

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE MEDICINA
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MÉDICA



TESIS PROFESIONAL

Para optar al título profesional de Tecnólogo Médico con mención
Imagenología, Física Médica y Radioterapia

“EVALUACIÓN DE LA DOTACIÓN
DE FÍSICOS MÉDICOS EN CENTROS DE RADIOTERAPIA
CHILENOS”

FABIANA MIRANDA, JAVIERA RAMÍREZ

TUTOR: Prof. MARIANELA HERVIAS JARA

FACULTAD DE MEDICINA DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE

Julio 2023

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE MEDICINA
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MÉDICA



TESIS PROFESIONAL

Para optar al título profesional de Tecnólogo Médico con mención
Imagenología, Física Médica y Radioterapia

“EVALUACIÓN DE LA DOTACIÓN
DE FÍSICOS MÉDICOS EN CENTROS DE RADIOTERAPIA
CHILENOS”

FABIANA MIRANDA, JAVIERA RAMÍREZ

TUTOR: Prof. MARIANELA HERVIAS JARA

Una firma manuscrita en tinta negra que parece decir 'M. Hervias'.

Prof. Marianela Hervias Jara
Departamento de Tecnología Médica
Facultad de Medicina
Universidad de Chile

Julio 2023

Santiago, 16 de octubre de 2023

ACTA CURSO TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La **Srta. Fabiana Isidora Miranda Molina**, estudiante de Tecnología Médica con Mención Imagenología, Radioterapia y Física Médica, cumpliendo con los requisitos establecidos en el plan de estudio, realizó durante el noveno semestre de la carrera, la Tesis Profesional titulada: “**Evaluación de la dotación de Físicos Médicos en centros de Radioterapia chilenos**”, dirigida por la **Prof. Marianela Hervias**, académica del Departamento de Tecnología Médica, Facultad de Medicina de la Universidad de Chile y el **TM. Fernando Pacheco** Físico Médico del Instituto Nacional del Cáncer.

La Escuela de Tecnología Médica designó para su corrección una Comisión integrada por: **TM. Yaniro Guillén**, Físico Médico del Hospital Base de Valdivia y el **TM. Camilo De la Barra**, Físico Médico del Instituto Nacional del Cáncer.

La calificación obtenida se detalla a continuación:

Corrector 1 TM. Yaniro Guillén	6.82	25%
Corrector 2 TM. Camilo De la Barra	7.00	25%
Tutor(es) Guía:		
Evaluación intermedia	6.50	25%
Nota final tutor	6.6	25%
Nota final tesis profesional	6.73	

En consecuencia el estudiante **Fabiana Isidora Miranda Molina** aprueba satisfactoriamente la asignatura.

PATRICIO FELIPE
RIQUELME CONTRERAS
16.413.786-4
18/10/2023 - 12:33
ESTE DOCUMENTO CONTIENE FIRMA ELECTRÓNICA AVANZADA
<https://ceropapel.uchile.cl/validacion/verificador>
CV: 652ffacab51ef3192a6877e1

Prof. Patricio Riquelme.
Coordinador(a) curso
Trabajo de Investigación

HERNAN RODRIGO
TORRES RIVERA
15.932.579-2
18/10/2023 - 15:14
ESTE DOCUMENTO CONTIENE FIRMA ELECTRÓNICA AVANZADA
<https://ceropapel.uchile.cl/validacion/verificador>
CV: 6530208fb51ef3192a6878cb

Prof. Hernán Torres.
PEC curso
Trabajo de Investigación

Santiago, 16 de octubre de 2023

ACTA CURSO TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La **Srta. Javiera Paz Ramirez Vargas**, estudiante de Tecnología Médica con Mención Imagenología, Radioterapia y Física Médica, cumpliendo con los requisitos establecidos en el plan de estudio, realizó durante el noveno semestre de la carrera, la Tesis Profesional titulada: “**Evaluación de la dotación de Físicos Médicos en centros de Radioterapia chilenos**”, dirigida por la **Prof. Marianela Hervias**, académica del Departamento de Tecnología Médica, Facultad de Medicina de la Universidad de Chile y el **TM. Fernando Pacheco** Físico Médico del Instituto Nacional del Cáncer.

La Escuela de Tecnología Médica designó para su corrección una Comisión integrada por: **TM. Yaniro Guillén**, Físico Médico del Hospital Base de Valdivia y el **TM. Camilo De la Barra**, Físico Médico del Instituto Nacional del Cáncer.

La calificación obtenida se detalla a continuación:

Corrector 1 TM. Yaniro Guillén	6.82	25%
Corrector 2 TM. Camilo De la Barra	7.00	25%
Tutor(es) Guía:		
Evaluación intermedia	6.50	25%
Nota final tutor	6.6	25%
Nota final tesis profesional	6.73	

En consecuencia el estudiante **Javiera Paz Ramirez Vargas** aprueba satisfactoriamente la asignatura.

Prof. Patricio Riquelme.
Coordinador(a) curso
Trabajo de Investigación

Prof. Hernán Torres.
PEC curso
Trabajo de Investigación

A Luna, Venus, Puppy y Madame

Índice

Resumen	2
Abstract	3
Introducción	5
Marco teórico	7
1. Radioterapia.....	7
1.1. Braquiterapia	8
2. Físico Médico.....	9
3. Tecnólogo Médico.....	10
4. Marco legislativo nacional	11
4.1 Norma general técnica N° 51.....	11
4.1.1 Funciones de los Físicos Médicos en un centro de radioterapia según la Norma técnica N° 51	11
4.1.2 Funciones de los Tecnólogos Médicos en un centro de radioterapia según la Norma técnica N° 51.....	12
4.2 Decreto Supremo N°18	12
5. Programa de Evaluación de la Calidad en Radioterapia (PECRT)	13
6. Algoritmos para cálculo de staff	14
6.1. Human Health Report (HHR) No. 1, IAEA: “El físico médico: Criterios y recomendaciones para su formación académica, entrenamiento clínico y certificación en América Latina”	14
6.2. Publicación de la Canadian Organization of Medical Physicist (COMP) 2021.....	17
Objetivos	22
1. Objetivo general	22
2. Objetivos específicos	22
Materiales y métodos	23
1. Diseño.....	23
2. Población en estudio.....	23
3. Muestra.....	23
4. Procedimiento de recolección de datos.....	25
5. Análisis de los datos	26
6. Resguardos éticos	30
Resultados	31
Discusión	39
Conclusiones	44
Bibliografía.....	45
Anexo “Encuesta sobre la actualidad de la Física Médica en el sector de Radioterapia en Chile”	51

Resumen

La radioterapia es una técnica que utiliza radiaciones ionizantes para el tratamiento del cáncer con el objetivo de destruir las células tumorales con el menor daño posible a los tejidos circundantes sanos. Para la implementación de este tratamiento es necesario contar con un equipo multidisciplinario, entre los que se encuentra el físico médico. Para cuantificar la cantidad mínima necesaria de estos profesionales existen algoritmos desarrollados por organismos internacionales, cuya implementación permite estimar la dotación necesaria de personal por centro.

El objetivo de este estudio fue comparar la dotación actual de físicos médicos en Chile con recomendaciones internacionales. Para ello, se realizó un estudio cuantitativo, no experimental transversal y exploratorio mediante la aplicación de cuestionarios basados en 2 algoritmos internacionales a Físicos Médicos que se desempeñan en los 20 establecimientos de radioterapia sometidos a evaluación por el Instituto de Salud pública mediante su Programa de Evaluación de la Calidad en Radioterapia (PECRT).

Se realizó un análisis descriptivo y correlacional para evaluar la dotación real de Físicos Médicos con respecto a las recomendaciones obtenidas. A partir de los datos recopilados y utilizando los algoritmos, se obtuvo una estimación del número requerido de físicos médicos en cada servicio encuestado. Esta información se comparó con la apreciación subjetiva de cada servicio de la cantidad de profesionales requeridos. Se encontraron discrepancias entre las recomendaciones y la dotación real de las instituciones de radioterapia en Chile, con recomendaciones mayores en comparación a la dotación actual. Sería necesario aumentar la dotación de personal en los centros de radioterapia con el fin de cumplir con las recomendaciones internacionales, por lo que se sugiere continuar con la línea investigativa y desarrollar una herramienta de cálculo que se ajuste al contexto chileno.

Abstract

Radiotherapy is a technique that uses ionizing radiation for the treatment of cancer with the aim of destroying tumor cells with the least possible damage to surrounding healthy tissues. For the implementation of this treatment it is necessary to have a multidisciplinary team, among which is the medical physicist. In order to quantify the minimum number of these professionals necessary, there are calculation algorithms developed by international organizations, the implementation of which makes it possible to estimate the necessary number of personnel per center.

The objective of this study was to compare the current staffing of medical physicists in Chile with international recommendations. For this purpose, a quantitative, non-experimental, cross-sectional and exploratory study was carried out by applying questionnaires based on 2 international algorithms to Medical Physicists working in the 20 radiotherapy establishments evaluated by the Institute of Public Health through its Radiotherapy Quality Evaluation Program (PECRT).

A descriptive and correlational analysis was performed to evaluate the actual number of Medical Physicists with respect to the recommendations obtained. From the data collected and using the algorithms, an estimate of the required number of medical physicists in each service surveyed was obtained. This information was compared with each service's assessment of the need for personnel. Discrepancies were found between the recommendations and the actual staffing of radiotherapy institutions in Chile, with higher recommendations compared to the current staffing. It would be necessary to increase the number of staff in radiotherapy centers in order to comply with international recommendations, so it is suggested to continue with the research line and develop a calculation tool that adjusts to the Chilean context.

Palabras clave: Físicos Médicos, Radioterapia, Cálculo de personal.

Introducción

El cáncer es un conjunto de patologías donde células anormales se replican sin mecanismos de control, pudiendo invadir partes adyacentes del cuerpo y diseminarse a otros órganos (1). En Chile el cáncer se posicionó el año 2019 como la primera causa de muerte de la población (2) y se espera que en el año 2040 exista un incremento en su incidencia del 66.5% (3), lo que implicará un aumento en el número de tratamientos que se realizarán a futuro.

Entre las modalidades utilizadas para el tratamiento del cáncer se encuentra la radioterapia, que utiliza radiación ionizante para dañar células malignas provocando que pierdan su capacidad de replicación (4). Con el fin de que la radioterapia se realice de manera segura y reproducible, se requiere de la colaboración de un equipo multidisciplinario, altamente especializado, que permita asegurar la calidad de todo el proceso (5).

Entre los profesionales que se necesitan en un servicio de radioterapia se encuentra el físico médico clínico, quien se encarga de garantizar la calidad y seguridad en la utilización de radiaciones ionizantes. Dentro de sus funciones contempla la protección radiológica de pacientes, trabajadores, público y de instalaciones radiactivas, además de realizar actividades asistenciales, docentes y de investigación (6 p.14).

Debido a que las funciones del físico médico clínico son múltiples y variadas, es indispensable que el número de estos profesionales sea el adecuado para que el servicio funcione de manera correcta y de acuerdo con el volumen de pacientes tratados, la cantidad de equipos disponibles y la complejidad de las técnicas utilizadas.

La determinación de la cantidad mínima de Físicos Médicos que deben participar en las funciones de una unidad de radioterapia para asegurar un funcionamiento de calidad es un

punto importante debido a la gran variabilidad existente en diversos centros de salud (6 p.45). En el documento HHR No. 1 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) de 2010, se establecieron recomendaciones para América Latina donde el número necesario de físicos médicos se determina en función del número de pacientes tratados anualmente (6 p.52), y aunque representó un avance importante para impulsar el escaso número de físicos médicos en la región, actualmente podría haber quedado desactualizado al no considerar las nuevas máquinas de tratamiento, el equipamiento para el control de calidad e implementación de técnicas de tratamiento de alta complejidad. El tema ha sido motivo de investigación y actualmente existen diversos algoritmos que consideran más variables, donde el eje central es el tiempo requerido para desarrollar las funciones.

En el caso particular de Chile, la única legislación referente a este tema es la norma general técnica, N° 51, escrita en el año 2011, donde además de explicitar las funciones del profesional, se indica que debe existir un físico médico por cada dos equipos (7), siendo una primera aproximación que no considera el resto de las aristas que sí tienen en cuenta otros algoritmos. La necesidad de profesionales en Chile no se ha establecido de manera rigurosa, lo que dificulta la generación de políticas de gobierno, la creación de nuevos programas de formación clínica en universidades o el aumento del cupo en las ya existentes.

El objetivo de esta investigación es cuantificar la dotación actual de Físicos Médicos en los centros y servicios de Radioterapia en Chile y comparar los resultados obtenidos con lo recomendado por organismos internacionales.

Marco teórico

1. Radioterapia

La radioterapia es un proceso compuesto por varias etapas que deben desarrollarse secuencialmente para conseguir el objetivo terapéutico en el paciente. Este modelo de atención facilita el orden del proceso y proporciona seguridad y calidad en la atención (8,9). Este tratamiento puede clasificarse según su objetivo, el momento en que se administra y modalidades de aplicación. Según el objetivo, la radioterapia puede clasificarse en curativa o paliativa. Según el momento de aplicación se clasifica en adyuvante, la cual es la radioterapia administrada después de un tratamiento primario; neoadyuvante, si se administra antes de la cirugía; y radioterapia concomitante si la radioterapia es administrada simultáneamente con quimioterapia. La clasificación de la radioterapia según modalidad considera la radioterapia externa mediante el uso de aceleradores lineales; braquiterapia, que consiste en la colocación de fuentes de radiación temporales o permanentes en cavidades del cuerpo; e intraoperatoria, donde la radiación es administrada generalmente mediante haces de electrones o rayos x de baja energía en condiciones intraoperatorias en el lecho tumoral, justo después de la resección del tumor primario (10).

En toda instalación donde se realice radioterapia se debe contar con un equipo multidisciplinario que cuente con competencias certificadas y demostrables para garantizar la calidad y seguridad en el tratamiento. El personal está conformado típicamente por un equipo clínico interdisciplinario que cuenta con un director médico, médicos radioterapeutas, físicos médicos, dosimetristas y enfermeras/os (5). En Chile, la norma técnica N° 51 establece que todo servicio de radioterapia, independiente de su tamaño, debe disponer con personal correspondiente a jefe de servicio, médico

radioterapeuta, médico anesthesiólogo, físico médico, tecnólogo médico, enfermera/o, técnico paramédico, secretaria/o, auxiliar de servicio, trabajador social, psicólogo y nutricionista (7). Adicionalmente, los trabajadores ocupacionalmente expuestos deben contar con una autorización del Ministerio de Salud (Autorización de desempeño) y los operadores de equipos generadores de radiación ionizante deben contar, además, con una autorización de operación dada por la Comisión Chilena de Energía Nuclear, la cual depende del Ministerio de Energía.

En Chile se encuentran actualmente 24 establecimientos que realizan radioterapia sometidos a evaluación por el Instituto de Salud pública mediante su Programa de Evaluación de la Calidad en Radioterapia (PECRT), donde 9 de ellos son públicos (11), en ellos existen 7 centros habilitados para teleterapia, 4 para braquiterapia de alta y 1 para braquiterapia de baja dosis (12 p.89). Cuatro de estos establecimientos no cuentan con la unidad de radioterapia operativa. La cantidad de instituciones donde se realiza radioterapia debería aumentar, al menos en el sector público, ya que se tiene planeado que la red cuente con 16 centros de Radioterapia al 2028 según el Plan Nacional del Cáncer (12 p.111).

1.1. Braquiterapia

La Braquiterapia se puede definir como “Un tratamiento de corta distancia del cáncer con radiación procedente de pequeñas fuentes (semillas) de radionúclidos encapsuladas” (13). Este tratamiento se realiza de forma tal que el paciente es expuesto a radiación ionizante de forma directa, ya que la fuente se ubica en el volumen que se trata o cerca de él.

La braquiterapia se puede clasificar según la posición de la fuente, donde, si la fuente se ubica directamente en el tejido será una braquiterapia intersticial, si se ubica en una cavidad cercana al tejido será una braquiterapia intracavitaria, si es dentro de un lumen intraluminal y en un vaso sanguíneo intravascular (14 p.13). También se puede clasificar según su duración (temporal si es solo durante un tiempo o permanente si es de forma extendida) y según la dosis que se da, en esta clasificación existe la Braquiterapia LDR (en el rango de 0.4 - 2 Gy/hr), MDR (en el rango de 2-12 Gy/hr) y HDR (sobre 12 Gy/hr) (14 p. 14).

La administración de braquiterapia HDR requiere de un personal mínimo consistente en un médico oncólogo radioterapeuta, un físico médico, un tecnólogo radioterapeuta y personal de enfermería (15). Debido a las altas tasas de dosis administradas durante los tratamientos de braquiterapia HDR, es importante que el físico médico esté presente en los inicios de los tratamientos (16 p.5). También durante las inserciones de los aplicadores, donde la presencia de personal interdisciplinario dependerá de las políticas de cada centro de radioterapia y de la complejidad del tratamiento (16 p.9).

2. Físico Médico

Los Físicos Médicos son profesionales con una titulación de postgrado, que les permite trabajar en el ámbito de la investigación en las áreas de radiodiagnóstico, medicina nuclear y radioterapia (17). El Físico Médico también puede desarrollar sus funciones en la clínica, aunque, para lograrlo debe recibir un entrenamiento clínico (18). La Física Médica es una rama de la física aplicada que emplea conceptos físicos para la prevención, diagnóstico y tratamiento de las enfermedades humanas (19).

La IAEA (*International Atomic Energy Agency*) establece criterios y recomendaciones para la formación de físicos médicos clínicos, los cuales incluyen un grado universitario en física o ciencias físicas equivalentes, formación académica de postgrado en la rama de la física más un entrenamiento clínico de al menos dos años (6 p.35). En Chile existen programas de pregrado y postgrado de formación en el área de la física médica y sólo un programa de formación de físicos médicos con entrenamiento clínico, este programa es impartido por la Universidad de la Frontera y consiste en un magister de 5 semestres de duración, el cual contempla un año de residencia hospitalaria (20).

3. Tecnólogo Médico

El Tecnólogo Médico con mención en imagenología y física médica es un profesional con título universitario certificado y reconocido por el Estado chileno, capacitado para cumplir con funciones asistenciales, aplicando sus conocimientos científicos y la tecnología en biomedicina para mejorar la salud y calidad de vida de las personas, de investigación, contribuyendo al desarrollo de su disciplina y salud pública, educativas, fomentando la prevención y promoción de la salud en la población, y de gestión administrativa con aseguramiento de la calidad para favorecer la eficiencia, eficacia y confiabilidad de sus labores profesionales (21).

Su formación se extiende a lo largo de 10 semestres y se fundamenta en una sólida base de conocimientos en materia de física médica (21, 22, 23), permitiéndole optar a postgrados relacionados, entre los que se incluye magíster en física médica (20, 24, 25). Al incorporarse a trabajar por primera vez a un servicio de radioterapia, debe recibir una capacitación de al menos 6 meses en dicho servicio. (7 p.21)

4. Marco legislativo nacional

4.1 Norma general técnica N° 51

La norma general técnica N° 51 es la normativa nacional que establece las condiciones mínimas de infraestructura y funcionamiento con las que debe cumplir todo establecimiento de radioterapia en Chile, cuyo objetivo es sentar criterios indispensables y exigibles que aseguren la calidad de los tratamientos de radioterapia, así como también de la protección radiológica para pacientes, personal de salud, público y medio ambiente (7 p.59). La norma considera aspectos de infraestructura, equipamiento, control de calidad y recursos humanos, con respecto a este último punto, se indican las funciones, responsabilidades y los requerimientos del personal, los cuales deben adecuarse a la cantidad de pacientes tratados, equipamiento disponible y a la complejidad de las técnicas utilizadas (7 p.59). En relación con el número de físicos médicos, se requiere que por centro de radioterapia exista uno cada dos equipos (7 p.59).

4.1.1 Funciones de los Físicos Médicos en un centro de radioterapia según la Norma técnica N° 51

Las funciones que deben cumplir los físicos médicos en radioterapia son: participar en el diseño de la instalaciones, con el cálculo de blindaje, aseguran requisitos de seguridad radiológica, son los responsable de los controles de calidad en equipos de teleterapia y braquiterapia, además realizan las pruebas de aceptación de estos equipos y establecen el estado de referencia inicial, calibran los equipos de radioterapia, garantizan que los datos de haces terapéuticos y fuentes radiactivas sean introducidos de forma adecuada, también del establecimiento de procedimientos de cálculo de dosis y su

verificación, se encargan del estudio dosimétrico y cálculo de dosis, revisan y aprueban los planes de tratamiento, deben elaborar y supervisar el programa de mantención preventiva y correctiva de los equipos y por último, desarrollan actividades de educación, información, capacitación e investigación.

4.1.2 Funciones de los Tecnólogos Médicos en un centro de radioterapia según la Norma técnica N° 51

Las funciones de los Tecnólogos Médicos en un centro de radioterapia consisten en participar en la simulación y realización de tratamientos de radioterapia bajo indicación médica, ser responsables del uso adecuado del equipo de tratamiento y del proceso de imágenes, colaborar en estudios dosimétricos, revisar planes de tratamiento y preparar fuentes radioactivas para braquiterapia. Deben conocer y aplicar regulaciones de radioprotección, realizar labores de control de calidad y colaborar con el Físico Médico. Además, desarrollan actividades educativas, informativas, de entrenamiento e investigación. (7 p. 21)

4.2 Decreto Supremo N°18

El Decreto N°18 se dicta teniendo en cuenta la necesidad de regular las actividades de los establecimientos donde se provee radioterapia, con el objeto de resguardar la salud de las personas que se atienden y laboran. En esta legislación se establece que el físico médico es un profesional con posgrado en el área de la física médica, con capacitación en la radioterapia de 6 meses en un centro de radioterapia (26 p.6). Igualmente, indica que este profesional es el encargado de realizar las pruebas de aceptación de los equipos (26 p.4).

5. Programa de Evaluación de la Calidad en Radioterapia (PECRT)

La creación de este programa se debe a la entrada en vigencia del Decreto Supremo N°18, en donde el artículo 3° establece que el Instituto de Salud Pública de Chile es el encargado de supervisar la calidad de la provisión de radioterapia en cuanto a la cualidad de la misma, en la calidad de los equipos y de las fuentes empleadas (26 p.2) y que para cumplir con este objetivo, debe generarse un programa de evaluación de la calidad, en el que deberán participar todos los servicios de radioterapia autorizados, ya sean públicos o privados (26 p.3).

Las funciones de este programa se establecen en las bases técnicas del Programa de Evaluación de la Calidad en Radioterapia (PECRT), las cuales consisten en: establecer directrices para el control y verificación de los equipos y dispositivos médicos asociados a radioterapia, verificar la infraestructura técnica de los establecimientos de radioterapia, contribuir al fortalecimiento de los programas de garantía de calidad (PGC) y realizar intervenciones para el control adecuado de estos establecimientos (27 p.4). Para la evaluación del cumplimiento de los objetivos, se separaron los establecimientos de radioterapia en dos grupos (A y B) y las evaluaciones en cada establecimiento se alternan según un calendario establecido, en modalidad presencial o remota (fichas y documentos) (27 p.6). Los temas por evaluar son la infraestructura técnica y equipamiento, además de la implementación del programa de garantía de calidad del establecimiento.

Los resultados de las evaluaciones se presentan en informes y se envían al director técnico de cada establecimiento, con copia al físico médico responsable. Todo hallazgo crítico que se detecte debe informarse para su fiscalización a la SEREMI de Salud, con copia a la Subsecretaría de Salud Pública (27 p.10).

6. Algoritmos para cálculo de staff

6.1. Human Health Report (HHR) No. 1, IAEA: “El físico médico: Criterios y recomendaciones para su formación académica, entrenamiento clínico y certificación en América Latina”

En esta publicación de la OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica), se toman varias aristas de la profesión, una de ellas es el requerimiento de recursos humanos de la misma. En cuanto a la unidad de Radioterapia, de forma general, recomienda varios tipos de cálculo de organizaciones distintas para estimar el número de profesionales idóneo (Instituto de física e ingeniería en medicina del Reino Unido, la Sociedad Española de Física Médica y la publicación STI/PUB/1296 del OIEA) y los compara en un ejemplo de un servicio de Radioterapia avanzado y uno básico, teniendo como antecedente que la persona se dedica a esta labor 40 horas a la semana (6 p.49). Ahora bien, la recomendación de cálculo específica para Latinoamérica tiene como base el que se realice una mayor cantidad de tratamientos paliativos (6 p.52) y la presencia del dosimetrista, un técnico profesional, como acompañante del Físico Médico. La estimación se realiza a través del cálculo manual, considerando un índice para cada tarea especificada, para ello, se recomienda emplear el cuadro incluido en el apéndice C-1 de esta publicación, mostrado a continuación en la tabla 1 con un ejemplo específico. Esta herramienta será referida como “HHR No. 1” en el resto de la investigación.

Tabla 1. Estimación de Recursos Humanos para un servicio de Radioterapia (ejemplo)(6 p.69).

	Componente	Cantidad	Coeficientes recomendados		Personal requerido		
			Dosimetrista/ componente	Físico/ componente	Dosimetristas	Físicos Médicos	
Equipos fuentes y sistemas	Acelerador multi-energético	3	0.2 + 0.005K (*)	0.4 + 0.1K (*)	0.6	1.2	
	Acelerador monoenergético	1	0.15 + 0.005K (*)	0.3 + 0.1K (*)	0.15	0.3	
	Unidad de Cobalto, IMRT, PACS	3	0.1	0.2	0.3	0.6	
	Unidad de ortovoltaje y superficial	1	0.05	0.1	0.05	0.1	
	Braquiterapia manual y diferida LDR	1	0.1	0.15		0.15	
	Braquiterapia HDR	2	0.1	0.25	0.2	0.5	
	Simulador, CT-simulador	2	0.1	0.25	0.2	0.5	
	Sistema de planificación	2	0.1	0.25	0.2	0.5	
	Sistema de planeación HDR	2	0.1	0.15	0.2	0.3	
	RT externa con planeación	600	0.2	0.15	1.2	0.9	
	Pacientes	RT externa con planeación 3D	600	0.2	0.15	1.2	0.9
		RT externa con planeación convencional	1400	0.1	0.08	1.4	1.12
Braquiterapia con fuentes selladas		300	0.4	0.2	1.2	0.6	
Terapia con fuentes no selladas		100	0.5	0.5	0.5	0.5	
IMRT, RCE, TBI		100	0.6	0.4	0.6	0.4	
Otras		Formación y docencia	4	0.1	0.15	0.4	0.6
		Informes internos	10	0.03	0.03	0.3	0.3
	Comisiones y reuniones	3	0.05	0.05	0.15	0.15	
	Administración y gestión	1	1	0.2	1	0.2	
Total					8.5	8.8	
<i>Corrección por economía de escala</i>							
<i>M=0.68N +2</i>					8	8	
(*)= K es el número de elementos adicionales con que cuenta el acelerador: MLC, EPID, colimadores para RCE, aplicadores para intraoperatorias, sistemas de irradiación corporal total, cuñas virtuales/dinámicas.							
(**)= Los coeficientes de esta sección del cuadro corresponden a 100 tratamientos/año. Esto es, el número de físicos se obtiene dividiendo la cantidad de pacientes por 100, y multiplicando por el coeficiente correspondiente							

En caso de no contar en el servicio de la figura del dosimetrista, los factores usados para el cálculo de físicos deben incrementarse en un 50% de los correspondientes a los dosimetristas.

A continuación, los cálculos se realizan considerando los equipamientos y tratamientos, tanto de un servicio de radioterapia básico como de uno avanzado. Se considera que un servicio básico cuenta con 3 unidades de cobalto, 1 simulador convencional, 1 sistema de planificación 2D y realiza 1600 tratamientos al año. Por otro lado, un servicio avanzado cuenta con 3 aceleradores lineales multienergéticos, 1 simulador TC, 1 sistema de planificación 3D y realiza, al igual que un servicio básico, 1600 tratamientos al año, distribuidos en 600 con planificación 3D, 100 con IMRT y 100 con RCE (6 p.40). Los valores para físicos médicos obtenidos se muestran en el cuadro de la Figura 2.

Tabla 2. Personal de Física Médica en Radioterapia (6 p.45).

Servicio de radioterapia (definiciones en 6.1.1)	Personal de Física Médica		
	Físicos Médicos	Personal de Apoyo (dosimetristas)	Total
Avanzado	4.6	5.2	9.8
Básico	2.1	2.4	4.5
Avanzado (en ausencia de dosimetristas)	7.5	—	7.5
Básico (en ausencia de dosimetristas)	3.4	—	3.4

Notas: Estos son los resultados del ejemplo anterior en radioterapia. Tomada desde "HHR No. 1", IAEA.

6.2. Publicación de la Canadian Organization of Medical Physicist (COMP) 2021

Este estudio actualiza el algoritmo creado en 2012 (“Ontario-2012”) publicado igualmente en *Journal of Applied Clinical Medical Physics* (JACMP), debido a las discrepancias existentes en los resultados del último, debido al avance de la tecnología y ambigüedades en la hoja de cálculo (28), por lo que se volvió a construir en base a nuevas encuestas realizadas en centros oncológicos canadienses, con nuevos parámetros de cálculo. Con esta información se construyeron coeficientes de carga específicos para la carga de cada trabajo que realiza el personal. Este algoritmo, desde ahora referido como “COMP 2021”, permite el cálculo de la dotación de personal de Físicos Médicos y asistentes para un uso generalizado de varios tipos de centros (tanto básicos como avanzados). La figura del “asistente” hace referencia a cualquier profesional se encargue de parte definida del control de calidad y tareas específicas bajo la supervisión del Físico Médico, más no de la planificación del tratamiento, pues eso sigue siendo labor del dosimetrista, que no se considera en este algoritmo.

El cálculo se realiza usando un índice llamado “Equivalente a tiempo completo” o por sus siglas en inglés “FTE” (*Full time-equivalent*), considera que el tiempo completo es 37.5 horas a la semana, y fue descrito en la versión del año 2012. Este índice corresponde al tiempo de trabajo pagado a un empleado a tiempo completo durante un año, en Ontario y se interpreta como la fracción del tiempo anual remunerado que un empleado debe dedicar para completar un número específico de tareas (29 p.6).

El cálculo de este índice, para una tarea específica (T), la fracción de FTE para el personal (P), que completa N procedimientos viene dado por la siguiente ecuación (29 p.6):

$$FTE (P, N, T) = \frac{N^{\circ} \text{ procedimientos del tipo } T \text{ por año} \times \text{ tiempo requerido por procedimiento}}{\text{ tiempo de trabajo remunerado por año}}$$

El resultado de esta fórmula proporciona una medida fraccional que representa cuánto tiempo remunerado anualmente un empleado a tiempo completo debe dedicar para completar N procedimientos del tipo T.

El FTE total será entonces, la suma de todos los FTE para el conjunto de tareas de tipo T necesarias para la carga del trabajo clínico anual.

Para la aplicación práctica de este método, se utiliza una cuadrícula de FTE ponderados para cada tipo de procedimiento (T) y tipo de personal (P). Cada FTE ponderado describe un número estandarizado específico “n” de procedimientos clínicos que el personal (P) debe realizar (p. ej. 0,08 FTE de físicos médicos por cada 1000 planificaciones) o en soporte de un número estandarizado específico de equipos de radioterapia (p. ej. 0.6 FTE de físicos médicos por cada acelerador lineal) (29 p. 9). El cálculo del FTE ponderado puede derivarse de la primera ecuación, ajustando “n”:

$$FTE \text{ ponderado } (P, n, T) = FTE (P, n, T)$$

$$FTE \text{ ponderado } (P, n, T) = \frac{(n \text{ procedimientos del tipo } T \text{ por año}) \times n}{\text{ tiempo de trabajo remunerado por año}}$$

Donde "n" es el número estandarizado determinado por el tiempo requerido por procedimiento. Finalmente, considerando lo anterior, la demanda de FTE para "N" procedimientos completados efectivamente en un año de trabajo se obtiene reajustando la primera ecuación utilizando el FTE ponderado (29 p. 9):

$$FTE (P, N, T) = \frac{FTE \text{ ponderado } (P, n, T) \times N}{n}$$

Así el número total de FTE luego de haber considerado todas las actividades necesarias en una unidad de radioterapia será el número recomendado de Físicos Médicos mínimos que deben trabajar para que su funcionamiento sea seguro.

Tabla 3. (FTE) ponderados para los componentes de procedimientos clínicos y de equipos clínicos del algoritmo de dotación de personal COMP 2021 (28 p.9).

Ítem ^a	Normalización del factor según	Ponderación de FTE				
		Físico Médico	Asistente	Ingeniero eléctrico	Ingeniero Mecánico	Apoyo informático
Procedimientos Clínicos						
Casos anuales tratados con radiación (todas las modalidades)	1000 casos	0.5	0.2	0.1	0.05	0.1
Casos complejos (25% de los casos anuales por defecto)	100 casos	0.1	0.05	0.02	0.01	0.02
Casos altamente especializados (1% de los casos anuales por defecto)	100 casos	0.25	0.12	0.05	0.02	0.05
Fracciones de Braquiterapia anuales	100 fracciones	0.2	0.05	0.01	0.01	0.01
Equipamiento Clínico						
<i>Unidades de tratamiento de Megavoltaje (MV)</i>						
LINACs (gantry o robótico), unidades Gamma Knife	unidad	0.2	0.2	0.25	0.05	0.03
LINACs RM	unidad	0.4	0.4	0.5	0.1	0.06
Aceleradores de Protones	unidad	2	1	0.5	0.1	0.06
<i>Equipamiento principal</i>						
SPT (haz externo, braquiterapia, etc.)	sistema ^b	0.1	0.05	0	0	0.03
ROIS	sistema ^b	0.1	0.05	0	0	0.2
Simulators (4DCT, RM or PET-TC), HDR units	unidad	0.1	0.05	0.15	0.03	0.03
<i>Equipamiento secundario</i>						
Software de cálculo de dosis secundarias	sistema ^b	0.05	0.03	0	0	0.03
Sets de colimadores SRS (cono), Unidades de Cobalto-60	unidad	0.05	0.03	0.1	0.03	0
Programa de implantes unidades/semillas LDR, ortovoltaje, unidades ultrasonido, simulador Rayos x (convencional), arco en C, sistemas de control por movimiento o gatillado respiratorio	unidad o sistema ^b	0.05	0.03	0.1	0.03	0.03
Equipos de control de calidad	Centro de cáncer	0.2	0.12	0.2	0.06	0.12
Especificación, evaluación y aceptación de equipamiento	MV, equipamiento principal y secundario	2.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Funciones del responsable de concesión de licencias y seguridad radiológica	Aparato o programa regulado ^c	0.025	0	0	0	0
Formación del personal clínico en el funcionamiento de los equipos	Linac y TPS	0.02	0	0	0	0
^a 4DCT, <i>Four-Dimensional Computed Tomography</i> ; HDR, <i>High Dose Rate</i> ; LDR, <i>Low Dose Rate</i> ; RM Resonancia Magnética; TC, Tomografía Computarizada; TEP, Tomografía por Emisión de Positrones; ROIS, <i>Radiation Oncology Information System</i> ; SRS, <i>Stereotactic Radiosurgery</i> ; SPT, Sistema de Planificación de Tratamiento.						
^b Un sistema se caracteriza por tener un único proveedor, independientemente del número de unidades o estaciones de trabajo.						
^c Los dispositivos o programas regulados incluyen aquellos que requieren una licencia nacional o provincial específica antes de su uso clínico (e.g., LINACs, LDR braquiterapia, etc.).						

Tabla 4. (FTE) ponderados para los componentes de servicios básicos, educación/capacitación y administración del algoritmo de dotación de personal COMP 2021 (28 p.10).

Ítem	Normalización del factor según	Ponderación de FTE				
		Físicos Médicos	Asistente	Ingeniero Eléctrico	Ingeniero Mecánico	Apoyo Informático
Servicios centrales						
Desarrollo de procedimientos clínicos, implementación y mantenimiento	FTE de equipamiento y procedimientos	20.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Investigación en caso de incidentes y supervisión del control de calidad	1000 casos	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Educación y capacitaciones (*)						
Residentes Físicos Médicos Clínicos	Residentes	0.10	0.025	0.00	0.00	0.00
Estudiantes de radioterapia y estudiantes de pregrado	Estudiantes	0.02	0.005	0.00	0.00	0.00
Residentes de oncología radioterápica	Residentes	0.01	0.000	0.00	0.00	0.00
Estudiantes graduados (Magíster y doctorados)	Estudiantes	0.10	0.025	0.00	0.00	0.00
Enseñanza en el aula (Cursos de un semestre)	Cursos	0.06	0.000	0.00	0.00	0.00
Administración						
Carga de trabajo administrativo aplicada al jefe de departamento y a los supervisores (la suma de esta fila se aplica al FTE del físico)	FTE del Personal	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02
Reemplazo de vacaciones, feriados y en caso de ser necesario, formación continúa	FTE del Personal	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Se añade un valor de referencia adicional de 0,1 FTE de Físico Médico a las filas de residentes de Física Médica Clínica, residentes de oncología radioterápica y estudiantes de posgrado para tener en cuenta la infraestructura y administración general del programa (aplicable sólo si el recuento de estudiantes es >0 en la categoría dada).						

Objetivos

1. Objetivo general

Comparar la dotación actual de físicos médicos en los centros y servicios de Radioterapia en Chile con recomendaciones internacionales.

2. Objetivos específicos

- Construir una base de datos actualizada con los datos obtenidos en el cuestionario aplicado.
- Evaluar, mediante la aplicación de cuestionarios, la dotación actual de físicos médicos en centros de radioterapia en Chile.
- Estimar la cantidad de físicos médicos necesarios por centro según recomendaciones internacionales, empleando herramientas de cálculos ya existentes.

Materiales y métodos

1. Diseño

Para resolver la pregunta de investigación se realizó un estudio de tipo cuantitativo, no experimental transversal y exploratorio. Se escoge este diseño en consideración de la limitada literatura que posee el tema de investigación, y que para la realización de análisis más completos se necesita tener una base de datos actualizada.

2. Población en estudio

La población en estudio correspondió a Físicos Médicos que se desempeñan en los 20 establecimientos de radioterapia operativos que han sido evaluados, en Agosto del año 2022, en el Programa de Evaluación de la Calidad en Radioterapia (PECRT) del Instituto de Salud Pública durante el año 2023.

3. Muestra

La encuesta realizada se envió a Físico Médicos en 20 instituciones, públicas y privadas, que contarán con servicio de Radioterapia operativo dentro del territorio nacional. Se recibieron respuestas de 12 instituciones.

Tabla 6. Establecimientos de Radioterapia Integrados al Programa de Evaluación de la Calidad de Radioterapia (PECRT) del Instituto de Salud Pública de Chile (11).

N°	Región	Establecimientos de Radioterapia	Tipo de Entidad
1	II	Centro Odontológico del Norte	Público
2	V	Hospital Carlos Van Buren	Público
3		Instituto Oncológico Ltda./Clínica Reñaca S.A.	Privado
4		Instituto Oncológico Ltda./Hospital Naval Almirante Nef	Privado
5	RM	Instituto Nacional del Cáncer/Sede Norte	Público
6		Instituto Nacional del Cáncer/Sede Sur	Público
7		Red de Salud UC CHRISTUS/Centro de Cáncer UC Marcoleta	Privado
8		Red de Salud UC CHRISTUS/Centro de Cáncer UC Clínica San Carlos de Apoquindo	Privado
9		Clínica Alemana de Santiago	Privado
10		Centro Gamma Knife/Hospital Militar de Santiago	Privado
11		Clínica Las Condes	Privado
12		Instituto de Radiomedicina de Chile (IRAM)	Privado
13		Fundación Arturo López Pérez (FALP)	Privado
14		Radio Nuclear	Privado
15		Instituto Radio-Oncológico de Santiago (INRAD)	Privado
16	Clínica Dávila	Privado	
17	VI	Oncología Rancagua Individual E.I.R.L	Privado
18	VII	Hospital Regional de Talca "Dr. César Garavagno Burotto"	Público
19	VIII	Hospital Regional de Concepción "Dr. Guillermo Grant Benavente" (HGGB)	Público
20		HGGB Sede Talcahuano/Hospital Las Higueras	Público
21		Servicio de Oncología Regional Ltda./Clínica Sanatorio Alemán	Privado
22	IX	Clínica ICOS Inmunomédica	Privado
23	XIV	Hospital Base de Valdivia	Público
24	XII	Hospital Clínico de Magallanes "Dr. Lautaro Navarro Avaria"	Público

4. Procedimiento de recolección de datos

Se utilizaron dos algoritmos para la estimación de Recursos Humanos en Física Médica en servicios de radioterapia. En primer lugar, el publicado en el HHR No. 1 de la IAEA, obtenido a través de la página web de la misma. El segundo algoritmo utilizado fue el elaborado por la COMP el 2021, el cual fue amablemente facilitado por el Dr Kyle Makolske, uno de los autores del artículo, vía comunicación directa.

Para la obtención de los datos se elaboró una encuesta de 38 preguntas a través de Google Forms, construida reuniendo los puntos en común que poseían los dos algoritmos referidos. Además, se recibió retroalimentación del Instituto Nacional del Cáncer (INC), tras lo cuál se rediseñaron ciertos aspectos. El ítem "Radiation Therapy students and undergraduate term students" se interpretó como como "Cantidad de alumnos de Tecnología Médica en práctica". Se explicitó que por "reuniones" se consideraba aquellas instancias fijadas semanalmente y no aquellas que fueran puntuales, y que por "informes" solo se considerarían aquellos que debieran entregarse con regularidad.

Se contactó a Físicos Médicos que se desempeñarán en unidades de Radioterapia en los centros asociados al PECRT para extenderles la invitación a la participación del estudio. Se envió por correo electrónico la encuesta a aquellos que aceptaron participar. Se recibieron 18 respuestas correspondientes a 12 instituciones.

5. Análisis de los datos

El análisis de datos en esta investigación fue por una parte descriptivo y por otra correlacional, esto con el objetivo de entender la situación actual en la que se encuentra la dotación de Físicos Médicos en los centros de Radioterapia Chilenos con respecto a las recomendaciones internacionales.

En primer lugar, se utilizaron los algoritmos internacionales para calcular los FTE recomendados. La herramienta de la COMP 2021 facilitada por Kyle Makolske se encontraba habilitada para su uso inmediato. El algoritmo de la IAEA en el documento del HHR No. 1 no se encuentra adjunto, solo presenta ejemplos del uso del mismo, por lo que se elaboró en Microsoft Excel una herramienta para el cálculo de los FTE recomendados, de acuerdo al ejemplo otorgado en el apéndice C-1 de la publicación (Tabla N°1), omitiendo el cálculo de los dosimetristas.

Luego, para cada centro se calcularon las recomendaciones de ambos algoritmos, las cuales fueron registradas junto con su dotación real y la dotación recomendada por el Físico Médico que realizó la encuesta. Con estas recomendaciones se procedió a la segunda parte de la investigación: el análisis de datos, el cual se dividió en cuatro ejes.

En el primer eje se normalizaron los datos de las recomendaciones con el fin de compararlos. Se analizaron tanto todos los centros en conjunto como comparando a las instituciones del sistema público con el privado.

En el segundo eje se compararon la cantidad de Físicos Médicos contratados y la cantidad de pacientes, equipos y exámenes que se realizaban en la institución.

En el tercer eje se comparó el algoritmo de la COMP 2021 y el HHR No. 1, escogiendo los componentes comunes utilizados en ambos algoritmos con sus respectivos factores FTE. Esta comparación fue realizada a través de diferentes escenarios contruidos arbitrariamente, los cuales fueron: cantidad de equipos LINACS, procedimientos clínicos, administración y docencia.

Para el cálculo del factor FTE en el componente de equipos LINACS, el algoritmo COMP 2021 entrega a los LINACS estándar, en anillo y robótico un factor FTE único de 0,2 (28 p.9). Por otro lado, el algoritmo HHR No. 1 distingue entre LINACS monoenergético y multi energético, asignándoles distintos valores FTE (de 0,4 y 0,3 respectivamente) (6 p.69).

Para el cálculo del factor FTE en el componente de los procedimientos clínicos, el algoritmo COMP 2021 le otorga factor FTE único (0,5 FTE por cada 1000 casos tratados) (28 p.9) a todos los procedimientos que utilizan radiación ionizante. En contraste, el algoritmo HHR No. 1 clasifica los procedimientos clínicos en braquiterapia y teleterapia, dividiendo además teleterapia según modalidades en radioterapia con planeación convencional (FTE 0,08), radioterapia con planeación 3D (FTE 0,15) y IMRT, RCE, TBI (FTE 0,4) (6 p.69).

Para el cálculo del factor FTE en el componente de administración, en el algoritmo COMP 2021 no se incluyen celdas en la hoja de cálculo para ingresar datos relacionados con la administración, por lo tanto, es un valor predeterminado por defecto, no es posible alterar directamente estos valores. El algoritmo HHR No. 1

asigna FTEs específicos considerando informes internos (FTE 0,03), comisiones y reuniones a la semana (FTE 0,05) (6 p.69).

Por último, para el cálculo del factor FTE en el componente de docencia, el algoritmo COMP 2021 asigna factores FTE diferentes según el nivel de formación de estudiante, con un menor FTE a los estudiantes de tecnología médica (factor FTE 0,02, sin peso de base) y con mayor FTE a los estudiantes de postgrado (FTE 0,1), residentes (FTE 0,1) y becados radioterapeutas (FTE 0,01), cada uno con un peso base de 0,1 (28 p.10). El algoritmo HHR No. 1 no considera tipo de estudiante y entrega un factor FTE de 0,15 por estudiante, sin diferenciar su nivel de formación o especialización(6 p.69).

En cuanto al cuarto y último eje, se evaluó si al poseer dos equipos de radioterapia se mantenía estable el número de Físicos Médicos recomendado por los algoritmos, aún con la variación del resto de componentes. Para ello se elaboraron arbitrariamente 12 escenarios, en los cuales se modificaron las siguientes variables: el tipo de equipos que poseía la unidad; el número de fracciones en braquiterapia (en los casos que correspondiera); la cantidad de softwares de planificación de tratamiento y de verificación de dosis; y la cantidad de estudiantes de Tecnología Médica de pre-grado, de Físicos Médicos realizando su internado clínico y de becados en oncología (Tabla 7).

Tabla 7. Detalle de los casos construidos.

Caso 1	2 LINACs multi energéticos (1000 pacientes por año), con dos softwares diferentes de planificación de tratamiento, un simulador con Tomografía Computada (TC), un programa de verificación de dosis.
Caso 2	2 LINACs mono energéticos (1000 pacientes por año), con dos softwares diferentes de planificación de tratamiento, un simulador TC, un programa de verificación de dosis.
Caso 3	1 LINAC Multi Energético , 1 equipo de HDR (400 fracciones anuales, 100 pacientes), 1000 pacientes por año en total, con un software diferente de planificación de tratamiento para terapia de haces externo y otro para braquiterapia, un simulador TC, un programa de verificación de dosis.
Caso 4	1 LINAC Monoenergético , 1 equipo de HDR (400 fracciones anuales, 100 pacientes), 1000 pacientes por año en total, con un software diferentes de planificación de tratamiento para terapia de haces externo y otro para braquiterapia, un simulador TC, un programa de verificación de dosis.
Caso 5	1 equipo HDR, 1 equipo LDR, 1000 pacientes, 800 pacientes atendidos con HDR y 200 con LDR (600 fracciones), 2 software de planificación y 1 de verificación de dosis.
Caso 6	2 equipos HDR (1000 pacientes, 600 fracciones anuales), 1 software de planificación, 1 programa de verificación de dosis.
Caso 7	1 LINAC estándar, 1 equipo de tomoterapia, 1000 pacientes, 1 simulador TC, 2 software de planificación, 1 software de ROIS y 1 de verificación de dosis.
Caso 8	1 LINAC estándar, 1 equipo robótico (cyber/gamma knife), 1000 pacientes, 1 simulador TC, 2 software de planificación, 1 software de ROIS, y 1 de verificación de dosis.
Caso 9	2 LINACs Multi Energéticos (1000 pacientes por año), con dos softwares diferentes de planificación de tratamiento, un software de ROIS, un simulador TC, un programa de verificación de dosis y 4 residentes de Física Médica clínica.
Caso 10	2 LINACS multi energéticos (1000 pacientes por año), con dos softwares diferentes de planificación de tratamiento, un software de ROIS, un simulador TC, un programa de verificación de dosis y 4 alumnos de pregrado.
Caso 11	1 LINAC multi energético (900 pacientes al año) y 1 HDR (100 pacientes por año, 310 fracciones al año), con dos softwares diferentes de planificación de tratamiento (uno por Equipo), dos softwares de ROIS, un simulador TC, dos programas de verificación de dosis, un equipo de gatillado por respiración, 2 alumnos de posgrado, 8 de pregrado (1 por semestre) y dos becados clínicos.
Caso 12	2 LINACS Mono Energéticos (850 pacientes por año), con un software de planificación de tratamiento, un simulador TC, un programa de verificación de dosis.

6. Resguardos éticos

Este estudio no trabajó con datos sensibles de participantes, por lo que no fue necesario gestionar una evaluación con un comité de ética. Se indicó en el cuestionario que la participación es enteramente voluntaria y que los participantes podían retirar sus respuestas si lo estimaban conveniente. Por último, se aseguró que los resultados serán facilitados.

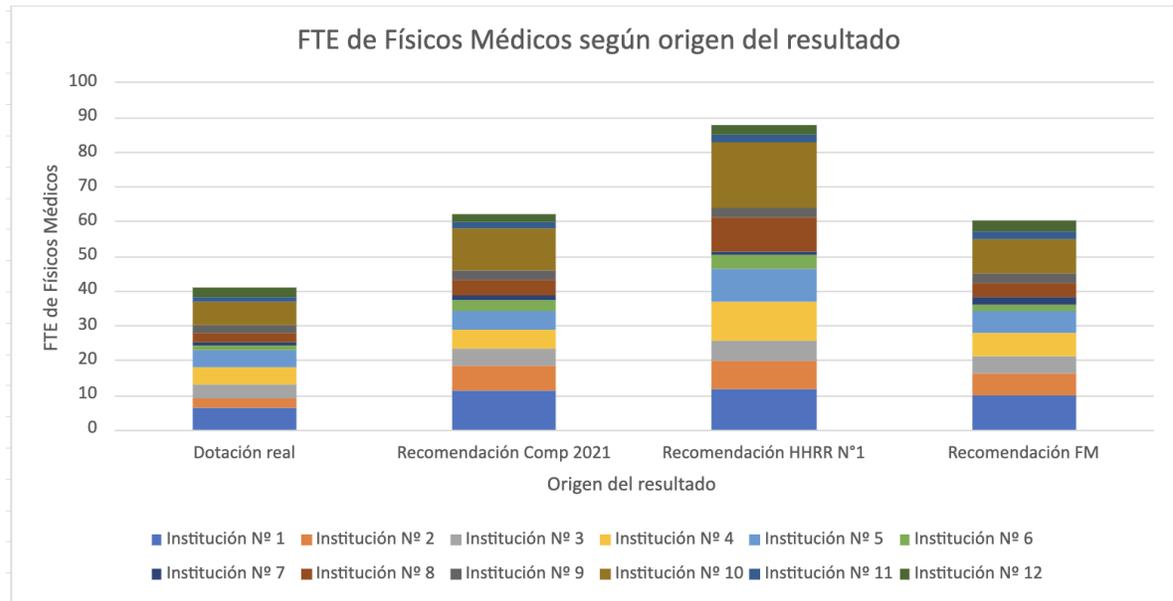
Resultados

12 instituciones respondieron la encuesta, lo que corresponde al 60% de las instituciones contactadas. Con los datos obtenidos desde los cuestionarios y mediante la aplicación de las herramientas de cálculo mencionadas anteriormente, se obtuvo un FTE de físicos médicos para cada una de las instituciones encuestadas. La Tabla 7 muestra las recomendaciones de FTE proporcionadas por los algoritmos, junto a la dotación real y la recomendación de dotación realizada por el físico médico encuestado. La Gráfica 1 muestra estos datos de forma apilada.

Tabla 8. Dotación real y recomendaciones de personal.

Institución	Origen del resultado			
	Dotación real	Recomendación COMP 2021	Recomendación HHR No. 1	Recomendación FM
Institución N°1	6	11.3	11.8	10
Institución N°2	3	6.9	8.1	6
Institución N°3	4	5.3	5.5	5
Institución N°4	5	5.4	11.5	7
Institución N°5	5	5.4	9.4	6
Institución N°6	1	2.9	4.1	2
Institución N°7	1	1.6	0.9	2
Institución N°8	3	4.3	9.9	4
Institución N°9	2	2.7	2.7	3
Institución N°10	7	12.0	18.7	10
Institución N°11	1	1.8	2.2	2
Institución N°12	3	2.3	3.0	3

Gráfica 1. FTE de físicos médicos según el origen del resultado.



En el primer eje de la investigación, los resultados obtenidos se normalizaron respecto a la dotación real con el fin de realizar una comparación entre las recomendaciones proporcionadas por los algoritmos y el personal de físicos médicos actual de cada institución. Con los resultados normalizados se calculó el promedio, presentados en la Tabla 8, donde se observa que existe en promedio un mayor porcentaje de recomendación de dotación de personal de Físicos Médicos con respecto a la dotación real, siendo entre estos la recomendación del algoritmo de la IAEA la que entrega una diferencia mayor.

Al realizar esta comparación considerando sólo las instituciones públicas, se obtienen porcentajes promedio de recomendación con respecto a la dotación real menores en relación a las recomendaciones entregadas para las instituciones en forma global.

Luego, al comparar las instituciones privadas entre sí, las recomendaciones son mayores que las obtenidas para las instituciones en conjunto.

Tabla 9. Normalización con respecto a la dotación real.

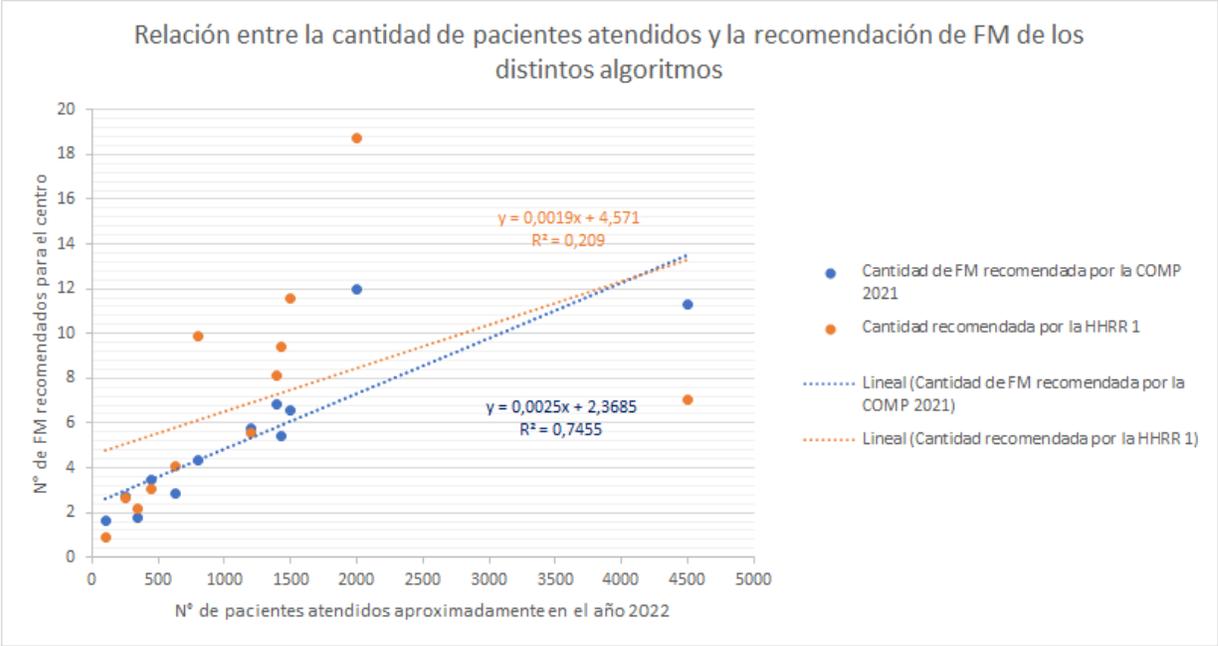
Normalización respecto a la dotación real				
Origen del resultado				
Institución	Tipo de Instituciones	Recomendación COMP 2021	Recomendación HHR No. 1	Recomendación FM
Institución N°1	Pública	89%	96%	67%
Institución N°2	Pública	129%	171%	100%
Institución N°3	Pública	33%	38%	25%
Institución N°4	Privada	8%	131%	40%
Institución N°5	Privada	8%	88%	20%
Institución N°6	Privada	186%	308%	100%
Institución N°7	Privada	62%	-9%	100%
Institución N°8	Privada	44%	228%	33%
Institución N°9	Privada	36%	33%	50%
Institución N°10	Privada	71%	168%	43%
Institución N°11	Privada	77%	119%	100%
Institución N°12	Pública	-24%	1%	0%
Promedio		60%	114%	56%
Promedio Instituciones Público		56%	77%	48%
Promedio Instituciones Privadas		61%	133%	61%

En el segundo eje de esta investigación se compararon diferentes ítems de los componentes de los algoritmos con la cantidad de Físicos Médicos contratados que recomendaban estos algoritmos.

El primer ítem que se comparó fue la cantidad aproximada del total de pacientes atendidos en el año 2022 con respecto a la cantidad de Físicos Médicos recomendados por los algoritmos.

Se evidenció que, en el caso del algoritmo de la COMP 2021 existe una relación proporcional entre ambas variables, mientras que con el algoritmo de la IAEA esta relación no se evidencia claramente (Gráfica 2).

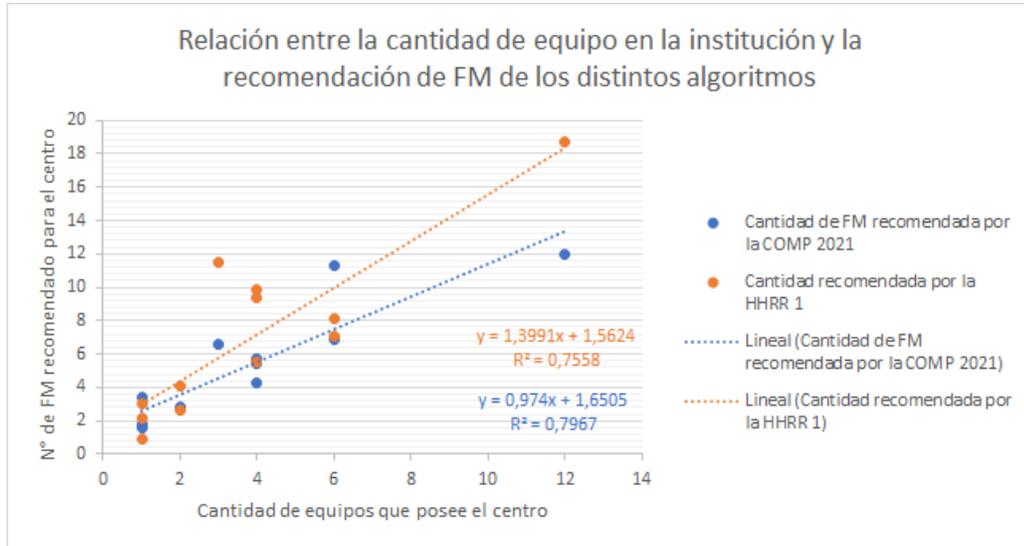
Gráfica 2. Relación entre la cantidad de pacientes atendidos y la recomendación de FM de los distintos algoritmos.



A partir de los ajustes mostrados, se deduce que el algoritmo de la COMP recomienda un aumento de 2.5 FTE de físicos médicos por cada 1000 pacientes atendidos anualmente. Es interesante notar que el número mínimo de físicos requeridos sin considerar pacientes es del orden de 2 FTE.

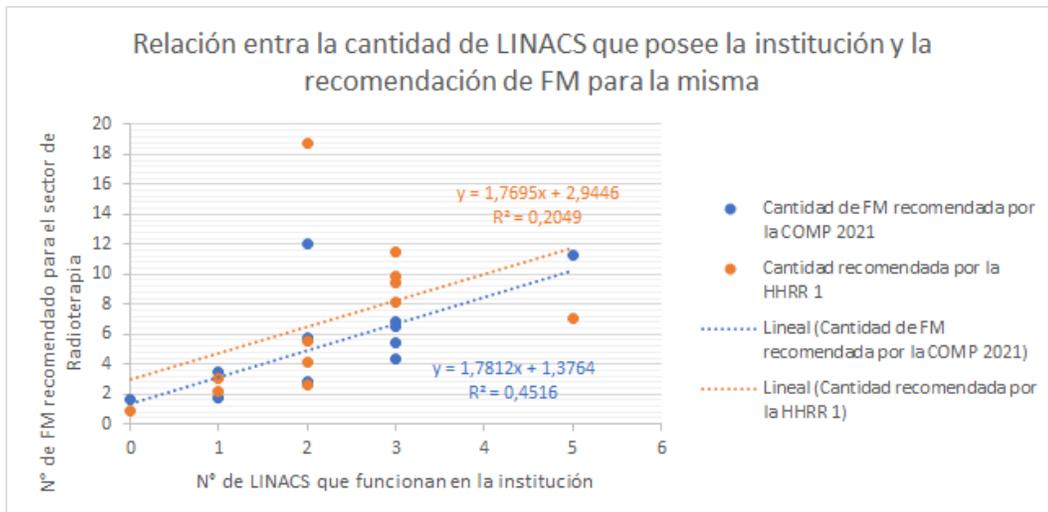
En el segundo ítem, se comparó la cantidad de equipos que posee cada centro con la cantidad de Físicos Médicos recomendados según cada algoritmo (Gráfica 3). En ambos se evidenció una leve correlación, con aproximadamente un aumento aproximado de 1 FTE por cada equipo.

Gráfica 3. Relación entre la cantidad de equipo en la institución y la recomendación de FM de los distintos algoritmos.



Luego, si se compara la cantidad de FTE recomendados en función de la cantidad de LINACS específicamente, se aprecia que no hay una relación proporcional evidente (Gráfica 4).

Gráfica 4. Relación entre la cantidad de LINACS que posee la institución y la recomendación de FM para la misma.



En el tercer eje de análisis se utilizaron los distintos escenarios construidos arbitrariamente para la comparación entre el algoritmo de la COMP 2021 y el HHR No. 1.

Para la comparación según el componente de equipos LINACS se utilizaron 2 escenarios. Como escenario A, se supuso una institución con 2 equipos LINACS, uno monoenergético y otro multi energético. Como escenario B, una institución con 2 LINACS ambos multi energéticos. En ambos escenarios, el algoritmo COMP 2021 asigna el mismo factor FTE para el cálculo, ya que no distingue entre LINACS mono energéticos y multi energéticos, mientras que el algoritmo HHR No. 1 asigna distintos factores FTE para cada escenario, resultando en ambos escenarios FTE mayores que el proporcionado por el algoritmo COMP 2021.

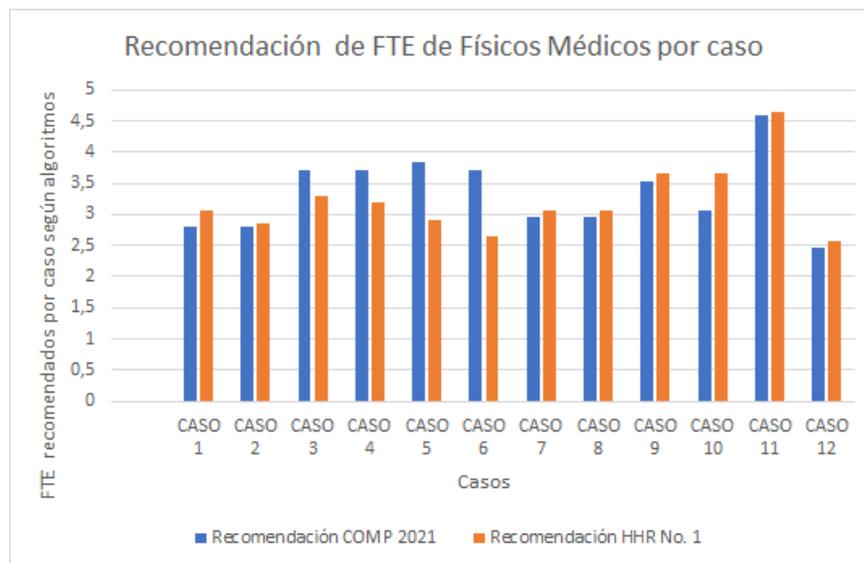
Para la comparación según el componente de procedimientos clínicos se supusieron escenarios con distintos casos de combinaciones de procedimientos clínicos de teleterapia, con una misma cantidad de 1000 procedimientos al año. En los distintos escenarios, el algoritmo HHR No. 1 entregó factores FTE mayores en comparación con el algoritmo COMP 2021 para cada combinación de modalidades de teleterapia consideradas. Los factores FTE entregados por el algoritmo COMP 2021 no variaron al considerar las distintas modalidades de terapia con un mismo FTE.

Para la comparación según el componente de docencia, se supusieron 2 escenarios con un mismo número total de 10 estudiantes. En el escenario A, se estableció una mayor proporción de estudiantes de tecnología médica en relación al resto de estudiantes de 7 estudiantes de tecnología médica, 1 estudiante pre de pregrado, 1 residente y 1 becado radioterapeuta. En el escenario B, la proporción fue inversa, consistiendo en 4 estudiantes de tecnología médica, 1 estudiantes de pregrado, 2 residentes y 2 becados radioterapeutas. El algoritmo COMP 2021 asignó un factor FTE mayor en el escenario B debido a la mayor especialización de los estudiantes. El algoritmo HHR No. 1, al no realizar esta diferencia, asignó el mismo factor FTE

en los 2 escenarios, siendo este resultado mayor a los entregados por el algoritmo COMP 2021 para ambos escenarios.

Para el cuarto y último eje de esta investigación se analizaron y graficaron los 12 casos construidos arbitrariamente detallados anteriormente con ambos algoritmos (Gráfica 5). Se obtuvo que la distribución de los resultados utilizando estos casos era variable. En general, los FTE de Físicos Médicos recomendados por cada dos equipos fueron variados. En ninguno de los casos se recomendaron menos de dos Físicos Médicos.

Gráfica 5. Recomendación de FTE por cada caso según el algoritmo de la COMP y el de la IAEA.



Finalmente, se construyó una base de datos en Excel para mantener las cifras de personal de Físicos Médicos disponibles por institución de fácil acceso para futuras investigaciones.

Imagen 1. Base de datos de Físicos Médicos en instituciones chilenas en el año 2023.

**Personal de Físicos Médicos en centro de Radioterapia en Chile
2023**

Nombre de la institución (completo)	<input type="text"/>
Región	<input type="text"/>
Número de Físicos Médicos contratados	<input type="text"/>

Discusión

La aplicación de los algoritmos de la COMP 2021 y la IAEA mostraron que la dotación actual de Físicos Médicos es generalizadamente inferior a la recomendada. Considerando el total de 41 Físicos Médicos contratados en las 12 instituciones entrevistadas como una muestra representativa de las 20 instituciones (60%), y una población estimada de 19.960.889 de habitantes en Chile (30), nuestro país contaría con aproximadamente 3.2 Físicos Médicos por millón de habitantes para el servicio de radioterapia, cifra inferior a la recomendada por la EFOMP (31 p.8), que sugiere 9 Físicos Médicos por millón de habitantes. Las cifras recomendadas por estas y otras herramientas de cálculo de dotación de personal corresponden a niveles mínimos (28 p.9, 31 p.3, 32 p.12) del número de Físicos Médicos contratados, que idealmente deberían ser mayores al nivel mínimo identificado (31 p.4).

De tal forma, la dotación actual de personal de Físicos Médicos, la cual se circunscribe a la Normativa N°51, sería insuficiente. Es decir, no bastaría con solo un Físico Médico por cada dos equipos como establece la Ley. En cambio, lo recomendado por los cálculos de las herramientas internacionales serían aproximadamente 3 Físicos Médicos por cada dos equipos, 1.78 Físicos Médicos por cada LINAC (según COMP 2021) o 1.77 (según HHR No. 1), similar a los 1.6 Físicos Médicos por cada LINAC sugeridos por el *Australasian College of Physical Scientists and Engineers in Medicine* (32 p.7).

Sin embargo, las recomendaciones internacionales reconocen la dificultad al establecer lineamientos estrictos de dotación de personal dadas las amplias variaciones en las prácticas laborales (6 p.45, 31 p.3, 32 p.2, 33 p.8), y enfatizan la necesidad de encuestas contextualizadas localmente (6 p.45, 31 p.3, 32 p.2). Aun así, es apropiado realizar recomendaciones de los niveles mínimos de personal de Físicos Médicos en los servicios de radioterapia (31 p.3), dada la necesidad de una garantía de calidad adecuada en la atención

sanitaria relacionada a la radioterapia (6 p.45), para lo cual es fundamental determinar los factores involucrados en el cálculo de dotación de personal de Físicos Médicos. De acuerdo a los lineamientos otorgados por diversas organizaciones, sería insuficiente establecer la cantidad de Físicos Médicos requeridos únicamente en referencia a la cantidad de equipos, como lo establecido por la Normativa N° 51, debiéndose considerar factores como la carga de trabajo (33 p.8), niveles de equipamiento, número de pacientes, capacitación del personal, desarrollo profesional, entrenamiento de practicantes (34 p.2), investigación, ensayos clínicos, administración (6 p.45, 31 p.4), entre otros.

Tales aspectos para la estimación de los recursos humanos de Física Médica en servicios de radioterapia que son considerados por las distintas herramientas de cálculo (6, 28, 31, 34) pueden agruparse en las siguientes categorías: responsabilidades organizativas y de gestión (i), cantidad y complejidad de los equipos y los procedimientos utilizados (ii), número de pacientes atendidos y la complejidad de los procedimientos (iii), carga de trabajo relacionada a la formación y entrenamiento (iv), participación en mantención, desarrollo e investigación (v). Además, la EFOMP (31 p.3) enfatiza puntos generales que deberían ser aplicables para los cálculos de niveles mínimos de personal para asegurar un servicio clínico seguro y efectivo, entre los cuales se encuentran: la suposición de que las instituciones cuentan con equipos tecnológicos actualizados, y la necesidad de recursos humanos adicionales en caso de que existan actividades relacionadas a la investigación, formación, desarrollo, entre otras.

En virtud de estas consideraciones se reconocen dos falencias en la validez de la aplicación de las herramientas de cálculo utilizadas en este estudio para la estimación de la dotación de personal de Físicos Médicos en radioterapia. En primer lugar, el HHR No. 1 de la IAEA no considera los avances tecnológicos y técnicos ocurridos desde su fecha de publicación en 2010. La ACPSEM (32 p.2) argumenta que cambios en las modalidades de tratamientos y

tecnologías necesitan ser registrados para mantener actualizados los requerimientos estimados de personal, por lo que este desfase se vuelve relevante. En segundo lugar, tanto el algoritmo de la IAEA como el de la COMP 2021 no consideran en sus cálculos actividades relacionadas a la investigación; por un lado, la IAEA atribuye esta ausencia a características locales de América Latina para la fecha (2010), mientras que la COMP 2021 reconoce que en los resultados de su estudio se presentaron discrepancias debido a la omisión de este factor. La NRG (35) enfatiza la necesidad de tomar en cuenta al dotar de personal a las instituciones de radioterapia la complejidad de los ensayos clínicos para la construcción de protocolos en esta área de la Física Médica. Esta falta se vuelve relevante al considerar que en Chile al menos dos centros de radioterapia cuentan con más de 23 estudios clínicos activos (36, 37).

La distinta asignación de estos factores entre los algoritmos utilizados en este estudio para el cálculo de dotación de personal de Físicos Médicos podría explicar la amplia variabilidad entre las estimaciones calculadas por los distintos algoritmos utilizados.

Por un lado, la COMP 2021 divide los procedimientos clínicos según su complejidad y no según su tipo, además, considera el número de fracciones en braquiterapia, y por último, otorga valores diferenciados de FTE para estudiantes de pregrado, posgrado, residentes de oncología o residentes de Físico Médico; mientras que el algoritmo de la IAEA considera el tipo de procedimientos clínicos (existentes hasta 2010) desestimando su complejidad, además, ignora el número de fracciones en braquiterapia, y por último, prescinde de la consideración del grado de especialización de los estudiantes. Estas diferencias en la ponderación de factores podrían explicar los resultados entre los algoritmos en los casos arbitrariamente contruidos. Por una parte, se presentaron discrepancias en los casos 3, 4, 5 y 6 que suponían la posesión de equipos de braquiterapia; mientras más de éstos se consideraban, menor era la cifra recomendada por el HHR No. 1, mientras que las

recomendaciones de la COMP 2021 se mantuvieron estables. Esta diferencia podría atribuirse a la omisión por parte de la IAEA del número de fracciones en braquiterapia. Por otra parte, en los casos 9 y 10, que variaron en relación con el tipo de formación académica de los residentes, la COMP 2021 entregó resultados dispares mientras que la IAEA mantuvo cifras constantes. Estas discrepancias podrían adjudicarse a la falta de diferenciación por parte del algoritmo HHR No. 1 entre los diversos niveles de formación académica de los residentes. Además, existen diferencias en cómo se considera el apoyo del Físico Médico, considerando al Dosimetrista por parte de la IAEA (6 p.52), no así por parte de la COMP, la cual considera a un asistente de Físico Médico que realiza labores de control de calidad, entre otras (28 p.3); ambas profesiones no se pueden considerar análogas a las realizadas por el Tecnólogo Médico en Chile. Estas diferencias, sumada a la progresión técnica y tecnológica desde la fecha de publicación del algoritmo de la IAEA, podrían explicar las recomendaciones más elevadas por parte del algoritmo de la IAEA a las sugeridas por el algoritmo de la COMP 2021.

Por otro lado, las sugerencias de los Físicos Médicos encuestados se acercan más a las cifras otorgadas por el algoritmo canadiense, lo cual podría estar relacionado a la consideración por parte de la COMP 2021 de un equipo multidisciplinario similar al contexto laboral chileno. Por último, la relación entre el número de pacientes atendidos y el número de Físicos Médicos contratados fue más clara en el caso del algoritmo de la COMP 2021, así también la relación entre el número de equipos y el número de Físicos Médicos contratados. De tal forma, el algoritmo de la COMP 2021 resultaría más adecuado para el cálculo de FTE de Físicos Médicos que el de la IAEA.

Pese a que se realizó un proceso de verificación para asegurar la fiabilidad de las respuestas en el que el equipo del proyecto se puso en contacto con los centros médicos que otorgaron respuestas anómalas, resulta insuficiente dadas las inconsistencias entre: las

recomendaciones internacionales acerca de las cifras mínimas de dotación de personal de Físicos Médicos, la dotación real de Físicos Médicos con las que contaba cada centro predominantemente inferiores a las cantidades mínimas sugeridas, y los niveles de dotación de personal propuestos por los Físicos Médicos encuestados, también mayoritariamente por debajo de las cantidades mínimas sugeridas. Frente a estas condiciones resultaría provechoso realizar una siguiente etapa de verificación de datos en la que se discuta las discrepancias con cada centro para analizar las razones detrás de las inconsistencias, tal como fue realizado por la COMP 2021 (31 p. 14).

Dada la insuficiencia de los algoritmos utilizados para adecuarse al contexto chileno, y el carácter exploratorio de esta investigación, resulta relevante para futuras investigaciones la revisión y aplicación de más herramientas de cálculo de dotación de personal de Físicos Médicos. Con tal de responder adecuadamente a las interrogantes que resultan de esta investigación, es necesario conducir encuestas contextualizadas localmente para obtener resultados representativos (6 p.45, 31 p.3, 32 p.2), lo cual es imprescindible en el caso chileno dadas sus condiciones laborales particulares (tales como la existencia del Tecnólogo Médico), sumado a las proyecciones de fortalecimiento de la red oncológica realizadas por el Plan Nacional del Cáncer, en las que se contempla la adición de 9 nuevos centros integrales de tratamiento del cáncer (12 p. 110).

Conclusiones

Según las recomendaciones internacionales, en Chile existe una falta generalizada de Físicos Médicos. Sin embargo, no es posible determinar de manera precisa la cantidad que se requiere debido a las limitaciones de las herramientas de cálculo existentes, las cuales no se adaptan a la realidad nacional porque no consideran la presencia y formación del Tecnólogo Médico, que podría generar cambios en el cálculo de la recomendación. Para abordar esta situación, se sugiere continuar con la línea investigativa y desarrollar una herramienta de cálculo que se ajuste al contexto chileno, una opción sería utilizar como base el algoritmo canadiense, ya que permite personalizar los valores de factores FTE.

A su vez, se podría considerar una reformulación de la sección de la Norma General Técnica N° 51 que establece la cantidad mínima de personal de Físicos Médicos, de modo que esta determinación se alinee con las recomendaciones internacionales. Sin embargo, para precisar un mínimo adecuado, es necesario la construcción de una herramienta que considere las diversas labores del Físico Médico y que no se limite únicamente a la cantidad de equipos existentes en la institución.

Bibliografía

1. World Health Organization. Cancer [Internet]. Who.int.2022 [citado noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/cancer>
2. Departamento de Estadística e Información en Salud. Ministerio de Salud de Chile. Estadísticas de Mortalidad por causa y año, Chile 2019 [Internet]. informesdeis.minsal.cl. 2019 [citado noviembre de 2022]. Disponible en: https://informesdeis.minsal.cl/SASVisualAnalytics/?reportUri=%2Freports%2Freports%2F4013de47-a3c2-47b8-8547-075525e4f819§ionIndex=0&sso_guest=true&reportViewOnly=true&reportContextBar=false&sas-welcome=false
3. International Agency for Research on Cancer. Global Cancer Observatory: Cancer Tomorrow [Internet]. IARC.fr. 2020 [citado noviembre de 2022]. Disponible en: https://gco.iarc.fr/tomorrow/en/dataviz/tables?types=0&sexes=0&mode=population&group_populations=0&multiple_populations=1&multiple_cancers=0&cancers=39&populations=152
4. Goitein M. Radiation oncology: A physicist's-eye view. New York: Springer New York; 2007; p.3.
5. Safety is No Accident. Safety is no accident: a framework for quality radiation oncology care [Internet]. [lugar desconocido]: Safety is No Accident; 2019. The radiation oncology team; [citado octubre de 2022]; p. 8. Disponible en: <https://www.astro.org/Patient-Care-and-Research/Patient-Safety/Safety-is-no-Accident>
6. Organismo Internacional De Energía Atómica. Informes Sobre Salud Humana Del OIEA N° 1. El físico médico: Criterios y recomendaciones para su formación académica, entrenamiento clínico y certificación en América Latina [Internet]. Viena: IAEA; 2010

- [citado octubre de 2022]; p. 91 Disponible en: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1424_S_web.pdf
7. Sub secretaría de Salud Pública. Norma general técnica N°51: Radioterapia Oncológica [Internet]. Santiago: Ministerio de Salud; 2011 [citado octubre de 2022]; p.59. Disponible en: <http://www.fisicamedica.cl/descargas/Norma-51-2011.pdf>
 8. Safety is No Accident. Safety is no accident: a framework for quality radiation oncology care [Internet]. [lugar desconocido]: Safety is No Accident; 2019. The process of care in radiation oncology [citado octubre de 2022]; p. 1. Disponible en: https://www.astro.org/ASTRO/media/ASTRO/Patient%20Care%20and%20Research/PDFs/Safety_is_No_Accident.pdf
 9. Safety is No Accident. Safety is no accident: a framework for quality radiation oncology care [Internet]. [lugar desconocido]: Safety is No Accident; 2019. Safety [citado octubre de 2022]; p. 19. Disponible en: https://www.astro.org/ASTRO/media/ASTRO/Patient%20Care%20and%20Research/PDFs/Safety_is_No_Accident.pdf
 10. Beyzadeoglu M, Ozyigit G, Ebruli C. Basic radiation oncology. Berlin, Germany: Springer; 2010; p.147.
 11. Instituto de Salud Pública. Agosto 2022 DEPARTAMENTO AGENCIA NACIONAL DE DISPOSITIVOS MÉDICOS, INNOVACIÓN Y DESARROLLO establecimientos de radioterapia integrados al programa de evaluación de la calidad en radioterapia (PECRT) del instituto de salud pública de chile. [lugar desconocido: editorial desconocido]; agosto de 2022 [citado octubre de 2022]. p.1. Lista de establecimientos de Radioterapia. Disponible en: <https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/2022/08/Listado-ERT-2022.pdf>
 12. Ministerio de Salud. Plan nacional del cáncer 2018 – 2028 [Internet]. [lugar desconocido: editorial desconocido]; 2018 [citado octubre de 2022]. 185 p. Disponible

en: https://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2019/01/2019.01.23_PLAN-NACIONAL-DE-CANCER_web.pdf

13. Podgorsak EB. Radiation oncology physics: A Handbook for teachers and students [Internet]. Viena: IAEA; 2005 [citado mayo de 2023]. p. 451. Disponible en: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1196_web.pdf
14. Montemaggi P, Trombetta M, Brady LW, Eds. Brachytherapy: An International Perspective [Internet]. Switzerland: Springer International Publishing; 2016 [citado mayo de 2023]. p. 14. Disponible en: <http://doi.org/10.1007/978-3-319-26791-3>
15. Organismo Internacional De Energía Atómica. IAEA Human Health Series No 30: Implementation of High Dose Rate Brachytherapy in Limited Resource Settings. [Internet]. Viena: IAEA; 2015 [citado mayo de 2023]. p.14. Disponible en: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1670web-5444797.pdf>
16. Richardson SL, Buzurovic IM, Cohen GN, Culberson WS, Dempsey C, Libby B, et al. AAPM medical physics practice guideline 13.a: HDR brachytherapy, part A. J Appl Clin Med Phys [Internet]. 2023 [citado mayo de 2023];24(3):1–18. Disponible en: <http://doi.org/10.1002/acm2.13829>
17. Australasian College of Physical Scientist and Engineers in Medicine. Australasian College of Physical Scientist and Engineers in Medicine [Internet]. What is medical physics?; [citado octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.acpsem.org.au/Meet-Our-Members/Medical-Physics>
18. Eudaldo T, Huizenga H, Lamm IL, McKenzie A, Milano F, Schlegel W, Thwaites D, Heeren G. Guidelines for education and training of medical physicists in radiotherapy. Radiotherapy and Oncology [Internet]. Febrero de 2004 [citado noviembre de 2022];70(2):125-35. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2004.02.004>

19. European Federation of Organisations for Medical Physics. EFOMP [Internet]. What is medical physics?; [citado octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.efomp.org/index.php?r=pages&id=public>
20. Universidad de la Frontera. Especialidad en Física Médica [Internet]. Física médica, Universidad de la Frontera. 2017 [citado octubre de 2022] Disponible en: <http://www.fisicamedica.cl/programas/especialidad>
21. Facultad de Medicina Universidad de Chile. Tecnología Médica [Internet]. medicina.uchile.cl. 2023 [citado julio de 2023]. Disponible en: <https://medicina.uchile.cl/carreras/5017/tecnologia-medica>
22. Facultad de Medicina Universidad de Concepción. Admisión Tecnología Médica [Internet]. admision.udec.cl. 2023 [citado julio de 2023]. Disponible en: <https://admision.udec.cl/tecnologia-medica/>
23. Universidad Austral de Chile. Malla curricular Tecnología Médica [Internet]. uach.cl. 2023 [citado julio de 2023]. Disponible en: <https://www.uach.cl/dw/admision/plandeestudio.php?car=1728>
24. Facultad de Medicina Universidad de Chile. Tecnología Médica [Internet]. Medichi - Programas Educación Continua Postgrados en Medicina. 2022 [citado julio de 2023]. Disponible en: <https://medichi.uchile.cl/areas-profesionales/tecnologia-medica/>
25. Facultad de Medicina Universidad del Desarrollo. Postgrados y Educación Continua [Internet]. medicina.udd.cl. 2023 [citado julio de 2023]. Disponible en: [https://medicina.udd.cl/postgrados-y-educacion-continua/#!/terms by tax\[type\]=16058&terms by tax\[postgrad category\]=16068](https://medicina.udd.cl/postgrados-y-educacion-continua/#!/terms%20by%20tax[type]=16058&terms%20by%20tax[postgrad%20category]=16068)
26. Ministerio de Salud. Decreto n°18. Aprueba reglamento sanitario sobre establecimientos de radioterapia oncológica [Internet]. [lugar desconocido: editorial desconocido]; 2015 [citado octubre de 2022]; p. 13. Disponible en:

https://www.ispch.cl/sites/default/files/normativa_andid/Decreto%20Supremo%2018.pdf

27. Instituto de Salud Pública. Departamento agencia nacional de dispositivos médicos, innovación y desarrollo. Bases Técnicas del Programa de Evaluación de la Calidad en Radioterapia (PECRT) [Internet]. Ispch.cl. 2021 [citado mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/2021/10/Bases-Tecnicas-del-PECRT.pdf>
28. Malkoske KE, Sixel KE, Hunter R, Battista JJ. COMP Report: an updated algorithm to estimate medical physics staffing levels for radiation oncology. Journal of Applied Clinical Medical Physics [Internet]. 28 de julio de 2021 [citado octubre de 2022];22(8):6-15. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/acm2.13364>
29. Battista JJ, Clark BG, Patterson MS, Beaulieu L, Sharpe MB, Schreiner LJ, MacPherson MS, Van Dyk J. Medical physics staffing for radiation oncology: a decade of experience in Ontario, Canada. Journal of Applied Clinical Medical Physics [Internet]. Enero de 2012 [citado noviembre de 2022];13(1):93-110. Disponible en: <https://doi.org/10.1120/jacmp.v13i1.3704>
30. Proyecciones de Población [Internet]. Instituto Nacional de Estadísticas. [citado julio de 2023]. Disponible en: <https://www.ine.gob.cl/>
31. Evans S, Christofides S, Brambilla M. The European Federation of Organisations for Medical Physics. Policy Statement No. 7.1: The roles, responsibilities and status of the medical physicist including the criteria for the staffing levels in a Medical Physics Department approved by EFOMP Council on 5th February 2016. Phys Med [Internet]. 2016 [citado julio de 2023];32(4):533–540. Disponible en: https://www.efomp.org/uploads/policy_statement_nr_7.1.pdf
32. Crowe S, Aland T, Fog L, Greig L, Hamlett L, Lydon J, et al. Report of the ACPSEM radiation oncology medical physics workforce modelling project task group. Phys Eng

- Sci Med [Internet]. 2021 [citado julio de 2023];44(4):1013–1025. Disponible en: <http://doi.org/10.1007/s13246-021-01078-z>
33. Tindale WB, Thorley PJ, Nunan TO, Lewington V, Shields RA, Williams NR. A survey of the role of the UK physicist in nuclear medicine: a report of a joint working group of the British Institute of Radiology, British Nuclear Medicine Society, and the Institute of Physics and Engineering in Medicine. Nucl Med Commun [Internet]. 2003 [citado julio de 2023];24(1):91–100. Disponible en: <http://doi.org/10.1097/00006231-200301000-00020>
34. Round WH, Tay YK, Ng KH, Cheung KY, Fukuda S, Han Y, et al. AFOMP POLICY STATEMENT No. 2: recommended clinical radiation oncology medical physicist staffing levels in AFOMP countries. Australas Phys Eng Sci Med [Internet]. 2010 [citado julio de 2023];33(1):7–10. Disponible en: <http://doi.org/10.1007/s13246-010-0003-y>
35. Monroe JI, Boparai K, Xiao Y, Followill D, Galvin JM, Klein EE, Low DA, Moran JM, Zhong H, Sohn JW. NRG Oncology medical physicists' manpower survey quantifying support demands for multi-institutional clinical trials. Pract Radiat Oncol [Internet]. Septiembre de 2018 [citado julio de 2023];8(5):324-31. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.prro.2018.01.011>
36. Fundación Arturo López Pérez. Fundación Arturo López Pérez [Internet]. Estudios clínicos; [citado julio de 2023]. Disponible en: <https://www.institutoncologicofalp.cl/landing/uido-1/>.
37. RedSalud UC CRISTHUS. RedSalud UC CRISTHUS [Internet]. Estudios clínicos vigentes; [citado julio de 2023]. Disponible en: <https://www.ucchristus.cl/especialidades-y-servicios/especialidades/cancer-uc/estudios-clinicos-vigentes-cancer-uc>

Anexo “Encuesta sobre la actualidad de la Física Médica en el sector de Radioterapia en Chile”.

Sección General

Estos datos solo serán usados para poder contactarnos en caso de dudas y no serán publicados.

1. Nombre de la institución en la cual se desempeña
2. Cargo
3. Nombre (opcional)
4. Correo (si desea recibir una copia de los resultados)

Procedimientos Clínicos

Indique el número aproximado de procedimientos que se realizaron en el año 2022. En caso de que en su establecimiento no se realice alguno de estos tratamientos responda "0".

1. Cantidad total de casos tratados utilizando Radiación ionizante en el año 2022 (incluye Teleterapia y Braquiterapia).
2. Cantidad de pacientes de teleterapia tratados con técnicas de intensidad modulada en el año 2022 (IMRT y VMAT)
3. Cantidad de pacientes de teleterapia tratados con técnica 3D en el año 2022
4. Cantidad de pacientes de teleterapia tratados con técnica convencional en el año 2022 (sin imágenes tomográficas)
5. Cantidad de pacientes de teleterapia tratados con SRS o SBRT en el año 2022
6. Cantidad de pacientes tratados con Braquiterapia en el año 2022
7. Número de fracciones administradas en braquiterapia en el año 2022 (Ej: un tratamiento ginecológico típico tiene 4 fracciones y un implante permanente tiene 1 fracción)

8. Cantidad de pacientes tratados con TBI en el año 2022
9. Cantidad de pacientes tratados con TSEI en el año 2022

Equipamiento: Sistemas de tratamiento

Indique el número de equipos, no es necesario especificar el proveedor o modelo en específico. En caso de que en su establecimiento no posea alguno de estos equipos responda "0".

1. Cantidad de LINACs estándar multienergéticos (considerar haces FFF como energías diferentes a haces FF)
2. Cantidad de LINACs estándar monoenergéticos (considerar haces FFF como energías diferentes a haces FF)
3. Cantidad de LINACS en anillo (Ej: Halcyon, Tomotherapy)
4. Otros equipos de teleterapia (indique equipo y número, por ejemplo, Cyber/Gamma knife)
5. Cantidad de equipos de braquiterapia HDR

Equipamiento principal

Indique la cantidad de equipamiento, no es necesario especificar el proveedor, modelo, ni tipo. Si su establecimiento no posee alguno de estos equipos responda "0".

1. Cantidad de Sistemas de planificación de tratamiento para haces externos (1 por proveedor. Por ejemplo, si tuviese solo Varian indique 1. Si posee por ejemplo Varian y Elekta, indique 2)
2. Cantidad de Sistemas de planificación de tratamiento para braquiterapia (1 por proveedor)
3. Cantidad de Sistemas de información radio oncológica utilizados en el servicio (ej.: Aria, Mosaiq).

4. Cantidad de TC de simulación
5. Cantidad de equipos PET-CT
6. Cantidad de resonadores magnéticos de simulación
7. Otros (indicar tipo de equipo y número)

Equipamiento menor

En esta sección solo es necesario responder el número solicitado, no es necesario especificar el software.

1. Cantidad de Programas de verificación independiente de dosis (Ej: Veriqa, Dosecheck, Radcalc, Mobius, Planilla Excel, etc.)
2. Cantidad de Conjuntos de colimador SRS (conos)
3. Cantidad de Unidades de cobalto-60
4. Braquiterapia LDR (sí=1, no=0)
5. Cantidad de Rayos X de ortovoltaje
6. Cantidad de Sistemas de control de movimiento o gatillado respiratorio (1 por proveedor)
7. Cantidad de Rayos X en arco en C
8. Cantidad de Simuladores de rayos X convencional
9. Otros similares (indicar el tipo de equipo y el número)

Educación y formación

Solo indicar el número, no es necesario indicar universidad ni el tiempo de los residentes.

1. Número de residentes de Física Médica durante el año 2022
2. Número de estudiantes de pregrado de Tecnología Médica durante el año 2022 (incluye internos y practicantes)
3. Número de médicos becados radioterapeutas durante el año 2022

4. Cantidad de estudiantes de postgrado durante el año 2022 (supervisión de tesis de magíster y/o doctorado)
5. Número de informes aproximados realizados en una semana (Considerar solo aquellos informes que se realizan de forma sistemático en el tiempo, controles de calidad, seguridad radiológica, etc.)
6. Número de reuniones aproximadas a la cuales se asisten en una semana (Sólo considerar aquellas reuniones programadas y sistemáticas a lo largo del tiempo)

Personal de físicos médicos

Indique el número total de físicos médicos en el servicio de Radioterapia.

1. Dotación de personal actual (con presupuesto aprobado)
2. Su nivel ideal de dotación de personal (mejor estimación, no es necesaria una justificación)