



**Universidad  
de Valparaíso**  
CHILE

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL BIOMÉDICA

**¿Cuáles son los métodos actuales de estimación de dosis a personal ocupacionalmente expuesto (POE) en angiografía y de qué dependen estas dosis?: Revisión**

**Sistemática de la Literatura**

**Jorge Andrés Riveros Fleming**

Trabajo para optar al Título de  
**Ingeniero Civil Biomédico**

Profesor Guía:

Steren Chabert



Marzo - 2023

Valparaíso - Chile

---

## Resumen

**Objetivo:** El propósito de esta revisión sistemática es conocer el contexto de la medición de dosis en el personal ocupacionalmente expuesto que realiza intervenciones diagnósticas y terapéuticas con la técnica de angiografía, la metodología utilizada para realizar las mediciones y evaluar qué factores afectan estas dosis.

**Método:** A través de la metodología PRISMA se realiza la búsqueda de artículos en WOS y Pubmed, con la expresión de búsqueda que utiliza palabras claves como “Angiografía”, “dosis”, “exposición a radiación ocupacional” para luego aplicar criterios que permitan incluir documentos a esta revisión tales como, un rango de 10 años desde su fecha de publicación, el idioma que considera solo el inglés, y estudios que presenten en su contenido la temática principal correspondiente a la estimación o medición de dosis de radiación ionizante a personal ocupacionalmente expuesto (POE) en angiografía.

**Resultados:** Se obtuvo dos maneras para poder medir o estimar dosis en personal ocupacional. En el caso de estudios de simulación la estimación se obtiene con la utilización de software MCPNX con código denominado Tally F6. Para estudios clínicos reales la medición encontrada es a través de dosimetría. Existen variados tipos de dosímetros presentes en los resultados, pero todos expresan la dosis del operador de una manera directa. Respecto a factores que afectan la dosis del personal, el predictor principal en incidencia sobre la salud ocupacional es el IMC, donde a través de estudios probabilísticos determinó un riesgo elevado.

**Palabras Clave (máximo 5):** Dose Estimate, Coronary Angiography, Occupational Radiation Exposure

**TABLA DE CONTENIDO**

1 INTRODUCCIÓN	1
2 MARCO TEÓRICO	4
3 METODOLOGÍA E IMPLEMENTACIÓN	7
4 RESULTADOS	8
5 DISCUSIÓN	24
6 CONCLUSIÓN	25
7 REFERENCIAS	26

# ¿Cuáles son los métodos actuales de estimación de dosis a personal ocupacionalmente expuesto (POE) en angiografía, y de qué dependen estas dosis?: Revisión Sistemática de la Literatura

Jorge Andrés Riveros Fleming  
*Escuela de Ingeniería Civil Biomédica  
Facultad de Ingeniería, Universidad de Valparaíso, Chile*

*Palabras clave: Dose Estimate, Angiography, Occupational Radiation Exposure*

## 1 INTRODUCCIÓN

En el año 1895, Wilhelm Conrad Röntgen, científico alemán, descubrió un tipo de radiación electromagnética ionizante de origen desconocido para aquellos tiempos, por lo que se le asignó el nombre de “Rayos X” [7], radiación que interactuó con la materia presente en la mano de su esposa y quedando plasmada en una placa fotográfica la estructura ósea de la mano y el anillo que portaba, siendo esta la primera radiografía obtenida en el mundo. Este hito marca el comienzo de la imagenología diagnóstica en la medicina, un avance que ha permitido hasta la actualidad a los médicos diagnosticar y planificar intervenciones de distintos niveles de complejidad.

Uno de los avances más relevantes en torno a la utilización de los rayos X, y el que está implicado directamente en esta revisión sistemática es la técnica denominada angiografía, la cual permite la adquisición de imágenes médicas en tiempo real, guiada por fluoroscopia de RX y técnicas de exposición luego de inyectar agentes de contraste a través de un catéter por vía femoral o radial, [7] para realizar intervenciones quirúrgicas que sirvan de diagnóstico y tratamiento para diferentes patologías vasculares y linfáticas.

Lo anterior tiene como implicancia una exposición directa del paciente a los rayos X, y a su vez la radiación dispersada afecta de manera relevante al personal ocupacional presente en procedimientos endovasculares guiados por imágenes radiológicas, procedimientos que representan una proporción de hasta el 80% de las intervenciones vasculares respecto a reparaciones quirúrgicas abiertas [10]. Este antecedente sumado a largos periodos de exposición durante los procedimientos aumenta el riesgo a daños en sus órganos y tejidos expuestos, donde la radiación ionizante interactúa con las moléculas y células del organismo pudiendo alterar su estructura biológica como su fisiología a nivel molecular, aumentando las probabilidades de desarrollar cáncer en las zonas expuestas [33]. Desde este escenario de exposición a la radiación nace el concepto de Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) quien se define como aquel profesional que se desempeña en las instalaciones radiactivas u opere equipos generadores de radiaciones ionizantes [1] o también se puede encontrar como Trabajador Ocupacionalmente Expuesto (TOE) como lo define el Instituto de Salud Pública (ISP) en el documento Nota Técnica N°34 Trabajador Ocupacionalmente Expuesto a Radiaciones Ionizantes [34].

Frente a la problemática de exposición crónica que presentan los médicos intervencionistas, es necesario establecer regulación para los procedimientos donde esté involucrada la exposición a rayos X por parte del personal ocupacional. Cada nación tiene su propia legislación respecto a la protección radiológica, que toma como base las sugerencias emitidas por la Comisión Internacional de Protección Radiológica conocida por su sigla (ICRP) derivada de su nombre en inglés (International Commission on Radiological Protection),

quien diseña normas, protocolos y sugerencias a nivel mundial para velar por la seguridad de las personas contra los efectos de la radiación y establece los tres pilares fundamentales de la protección radiológica: justificación optimización y límite de dosis [1].

Para la ejecución y diseño de normas se estandarizan parámetros y definen magnitudes relacionadas a la exposición a radiación ionizante; aquellas que tienen relevancia en el proceso de medición de la dosis recibida por el personal. Dosis absorbida corresponde a la energía media impartida por la radiación ionizante a la unidad de masa de la materia con unidad de medida Gray (Gy) [1]. Con el concepto anterior se define la dosis Equivalente correspondiente a la dosis absorbida por un órgano o tejido multiplicada por el factor que considera el tipo de radiación ionizante y su unidad de medida es el Sievert (Sv) [1]. Como último antecedente tenemos la dosis efectiva, que corresponde a la sumatoria de dosis equivalente en un órgano o tejido multiplicada por el factor de ponderación correspondiente al tipo de tejido, siendo su unidad de medida el Sievert (Sv) [1] y por último el Equivalente de Dosis Personal correspondiente al equivalente de dosis en tejido blando a una profundidad apropiada  $d$  (mm) por debajo de un punto específico del cuerpo con unidad de medida (Sv), definida por  $H_p(d)$ . Esta magnitud es relevante porque es la recomendada para la vigilancia radiológica individual del personal ocupacional [29].

Como marco regulatorio internacional por parte de la ICRP, tomando su publicación 118 año 2012[3], se expone en la tabla N°1 el límite dosis anual para trabajadores ocupacionalmente expuesto a radiación ionizante en procedimientos de diagnóstico o terapéutico. Estas sugerencias son adoptadas por el Ministerio de Salud Nacional y estipuladas en el D.S. N°3 de 1985 del Ministerio de Salud [4].

<b>Tejido</b>	<b>Límite Primario</b>	<b>Límite Secundario Trimestral</b>
<b>Cuerpo Entero</b>	<b>-Dosis Efectiva de 20 mSv por año como promedio en un periodo de 5 años consecutivos. -Dosis Efectiva de 50 mSv registrada en cualquier año.</b>	<b>-Dosis Efectiva de 5 mSv.</b>
<b>Cristalino</b>	<b>-Dosis Equivalente en cristalino de 20 mSv anuales promediada durante 5 años consecutivos (100 mSv en 5 años). -Dosis Equivalente de 50 mSv registrada en cualquier año.</b>	<b>-No Definido</b>
<b>Extremidades</b>	<b>-Dosis Equivalente de 500 mSv en un año.</b>	<b>-Dosis Equivalente de 125 mSv.</b>

Tabla 1: Límite de dosis anual para POE, Consulta Pública Decreto Supremo N°3 de 1985 Ministerio de Salud [1]

Las limitaciones de dosis ocupacional son definatorias respecto a la frecuencia del personal para la realización de procedimientos, donde se pueden establecer las cargas laborales máximas anuales del médico, más aún en cardiología intervencionista, donde gran parte de los pacientes presentan un IMC elevado, lo que conlleva un aumento en la dosis de radiación que afecta directamente al operador, atribuible al aumento de energía requerido para superar la atenuación del tejido del paciente obeso [22].

Un artículo publicado en la Revista Colombiana de Cardiología, realizado por César Hernández el año 2019, denominado: “Lesiones Oculares y Radiación Ionizante”[2], expone un estudio realizado por el Colegio Colombiano de Hemodinamia con la Fundación Oftalmológica Nacional, donde evalúa 58 sujetos ocupacionalmente expuesto, del cual el 51,7% son cardiólogos intervencionistas, presentaron una prevalencia de opacidad subcapsular posterior en su cristalino aumentando el doble el riesgo de desarrollo

de cataratas, correspondiente a una patología que se caracteriza por la opacificación del cristalino debido a la acumulación de proteínas presentes en la composición del cristalino, lo que provoca una dispersión de la luz hasta provocar la pérdida total de la visión [36].

Este problema también lo expone A. Asgari et al. [16] donde propone que el aumento de incidencia de cataratas inducidas por radiación a personal ocupacional hizo que la ICRP redujera la dosis umbral para cataratas desde 2 a 5 (Gy) hasta 0.5 (Gy) y reducción de la dosis equivalente anual en cristalino de 150 mSv a 20 mSv, como está expuesto en la tabla 1. Es de interés de análisis la medición de dosis ocupacional en el cristalino debido a su dificultad para obtener mediciones precisas y sumado a la poca frecuencia de utilización de gafas plomadas por parte de los médicos intervencionistas [19]. Para su medición la Comisión Internacional de Unidad Radiológica (ICRU) o International Commission on Radiation Units and Measurements recomienda los Equivalentes de Dosis Personal a 3 mm de profundidad, definida como la magnitud operacional Hp(3), pero en la práctica los dosímetros que miden Hp(3) no están ampliamente disponibles, por lo tanto E. Mattar et al. [18] propone usar el Equivalente de Dosis Personal a la piel con profundidad de 0.07 mm representado por Hp(0.07) para estimar el Equivalente de Dosis Personal Hp(3) de cristalino.

Este antecedente en conjunto con el deterioro de la salud cardiovascular mundial, donde el Informe de Prevención de Enfermedades Cardiovasculares expuesto por la Organización panamericana de la Salud dice que entre el 2006 y 2015 las muertes debidas a enfermedades no transmisibles aumentaron un 17% donde la mitad son enfermedades cardiovasculares [33], aumenta la demanda de procedimientos de cardiología intervencionista. Todo lo anteriormente expuesto hace interesante estudiar metodologías empleadas para medir las dosis del personal, conocer el contexto de estas mediciones durante los procedimientos y además evaluar qué factores interfieren sobre las dosis obtenidas de las mediciones realizadas a los operadores.

En directa relación a la problemática presentada, la estimación de dosis a personal ocupacionalmente expuesto se aborda de dos maneras diferentes:

- El primero corresponde a una forma general de estimación de dosis que se relaciona directamente a estudios de simulación, donde se emula intervenciones reales utilizando angiografía convencional, además de sustituir a paciente y operadores intervencionistas por fantomas antropomórficos estandarizados para anatomía humana, los cuales serán irradiados entregando un ambiente cercano a lo que sucedería en una intervención real. Estas simulaciones se realizan con el método Monte Carlo, que permite simular escenarios con una amplia opción de combinación paramétrica que inciden en la exposición de la dosis recibida por el personal. Luego toma datos y los trabaja con procesos algebraicos (Transformación Polinómica y Regresión Lineal) y así obtener un modelo predictivo en el cálculo de dosis de los operadores. [5]
- El segundo corresponde a la medición directa de la radiación recibida por el personal ocupacional a través de la dosimetría personal, correspondiente a equipar a todos los operadores al interior del pabellón donde se realizará la intervención con un dosímetro personal, dispositivo que mide la radiación ionizante en la superficie del cuerpo, que generalmente registran dosis como radiación absorbida medida en Gray (Gy) o como dosis equivalente medida en Sievert (Sv) [32]. El procedimiento de medición termina con el envío de la dosis del personal ocupacional, tanto en dosis efectiva como en dosis equivalente personal, a una base de datos que permite llevar un control de cada profesional respecto al límite de dosis anual estipulado en el decreto supremo exhibido en la tabla N°1.

El objetivo principal de esta investigación corresponde a estudiar cuales son los métodos o técnicas para estimar o medir dosis del profesional ocupacional, extrayendo información de los artículos respecto a las

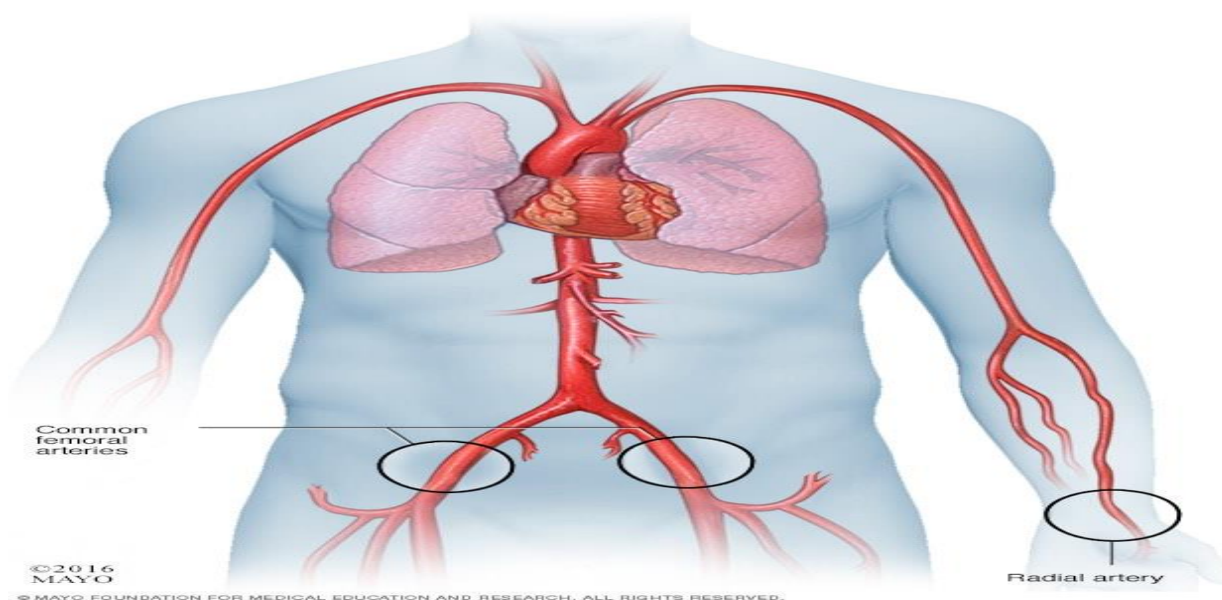
condiciones o factores de la exposición del personal, cuáles son las técnicas de medición, que miden, que magnitudes utilizan, variables presentes en la medición y que factor incide sobre la dosis medida.

Para el desarrollo de esta revisión sistemática se definirán conceptos importantes para la comprensión de los resultados expuestos, se establecerá la metodología empleada para la búsqueda de documentos que entreguen información relevante respecto a las dosis de radiación del personal ocupacionalmente expuesto y los factores que inciden sobre estas dosis. Posteriormente se presentarán los resultados, exponiéndolos en tablas que presenten los datos relevantes de los documentos y en base a esto generar una discusión desprendida del análisis de los datos exhibidos y una conclusión que permite entregar el cumplimiento de los objetivos propuestos al inicio de la investigación.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 CARDIOLOGÍA INTERVENCIONISTA

La cardiología intervencionista CI es una de las ramas de la radiología donde se diagnostican y/o se tratan en su gran mayoría patologías en las arterias coronarias o patologías del corazón; esta técnica consiste en llevar una serie de instrumentos médicos por medio de un catéter hasta este órgano, por lo general guiado a través de la arteria radial o la arteria femoral (Figura 1)[31].



*Figura 1: Vías de acceso, arteria femoral y radial para cardiología intervencionista [31]*

La angiografía o arteriografía es una prueba diagnóstica que se realiza para obtener información precisa del estado de las arterias.

También se la conoce como cateterismo, ya que para realizarla se introduce un catéter (un pequeño tubo

de plástico) dentro de las arterias por el que se inyecta un líquido llamado contraste, que permite visualizarlas en tiempo real en las radiografías [31].

## 2.2 MAGNITUDES Y UNIDADES DOSIMÉTRICAS

### 2.2.1 MAGNITUDES FÍSICAS

- **Kerma (K):** para partículas ionizantes no cargadas, corresponde al cociente entre  $dE_{tr}$  y  $dm$ , donde  $dE_{tr}$  es la suma de las energías cinéticas de todas las partículas cargadas liberadas por las partículas no cargadas incidentes en  $dm$ , con unidades  $\left[\frac{J}{kg}\right]$ , denominado Gray (Gy) [29].  
Frecuentemente se utilizan en aire, donde se indica como  $K_a$ .
- **Producto del Kerma en aire y el Área (PKA):** corresponde a la integral del Kerma en aire sobre el área del haz de rayos X en el plano perpendicular al eje del haz de rayos X. Es la medida de la energía total que sale del tubo de rayos X []. Unidad de medida es (Gy\*cm<sup>2</sup>).
- **Dosis Absorbida (D):** es el cociente entre  $d\bar{\epsilon}$  y  $dm$ , donde  $d\bar{\epsilon}$  corresponde a la energía impartida por la radiación ionizante a la materia de masa  $dm$ , con unidades  $\left[\frac{J}{kg}\right]$ o (Gy) [29].

### 2.2.2 MAGNITUDES DE PROTECCIÓN

- **Dosis Equivalente ( $H_T$ ):** es la dosis en un órgano o tejido T dada por la ecuación (1), donde  $D_{TR}$  es la dosis absorbida media debido al tipo de radiación R en el órgano o tejido T y  $w_R$  es un factor adimensional de ponderación relativo al tipo de radiación [29]. Unidad de medida Sievert (Sv).  
En el caso de los rayos X el factor de ponderación  $w_R = 1$ .

$$H_T = \sum_R w_R D_{TR} \quad (1)$$

- **Dosis Efectiva (E):** es la suma ponderada por tejido de las dosis equivalentes en todos los tejidos y órganos especificados del cuerpo, dada por la ecuación (2), donde  $H_T$  es la dosis equivalente en el órgano o tejido T,  $w_T$  es un factor adimensional de ponderación relativo al tejido [29]. Unidad de medida es el Sievert (Sv) [29]

$$E = \sum_T w_T * H_T \quad (2)$$

Tipo de Tejido	Factor $w_T$	$w_T$
Medula Ósea, Colon, Pulmón, Estómago, Mama, Resto de los tejidos*	0,12	0,72
Gónadas	0,08	0,08
Vejiga, Esófago, Hígado, Tiroides	0,04	0,16

---

<b>Superficie Ósea, Cerebro, Glándulas Salivales, Piel</b>	<b>0,01</b>	<b>0,04</b>
<b>Total</b>		<b>1,00</b>

Tabla (): Factores de ponderación relativo al tejido y valores de  $w_T$  [29]

### 2.2.3 MAGNITUDES OPERACIONALES

- **Equivalente de Dosis Personal ( $H_p(d)$ ):** corresponde al equivalente de dosis en tejido blando a una profundidad apropiada  $d$ (mm) por debajo de un punto específico en el cuerpo. Su unidad es el Sievert (Sv) [29].

Esta es la magnitud que se recomienda para la vigilancia radiológica individual, donde para radiaciones fuertemente penetrantes se utiliza 10 mm expresado por  $H_p(10)$ . Para radiaciones débilmente penetrantes se utiliza 0,07 mm ( $H_p(0,07)$ ). También se utiliza para otras profundidades en casos específicos como es el caso del Cristalino, donde se utiliza 3 mm ( $H_p(3)$ ).

### 3 METODOLOGÍA E IMPLEMENTACIÓN

Se realizó una búsqueda de documentos en bases de datos oficiales, para poder llevar a cabo la revisión sistemática de la literatura con un enfoque cualitativo de los documentos seleccionados. A través de la aplicación de la metodología PRISMA se pudo obtener documentos que cumplen todas las condiciones para entregar información relevante en el desarrollo del presente trabajo con estudios que abordan la temática de estimación de dosis al personal ocupacionalmente expuesto (POE), que realiza procedimientos quirúrgicos con la técnica de angiografía, excluyendo la tomografía computarizada de manera simultánea, y de qué factores dependen estas dosis.

#### 3.1 ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Los documentos utilizados para el desarrollo de esta revisión sistemática fueron extraídos a través de una búsqueda bibliográfica, utilizando las siguientes bases de datos: Web of Science (WoS) y Pubmed.

Para ejecutar la búsqueda se establecieron palabras claves (key words), que tienen directa relación a la temática del estudio y conceptos desprendidos de la pregunta de investigación.

Las palabras claves definidas para la búsqueda de información son: *DOSE, OCCUPATIONAL EXPOSURE RADIATION, ANGIOGRAPHY, COMPUTED TOMOGRAPHY (CT), PHYSICIAN*.

Con las palabras claves expuestas anteriormente se construyeron tópicos para facilitar la búsqueda en las bases de datos, definiendo los siguientes tópicos: “*DOSE*”, “*OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURE*”, “*ANGIOGRAPHY*”, (“*CT*” OR “*COMPUTED TOMOGRAPHY*”), (“*OCCUPATIONAL*” OR “*PHYSICIAN*”).

Con la utilización de operadores booleanos y los tópicos definidos se construyó la expresión de búsqueda a utilizar en las bases de datos, que está expuesta a continuación en la Tabla 2.

Bases de Datos	Expresión de Búsqueda
Web Of Science Pubmed	(“dose” AND “occupational radiation exposure” AND “angiography” NOT (“CT” OR “computed tomography”) AND (“occupational” OR “Physician”))

Tabla 2: Expresión de Búsqueda utilizada en las bases de datos expuestas.

#### 3.2 CRITERIOS DE ELEGIBILIDAD

Fueron seleccionados artículos científicos y revisiones sistemáticas desde las bases de datos que hayan sido publicados entre los años 2013 hasta la fecha actual, entregando un rango de estudio de los últimos 10 años sobre la estimación de dosis a personal ocupacionalmente expuesto.

El idioma es un criterio para la determinación de artículos que se recolectarán para el estudio, siendo el idioma inglés el definido para este trabajo.

Y como eje central en la elegibilidad de documentos, deben ser artículos relacionados a estimación o medición de dosis a personal ocupacionalmente expuesto a radiación ionizante en procedimientos con angiografía, tanto en estudios desarrollados con simulaciones a través de la utilización de fantomas y

---

dosímetros como también estudios en un contexto real de intervenciones con técnica de angiografía y mediciones directas de dosis de personal.

Por otra parte, se determina la exclusión de artículos que no cumplan con los criterios anteriormente expuestos y posean las siguientes características:

- Artículos publicados antes del año 2013
- Artículos que se encuentren en idioma distinto al definido
- Estudios que se enfoquen en estimación de dosis a paciente
- Estudios que involucren técnicas distintas a la angiografía como la tomografía computarizada

## **4 RESULTADOS**

### **4.1 SELECCIÓN DE ARTÍCULOS**

Para desarrollar esta etapa de la revisión sistemática se procedió a revisar los resultados al ejecutar la expresión de búsqueda definida en la sección 3.1 en ambas bases de datos predefinidas. El diagrama de flujo de la metodología PRISMA aplicada sobre los resultados expuesto en la figura 2, muestra que el resultado con filtro tanto en año de publicación como en idioma arrojó un total de 205 artículos referidos a la búsqueda, de los cuales 43 eran duplicados entre las bases de datos. De los 162 artículos restantes, 78 de ellos fueron excluidos por la lectura de su título. Debido a que no hacían referencia al objetivo principal de esta investigación. Posteriormente los documentos restantes fueron revisados en base a su resumen (abstract), donde se excluyeron 50 de ellos por no cumplir con los criterios de inclusión establecido para el desarrollo de esta revisión, como utilización de técnicas no consideradas en el estudio, objetivo de medición enfocado en el paciente, análisis de equipamiento de seguridad radiológica para paciente.

El remanente de artículos (n=30), que cumplían con lo establecido en la sección 3.2, fueron llevados a lectura profunda, donde se excluyeron 6 más, debido a que en metodología se enfocaba en validar elementos de protección radiológica del personal. Con este último filtro pudimos quedar con 24 artículos que poseen información referida directamente a nuestro estudio. Resultados que permiten generar una discusión sobre metodologías de estimación o medición de dosis a personal ocupacionalmente expuesto y las variables que inciden sobre estas dosis.

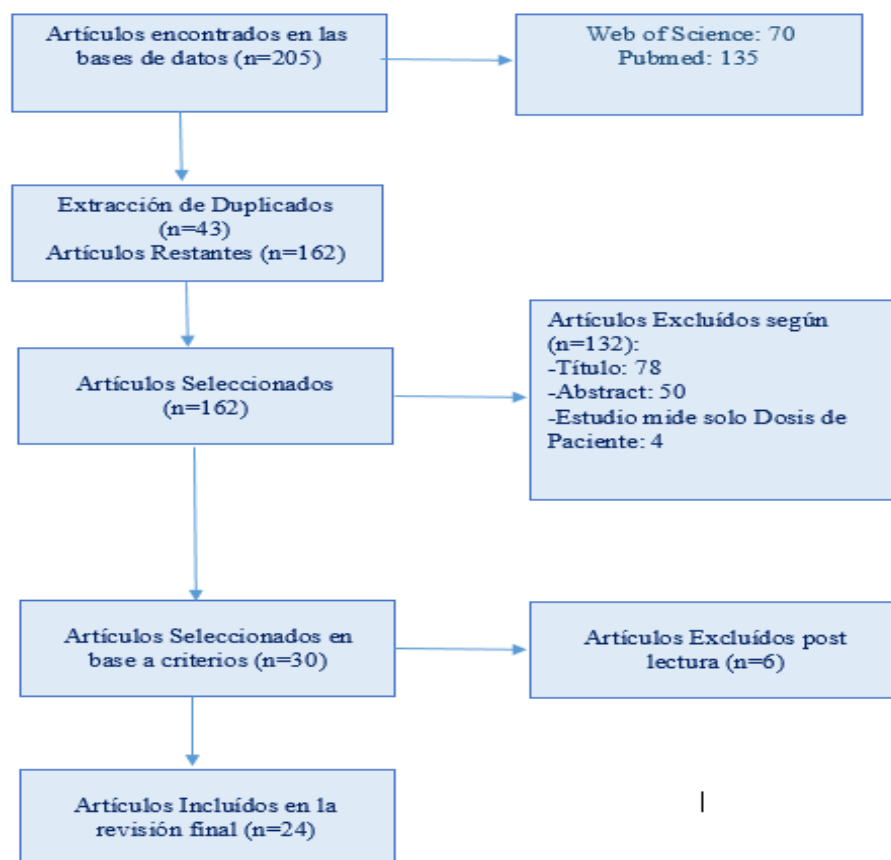


Figura 2: Diagrama de Flujo PRISMA, metodología empleada para la selección de artículos

## 4.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS ARTÍCULOS SELECCIONADOS

Debido al enfoque que abordará esta revisión sistemática, el cual corresponde a la caracterización y evaluación del contexto en que se realizan las mediciones para estimar la dosis del personal ocupacionalmente expuesto en procedimientos de angiografía convencional. La descripción general de los resultados obtenidos presenta un orden relacionado a la información que entrega el artículo a esta revisión. Esto quiere decir que inicialmente se presentan resultados de estudios realizados en base a simulación de los procedimientos angiográficos, para luego presentar los resultados que entregan estudios realizados en un contexto real de las intervenciones que utilizan la técnica de angiografía.

Bajo este contexto los resultados van desde un enfoque global respecto a las dosis de radiación ocupacional, luego más específico donde estudia mediciones de dosis ocupacional en determinadas regiones del cuerpo del operador, para terminar con estudios que analizan factores relevantes que inciden sobre las dosis del personal intervencionista.

Como un análisis temporal de los resultados expuestos en la tabla 3, donde se presenta el objetivo de cada estudio como una descripción general para observar la metodología de medición a priori de los resultados y su propósito. Podemos ver que los estudios de simulación con método Monte Carlo son bastante actuales, donde los 3 están en rango igual o superior al año 2020, lo que expresa un interés en estudiar de manera cualitativa, segura y certera en base a parámetros reales, la exposición del personal a la radiación ionizante usando la técnica de angiografía.

Los resultados publicados en los años expuestos recientemente que cumplen los criterios de esta investigación corresponden a 12, equivalente al 50% del total de los resultados, siendo el año 2020 donde hay más publicaciones sobre medición de dosis ocupacional del personal médico.

El 50% restante de los resultados se encuentra distribuido en los 6 años previos al año 2019.

Otro punto importante es que el 92% de los resultados realiza estudios durante procedimientos con la técnica de angiografía coronaria, solo 1 artículo refiere a angiografía cerebral.

Los estudios que presentan metodología de simulación corresponden a 4, de los cuales 3 de estos utilizan dosimetría directa y método Monte Carlo. Los 20 restantes exponen medición de dosis ocupacional con dosimetría directa.

AUTOR	AÑO	OBJETIVO
M. Abdelrahman et al. [5]	2020	Construir un modelo predictivo para cuantificar la intervención de las variables en la exposición ocupacional en radiología intervencionista, a través de un estudio paramétrico con simulaciones utilizando el método Monte Carlo, permitiendo estimar dosis en operadores realizando combinaciones de parámetros que afectan directamente la dosis del personal ocupacionalmente expuesto.
Y. Roh et al. [6]	2020	Estimar dosis a personal ocupacionalmente expuesto en procedimientos de angiografía coronaria, utilizando dosímetros luminiscentes estimulados en un fantoma antropomórfico (operador) y fantoma computacional de vóxel (paciente) desarrollando simulaciones computacionales con método Monte Carlo.
Y. Roh et al. [7]	2021	Evaluar la exposición a la radiación ocupacional del cardiólogo en procedimientos de angiografía cardiaca, en función de la angulación del tubo de rayos X, realizando simulaciones computacionales con método Monte Carlo, con el fin de calcular el factor de conversión para la estimación de dosis efectiva del personal.
A. Szumska et al. [8]	2016	Evaluar la relación de dosis recibida por exposición a radiación ionizante en procedimientos de angiografía coronaria entre paciente y personal ocupacionalmente expuesto.
C. Rizk et al. [9]	2018	Evaluar la dosis ocupacional de primeros y segundos operarios a través de dosimetría en angiografía e intervenciones coronarias percutáneas en pacientes adultos, con la determinación de dosis medias efectivas.
C. Andres et al. [10]	2017	Caracterizar la exposición a la radiación de pacientes y operadores en un nuevo quirófano híbrido vascular, equipado con un sistema de angiografía Siemens Artis Zeego. Caracterización de personal ocupacionalmente expuesto se miden por dosimetría directa y dosimetría luminiscente.
F. Zanca et al. [11]	2021	Investigar y evaluar un nuevo sistema de protección radiológico suspendido en laboratorio de cateterismo cardiaco, con el fin de reducir la exposición a la radiación

		de los operadores durante las intervenciones coronarias. Utilizando como metodología de estimación de dosis, un fantoma antropomórfico que simula al operador, dotado de dosímetros termoluminiscentes y dosímetros electrónicos para la obtención de dato sobre radiación recibida por operador.
J. A. Crowhurst et al. [12]	2020	Investigar las dosis de radiación de los operadores en procedimientos de angiografía cardiaca. A través de dosimetría en tiempo real, extraer datos de producto Dosis-Área (DAP) y realizar la estimación de dosis equivalente del personal ocupacionalmente expuesto (POE). Los resultados permiten evaluar las tendencias de radiación de manera cuantitativa y poder optimizar las dosis empleadas.
R. F. James et al. [13]	2015	Analizar la exposición a la radiación ionizante en intervenciones de angiografía cerebral, mediante la medición de dosis a personal ocupacionalmente expuesto con un sistema de monitoreo de radiación en tiempo real denominado DoseAware.
M. Ingwersen et al. [14]	2013	Evaluar a través de medición de dosis de radiación con dosimetría en tiempo real las diferencias en la exposición a la radiación del operador según el tipo de procedimiento en el laboratorio de cateterismo cardiaco.
G. Christopoulos et al. [15]	2014	Examinar el efecto de un dispositivo de detección de radiación ionizante que entrega informes de dosis del operador en tiempo real, permitiendo una retroalimentación auditiva sobre exposición del operador durante intervenciones de cateterismo cardiaco.
A. Asgari et al. [16]	2020	Medir dosis ocular de los operadores ocupacionalmente expuestos a radiación en procedimientos cardiológicos intervencionistas utilizando dosímetros termoluminiscentes.
A. Omar et al. [17]	2015	Evaluar método de medición de la dosis ocular del operador basados en la información obtenida en tiempo real de la tasa de dosis equivalente personal, entregada por dosímetros personales activos (APD) dispuestos en el tórax del operador en procedimientos de angiografía.
E. Mattar et al. [18]	2019	Medir dosis de radiación ocupacional ocular de los operadores en procedimientos de angiografía coronaria digital e intervenciones coronarias percutáneas basados en el parámetro de Kerma en aire (Pka) y factores de conversión de dosis en el cristalino del operador.
E. Vañó et al. [19]	2013	Medir dosis de radiación ocupacional ocular en operadores que no utilizan comúnmente los dispositivos personales de medición de radiación en laboratorios de cateterismo cardiaco, midiendo dosis de radiación dispersa y dosis de radiación estimada en lentes de protección del operador.
M. A. Albayati et al. [20]	2015	Medir la exposición ocupacional a la radiación durante procedimientos en un quirófano híbrido con el fin de

		evaluar la relación de la angulación del arco en C con el aumento en la exposición a la radiación por parte del operador.
M. Bahreyni et al 2014[21]	2014	Proponer una relación matemática entre la exposición ocupacional medida por dosimetría sobre un delantal de plomo de un cardiólogo y el producto Dosis-Area. Determinar factores para el DAP atribuidos a la exposición del paciente podrían convertirse en el Ka de la superficie de entrada en el personal que realiza procedimientos angiográficos.
F. A. Bacchim Neto et al. [22]	2016	Realizar una evaluación completa de dosis ocupacional recibida por el personal en diferentes regiones del cuerpo durante distintos procedimientos de radiología intervencionista vascular. Utilizando la dosimetría como método de medición de radiación ocupacional, comparando los resultados de dosis equivalente con los límites de dosis anuales establecidos para la práctica de estos procedimientos.
Z. Danaei et al. [23]	2021	Evaluar la dosis de radiación recibida por miembros del personal clínico de los departamentos de angiografía cardiaca en tres hospitales diferentes, utilizando dosímetros personales activos para la medición de dosis ocupacional.
C. Y. Tu et al. [24]	2020	Medir en tiempo real a través de dosímetros personales electrónicos la dosis de radiación dinámica del personal ocupacionalmente expuesto que realiza procedimientos de cateterismo cardiaco y estimar el riesgo atribuible a la incidencia de cáncer y mortalidad de los operadores.
J. A. Crowhurst et al. [25]	2019	Identificar qué factores del paciente y del procedimiento de angiografía cardiaca tiene un mayor impacto sobre la dosis del paciente y del operador durante se realiza la intervención. La dosis ocupacional se midió con Dosímetro Descargable Instantáneo (IDD), definiendo dosis de radiación mediante variables binarias, aplicando regresiones univariadas y multivariadas para identificar predictores en relación a los datos obtenidos.
R. D. Madder et al. [26]	2019	Evaluar el impacto del Índice de Masa Corporal (IMC) del paciente sobre la dosis de radiación recibida por el médico intervencionista durante la angiografía coronaria.
L. Refahiyat et al. [27]	2021	Evaluar la asociación del Índice de Masa Corporal del paciente y la dosis de radiación ocupacional de la enfermera que apoya el procedimiento de angiografía coronaria. Los datos obtenidos por dosímetros personales que envían información en tiempo real se someten a un análisis de regresión múltiple que permite conocer la relación independiente de los factores de procedimiento con las dosis de radiación de las enfermeras.
L. Refahiyat et al. [28]	2018	Evaluar el impacto de la obesidad del paciente en la dosis de radiación del operador durante el procedimiento de angiografía coronaria, midiendo la exposición a la

		radiación en tiempo real con dosímetros para estimar la dosis según la dosis equivalente personal del operador.
--	--	---

Tabla 3: Descripción general de los objetivos de los resultados obtenidos

### 4.3 ETUDIO DE LA MEDICIÓN DOSIS OCUPACIONAL

Uno de los objetivos de esta revisión, es poder estudiar la medición de las dosis recibidas por el personal ocupacional. Esto quiere decir que de los resultados obtenidos se analizan recolectando datos que aporten información para poder evidenciar los factores que tendrán incidencia sobre la dosis de los profesionales. Estos datos están expuestos en la tabla 4 los cuales, ordenados por artículo entrega sus características para el análisis de los factores incidentes.

De los datos expuestos el 75% de los resultados son realizados en un ambiente clínico real, considerando en todos los procedimientos un Cirujano Vascular Intervencionista, quien es el primer operador y aquel que está más expuesto a la radiación dispersa. Los profesionales que acompañan son considerados en los estudios debido que presentan exposición ocupacional, no en la misma medida que el primer operador, pero sus mediciones son relevantes para poder ejecutar estudios de mejora en su protección. La edad de los profesionales no se expone en los resultados, pero es importante recalcar que la importancia para la medición recae sobre la experiencia del médico para disminuir los tiempos de intervención.

Otro punto que se observa es el tipo de intervención y la vía de acceso. Donde angiografía coronaria es el procedimiento principal realizado y los accesos femoral y radial son los principales para esta intervención. Respecto al número de intervenciones, es uno de los factores principales externos a la fuente de radiación que afecta a la dosis ocupacional. Es por eso que estos estudios también presentan como objetivo poder evaluar las cargas laborales del personal intervencionista.

Más del 50% de los resultados busca la medición de la dosis equivalente en el cristalino, siendo motivo de estudio tanto en ambiente de simulación como en ambiente clínico. Esto dado por el alza del riesgo a desarrollar la patología de cataratas en el personal ocupacional.

Identificador	Tipo de Estudio	Número de Recintos de Salud Considerados	Intervención	Vía de Acceso	Número de Intervenciones Consideradas	Profesional Considerado y Número de Profesionales	Región del Cuerpo Evaluada
M. Abdelrahman et al. 2020[5]	Simulación	1	AC*	Radial Femoral	Total:5628 (Combinación de Parámetros Clínicos)	Fantoma Simula a Cirujano Vascular	Cuerpo Entero
Y. Roh et al. 2020[6]	Simulación	1	AC	Radial Femoral	No Define	Fantoma simula a Cirujano Vascular	Cristalino Tiroides Tórax
Y. Roh et al. 2021[7]	Simulación	1	AC	Radial Femoral	Total:16 (Diferentes Angulaciones)	Fantoma Simula a Cirujano Vascular	Cristalino Tiroides Miocardio
A. Szumska et al. 2016[8]	Clínico	4	AC ICP*	No Define	AC:32 ICP:28 Total:60	Cirujano Vascular Enfermera Técnico	Cristalino Piel Cuerpo Entero

C. Rizk et al. 2018[9]	Clínico	10	AC ICP	Radial Femoral	Total:5300	Cardiologos:12 Técnicos:10	Cristalino Extremidades
C. Andres et al. 2017[10]	Clínico	1	AC ICP	No Define	AC:60 ICP:200 Total:260	Cirujano Vascular Anestesiista Enfermera Técnico	Cristalino Cuerpo Extremidades
F. Zanca et al. 2021[11]	Simulación Clínico	1	AC ICP	Radial Femoral	AC:177 ICP:100 Total:277	Cirujano Vacular:3	Cerebro Cuello Tórax Cristalino
J. A. Crowhurst et al. 2020[12]	Clínico	1	AC	Radial Femoral	Total:7627	Cirujano Vascular:22 (>50 intervenciones realizadas)	Cuerpo
R. F. James et al. 2015[13]	Clínico	1	NA*	Femoral	NA:120	Cirujano Vascular:2 Enfermera Tecnólogo	Cuerpo
M. Ingwersen et al. 2013[14]	Clínico	1	AC ICP	No Define	Total:284	Cirujano Vacular:3	Cristalino Cuello Cuerpo Mano
G. Christopoulos et al. 2014[15]	Clínico	2	AC ICP	Radial Femoral	AC:323 AC+ICP:126 ICP:56 Total:505	Becados Cirugía Vascular:16 Asistentes:2	Medición de Dosis Global del Operador
A. Asgari et al. 2020[16]	Clínico	1	AC ICP	No Define	AC:30 AC+ICP:35 ICP:35 Total:100	Cirujano Vascular:3 Enfermera:8 Tecnólogo:7	Cristalino
A. Omar et al. 2015[17]	Simulación	1	AC	No Define	No define	Fantoma Simula a Cirujano Vascular	Cristalino Tórax
E. Mattar et al. 2019[18]	Clínico	1	AC ICP	No Define	Total:702 (Estimación Promedio de Intervenciones Anuales)	Cirujano Vascular:8	Cristalino
E. Vañó et al. 2013[19]	Clínico	3	AC ACTP*	No Define	Total:1969	No Define	Cristalino
M. A. Albayati et al. 2015[20]	Clínico	1	ASD*	Femoral	Total:17	Cirujano Vascular:2	Cabeza
M. T. Toossi et al. 2015[21]	Simulación Clínico	1	AC	No Define	45	No Define	Cuerpo Cabeza Cuello Cristalino

							Torax
F. A. Bacchim Neto et al. 2016[22]	Clínico	1	AC ACTP ICP	Femoral	AC:30 ACTP:30 ICP:30 Total:90	Cirujano Vascular:1 Asistente:1	Cristalino Cuello Tórax Abdomen Manos Pies
Z. Danaei et al. 2021[23]	Clínico	3	AC ICP	No Define	Intervenciones por Semana en cada Hospital:30 (Medición Bimestral)	Cirujano Vascular:11 Residente:11 Enfermera:12 Tecnologo:4	Cristalino Cuerpo Piel
C. Y. Tu et al. 2020[24]	Clínico	3	AC ICP	Radial	AC:16 AC+ICP:43 Total:59	Cirujano Vascular:6 Asistente:5	Cuerpo Entero
J. A. Crowhurst et al. 2019[25]	Clínico	2	AC	Radial Femoral Yugular	AC:1019	Cirujano Vascular Asistente	Cuerpo Entero
R. D. Madder et al. 2019[26]	Clínico	2	AC	Radial Femoral Braquial	AC:1119	Cirujano Vascular	Cuerpo Entero
L. Refahiyat et al. 2021[27]	Clínico	1	AC	Radial Femoral Braquial	AC:643	Enfermera	Cuerpo Entero
L. Refahiyat et al. 2018[28]	Clínico	1	AC	Radial Femoral Braquial	AC:619	Tecnólogo	Cuerpo Entero

*Tabla 4: Análisis de factores que estudian las mediciones de dosis del personal expuesta identificando datos preponderantes en las dosis expuestas por el personal ocupacional.*

*\*AC: Angiografía Coronaria, \*Intervención Coronaria Percutánea, \*Neuroangiografía, \*Angiografía Coronaria Transluminal Percutánea, \*Angiografía Sustracción Digital*

## 4.4 METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN DE DOSIS OCUPACIONAL

Luego de estudiar la medición de dosis a personal ocupacionalmente expuesto, respecto a sus factores que inciden sobre ella de una manera cualitativa, ahora se expondrán metodologías que permiten obtener los resultados numéricos de la medición de dosis al personal encontradas en los resultados obtenidos.

Las metodologías se presentarán agrupando resultados que expongan similar contexto de técnica de medición de dosis a POE.

Bajo esta clasificación podemos ver que el gold standard para la herramienta de medición de dosis a personal es la dosimetría.

Otro punto de acercamiento a la medición de dosis es a través del proceso de simulación, en el cual se simula un ambiente lo más cercano al ambiente clínico y por medio de simulaciones computacionales se puede obtener datos similares a los estudios clínicos.

Inicialmente se expondrán resultados para los estudios de simulación.

### 4.4.1 ESTIMACIÓN DE DOSIS CON SIMULACIÓN DE MONTE CARLO

Los estudios de simulación son importantes para el desarrollo de nuevas tecnologías, conocer datos respecto a dosis previamente a la ejecución de ciertos procedimientos o tomar acciones preventivas respecto a la seguridad radiológica de distintas instituciones de salud.

En los resultados obtenidos del total de 24 artículos, podemos observar en la tabla 4, que 6 de ellos son este tipo de estudio, desde donde se excluyen 2 de ellos por no utilizar Método Monte Carlo, sino que su metodología es simulación con medición de dosis directa del personal (dosimetría) [17], [21]. Además, podemos observar que, así como en mediciones con dosimetría, los estudios de simulación también se ayudan de esta técnica, tanto para la colección de parámetros importantes a definir en la simulación. El gold standard de estas simulaciones es el método Monte Carlo con la utilización de sus herramientas permite realizar combinaciones de la mayoría de los parámetros que inciden en la técnica de angiografía, que intenta aproximarse a mediciones reales basadas en simulación. De los resultados obtenidos los 4 estudios expuestos en la tabla 5 muestran la utilización de esta metodología.

Identificador	Fantoma	Método de Simulación y Código	Técnica Estadística
M. Abdelrahman et al. 2020[5]	Fantoma Físico	Monte Carlo MCNPX	Regresión Polinomial (Algoritmo de Bosques Aleatorios)
Y. Roh et al. 2020[6]	Fantoma Físico	Monte Carlo MCNPX	Error Estadístico >5%
Y. Roh et al. 2021[7]	Fantoma Computado	Monte Carlo MCNPX	Error Estadístico >5%
F. Zanca et al. 2021[11]	Fantoma Físico	Monte Carlo MCNPX	No Define

Tabla 5: Resultados donde se expone metodología para simulaciones de procedimientos clínicos.

#### 4.4.1.2 ESTIMACIÓN POR CONTEO F6 (ESTUDIOS DE SIMULACIÓN)

Para el cálculo (estimación) de dosis absorbida en estudio de simulación con el método Monte Carlo, se define un código computacional que permite aproximarse a la dosis equivalente personal definida por Hp(10), correspondiente a una magnitud operacional que es el equivalente de dosis en tejido blando a una profundidad apropiada por debajo de un punto específico del cuerpo, cuya unidad de medida es el Siervert (Sv) [29]. Este método se denomina conteo F6, y corresponde al conteo de la energía depositada en MeV/g por partícula en un volumen que está por debajo de 10mm de tejido, medida que es previamente definida en el fantoma de la simulación. Estima la energía depositada al integrar el flujo de fotones de length-track por los números de calentamiento de los fotones. Representa la energía cinética promedio dada a los electrones a lo largo del camino del fotón [5].

En los estudios [6] y [7] se menciona dentro de su metodología la utilización del código MCPNX del método Monte Carlo, el cual posee el código de estimación de dosis absorbida mencionada anteriormente. Sin embargo, no profundizan en su desarrollo, solo definen el corte de energía utilizado y la validación del método en base al error estadístico.

La fórmula que define el código F6 es la siguiente:

$$F6 = \left(\frac{\rho\alpha}{m}\right) \int dE \int dt \int dV \int d\Omega (\sigma t)(E) H(E) \psi(\vec{r}, \hat{\Omega}, E, t)$$

*Ecuación que define el Método Conteo F6, para más detalle de sus variables consultar artículo [5]*

El valor obtenido en la ecuación de dosis absorbida se debe normalizar en base a un valor de referencia, el cual corresponde al Producto de Area de Kerma (KAP), parámetro de radiación que se obtiene por dosimetría y está en el informe estructurado de dosis de radiación definido por el Estándar en Imagenología Digital y Comunicaciones en Medicina [30] DICOM.[1]

Identificador	Distancia del KAP	Relación de Dosis Personal Equivalente Normalizada
M. Abdelrahman et al. 2020[5]	20 cm de la fuente (Dato presente en el informe de radiación)	$R = \frac{\text{Dosis absorbida a 10mm de profundidad de dosímetro}}{\text{Dosis absorbida en el aire ubicación medidor KAP}}$  R(Sv)

*Tabla 6: Relación definida para normalizar la dosis absorbida por simulación con Tally F6.*

Este método posee una limitación, debido que a rangos mayores de 120keV de energía la mayoría de los electrones no se encuentran atrapados en las celdas del conteo.

Por esta razón los estudios [2] y [3] definen su energía en 50 keV, para poder aplicar estimación de dosis ocupacional en la simulación de Monte Carlo con Tally F6.

#### 4.4.2 MEDICIÓN DE DOSIS OCUPACIONAL CON DOSÍMETRO

La tabla 7 muestra la agrupación de resultados de la revisión sistemática que realizan la medición de dosis a personal ocupacional con el gold estándar, la técnica de dosimetría. Se identifican aspectos relevantes respecto al proceso de medición definidos en la cabecera de la tabla.

Podemos ver que el dosímetro más utilizado en los estudios es el TLD, siendo el más común en los recintos donde se trabaja con radiación ionizante. Lo más interesante de ese ítem resulta ser los RTD, dosimetría en tiempo real, ya que permite una medición instantánea de la dosis del operador, lo que permite manejar las situaciones riesgosas en los procedimientos de mejor manera.

Se definió el número de dosímetros por profesional ya que los estudios muestran relaciones en las dosis de distintas zonas del cuerpo, como Neto et al. 2016[18], donde utiliza las dosis equivalentes de los dosímetros para el cálculo de la Tasa de Dosis Equivalente.

En su totalidad de los estudios la medición es a través de medición directa, pero de igual manera hubo parámetros que siempre se consideraron en las mediciones, como el KPA, que nos entrega información del grado de exposición del operador. Se muestran también parámetros como DAP y Kerma en Aire relacionados a radiación del paciente pero que incide directamente en la medición del operador.

Para cálculos de dosis equivalentes respecto a profundidad de la piel, están las unidades de Hp(d), donde d corresponde a la profundidad en mm, representando distintas regiones del cuerpo. La variable más frecuente en protección radiológica, debido a que todo el personal por ley debe cumplir con las normas establecidas, es por esto que incide directo sobre un dosímetro que se encuentre bajo la protección.

De estos resultados podemos establecer la medición directa de la dosis ocupacional a través de dosimetría entregando el valor de Dosis Equivalente Personal de cada operador.

Identificador	Herramienta de Medición de Radiación	Unidad de Dosis de Personal/(Unidad de Medida)	Unidad Evaluada para la Medición	Variables Consideradas en las Mediciones
Y. Roh et al. 2020[6]	OSLD* Dosímetro Computacional MMC*	DR* (mGy) DA*(mGy)	Simulación Monte Carlo con código Tally F6  KAP: Indica grado de exposición del Operador	Protección Radiológica  Angulación del Tubo de Rayos X  Tiempo de Exposición
A. Szumska et al. 2016[8]	TLD*	DPE* (mSv)	KAP  Hp(3) Hp(10) Hp(0,07)	Protección Radiológica  Tiempo de Exposición  IMC Paciente
C. Rizk et al. 2018[9]	Dosímetro Hasrshaw Dosímetro EXTRAD	DPE (mSv)	DAP  Hp(10) Hp(0,07)	Protección Radiológica  Tiempo de Exposición

				Número de Fotogramas
C. Andres et al. 2017[10]	TLD EPD*	DPE (mSv)	KAP(GY*cm2)  Hp(10) Hp(0,07)	Protección Radiológica  Orientación del Haz  Tiempo de Exposición
F. Zanca et al. 2021[11]	EPD TLD	DPE (mSv)	KAP(GY*cm2)  Kerma en Aire (Gy)	Protección Radiológica  Proyección del Haz
J. A. Crowhurst et al. [12]	RTD*	DPE (mSv)	DAP(GY*cm2)  Kerma en aire	Vía de Acceso  Tipo de Intervención  Protección Radiológica
R. F. James et al. 2015[13]	RTD	DER* (mSv/h)	(Dosis(mSv)/ DAP(GY*cm2))	Protección Radiológica  Distancia a la Fuente de Radiación
M. Ingwersen et al. 2013[14]	RTD	DER (mSv/h)	Dosis Efectiva estimada con método de Niklason con datos de dosimetría  DAP(GY*cm2)	Tipo de Intervención  Protección Radiológica  IMC  Tiempo de Exposición
G. Christopoulos et al. 2014[15]	RTD	DER (mSv/h)	Dosis equivalente ( $\mu$ Sv) en tiempo real (RTD)	Tipo de Intervención  Vía de Acceso
A. Asgari et al. 2020[16]	TLD	DPE (mSv)	Correlación Alta entre: KAP V/S Dosis OR=3,2[1-100] OR=3,6[0-80]	Protección Radiológica

				Tipo de Procedimiento
M. A. Albayati et al. 2015[20]	EPD	DE* (Sv)	DAP(GY*cm2) Medición Directa de Dosis Equivalente (Sv)	Tipo de Procedimiento Tiempo de Exposición Angulación del Arco
F. A. Bacchim Neto et al. 2016[22]	TLD	DPE (mSv)	Cálculo de Tasa de Dosis Equivalente $EDR * = \frac{(DE)}{tf *}$	Tipo de Intervención Tiempo de Exposición
Z. Danaei et al. 2021[23]	TLD	DPE (mSv)	Define algoritmo de doble dosimetría: $H_{total} * = 2,250 * H_p(10)$ bajo capa Pb+ $0,075 * H(10)$	Protección Radiológica
J. A. Crowhurst et al. 2019[25]	IDD* TLD	DPE (mSv)	KAP(GY*cm2) Dosis Operador( $\mu$ Sv)	IMC
R. D. Madder et al. 2019[26]	RTD	DPE (mSv)	KAP(GY*cm2) Dosis Operador( $\mu$ Sv)	IMC
L. Refahiyat et al. 2021[27]	RTD	DPE (mSv)	KAP(GY*cm2) Dosis Operador( $\mu$ Sv)	IMC
L. Refahiyat et al. 2018[28]	RTD	DPE (mSv)	KAP(GY*cm2) Dosis Operador( $\mu$ Sv)	IMC

*Tabla 7: Análisis principal de técnicas de medición de radiación del personal en procedimiento de angiografía encontrada en los resultados en conjunto a la forma y parámetros relevantes en la medición del personal ocupacional*

*\*OSLD: Dosímetro Luminiscente Ópticamente Estimulado, \*MMC: Método Monte Carlo, \*TLD: Dosímetro Termoluminiscente, \*APD: Dosímetro Personal Activo, \*RTD: Dosímetro Tiempo Real, \*IDD: Dosímetro Descargable Instantáneo, \*DR: Dosis de Radiación, \*DA: Dosis Absorbida, \*DEP: Dosis Personal Equivalente, \*DER: Dosis Exposición Radiación, \*DE: Dosis Equivalente, \*EDR: Tasa de Dosis Equivalente, \*tf: tiempo de fluoroscopia*

## 4.5 ESTIMACIÓN DE DOSIS

Identificador	Metodología	Magnitud que Estima y Fórmula Propuesta
C. Rizk et al. 2018[9]	Utiliza datos dosimétricos bajo el delantal de plomo (Hu) y sobre el delantal de plomo (Ho) denominado “Doble Dosimetría” Método de Niklason	Dosis Efectiva (Sv) $E = Hu + 0.05 * Ho$
M. Ingwersen et al. 2013[14]	Método de Niklason	Dosis Efectiva (Sv) $E = 0.02 * (Ho - Hu) + Ho$
E. Mattar et al. 2019[18]	Estimación de Dosis en Cristalino utilizando datos de PKA registrados	$DAC = \sum_{N_p} (Dca * fcc * (1 - Rfg))$ Donde: -DAC: dosis acumulativa cristalino -Np: número de procedimientos del cardiólogo -Dca: valor de KPA medido en el procedimiento -fcc: coeficiente de conversión de KPA (=1μSv/Gy*cm2), adoptado de la literatura Rfg: factor de reducción de dosis por el uso de gafas plomadas
Z. Danaei et al. 2021[23]	Método de Niklason	Equivalente de Dosis Personal Hp(10) (Sv) $HT = 2.250 * Hp(10)_u + 0.075 * Hp(10)_o$  Donde: -HT: equivalente dosis personal cuerpo entero -Hp(10) <sub>u</sub> : equivalente de dosis personal bajo delantal de plomo -Hp(10) <sub>o</sub> : equivalente de dosis personal sobre el delantal de plomo
C. Y. Tu et al. 2020[24]	Método de Niklason	Dosis Efectiva (Sv) $E = 0.02 * (Ho - Hu) + Hu$

<b>Identificador</b>	<b>Metodología</b>	<b>Factor de conversión DAP A ESAK</b>
M. T. Toossi et al.2015[21]	<b>Medición de Kerma en aire en superficie de entrada del cardiólogo con cámara de ionización</b>  <b>Valores DAP obtenidos del archivo informático del angiógrafo</b>	$CF = \frac{ESAK}{DAP}$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>-CF: factor de conversión</li><li>-ESAK: kerma en aire superficie de entrada del médico</li><li>-DAP: producto dosis área del paciente</li></ul> <p><b>DAPtotal=DAPfluoroscopia+DAPcine</b></p>

#### 4.6 ÍNDICE DE MASA CORPORAL, FACTOR INCIDENTE EN LA DOSIS DEL PERSONAL

Los cuatro estudios citados en la tabla y expuestos sus datos relevantes nos muestran una alineación en sus métodos de desarrollo, medición y sobre todo de sus resultados. Se muestran estudios de distintos autores a excepción de [27] y [28], quien es el mismo pero la situación de medición es diferente. Basado en la técnica probabilística de regresión logística se ingresan variables con sus respectivos datos para poder generar el Odds Ratio, el cual nos permitirá evaluar el comportamiento de una variable respecto a otra. Si OR es 1, no existe una asociación de las variables, si es menor a 1 existe una asociación negativa y si es mayor a 1 es asociación positiva. Para estos resultados en los cuatro estudios los mayores OR eran para los IMC>30 o 40, lo que establece una clara asociación positiva entre el IMC y la dosis de radiación del operador.

Todos los estudios indican el mismo efecto y utilizan la misma técnica denominada regresión logística para su desarrollo. El efecto corresponde a que a mayor IMC (paciente obeso o mórbido) incrementa la dosis del operador, esto a su vez expresando variables como KAP y dosis de radiación.

Identificador	Total Pacientes	IMC	Sexo	Variables Dependientes del IMC	Regresión Logística Univariable y Multivariable	Predictores de Datos
J. A. Crowhurst et al. 2019[25]	2591	25>IMC>30 855 (sobrepeso)  IMC>30 1191 (Obesos)	1658:Masculino	KAP (Gy*cm2)  Dosis Radiación (μSv)	IMC>30 OR*=3,3μSv IC=95% [2,5 , 4,4]	Análisis Multivariante define: IMC>30, Predictor de Aumento de dosis del operador
R. D. Madder et al. 2019[26]	1116	IMC>25 926 (sobrepeso, Obesidad)  IMC>40 89 (Obesidad Mórbida)	No Define	KAP (Gy*cm2)  Dosis de Radiación (μSv)	IMC>40 OR=1,4μSv [0,2 , 7,1]  IMC<25 OR=0,2μSv [0,0 , 2,9]	La dosis del operador aumenta 5,2% por unidad de IMC
L. Refahiyat et al. 2021[27]	643	IMC>25 529 (Sobrepeso, Obesidad)  IMC>40 43 (Obesidad)	433:Masculino	KAP (Gy*cm2)  Dosis de Radiación (μSv)	IMC>40 OR=1,2μSv [0,2 , 2,9]  IMC<25 OR=0,3μSv [0,1 , 1,3]	Dosis de Radiación de Enfermera según IMC: IMC<25 0,3(μSv) IMC>40 1,2(μSv)  La dosis de la Enfermera aumenta en un 3,3% por unidad de IMC

L. Refahiyat et al. 2018[28]	619	25>IMC<30 262  IMC>30 244	No Define	PAD (Gy*cm2)  Dosis de Radiación (μSv)	IMC>40 OR=1,1μSv [0,3 , 2,7]  IMC<25 OR=0,6μSv [0,1 , 1,6]	Aumento de PAD en pacientes con IMC elevado, esto implica un aumento de la radiación dispersa hacia el Tecnólogo  PAD IMC<25 43.6(Gy*cm2) PAD IMC>30 73,0 (Gy*cm2) Significancia de: 1.7 veces mayor la radiación en paciente obeso
------------------------------	-----	---------------------------------------	-----------	--	--	--

*Tabla 8: Resultados obtenidos relacionados al impacto del IMC sobre la dosis ocupacional, uno de los principales factores de incidencia en el aumento de dosis ocupacional en angiografía coronaria.*

*\*OR: odd ratio expresa si la probabilidad de ocurrencia de una patología frente a una variable*

## 5 DISCUSIÓN

Los estudios de simulación entregan una gran oportunidad para poder obtener datos de dosis ocupacional en circunstancias que estén fuera de un ambiente de seguridad radiológica, para poder aplicar nuevas normas en la protección del personal clínico o generar protocolos más actualizados en los procedimientos.

Bien lo propone M. Abdelrahman et al. [5] con su estudio paramétrico de tipo simulación que aborda alrededor de 5600 combinaciones de parámetros para distintas situaciones a las que el personal clínico se expone en el ambiente clínico real.

Respecto a metodologías de estimación de dosis ocupacional en la revisión sistemática, es complejo poder abordar desde esa perspectiva, ya que la medición de dosis a personal ocupacional está definida por su gold standard, correspondiente a la dosimetría. La mayoría de los resultados en su desarrollo utilizan la dosimetría para la medición de dosis y posterior estudio, pero es relevante analizar un tipo de dosimetría donde los estudios que la poseían, las mejoras que exponían en sus resultados respecto a dosis ocupacional eran significativas. Esta es la dosimetría en tiempo real como se presenta en los estudios de R. F. James et al. 2015[13], G. Christopoulos et al. 2014[15], en los cuales, al utilizar una retroalimentación instantánea para el operador, ya sea auditivo o visual, lo hará tomar medidas correctivas en el procedimiento para cambiar las tasas de dosis ocupacional. Los dosímetros permiten una medición directa de la dosis de radiación que interactúa con el operador por lo que generar metodologías de estimación de dosis podría ser más factible para estudios de simulación como exponen M. Abdelrahman et al. [5], Y. Roh et al. [6] y Y. Roh et al. [7] proponiendo la única metodología de estimación de dosis encontrada en los resultados de esta revisión que corresponde a la utilización de un código computacional denominado TallyF6. Sin embargo, posee sus

limitaciones, debido que la energía del tubo de rayos x no debe exceder los 120 keV, por esta razón es aplicable a simulaciones clínicas.

Por otra parte, podemos evidenciar que un método de estimación aplicada en la dosis del personal ocupacional observado en los estudios; C. Rizk et al. 2018[9], M. Ingwersen et al. 2013[14], Z. Danaei et al. 2021[23], C. Y. Tu et al. 2020[24] corresponde al método de Niklason o también llamado “Doble Dosimetría”, permitiendo a través de mediciones de dosímetros físicos, aplicar factores preponderantes para el cálculo estimativo de la dosis del personal ocupacional, con un mayor énfasis en la dosis aplicada sobre el cristalino del personal.

Respecto al análisis de los parámetros involucrados en estas estas mediciones, entregan información relevante de los resultados y expone que parámetros o variables presentan mayor relevancia a la hora de medir dosis ocupacional en angiografía o técnicas afines. Todo lo expuesto se presenta en la tabla 4 que al analizarla permite ordenar los antecedentes para desarrollar y comprender el proceso de medición y análisis de la radiación a la que el personal se expone, dependiendo de: tipo de intervención, número de intervenciones, vía de acceso, lo que genera nuevas variables como la distancia a la fuente de dispersión de la radiación y los tiempos de exposición.

Desde esta misma discusión sobre cantidad de intervenciones, podemos apreciar que existe un factor importante en la demanda de intervenciones relacionadas a patologías cardiovasculares, respecto al análisis de la tabla 4 que expone el número de intervenciones de esta técnica tanto diagnóstica como terapéutica.

Esta existencia alta de intervenciones donde se utiliza angiografía para su desarrollo expone en mayor medida al personal a recibir radiación ionizante, además de observar el principal factor predictivo de aumento de dosis a personal ocupacional, correspondiente a la variable IMC.

Un paciente con obesidad posee un IMC elevado, siendo esta variable la que presenta una mayor incidencia en la dosis ocupacional. La obesidad mórbida,  $IMC > 40$ , se asocia con un aumento de siete veces la dosis de radiación del médico [26]. Como lo exponen en sus resultados los autores J. A. Crowhurst et al. 2019[25], R. D. Madder et al. 2019[26], L. Refahiyat et al. 2021[27] y L. Refahiyat et al. 2018[28], en los cuatro estudios los análisis estadísticos muestran un ODD RATIO positivo, esto quiere decir, que el valor de esta herramienta probabilística que relaciona la ocurrencia de eventos y permite asociar variables, en este caso asociando las variables IMC, Dosis Operador y Producto Area Kerma (KAP) como en IMC sobre Dosis del Operador presenta una asociación positiva de las variables expuestas, exponiendo aumentos de dosis ocupacional por unidad de IMC que aumenta el paciente.

El aumento de radiación dispersada es sustancial a medida que aumenta el IMC del paciente, por este motivo que es relevante la utilización de todos los elementos de protección radiológica de manera correcta.

## 6 CONCLUSIÓN

Finalmente, luego de haber analizado los resultados de esta revisión sistemática encontramos que existen métodos de simulación con softwares específicos, donde Monte Carlo es el más utilizado que se acerca a la estimación de dosis a personal ocupacional.

Para mediciones en contexto real se expone el “método” o herramienta que permite tener un conocimiento del daño al que se exponen los operadores. Esta herramienta es el dosímetro que permite una medición directa de la dosis del personal ocupacional en angiografía además de las variables que se utilizan para el cálculo asociado al dosímetro, concluyendo así esta técnica como el gold standard de medición de dosis de personal.

y por esa razón es importante que estos mismos operadores cumplan las normas y porten sus elementos. Estudios hacían mención que los operadores o personal ocupacional del recinto no seguían ciertos protocolos, por esta razón es que se generan estudios donde se evalúe dosis de personal sin protección.

La dosimetría no realiza estimaciones, sino que entrega un dato duro para realizar un seguimiento del personal.

Existe una amplia preocupación a nivel mundial por la medición de dosis a personal ocupacional, pero aún hay temáticas que no tienen una solución respecto a la entrega de seguridad al operador.

Un ejemplo es la dosis de cristalino, tiene un nivel de dificultad elevado medirlo de manera precisa, por esta razón sumado a la irresponsabilidad de los operadores respecto al uso de gafas plomadas, que existe una alta tasa de operadores con riesgo de presentar cataratas, debido a la constante irradiación al cristalino.

A modo de conclusión basada en los datos de intervenciones vasculares, es preocupante el aumento en los índices de obesidad a nivel mundial, pasando a ser una pandemia. Lamentablemente un IMC elevado se demostró con la revisión de los siguientes artículos, [25], [26], [27], [28] es el mayor predictor de un aumento de la dosis efectiva sobre primero el mismo paciente y luego por dispersión el operador. L. Refahiyat et al. 2021[27] expone en la discusión que este problema de obesidad está generando un riesgo laboral elevado para el personal de Cardiología Intervencionista expuesto en la realización de la técnica de angiografía coronaria.

## 7 REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Salud. "Consulta Pública Reglamento de Protección Radiológica". Ministerio de Salud - Gobierno de Chile -. <https://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2017/01/Consulta-pública-Reglamento-de-Protección-Radiológica.pdf> (accedido el 27 de febrero de 2023).
- [2] C. Hernandez, A. Durán y M. Cortez, "Lesiones Oculares y Radiación Ionizante", *Revista Colombiana de Cardiología*, n.º 2020;27(S1):72-78, septiembre de 2019.
- [3] "ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context". ICRP. <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20118> (accedido el 27 de febrero de 2023).
- [4] Instituto de Salud Pública de Chile. "Informe de Vigilancia Radiológica Personal Ocupacional Radiaciones Ionizantes 2007-diciembre 2019". Instituto de Salud Pública de Chile. <https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/2020/10/Radiaciones-ionizantes-2019.pdf> (accedido el 27 de febrero de 2023).
- [5] M. Abdelrahman *et al.*, "A parametric study of occupational radiation dose in interventional radiology by Monte-Carlo simulations," *PHYSICA MEDICA-EUROPEAN JOURNAL OF MEDICAL PHYSICS*, vol. 78, pp. 58-70, OCT 2020, doi: 10.1016/j.ejmp.2020.08.016.
- [6] Y. Roh *et al.*, "Radiation exposure of interventional cardiologists during coronary angiography: evaluation by phantom measurement and computer simulation," *PHYSICAL AND ENGINEERING SCIENCES IN MEDICINE*, vol. 43, no. 4, pp. 1279-1287, DEC 2020, doi: 10.1007/s13246-020-00931-x.
- [7] Y. Roh *et al.*, "Effect of Exposure Angulation on the Occupational Radiation Exposure during Cardiac Angiography: Simulation Study," *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH*, vol. 18, no. 15, AUG 2021, Art no. 8097, doi: 10.3390/ijerph18158097.

- 
- [8] A. Szumska, R. Kopec, and M. Budzanowski, "Occupational doses of medical staff and their relation to patient exposure incurred in coronary angiography and intervention," *RADIATION MEASUREMENTS*, vol. 84, pp. 34-40, JAN 2016, doi: 10.1016/j.radmeas.2015.11.003.
- [9] C. Rizk, J. Farah, G. Fares, and F. Vanhavere, "OCCUPATIONAL DOSES FOR THE FIRST AND SECOND OPERATORS IN LEBANESE INTERVENTIONAL CARDIOLOGY SUITES," *RADIATION PROTECTION DOSIMETRY*, vol. 182, no. 4, pp. 438-447, DEC 2018, doi: 10.1093/rpd/ncy085.
- [10] C. Andres *et al.*, "Patient doses and occupational exposure in a hybrid operating room," *PHYSICA MEDICA-EUROPEAN JOURNAL OF MEDICAL PHYSICS*, vol. 37, pp. 37-42, MAY 2017, doi: 10.1016/j.ejmp.2017.04.006.
- [11] F. Zanca *et al.*, "Evaluation of a suspended radiation protection system to reduce operator exposure in cardiology interventional procedures," *CATHERIZATION AND CARDIOVASCULAR INTERVENTIONS*, vol. 98, no. 5, pp. E687-E694, NOV 1 2021, doi: 10.1002/ccd.29894.
- [12] J. A. Crowhurst, M. Whitby, N. Aroney, R. Dautov, D. Walters, and O. Raffel, "Primary operator radiation dose in the cardiac catheter laboratory," (in eng), *Br J Radiol*, vol. 93, no. 1112, p. 20200018, Aug 2020, doi: 10.1259/bjr.20200018.
- [13] R. F. James *et al.*, "Analysis of occupational radiation exposure during cerebral angiography utilizing a new real time radiation dose monitoring system," *JOURNAL OF NEUROINTERVENTIONAL SURGERY*, vol. 7, no. 7, pp. 503-508, JUL 2015, doi: 10.1136/neurintsurg-2014-011215.
- [14] M. Ingwersen *et al.*, "Physicians' Radiation Exposure in the Catheterization Lab Does the Type of Procedure Matter?," *JACC-CARDIOVASCULAR INTERVENTIONS*, vol. 6, no. 10, pp. 1095-1102, OCT 2013, doi: 10.1016/j.jcin.2013.05.012.
- [15] G. Christopoulos *et al.*, "Effect of a real-time radiation monitoring device on operator radiation exposure during cardiac catheterization: the radiation reduction during cardiac catheterization using real-time monitoring study," (in eng), *Circ Cardiovasc Interv*, vol. 7, no. 6, pp. 744-50, Dec 2014, doi: 10.1161/circinterventions.114.001974.
- [16] A. Asgari *et al.*, "Occupational eye dose to medical staff in various interventional cardiologic procedures: is the need for lead goggles the same in all groups of radiation workers?," *INTERNATIONAL JOURNAL OF CARDIOVASCULAR IMAGING*, vol. 36, no. 8, pp. 1417-1425, AUG 2020, doi: 10.1007/s10554-020-01864-y.
- [17] A. Omar, M. Marteinsdottir, N. Kadesjö, and A. Fransson, "On the feasibility of utilizing active personal dosimeters worn on the chest to estimate occupational eye lens dose in x-ray angiography," (in eng), *J Radiol Prot*, vol. 35, no. 2, pp. 271-84, Jun 2015, doi: 10.1088/0952-4746/35/2/271.
- [18] E. Mattar, K. Alsafi, A. Sulieman, and Suliman, II, "Occupational exposure of the operator eye lens in digital coronary angiography and interventions," *RADIATION PHYSICS AND CHEMISTRY*, vol. 165, DEC 2019, Art no. 108400, doi: 10.1016/j.radphyschem.2019.108400.

- 
- [19] E. Vañó, J. M. Fernández, R. M. Sánchez, and L. T. Dauer, "Realistic approach to estimate lens doses and cataract radiation risk in cardiology when personal dosimeters have not been regularly used," (in eng), *Health Phys*, vol. 105, no. 4, pp. 330-9, Oct 2013, doi: 10.1097/HP.0b013e318299b5d9.
- [20] M. A. Albayati *et al.*, "Editor's choice--Angulation of the C-arm during complex endovascular aortic procedures increases radiation exposure to the head," (in eng), *Eur J Vasc Endovasc Surg*, vol. 49, no. 4, pp. 396-402, Apr 2015, doi: 10.1016/j.ejvs.2014.12.032.
- [21] M. T. Toossi, M. Mehrpouyan, H. Nademi, and R. Fardid, "Preliminary results of an attempt to predict over apron occupational exposure of cardiologists from cardiac fluoroscopy procedures based on DAP (dose area product) values," (in eng), *Australas Phys Eng Sci Med*, vol. 38, no. 1, pp. 83-91, Mar 2015, doi: 10.1007/s13246-014-0326-1.
- [22] F. A. Bacchim Neto, A. F. Alves, Y. M. Mascarenhas, P. Nicolucci, and D. R. Pina, "Occupational radiation exposure in vascular interventional radiology: A complete evaluation of different body regions," (in eng), *Phys Med*, vol. 32, no. 8, pp. 1019-24, Aug 2016, doi: 10.1016/j.ejmp.2016.06.014.
- [23] Z. Danaei, S. M. H. Pooya, E. J. Gharehbagh, and S. Baradaran, "ASSESSMENT OF WHOLE BODY, SKIN AND EYE LENS DOSES OF THE INTERVENTIONAL RADIOLOGISTS AT SELECTED HOSPITALS IN IRAN," *RADIATION PROTECTION DOSIMETRY*, vol. 193, no. 3-4, pp. 170-175, MAR 2021, doi: 10.1093/rpd/ncab036.
- [24] C. Y. Tu, C. J. Lin, B. H. Yang, J. Wu, and T. H. Wu, "Cardiac catheterization real-time dynamic radiation dose measurement to estimate lifetime attributable risk of cancer," (in eng), *PLoS One*, vol. 15, no. 6, p. e0234461, 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0234461.
- [25] J. A. Crowhurst *et al.*, "Factors contributing to radiation dose for patients and operators during diagnostic cardiac angiography," (in eng), *J Med Radiat Sci*, vol. 66, no. 1, pp. 20-29, Mar 2019, doi: 10.1002/jmrs.315.
- [26] R. D. Madder *et al.*, "Patient Body Mass Index and Physician Radiation Dose During Coronary Angiography Is the Obesity Epidemic Impacting the Occupational Risk of Physicians in the Catheterization Laboratory?," *CIRCULATION-CARDIOVASCULAR INTERVENTIONS*, vol. 12, no. 1, JAN 2019, Art no. e006823, doi: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.118.006823.
- [27] L. Refahiyat, S. VanOosterhout, S. Pageau, J. L. Parker, and R. D. Madder, "Patient BodyMass Index and Occupational Radiation Doses to Circulating Nurses During Coronary Angiography," *CARDIOVASCULAR REVASCULARIZATION MEDICINE*, vol. 26, pp. 48-52, MAY 2021, doi: 10.1016/j.carrev.2020.10.022.
- [28] L. Refahiyat *et al.*, "Impact of patient obesity on radiation doses received by scrub technologists during coronary angiography," (in eng), *Cardiovasc Revasc Med*, vol. 19, no. 8, pp. 929-933, Dec 2018, doi: 10.1016/j.carrev.2018.07.026.
- [29] Instituto de Salud Pública. (s.f.). Estimación de Magnitudes de Protección para Irradiación Externa a partir de la Medición de Magnitudes Operacionales en el Campo de la Protección Radiológica

---

Ocupacional. Instituto de Salud Pública de Chile. <https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/2021/11/NTMagnitudProteccionIrradiacion.pdf>

- [30] DICOM. (s.f.). Siemens-Healthineers Corporate Home. <https://www.siemens-healthineers.com/cl/services/itstandards/dicom#:~:text=El%20est%C3%A1ndar%20en%20Imagenolog%C3%ADa%20Digital,de%20dispositivos%20y%20sistemas%20m%C3%A9dicos.>
- [31] Angiografía por catéter. (s.f.). Radiologyinfo.org. <https://www.radiologyinfo.org/es/info/angiocath>
- [32] Curso de Supervisores de Instalación Radiactiva. (2013). CN. Ciemat. [https://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros\\_md/1581136598\\_1572009112950.pdf](https://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros_md/1581136598_1572009112950.pdf)
- [33] Organización Panamericana de la Salud. (s.f.). Directrices para la Evaluación y el Manejo de Enfermedades Cardiovasculares. PAHO/WHO | Pan American Health Organization. <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2011/Directrices-para-evaluacion-y-manejo-del-riego-CV-de-OMS.pdf>
- [34] Instituto de Salud Pública. (s.f.). Nota Técnica N°34 Trabajador Ocupacionalmente Expuesto a Radiaciones Ionizantes. Instituto de Salud Pública Chile. [https://www.ispch.cl/sites/default/files/Nota%20T%C3%A9cnica%20N%C3%9334%20Trabajador\(a\)%20Ocupacionalmente%20Expuesto\(a\)%20a%20Radiaciones%20Ionizantes.pdf](https://www.ispch.cl/sites/default/files/Nota%20T%C3%A9cnica%20N%C3%9334%20Trabajador(a)%20Ocupacionalmente%20Expuesto(a)%20a%20Radiaciones%20Ionizantes.pdf)
- [35] Organismo Internacional de Energía Atómica. (s.f.). La protección radiológica y las cataratas | OIEA. International Atomic Energy Agency | Atoms for Peace and Development. <https://www.iaea.org/es/recursos/proteccion-radiologica-de-los-pacientes/profesionales-de-la-salud/radiodiagnostico/cataratas>