional Cardiologists and Professional Working in the Hemodynamics in Brazil. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, *112*, 392–399.
- Bernal Troetsch, R. (2019). Nivel de conocimientos en protección radiológica del personal expuesto a radiaciones ionizantes en un complejo hospitalario. *Revista Intervencionismo*, *19*(3), 103–110. <https://doi.org/10.30454/2530-1209.2019.3.1>
- Bernier, M.-O., Journy, N., Villoing, D., Doody, M. M., Alexander, B. H., Linet, M. S., & Kitahara, C. M. (2018). Cataract risk in a cohort of US radiologic technologists performing nuclear medicine procedures. *Radiology*, *286*(2), 592–601.
- Bueno, J. A., Uribe, M. R., Corpas-, U. J. N., Chac, L. A., & Bola, A. (2020). *Una mirada real y actualizada sobre los efectos de las dosis de radiación percibidas por los pacientes y los trabajadores del área de radiología*. *6*(2), 185–197.
- Carranza, T., Franco, J., Gaona, E., & Noriega, M. (2012). Evaluación de la seguridad e higiene de un servicio de radioterapia en México, D.F. *Salud de Los Trabajadores*, *20*(2), 155–165. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01382012000200004&lang=es%0Ahttp://www.scielo.org.ve/pdf/st/v20n2/art04.pdf
- Della Vecchia, E., Modenese, A., Loney, T., Muscatello, M., Silva Paulo, M., Rossi, G., & Gobba, F. (2020). Risk of cataract in health care workers exposed to ionizing radiation: a systematic review. *La Medicina Del Lavoro*, *111*(4), 269–284. <https://doi.org/10.23749/mdl.v111i4.9045>
- Demeter, S., Goertzen, A. L., & Patterson, J. (2019). Demonstrating Compliance With Proposed Reduced Lens of Eye Dose Limits in Nuclear Medicine Settings. *Health Physics*, *117*(3), 313–318. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001059>
- Escobar, A., & Coronel, C. (2019). Hallazgos ecográficos de la glándula tiroides en el personal técnico ocupacionalmente expuesto y no expuesto a radiaciones ionizantes del Hospital Central Universitario Dr. Antonio María Pineda. *Boletín Médico de Postgrado*, *35*(1), 21–24.
- Fang, L., Li, J., Li, W., Mao, X., Ma, Y., Hou, D., Zhu, W., Jia, X., & Qiao, J. (2019). Assessment



- of Genomic Instability in Medical Workers Exposed to Chronic Low-Dose X-Rays in Northern China. *Dose-Response*, 17(4). <https://doi.org/10.1177/1559325819891378>
- Fernández-Sánchez, H., King, K., & Enríquez-Hernández, C. B. (2020). Revisión Sistemática Exploratoria como metodología para la síntesis del conocimiento científico. *Enfermería Universitaria*, 17(1), 87–94.
- Gillies, M., Haylock, R., Hunter, N., & Zhang, W. (2019). Risk of Leukemia Associated with Prolonged Low-Dose Radiation Exposure: Updated Results from the National Registry for Radiation Workers Study. *Radiation Research*, 192(5), 527–537. <https://doi.org/10.1667/RR15358.1>
- Hamada, N., Azizova, T. V., & Little, M. P. (2019). An update on effects of ionizing radiation exposure on the eye. *The British Journal of Radiology*, 93(1115), 20190829. <https://doi.org/10.1259/bjr.20190829>
- Harbron, R. W., & Pasqual, E. (2020). Ionising radiation as a risk factor for lymphoma: A review. *Journal of Radiological Protection*, 40, R151–R185. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/abbe37>
- Hauptmann, M., Daniels, R. D., Cardis, E., Cullings, H. M., Kendall, G., Laurier, D., Linet, M. S., Little, M. P., Lubin, J. H., Preston, D. L., Richardson, D. B., Stram, D. O., Thierry-Chef, I., Schubauer-Berigan, M. K., Gilbert, E. S., & Berrington de Gonzalez, A. (2020). Epidemiological Studies of Low-Dose Ionizing Radiation and Cancer: Summary Bias Assessment and Meta-Analysis. *Journal of the National Cancer Institute. Monographs*, 2020(56), 188–200. <https://doi.org/10.1093/jncimonographs/lgaa010>
- Hernández, C., Durán, A., & Cortés, M. C. (2020). Lesiones oculares y radiación ionizante. *Revista Colombiana de Cardiología*, 27(S1), 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2019.09.004>
- Hernández Piñero, A., & Pernalet Ruiz, M. (2017). Leucemia ocupacional: importancia de la prevención. *Comunidad y Salud*, 15(1), 86–90.
- Kelly, R., McMahon, A., & Hegarty, D. (2018). Ionizing radiation dose exposure to the ocular region of pain physicians during c-arm guided pain interventions. *Pain Physician*, 21(5), E523–E532. <https://doi.org/10.36076/ppj.2018.5.e523>
- Kesari, K. K., Agarwal, A., & Henkel, R. (2018). Radiations and male fertility. *Reproductive Biology and Endocrinology : RB&E*, 16(1), 118. <https://doi.org/10.1186/s12958-018-0431-1>
- Krisanachinda, A., Srimahachota, S., & Matsubara, K. (2017). The current status of eye lens dose



- measurement in interventional cardiology personnel in Thailand. *Radiological Physics and Technology*, 10(2), 142–147. <https://doi.org/10.1007/s12194-017-0403-8>
- Kumar, S., Sharma, A., & Kshetrimayum, C. (2019). Environmental & occupational exposure & female reproductive dysfunction. *The Indian Journal of Medical Research*, 150(6), 532–545. https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_1652_17
- Luigi, D., Fontana, L., Leso, V., Dolce, P., Vitale, R., Vetrani, I., Galdi, A., & Iavicoli, I. (2020). Low dose ionizing radiation exposure and risk of thyroid functional alterations in healthcare workers. *European Journal of Radiology*, 132(May), 109279. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.109279>
- Luna-Sánchez, S., Del Campo, M. T., Morán, J. V., Fernández, I. M., Checa, F. J. S., & de la Hoz, R. E. (2019). Thyroid Function in Health Care Workers Exposed to Ionizing Radiation. *Health Physics*, 117(4), 403–407. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001071>
- Puerta-Ortiz, J., & Morales-Aramburo, J. (2020). Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. *Revista Colombiana de Cardiología*, 27(S1), 61–71. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2020.01.005>
- Ramos-Avasola, S., Rivera, D., Segura, K., Thraves, E., Durán, A., Soto, V., Gamarra, J., & Ojeda, M. I. (2020). Análisis citogenético en linfocitos de trabajadores expuestos a radiación ionizante en una unidad de cardiología intervencional de Chile: Estudio piloto y revisión de la literatura. *Revista Chilena de Cardiología*, 39(1), 8–15. <https://doi.org/10.4067/s0718-85602020000100008>
- Ramos-Avasola, S., Uribe, J., Orsi, F., Alarcón, T., Álvarez, J., Angelis, F. de, Gamarra, J., Mora, A., Prieto, A., Godoy, M., León, B., Tapia, A., Robles, I., Arredondo, V., Aguilar, T., Vergara, F., & Sabini, D. (2020). Descripción de elementos de radioprotección y dosimetría en Unidades de Cardiología Intervencionista Sudamericanas: Un estudio piloto. *Revista Chilena de Cardiología*, 39(2), 105–113. <https://doi.org/10.4067/s0718-85602020000200105>
- Satta, G., Loi, M., Becker, N., Benavente, Y., De Sanjose, S., Foretova, L., Staines, A., Maynadie, M., Nieters, A., Meloni, F., Pilia, I., Campagna, M., Pau, M., Zablotska, L. B., & Cocco, P. (2020). Occupational exposure to ionizing radiation and risk of lymphoma subtypes: Results of the Epilymph European case-control study. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 19(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00596-9>
- Silva-Júnior, F. M. R. da, Tavella, R. A., Fernandes, C. L. F., Mortola, A. S., Peraza, G. G., &



- Garcia, E. M. (2020). Genotoxic risk in health-care professionals occupationally exposed to low doses of ionizing radiation. *Toxicology and Industrial Health*, 36(5), 356–370. <https://doi.org/10.1177/0748233720932081>
- Skrzypek, M., Wdowiak, A., Panasiuk, L., Stec, M., Szczygieł, K., Zybała, M., & Filip, M. (2019). Effect of ionizing radiation on the female reproductive system. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine : AAEM*, 26(4), 606–616. <https://doi.org/10.26444/aaem/112837>
- Ubeda de la C, C., Nocetti G., D., Inzulza C., A., Oyarzún C., C., & Alarcón E., R. (2018). Magnitudes y unidades para dosimetría del personal ocupacionalmente expuesto en radiodiagnóstico e intervencionismo. *Revista Chilena de Radiología*, 24(1), 5–11. <https://doi.org/10.4067/s0717-93082018000100005>
- Wdowiak, A., Skrzypek, M., Stec, M., & Panasiuk, L. (2019). Effect of ionizing radiation on the male reproductive system. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine : AAEM*,