

# Niveles de Referencia Diagnósticos para estudios de Tomografía por Emisión de Positrones / Tomografía Computada cuerpo completo con radiotrazador 18F-fluorodesoxiglucosa en pacientes adultos: Revisión Narrativa.

Diagnostic Reference Levels for Positron Emission Tomography / Computed Tomography Whole Body studies with 18F-fluorodeoxyglucose radiotracer in adult patients: Narrative Review.

Lisett Loyola<sup>a</sup>, Fabián Pérez<sup>a</sup>, Roberto General<sup>a</sup>, Gemely Becerra <sup>a</sup>, Felipe Vera<sup>a,b\*</sup>, José Pérez<sup>c</sup>, María Salas<sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Escuela Tecnología Médica, Facultad de Medicina, Universidad de Valparaíso, Valparaíso, Chile, 2520000.*

<sup>b</sup> *Servicio Imagenología, Radiología Mujer, Viña del Mar, Chile, 2520000.*

<sup>c</sup> *Servicio Imagenología Clínica Bupa Reñaca, Viña del Mar, Chile, 2520000.*

Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [f\\_vera85@yahoo.es](mailto:f_vera85@yahoo.es) (F. Vera Muñoz)

## **RESUMEN**

Los Niveles de Referencia Diagnósticos (DRL) son utilizados para optimizar la protección radiológica en exámenes con radiación ionizante, como es el caso de la técnica de PET-CT, en la cual se emplean dos fuentes distintas de radiación, aumentando así la dosis efectiva. El objetivo de esta revisión es describir los DRL para estudios de PET-CT cuerpo completo con radiotrazador FDG-18 en pacientes adultos según la literatura científica.

Para esto, se utilizaron las bases de datos Scopus, EBSCO, Medline y Web of Science, de las cuales se tamizaron 5 artículos para la extracción de resultados. Según estos, se determinó que los DRL en diversos países sean similares y varíen entre sí debido a las diferencias entre los métodos de recolección de datos, el tipo de equipo y de paciente.

## **ABSTRACT**

Diagnostic Reference Levels (DRL) are used to optimize radiological protection in examinations with ionizing radiation, as is the case with the PET/CT technique in which two different sources of radiation are used, thus increasing the effective dose. The objective of this review is to describe the DRL for full-body PET/CT studies with FDG-18 radiotracer in adult patients according to the scientific literature.

For this, the Scopus, EBSCO, Medline and World of Science databases were used, of which 5 articles were accepted for the extraction of results. Based on these, it was determined that DRLs in various countries are similar and vary from each other due to differences in data collection methods, equipment type, and patient type.

## KEYWORDS

- Diagnostic reference levels
- Positron-emission tomography
- Positron emission tomography Computed Tomography
- PET-CT

## INTRODUCCIÓN

El foco principal de este estudio se basa fundamentalmente en la descripción de los niveles de referencia diagnóstico (DRL) para la tomografía por emisión de positrones / tomografía computada (PET-CT) con radiotrazador FDG-18 en pacientes adultos. Cabe destacar, que al recopilar y describir esta información se busca entregar todo el material que ofrece la literatura científica sobre este tópico. De tal forma, que este estudio sirva como un referente para la aplicación de los DRL para PET-CT con FDG-18, como también para próximas investigaciones sobre este tema. Además, todo esto permitirá hacer una comparación entre los distintos DRL reportados y, a su vez, comprender la causa de variación entre ellos.

El PET-CT es un examen híbrido de medicina nuclear, el cual se compone de dos modalidades imagenológicas distintas, correspondientes a la tomografía por emisión de positrones (PET) y la tomografía computarizada (CT). Esta técnica nos permite adquirir, en un sólo examen, información metabólica a través del PET y anatómica por medio del CT, obteniéndose así imágenes con un nivel más alto de exactitud[1]. En consecuencia, existe una mayor probabilidad de generar un incremento gradual de las dosis absorbidas por los pacientes, provocando un potencial riesgo debido a los efectos adversos ocasionados por las radiaciones ionizantes. Sumándose a esto, múltiples estudios han determinado que el examen de PET-CT con 18F-FDG administra dosis efectivas más altas a los pacientes que ambas modalidades por separado.[1][2]

Bajo este contexto, en 1996 la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), entidad encargada de fomentar el avance y desarrollo de la protección radiológica para beneficio público, plantea la necesidad de implementar el uso de niveles de referencia diagnósticos [3]. Estos sirven para monitorizar y optimizar las dosis de radiación a pacientes resultante de los procedimientos realizados con propósitos de obtención de imágenes clínicas. Los DRLs son variables dependiendo de las condiciones y centros en las que se determinen estos valores, pudiéndose clasificar en DRL regionales, nacionales y locales, siendo los primeros los que abarcan mayor cantidad de países y centros asistenciales.[4]

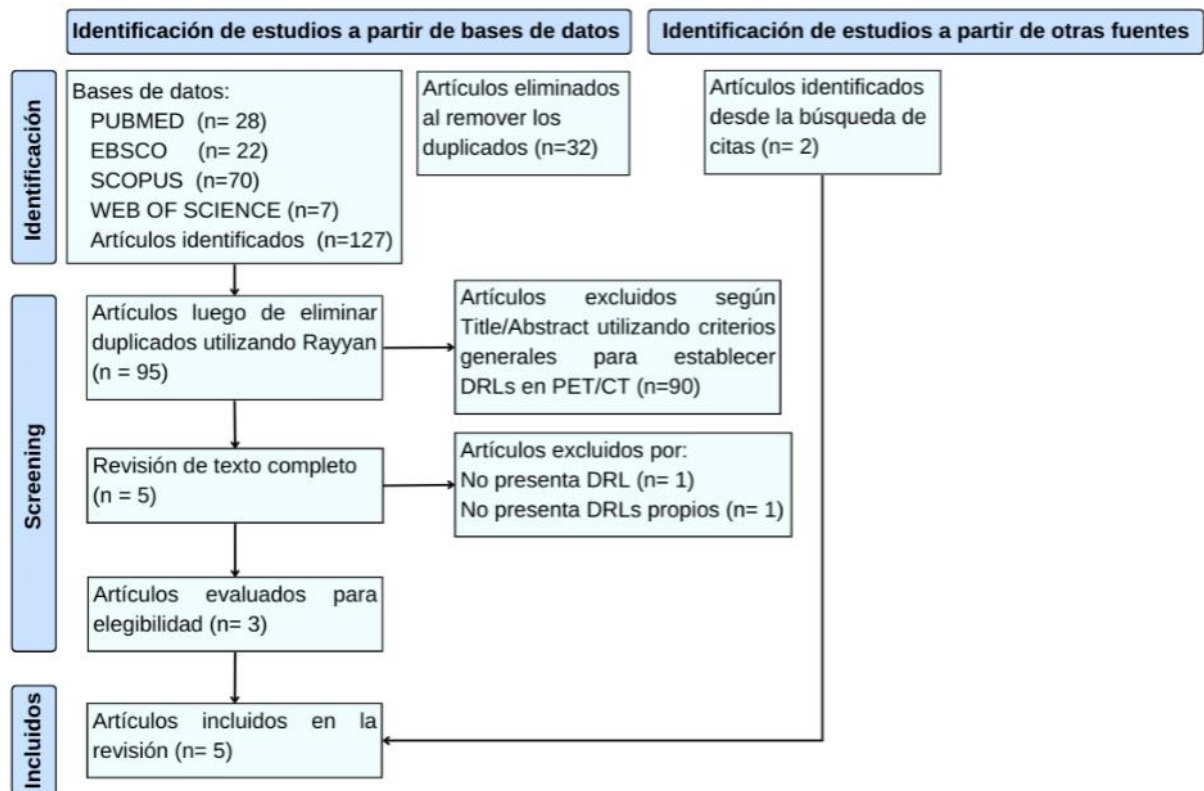
## MATERIAL Y MÉTODOS

Con el propósito de responder al objetivo planteado en esta revisión narrativa, se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos Scopus, EBSCO, Medline y Web of Science. Además, se consideraron las publicaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP). Para esto, la búsqueda se limita a las siguientes palabras naturales: "Diagnostic Reference Level", "DRL", "DRLs", "Positron Emission Tomography", "Positron Emission Tomography/ Computed Tomography", "PET-CT" (Tabla 1). Para esta revisión se incluyeron todos los estudios disponibles desde el año 2012 en adelante, pudiendo ser tanto en inglés como en español, los cuales, debían abarcar el concepto de "niveles de referencia diagnósticos" para la técnica combinada de PET-CT cuerpo entero con radiotrazador FDG-18 en pacientes adultos (mayores de 15 años), excluyéndose así todos los artículos que no cumplieran con esto.

La extracción de la información se realizó de forma independiente por los investigadores, los cuales incluyeron y/o excluyeron los documentos encontrados previamente en la búsqueda bibliográfica mediante la versión web del software RAYYAN. Luego, los estudios hallados se almacenaron en el gestor de citas bibliográficas MENDELEY en su versión 2.74.0 del año 2022. Además, como guía metodológica se empleó la declaración PRISMA 2020 para documentar todo el proceso de búsqueda y evaluación de los documentos. De los artículos tamizados, 3 cumplieron con los criterios de elegibilidad establecidos por los investigadores y 2 fueron añadidos mediante búsqueda de otras fuentes tal como se muestra en la Figura 1.

**Tabla 1. Estrategia de búsqueda ejecutada en Pubmed**

<i>Búsqueda</i>	<i>Términos</i>	<i>Resultados</i>
#3	#1 AND #2	28
#2	("Positron emission tomography"[Title/Abstract] OR "Positron emission tomography computed tomography"[Title/Abstract] OR "Pet ct"[Title/Abstract])	91.447
#1	("Diagnostic reference level*"[Title/Abstract] OR "Drl"[Title/Abstract] OR "Drls"[Title/Abstract])	1.937



**Fig.1. Flujograma PRISMA**

Diagrama de estudios de DRL en PET-CT incluidos y excluidos de acuerdo a norma PRISMA.

## RESULTADOS.

Las características de los estudios incluidos se encuentran en la Tabla 2, en la cual los investigadores decidieron dividir los datos del estudio de Alkhybari et al.[5] en dos filas separadas, ya que, dicha investigación presenta DRL para el territorio que incluye Australia, Queensland y Australia Oriental (En adelante estos 3 territorios serán mencionados como Australia) y Nueva Zelanda. Los artículos incluidos no incorporan estudios en el continente Africano ni Americano. Además, en cada estudio se observan variaciones en el número de pacientes y centros para el cálculo de los Niveles de Referencia Nacionales (NDRL). Cabe destacar que el diseño de estudio para todas las investigaciones es de tipo retrospectivo, ya que, el cálculo de los DRL se realiza en base a la información obtenida de encuestas que completan los respectivos centros asistenciales.

Las características de los pacientes incluidos en los estudios se encuentran descritas en la Tabla 3, en el caso del estudio de Abe et al. [6] no se especifica con precisión el peso de los pacientes incluidos y se indica "peso standard" como criterio de inclusión. Cabe destacar que el único criterio especificado en este estudio para tamizar a los pacientes es que sean adultos, es decir, mayores de 15 años.

De los 5 estudios incluidos, Abe et al.[6] y Alkhybari et al.[7] no presentan las especificaciones de los equipos de PET-CT incluidos en sus respectivas investigaciones. Los otros 3 estudios clasifican los equipos de acuerdo al fabricante, los años de operación de los equipos y la presencia o ausencia de tecnologías "Time of flight" (TOF), así como también el tipo de detectores de los equipos de PET. Estas últimas dos características son de especial relevancia, ya que, permiten disminuir las dosis administradas a los paciente. Por su parte, la tecnología TOF genera una mejor calidad de imagen y un menor tiempo de adquisición[8]. A sus vez, el tipo de detector también influye en la calidad de imagen y en el tiempo de detección. Los detectores de germanato de bismuto (BGO) tienen un mayor poder de frenado para los fotones de 511 keV, sin embargo, es un detector de centelleo relativamente lento y tiene una conversión de energía menor en comparación con los detectores de ortosilicato de gadolinio (GSO), ortosilicato de lutecio (LSO) y ortosilicato de lutecio con itrio (LYSO). Estos últimos tienen un poder de frenado menor que los detectores de BGO, pero producen mayor cantidad de luz por keV detectado y tienen una mayor rapidez de centelleo.[9]

Los valores de DRL y dosis efectiva para la modalidad de PET, la modalidad de CT y la recopilación de ambas modalidades para PET-CT se muestran en las tablas 5, 6 y 7 respectivamente. Los DRL de dosis de FDG-18 administrado se presentan en la unidad de medida megabequerel (MBq), a su vez su equivalencia en dosis efectiva se encuentra expresada en milisievert (mSv). Por su parte, los DRL de dosis de radiación de la modalidad de CT se encuentran expresados en miligrey (mGy) para la categoría de índice de dosis de CT en volumen ( $CTDI_{vol}$ ) y, en miligrey centímetro ( $mGy \cdot cm$ ) para la categoría de producto dosis longitud (DLP), y sus equivalencias en dosis efectiva se encuentra en milisievert (mSv). Posteriormente, la utilidad de expresar los valores dosimétricos en términos de dosis efectiva será discutida por los autores. Los investigadores atribuyen las diferencias entre los DRL calculados y los DRL con los que compararon sus resultados a factores como tecnologías más recientes, tales como la presencia de TOF, algoritmos que permiten reducción de dosis tanto para CT como PET, diferencias entre protocolos y tipos de pacientes. A partir de estos análisis cada estudio entrega propuestas para optimizar dosis y así obtener DRL más bajos sin ir en detrimento de la calidad de imagen.

**Tabla 2. Datos de los artículos incluidos**

Autor	Año	País	Número de Pacientes	Número de centros incluidos
Etard et al.[10]	2012	Francia	~1000	56
Kwon et al.[2]	2016	Corea	1041	73
Alkhybari et al.[5]	2018	Australia	976	8
Alkhybari et al.[5]	2018	Nueva Zelanda	198	4
Abe et al.[6]	2020	Japón	NR	256
Alkhybari et al.[7]	2022	Arabia Saudita	158	21

**Tabla 3. Características de los pacientes incluidos**

Autor (año)	Peso [Kg]	H/M [%]	Edad [años]
Etard et al.[10] (2012)	50 – 100	NR	NR
Kwon et al.[2] (2016)	61.4 ± 11.4	633 [61%] 408 [39%]	60 ± 13
Alkhybari et al.[5] (2018)	77.3 ± 19.4	539 [55%] 437 [45%]	62.7 ± 14.2
Alkhybari et al.[5] (2018)	76.5 ± 16.9	107 [54%] 91 [46%]	62.9 ± 14.1
Abe et al.[6] (2020)	Peso standard	NR	>15
Alkhybari et al.[7] (2022)	74 ± 19	74 [46,2%] 84 [53,2%]	55.5 ± 17.2

**Tabla 4. Características de los equipos de PET-CT incluidos en el estudio**

Autor (año)	Cantidad total de equipos	Fabricante (cantidad de equipos)	Período de operación	Tipo de detectores	
				Sin TOF	TOF
Etard et al.[10] (2012)	56	GE (21)	2002 – 9; 2010 - 11	BGO (17)	LYSO (4)
		Philips (17)	2003 – 9; 2006 - 11	GSO (8)	LYSO (9)
		Siemens (18)	2003 – 10; 2009 - 10	LSO (16)	LYSO (2)
Kwon et al.[2] (2016)	105	GE (45)	2000 – 5	BGO (30)	LYSO (14)
		Philips (18)	2006 – 10	GSO (3)	NR
		Siemens (41)	2011 – 15	LBS (15)	NR
		No informado (1)	NR	LSO (42)	NR
Alkhybari et al.[5] (2018)	9	GE (2)	2011 – 15	NR	LYSO (2)
		Siemens (7)			LSO (7)
Alkhybari et al.[5] (2018)	4	GE (4)	2008 - 11	BGO (1)	LYSO (3)
Abe et al.[6] (2020)	NR	NR	NR	NR	NR
Alkhybari et al.[7] (2022)	NR	NR	NR	NR	NR

Nota: LBS = Detector de centelleo en base a lutecio (No se especifica cual)

**Tabla 5. DRL y dosis efectiva para la modalidad de PET**

<b>Autores</b>	<b>DRL [MBq]</b>	<b>Dosis efectiva [mSv]</b>
Etard et al.[10]	301	5.7
Kwon et al.[2]	370	5.9
Alkhybari et al.[5]	333.8	5.6
Alkhybari et al.[5]	332.9	5.7
Abe et al.[6]	240	NR
Alkhybari et al.[7]	307.1	NR

Nota: MBq = MegaBequerel, mSv = milisievert, DRL = Nivel Diagnóstico de Referencia.

**Tabla 6. Valores dosimétricos para la modalidad CT**

<b>Autores</b>	<b>DRL</b>		<b>Dosis efectiva [mSv]</b>
	<b>CTDivol [mGy]</b>	<b>DLP [mGy*cm]</b>	<b>CT</b>
Etard et al.[10]	8	750	8.6
Kwon et al.[2]	6	560	6.3
Alkhybari et al.[5]	4.4	474	4.7
Alkhybari et al.[5]	13.1	1319.1	10.9
Abe et al.[6]	6.1	600	NR
Alkhybari et al.[7]	11	1160	NR

Nota: CTDivol = Índice de dosis de CT en volumen, DLP = producto dosis longitud, mGy = miligrey, mGy\*cm = miligrey por centímetro, CT= Tomografía Computarizada.

**Tabla 7. Recopilación de DRL y dosis efectiva para PET-CT**

Autores	DRL			Dosis efectiva [mSv]		
	Actividad [MBq]	CTDIvol [mGy]	DLP [mGy*cm]	Actividad FDG-18	CT	Total
Etard et al.[10]	301	8	750	5.7	8.6	14
Kwon et al.[2]	370	6	560	5.9	6.3	12
Alkhybari et al.[5]	333.8	4.4	474	5.6	4.7	10.4
Alkhybari et al.[5]	332.9	13.1	1319.1	5.7	10.9	16.7
Abe et al.[6]	240	6.1	600	NR	NR	NR
Alkhybari et al.[7]	307.1	11	1160	NR	NR	NR

## DISCUSIÓN

Los DRL son una herramienta para que los centros clínicos que realizan procedimientos imagenológicos como el PET-CT, puedan administrar de forma óptima la dosis de radiación a los pacientes, al mismo tiempo que se garantiza una calidad de imagen diagnóstica. La estandarización de los DRL ayuda a identificar dosis de radiación anormalmente altas o bajas en comparación con las dosis recomendadas. Esto permite posteriormente desarrollar estrategias de optimización y mejorar la protección radiológica del paciente, evitando las consecuencias negativas relacionadas al uso de radiaciones ionizantes.

Ahora bien, enfocándonos en lo que presenta cada estudio, el primer parámetro que podemos analizar de los métodos de selección de pacientes, en los protocolos para establecer DRL en las investigaciones incluidas en este estudio es la restricción de peso. De los 5 estudios solamente Abe et al.[6] no especifica el rango de peso de los pacientes y lo describe como “peso standard”. En lo que respecta a la dosis administrada de FDG, no hay una diferencia significativa entre los DRL calculados con o sin restricción por peso[11]. Bajo este mismo argumento Alkhybari et al.[7] no utiliza el peso del paciente como un criterio de elegibilidad. Sin embargo, si es de importancia que al recopilar los datos para establecer DRL se incluya la dosis administrada por peso del paciente. Esto debido a que, al momento de comparar los DRL obtenidos para dosis de actividad inyectada, los autores de los estudios atribuyen las diferencias de DRL de actividad a las variaciones en los parámetros de inyección utilizados en los centros, y recomiendan optimizarlos para disminuir las dosis de radiación administradas a los pacientes sin disminuir la calidad de imagen. Alkhybari et al.[5] atribuye la diferencia de hasta 1,5 veces de dosis administradas entre los centros estudiados a que hay centros con mayor dosis administrada por peso y un menor tiempo de adquisición de imagen. Kwon et al.[2] indica que en un 90,2% de las instituciones, la actividad inyectada se

determinó en base al peso de los pacientes. Alkhybari et al.[7] recomienda optimizar las dosis inyectadas administrando menos actividad por peso y aumentando los tiempos de adquisición de imagen.

Dentro de los factores que permiten disminuir las dosis de actividad administrada, se señala de forma transversal en los estudios que los avances técnicos en los equipos de PET-CT tienen una gran influencia. Etard et al.[10] indica que la actividad específica promedio de FDG disminuye en un ~20% en los equipos con tecnología TOF, a su vez, no se observan diferencias significativas en los distintos tipos de detectores de centelleo ni con la antigüedad de las unidades de PET. Alkhybari et al.[5] señala que, al actualizar sus DRL en 2016, se nota una tendencia en la disminución de los DRL de dosis administrada, esto se atribuye a avances técnicos en software y hardware, tales como mayor sensibilidad en PET, ya sea, por anillos de detectores adicionales como por el sistema TOF y protocolos de optimización. A pesar de esto, al comparar sus DRL con los resultados de DRL de la investigación de Etard et al.[10] (Francia, 2012), se descubre que sus valores de actividad administrada en equipos TOF son mayores. Se cree que esto es debido a que Francia [10] está actualizando sus DRL para FDG-18 en estudios de PET-CT constantemente desde el 2004. Kwon et al.[2] indica que el promedio de actividad administrada en equipos con tecnología TOF es menor a los equipos que no la tienen, e introduce también el algoritmo de "Point Spread Function-recovery" (PSF-recovery)[8] como un parámetro que disminuye el promedio de dosis administrada en los equipos que cuentan con esta tecnología. También establece que los equipos de PET-CT instalados más recientemente entregan dosis de radiación menores a los equipos más antiguos. Abe et al.[6] recomienda incluir un nuevo indicador llamado "Acceptance Quality Dose" (AQD) [12] al momento de establecer DRL, ya que este considera también la calidad de imagen y peso del paciente.

Con respecto al proceso de establecer DRL para la parte de CT y su optimización de dosis, el análisis es un poco más complejo, ya que, los protocolos de adquisición varían mucho entre los centros. Esta variabilidad se puede dar al adquirir imágenes de CT sólo con el objetivo de corrección de atenuación y localización anatómica o con fines diagnósticos (este último entrega una mayor dosis de radiación al paciente). Etard et al.[10] señala que hay diferencias de hasta 4 veces en el parámetro de  $CTDI_{vol}$  entre sus centros y atribuye esto a variaciones en los parámetros de adquisición. Alkhybari et al.[5] indica que las discrepancias en el parámetro de  $CTDI_{vol}$  son consecuencia de pitch más bajos y cortes más finos con el objetivo de una mayor resolución espacial y menor ruido, resultando en mayores dosis irradiadas al paciente. Sugieren optimizar protocolos de adquisición de imágenes para la modalidad de CT, teniendo en cuenta que al disminuir la dosis se puede perder calidad de imagen.

Con respecto a la dosis efectiva de cada modalidad y la dosis efectiva total, 3 de los 5 estudios otorgaron este dato. Etard et al.[10] indica que calculó su dosis efectiva total (14 mSv) utilizando los factores de conversión de la publicación 60 de la ICRP [13]. Alkhybari et al.[5] utilizó los factores de conversión de las publicaciones 128 y 103 [14,15] de la ICRP e indican que la dosis efectiva no es una herramienta adecuada para establecer DRL, pero sí para asociar las dosis de radiación provenientes de distintas fuentes y convertir sus valores a una sola unidad de medida (mSv). La ICRP en su publicación 135 [4] no recomienda incluir la dosis efectiva en los reportes de DRL, ya que, es un parámetro que se calcula en base a muchas imprecisiones debido a la variabilidad de pacientes y de parámetros de adquisición de imágenes y su interpretación puede derivar en errores e inexactitudes.

La literatura muestra que existen diferencias en los métodos para establecer DRL para los estudios de PET-CT, pero todos se basan en las recomendaciones de la publicación 135 de la ICRP[4]. Por esto, los protocolos para implementar DRL existen, y si se quisiese se pueden incorporar en cualquier lugar del mundo. Los investigadores concluyen de forma transversal que la creciente popularidad del estudio de PET-CT hace surgir la preocupación por optimizar las dosis de radiación entregadas a los pacientes.[16] Sobre todo considerando que se trata de un examen híbrido que irradia al paciente tanto internamente a través del radiofármaco FDG-18, como externamente a través de la modalidad de CT[1,2]. Los DRL son una herramienta que permiten una optimización de la dosis, y su implementación sostenida a través del tiempo posibilita el análisis y mejora de los protocolos de adquisición del examen, al comparar los valores DRL con los obtenidos en otros países o con DRL anteriores en el mismo país. En su defecto, de no poder establecerse DRL a nivel nacional, se pueden establecer DRL locales o valores típicos de dosis.[4]

Los autores de esta revisión al no encontrar literatura que describa DRL para el examen de PET-CT en Chile dan las siguientes recomendaciones:

1. No incluir restricción de peso como criterio de elegibilidad para establecer DRL en PET-CT, ya que, no hay evidencia que sostenga que este factor implique una diferencia significativa en el resultado de dosis administrada, y a su vez permite un tamaño muestral mayor.
2. Incluir factores como AQD o ADP [17] para establecer DRL de actividad administrada.
3. Especificar si los equipos cuentan o no con tecnología TOF y registrar los valores dosimétricos por separado para poder compararlos.
4. Especificar los parámetros de adquisición para la modalidad de CT para establecer protocolos de optimización de dosis.
5. Especificar actividad administrada por peso de paciente (MBq/kg) con el fin de establecer protocolos de optimización de dosis administrada.
6. No incluir reportes de dosis efectiva como un valor DRL, ya que, es un parámetro impreciso que induce a errores de interpretación.

Por último, se recomienda el uso del diámetro efectivo para realizar corrección del índice de dosis en CT. Estos se encuentran publicados en el reporte 204 de la Asociación Americana de Físicos Médicos (AAPM) y sirven para obtener dosis más reales por cada paciente y, por ende, DRL más exactos. Además, es un parámetro aún más fidedigno que el IMC.[18]

## **CONCLUSIONES**

La literatura científica muestra que existen diferentes métodos para establecer DRL de PET-CT cuerpo completo con 18F-FDG, y que los valores de estos si bien son similares entre sí, también presentan variaciones, las cuales pueden ser analizadas para modificar los protocolos de administración de dosis en cada centro, y así optimizar las dosis de radiación ionizante entregadas a los pacientes. Existen múltiples factores que influyen en los niveles de dosis que se administran a los pacientes, tales como protocolos, avances tecnológicos y el tipo de paciente, pero también es de suma importancia que el profesional que aplique el examen, en el caso de Chile el Tecnólogo Médico, tenga un amplio dominio técnico del examen, tanto en sus protocolos de adquisición como en las bases físicas que lo sustentan.

## **FINANCIACIÓN**

Esta investigación no recibió ninguna subvención específica de agencias de financiamiento en los sectores público, comercial o sin fines de lucro.

## **CONFLICTO DE INTERESES**

Los autores no declaran ningún conflicto de intereses.

## REFERENCIAS

- [1] Retamal C. A, Schiappacasse F. G, Pérez M. L, Alwayay Q. P, Schild W. I, Retamal C. A, et al. PET/CT: Technique, considerations and indications in the oncology study of pediatric patients. *Rev Chil Pediatr* 2017;88:803–11. <https://doi.org/10.4067/S0370-41062017000600803>.
- [2] Kwon HW, Kim JP, Lee HJ, Paeng JC, Lee JS, Cheon GJ, et al. Radiation dose from whole-body F-18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography: Nationwide survey in Korea. *J Korean Med Sci* 2016;31:S69–74. <https://doi.org/10.3346/jkms.2016.31.S1.S69>.
- [3] International Commission on Radiological Protection. Radiological protection and safety in medicine. Published for the Commission by Pergamon Press; 1996.
- [4] Vanō E, Miller D, Martin C, Rehani M, Kang K, Rosenstein M, et al. *Annals of the ICRP Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging*. 2017.
- [5] Alkhybari EM, McEntee MF, Brennan PC, Willowson KP, Kench PL. Diagnostic reference levels for 18F-FDG whole body PET/CT procedures: Results from a survey of 12 centres in Australia and New Zealand. *J Med Imaging Radiat Oncol* 2019;63:291–9. <https://doi.org/10.1111/1754-9485.12857>.
- [6] Abe K, Hosono M, Igarashi T, Imori T, Ishiguro M, Ito T, et al. The 2020 national diagnostic reference levels for nuclear medicine in Japan. *Ann Nucl Med* 2020;34:799–806. <https://doi.org/10.1007/s12149-020-01512-4>.
- [7] Alkhybari EM, Alhulail AA, Sulieman A, Faqeeh JM, Albatly AA, Alqarni AO. Deriving local diagnostic reference levels for four common adult PET/CT procedures in a Saudi Arabian hospital. *J Radiat Res Appl Sci* 2022;15:380–5. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2022.08.011>.
- [8] Akamatsu G, Ishikawa K, Mitsumoto K, Taniguchi T, Ohya N, Baba S, et al. Improvement in PET/CT image quality with a combination of point-spread function and time-of-flight in relation to reconstruction parameters. *Journal of Nuclear Medicine* 2012;53:1716–22. <https://doi.org/10.2967/jnumed.112.103861>.
- [9] Christian P, Watersram-Rich K. *Nuclear Medicine and PET/CT: Technology and Techniques*. 7th ed. Maryland Heights: Mosby; 2011.
- [10] Etard C, Celier D, Roch P, Aubert B. National survey of patient doses from whole-body FDG PET-CT examinations in France in 2011. *Radiat Prot Dosimetry* 2012;152:334–8. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncs066>.
- [11] Alkhybari EM, McEntee MF, Brennan PC, Willowson KP, Hogg P, Kench PL. Determining and updating PET/CT and SPECT/CT diagnostic reference levels: A systematic review. *Radiat Prot Dosimetry* 2018;182:532–45. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncy113>.
- [12] Rehani MM, Gasse PK. Invited Commentary Limitations of diagnostic reference level (DRL) and introduction of acceptable quality dose (AQD) Title Page. n.d.
- [13] Clarke RH, J Dunster CH, K Guskova LA, Jacobi MW, Li ND, Liniecki TJ, et al. *Annals of the ICRP* Published on behalf of the International Commission on Radiological Protection Members of the Main Commission of the ICRP. n.d.
- [14] ICRP. *Annals of the ICRP* Published on behalf of the International Commission on Radiological Protection. 2007.
- [15] *Annals of the ICRP Annals of the ICRP ICRP Publication 128 Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals: A Compendium of Current Information Related to Frequently Used Substances*, 2015.

- [16] Kim B il. Radiological justification for and optimization of nuclear medicine practices in Korea. *J Korean Med Sci* 2016;31:S59–68. <https://doi.org/10.3346/jkms.2016.31.S1.S59>.
- [17] Alessio AM, Farrell MB, Fahey FH. Role of reference levels in nuclear medicine: A report of the SNMMI dose optimization task force. *Journal of Nuclear Medicine* 2015;56:1960–4. <https://doi.org/10.2967/jnumed.115.160861>.
- [18] Allende F, Lobos V, Zúñiga A. Computed tomography dose index correction by effective diameter according to report 204 by the American association of physicists in medicine. *Revista Chilena de Radiología* 2016;22:61–9. <https://doi.org/10.1016/j.rchira.2016.06.002>.