

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE MEDICINA
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MÉDICA



TESIS PROFESIONAL

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

“Evaluación Dosimétrica de protocolo Fast Forward con IMRT en Cáncer de Mama en pacientes previamente atendidos en Instituto Oncológico Fundación Arturo López Pérez”

**MARÍA SOL HERRERA
MATÍAS MORALES**

**Tutor: TM Alexis Ildelfonso Troncoso Vicencio, MSc
Asesora Metodológica y estadística; TM Denisse Karl, MSc
Escuela de Tecnología Médica
Institución Fundación Arturo López Pérez**

Fecha: 8 de Diciembre del 2023

Índice

I. Resumen.....	4
II. Introducción.....	5
II. I. Contexto Nacional.....	5
II. II. Tratamiento.....	6
II. III. El Protocolo Fast Forward.....	7
II. IV. Contexto Fundación Arturo López Pérez (FALP).....	10
II. V. Motivaciones.....	11
III. Hipótesis.....	12
IV. Objetivos.....	12
IV. I Objetivo General.....	12
IV. II Objetivos Específicos.....	12
V. Materiales y Métodos.....	13
V. I. Material.....	13
V. II. Metodología.....	13
Tipo de estudio.....	13
Diseño de estudio.....	13
Población.....	14
Muestra.....	14
Criterios de inclusión:.....	14
Criterios de exclusión:.....	14
Variables.....	15
• Variables Dependientes del estudio.....	16
• Variable Control; Caracterización de la lesión:.....	19
• Variable independiente:.....	19
V. III. Fuente y método de recolección de datos.....	20
V. IV. Análisis estadístico.....	20
V. V. Procedimiento:.....	21
VI. Resultados.....	22
VI. I. Cobertura de la superficie del PTV prescrita.....	23
VI. II. Áreas de alta dosis.....	25
a. PTV D2% < 27,82 Gy.....	25

b. PTV D5% < 27,3 Gy.....	26
c. PTV Dmax < 28,6 Gy.....	27
VI. III. Cobertura de los Órganos de Riesgo.....	28
VI. III. I. Cobertura del Corazón.....	28
a. V 7 Gy < 5 %.....	28
b. V 1.5 Gy < 30%.....	29
c. Dosis promedio en el Corazón.....	30
VI. III. II. Cobertura del Pulmón Ipsilateral.....	31
a. V8Gy < 15 %.....	31
b. Dosis promedio entregada al Pulmón Ipsilateral.....	32
VI. III. III. Cobertura de la Piel y Áreas Auxiliares.....	33
a. Dosis máxima puntual registrada en la piel.....	33
b. Dosis máxima registrada en un volumen de 0,03 cc de la piel.....	34
c. Dosis máxima entregada a un volumen de 0.1cc de la piel.....	34
d. Dosis máxima entregada en un área fuera del PTV.....	35
VI. IV. Lateralidad de la mama.....	36
VI. IV. I. Cobertura de la superficie del PTV.....	36
a. PTV V24,7 > 95 %.....	37
VI. IV. II. Áreas de alta dosis.....	38
a. PTV D2% < 27,82 Gy.....	38
b. PTV D5% < 27,3 Gy.....	39
c. PTV Dmax < 28,6 Gy.....	40
VI. IV. III. Cobertura de los Órganos de Riesgo.....	41
VI. IV. III. I. Cobertura del Corazón.....	41
a. V 7 Gy < 5 %.....	41
b. V 1.5 Gy < 30 %.....	42
c. Dosis promedio en el Corazón.....	43
VI. IV. III. II. Cobertura del Pulmón Ipsilateral.....	44
a. V8 Gy < 15 %.....	44
c. Dosis promedio entregada al Pulmón Ipsilateral.....	45
VI. IV. III. III. Cobertura de la Piel y Áreas Auxiliares.....	46
a. Dosis máxima puntual registrada en la piel.....	46

b. Dosis máxima registrada en un volumen de 0,03 cc de la piel.....	46
c. Dosis máxima entregada a un volumen de 0.1cc de la piel.....	47
d. Dosis máxima entregada en un área fuera del PTV.....	48
VI. V. Localización de la Lesión.....	49
VI. V. I. Cobertura de la superficie del PTV prescrita.....	49
a. PTV V24,7 > 95 %.....	49
VI. V. II Áreas de alta dosis.....	51
a. PTV D2% < 27,82 Gy.....	51
b. PTV D5% < 27,3 Gy.....	51
c. PTV Dmax < 28,6 Gy.....	52
VI. IV. III. Cobertura de los Órganos de Riesgo.....	53
VI. IV. III. I. Cobertura del Corazón.....	53
a. V 7 Gy < 5 %.....	53
b. V 1.5 Gy < 30 %.....	54
c. Dosis promedio en el Corazón.....	55
VI. IV. III. II. Cobertura del Pulmón Ipsilateral.....	55
a. V8 Gy < 15 %.....	55
b. Dosis promedio entregada al Pulmón Ipsilateral.....	56
VI. IV. III. III. Cobertura de la Piel y Áreas Auxiliares.....	57
a. Dosis máxima puntual registrada en la piel.....	57
b. Dosis máxima registrada en un volumen de 0,03 cc de la piel.....	58
c. Dosis máxima entregada a un volumen de 0.1cc de la piel.....	58
d. Dosis máxima entregada en un área fuera del PTV.....	59
VII. Discusión.....	60
VII. I. Dosis impartida por técnica utilizada.....	60
VII. II. Dosis impartida en relación con la lateralidad de la mama por técnica utilizada...	62
VII. III. Dosis impartida con relación a la localización de la lesión por técnica utilizada...	65
VIII. Conclusión.....	67
IX. Agradecimientos y Dedicatoria.....	70
X. Bibliografía:.....	72
XI. Anexos.....	74

I. Resumen

Introducción: La radioterapia puede tratar el cáncer de mama en casi cualquier etapa y existen varios esquemas de tratamientos, como el esquema estándar de 50 Gy en 25 fracciones, un esquema hipofraccionado de 40.5 Gy en 15 fracciones y a partir de 2020, ante la publicación de un nuevo esquema de tratamiento publicado en la revista The LANCET, surgió el esquema Fast Forward de 26 Gy en 5 fracciones, destacando estos dos últimos esquemas para un estadio temprano de estos cánceres (pT1–3, pN0–1, M0).

Gracias a los beneficios que otorga este nuevo esquema, se empezó a masificar su uso, sin embargo, este se publicó para un protocolo de radioterapia 3D, lo que produce que ciertas pacientes que puedan optar a tratarse con este medio sean rechazadas por problemas geométricos, volumétricos y dosimétricos, consiguiendo así que se traten con otros fraccionamientos y protocolos; ante esta situación FALP implementó este esquema pero con técnica de radiación por intensidad modulada (IMRT) como vía alternativa, no obstante, aún no se ha realizado un análisis de la metodología empleada con respecto a la dosimetría y beneficios de este técnica, además de una comparación entre ambos protocolos.

Objetivos: Evaluación dosimétrica de los protocolos de tratamiento de radioterapia Fast Forward con implementación de IMRT y 3D para cáncer de mama en estadios tempranos.

Metodología: Se ejecutará un estudio Cuasiexperimental in silico, con un tamaño de muestra por demanda desde el mes de enero del año 2021 hasta el mes de mayo del 2023, donde a partir de la realización del protocolo Fast Forward con IMRT, se comparan planificaciones considerando PTV, volumen de alta dosis, dosis en órganos de riesgo, del Fast Forward 3D con los valores de la planificación del Fast Forward IMRT y dependiendo de la distribución de los valores, se harán test de T- Student o de U-Mann Whitney.

Conclusión: Se evidenció una mayor eficiencia en la cobertura del PTV V24,7 Gy, además de una disminución en las áreas de alta dosis del PTV, al igual que en las dosis de las variables de los órganos de riesgo como lo son el pulmón ipsilateral y la piel.

Palabras claves: Fast Forward - Hipofraccionamiento - Radioterapia - Planificación 3D - IMRT - Cáncer de mama

II. Introducción

II. I Contexto Nacional

Actualmente, el cáncer de mama es un gran problema de salud pública tanto a nivel nacional como a nivel mundial, que suelen padecer mayoritariamente las mujeres. Dentro del cáncer de mama existen varios tipos de este, cada uno con distintos grados infiltrativos, como el carcinoma ductal in situ (DCIS) y carcinoma invasivo, ambos siendo los más comunes dentro del cáncer de mama. También existen otros tipos, como lo son los tumores filoides y el angiosarcoma, que son menos usuales.⁽¹⁾ Los factores de riesgo del cáncer de mama son bastante variados, pueden depender del estilo de vida, factores genéticos, factores biológicos típicos de cada etapa de la vida o por factores desconocidos; entre todos ellos podemos encontrar los más típicos como; ser mujer, tener una menarquia temprana, tener una menopausia tardía, no tener hijos, el uso de tratamientos hormonales, el beber alcohol, el sobrepeso, ser mayor de 50 años, tener historial familiar, entre muchos otros.⁽²⁾

Según La Organización Mundial de la Salud; En 2020, hubo 2,3 millones de mujeres diagnosticadas con cáncer de mama y 685.000 muertes en todo el mundo. A finales de 2020, había 7,8 millones de mujeres vivas a las que se les había diagnosticado cáncer de mama en los últimos 5 años, lo que lo convierte en el cáncer más prevalente del mundo.⁽³⁾

Si lo observamos a nivel nacional, el cáncer de mama, es el cáncer más frecuente en las mujeres y que también produce la mayor cantidad de muertes, según datos de GLOBOCAN en el año 2020 en Chile se diagnosticaron 58,5 cánceres de mama por cada 100 mil mujeres y murieron 17,7 mujeres por cada 100 mil mujeres.⁽⁴⁾

Por ende, entra la importancia de la prevención y la búsqueda temprana, ya que gracias a la exploración mediante palpaciones en las mamas, mamografías, ultrasonido, entre otras, se puede llegar una detección de etapas tempranas de la enfermedad, lo que permite abordar tratamiento del cáncer de mama de manera muy eficaz y segura.

II. II Tratamiento

El tratamiento de este cáncer generalmente consiste en cirugía, quimioterapia o radioterapia para el control de la enfermedad tanto en la mama, como en los ganglios linfáticos y las áreas circundantes, entre más temprana sea la etapa en la que se enfrenta, el tratamiento será más eficaz, logrando probabilidades de supervivencia del 90% o más.⁽³⁾ Existen otros tratamientos como la terapia sistémica, los medicamentos de terapia endocrina y en algunos casos, terapia biológica dirigida.

Los tratamientos radioterapéuticos para cáncer de mama es un tratamiento con rayos X (o partículas) de alta energía que destruyen las células cancerosas, este puede ser administrado de dos formas principales; el primero por medio de una radiación externa, donde se administra radiación desde el equipo hacia la mamá, y el segundo por medio de una radiación interna, más conocida como braquiterapia, que generalmente se utiliza después de una cirugía para extirpar el tumor principal, donde el físico médico coloca temporalmente un dispositivo de administración de radiación en el lecho tumoral.⁽⁵⁾

La radioterapia se puede usar para tratar el cáncer mamario en casi cualquier etapa y generalmente se aplica después de una cirugía con conservación del seno para ayudar a reducir la probabilidad de que el cáncer regrese o después de una mastectomía, especialmente si el tumor cancerígeno mide más de 5 cm, o si se encuentra diseminación en ganglios linfáticos, o si ciertos márgenes quirúrgicos salen positivos como los de la piel o los músculos, entre otros.⁽⁶⁾

Hablando principalmente para la radioterapia en etapa temprana de cáncer de mama, (con mastectomía, reconstrucción mamaria, post cirugía, pT1–3, pN0–1, M0), nos encontramos con distintos protocolos que se pueden implementar, en el cual encontramos un protocolo estándar, un protocolo hipofraccionado moderado, un protocolo Fast-Forward⁽⁷⁾, entre otros. Los protocolos convencionales cuentan con 25 fracciones de 2 Gy durante 5 semanas que llevaban a un final de 50 Gy. Luego empezaron agregarse otro tipo de tratamiento hipofraccionado, que en un principio eran relacionados con tratamientos paliativos debido a su mayor dosis en menor tiempo, pero que lograría un mejor abordaje terapéutico y una

disminución en el número de sesiones de tratamiento, lo que acaba interpretándose como una mejor calidad de vida para los pacientes, este protocolo hipofraccionado moderado constaría con 15 fracciones con 2.7 Gy por sesión durante 3 semanas, que entregaría un total de 40.5 Gy.⁽⁸⁾

Por último, con la publicación de un artículo en 2020 en la revista The LANCET se ha empezado a implementar un nuevo protocolo hipofraccionado llamado Fast-Forward el cual contaría con 5 fracciones de 5.2 Gy durante 1 semana, entregando 26 Gy totales, este tratamiento duraría un quinto del protocolo convencional y se ha descubierto que este tipo de tratamiento hipofraccionado en pacientes con diagnóstico de cáncer de mama precoz post tratamiento preservador ha mostrado ser efectivo y con grandes resultados en el control local comparables a los esquemas de fraccionamiento convencional.⁽⁹⁾

II. III El Protocolo Fast Forward

Haciendo un breve resumen de la aplicación del protocolo del Fast-Forward en Chile⁽¹⁰⁾, se debe implementar una correcta marcación del lecho tumoral con clips (idealmente 12 clips, colocarlos de a pares, por medial, lateral, anterior, superior, inferior y posterior), de no colocar estos, se puede utilizar seroma como referencia del lecho tumoral. También, se debe efectuar una planificación TAC de tórax 3D con delineación de OARs (órganos de riesgo) y CTV/PTV. El protocolo requiere de dos campos opuestos tangenciales a la mama, estos campos deben de ser de haces de radiación de alta energía (6-15MV), posteriormente se deben realizar distintas restricciones para su implementación, como por ejemplo, efectuar una modulación de haces con técnica field-in-fiel, utilizar MLC o cuñas a cada lado de la mama, esto en virtud de lograr proteger el máximo posible los órganos de riesgo circundantes. Por otro lado, se sugiere la posibilidad de implementar opcionalmente un Boost en el lecho tumoral, y este puede ser de electrones o fotones (mini-Tgs o 3-5 haces con Radioterapia conformacional).⁽⁷⁾

Hablando de las dosis por volumen que son mandatorias para la técnica del Fast-Forward, nos encontramos que el 95% del PVT debe ser irradiado con el 95% de la dosis, es decir, 24.7 Gy, de la misma forma, la dosis máxima debe ser menor a 28,6 Gy (110%); sin

embargo, el 2% y 5% del volumen del PVT no debe superar las dosis de 27,82 Gy (107%) y 27.3 Gy (105%) respectivamente⁽¹⁰⁾. Es importante recordar que la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas (ICRU) recomienda que las dosis del órgano blanco se encuentran entre 95% al 107% para evitar las recidivas y complicaciones.⁽¹¹⁾

Por otro lado, hablando de la dosis en los órganos de riesgo, que dentro de ellos tenemos al corazón, en donde idealmente la curva de 7 Gy se encuentre en menos del 5% del volumen de este, y el pulmón ipsilateral donde se busca que la curva de los 8 Gy se encuentre en menos del 15% del volumen, aunque igual se puede aceptar que este menos de un 17% del volumen. Además, el protocolo recomienda que se registren las dosis promedio entregadas de ambos órganos de riesgo

Todas estas dosis, que son mandatorias para el protocolo, se pueden ver reflejadas en la Tabla N.º 1 y son la planificación del tratamiento Fast Forward en la revista The LANCET

PROTOCOLO MAMA - FAST FORWARD	
1) Prescripción:	Dosis esperada
a) PTV26: 26 Gy / 5 fx de 5,2 Gy	
V24,7 (95 % dosis)	> 95 %
D2 % (Dnear Max)	< 27,82 Gy (107%)
D5 %	< 27,3 Gy % (105%)
DMax	< 28,6 Gy (110% dosis)
2) OARs:	
a) Corazón: ***	
V7	< 5 %
b) Pulmón Ipsilateral	
V8	< 15 %

Tabla N°1: Muestra protocolo dosimétrico Fast Forward para cáncer de mama

Con la publicación de este nuevo artículo usando este protocolo hipofraccionado, mejor conocido como Fast Forward, hay que entender que este fue publicado en contexto de pandemia de SARS-Cov 2, la cual sería la causa principal de su gran masificación tanto a

nivel internacional como nacional del uso de este protocolo, ya que parte de los beneficios que consigue, es tratar a las pacientes en el plazo de una semana, reduciendo el tiempo de atención y exposición de la gente. Sin ser un caso aparte, en la Fundación Arturo López Pérez (FALP) los pacientes que acudieron con un diagnóstico cáncer de mama en etapa temprana y que cumplían con los límites volumétricos del tratamiento, como idea principal, se planificaron y trataron mediante la técnica Fast Forward 3D en equipos como Synergy Agility VMAT o TomoTherapy HD.

La técnica 3D se basa en la aplicación de campos fijos de radiación para conformar la dosis del lugar de interés, esto lo hace a través de planificadores tridimensionales, que con el empleo de las imágenes del escáner de simulación logra conformar las dosis de forma tridimensional en el tejido afectado, en caso de mama se utilizan 2 campos tangenciales contralaterales con cuñas a cada lado para lograr configurar la dosis en el PTV de ese lugar en específico sin invadir órganos de riesgo circundantes. El equipo que logra hacer esta técnica es el Synergy Agility 3D⁽¹²⁾ con empleo de campos estables y con seguimiento del posicionamiento del paciente con ayuda de haz de rayos X con energía de KV genera un Combe CT, genera una entrega segura de la dosis.

A su vez, la implementación de este protocolo lleva a reducir tiempos de espera y gastos económicos de los pacientes, debido a que al ser menos sesiones, se reducen las horas de atención del mismo, que se traduce en una reducción en el costo del tratamiento, dado que se reduce el tiempo de uso de las instalaciones. En consiguiente a lo anterior, si se implementara el Fast Forward de manera efectiva en todos los centros de radioterapia del país, se tendrían muchas más atenciones de pacientes con cáncer de mama por meses, semestres y años. Hay que ver el impacto que puede generar esto, más aún en las regiones del país, donde se cuentan con pocos centros de atención, al igual que el gasto estatal ahorrado que podría ser invertido en otras áreas de la salud.

Sin embargo, este artículo igual deja algunas problemáticas para su implementación, por ejemplo, hay varios pacientes que cumplen con los criterios para realizarse este tipo de tratamiento, pero debido a problemas en términos geométricos, volumétricos y dosimétricos

que son necesarios para realizar el procedimiento de manera correcta y que se originan principalmente en las modificaciones mandatorias del PTV de evaluación, son rechazados, lo que dificulta que todas las personas que cumplen con los requisitos puedan recibir este tipo de tratamiento.

Los inconvenientes que se presentan suelen suceder porque no todas las mamas son iguales, no todas se presentan con los mismos problemas, no todas se presentan en el mismo estado y no todas presentan el mismo lugar morfológico afectado. Así como podemos tener el caso de un tumor en el área interna de la mama, el protocolo de planificación solicita que se ejecuten algunos cortes desde la parrilla costal para evitar la irradiación pulmonar, pero en algunos casos, estos cortes posteriores eliminan partes importantes del tejido afectado o modifican la dosimetría finalmente entregada y son partes esenciales para cumplir con el tratamiento radiológico, en contraparte, pueden ocurrir inconvenientes con la dosimetría límite de los órganos de riesgo si es que no realizáramos los cortes señalados por el protocolo. Lo mismo puede llegar a ocurrir en mamas con mastectomías completas o parciales, con problemas de si la dosimetría se cumple en casos de tumores cercanos a la pared costal, o a un extremo de la mama, consiguiendo así que quizás el otro extremo no cumpla con la dosimetría.

La gran mayoría de los médicos radioterapeutas no permiten que haya lugares de la mama sin irradiar. Por lo que se prefiere otro tipo de tratamiento, dejando el Fast Forward de lado, ya que, si no se estuvieran cumpliendo con las dosimetrías, habría riesgos de aparición de recidivas, lo cual no es lo esperado.

II. IV Contexto Fundación Arturo López Pérez (FALP)

Por otro lado, la Fundación Arturo López Pérez cuenta con múltiples técnicas y equipos que permiten implementar este protocolo Fast Forward, siguiendo los mismos índices dosimétricos y volumétricos, pero implementando otras técnicas como son el IMRT. Esta técnica utiliza aceleradores lineales para administrar de forma segura dosis precisas de radiación a un tumor, a la par de que se reduce al mínimo la dosis que recibe el tejido normal circundante a través de su capacidad de conformación de las multiláminas y cálculos

iterativos, logra que la dosis de radiación se conforme con mayor precisión a la forma tridimensional (3D) del tumor mediante la modulación de la intensidad del haz de radiación en varios volúmenes pequeños⁽¹³⁾, esto lo realiza gracias a un colimador multilaminas (MLC) presente el equipo que permite que las hojas laminas (5 mm-10 mm de ancho) se muevan mientras el haz realiza el giro al rededor del paciente a diferentes velocidades y patrones. La técnica IMRT también hace posible enfocar dosis más altas en el tumor en el área a tratar, al mismo tiempo que se minimiza la exposición a la radiación en las estructuras que son importante proteger, como los son los órganos de riesgo, que pueden tener una dosimetría límite para reacciones adversas. De esta manera, se logra mejorar las dosimetrías entregadas, disminuir los riesgos de recidivas a los pacientes y la eliminación de la enfermedad en estadios tempranos.

Para analizar los datos con técnica IMRT se tendría que utilizar el equipo de Tomoterapia Radixact de Accuray⁽¹⁴⁾, el cual posee la habilidad de mover la camilla al mismo tiempo que el gantry gira alrededor del paciente mientras modula el haz de radiación con el uso de un colimador multilamina binario, entregando la dosis y el tratamiento al paciente de manera helicoidal. Por otro lado, posee la tecnología de IGRT que permite un control del posicionamiento del paciente y de generar correcciones de ser necesario a través del equipo a través del movimiento de camilla y el gantry (corrección en el sentido roll). En cambio, en el caso del Synergy, el cual difiere en el funcionamiento, debido a que no realiza verificaciones de posicionamiento con desplazamiento de camilla y utiliza haces de estáticos no rotacionales.

II. V Motivaciones

En el presente estudio se evaluará las simulaciones de tratamiento de pacientes mujeres ya tratadas de al menos 18 años, que al igual que el protocolo realizado por el LANCET se llevó a cabo en personas con carcinoma de mama invasivo con etapificación de pT1–3, pN0–1 y M0, además, pueden haber sido sometidos a cirugía de conservación de mama o mastectomía. Los reclutados son las simulaciones de pacientes presentes en Chile previamente atendidas en el centro de radioterapia de Fundación Arturo López Pérez (FALP) que cumplen con los requerimientos y que fueron tratados con anterioridad con él

tratamiento Fast Forward, la mayor diferencia con la metodología realizada por el LANCET es que los resultados buscarán realizar una comparación de la dosimetría lograda entre los dos planes, el 3D y el IMRT, y no ver los resultados post tratamientos.

III. Hipótesis.

El protocolo de radioterapia Fast Forward con IMRT para cáncer de mama en estadios tempranos obtendrá resultados no inferiores en dosimetría y volumetría en comparación al tratamiento Fast Forward 3D para el mismo diagnóstico.

IV. Objetivos

IV. I Objetivo General

Comparar la dosimetría de los protocolos de tratamiento de radioterapia Fast Forward con implementación de IMRT y 3D para cáncer de mama en estadios tempranos.

IV. II Objetivos Específicos

- Analizar protocolo de planificación de FALP para Fast Forward 3D en simulaciones de pacientes que ya se realizaron el tratamiento en el software XiO del equipo Synergy Agility 3D.
- Revisar los resultados dosimétricos del protocolo Fast Forward 3D para tratamiento de cáncer de mama en estadios tempranos de dicho software.
- Analizar los resultados dosimétricos del protocolo Fast Forward 3D para tratamiento de cáncer de mama en estadios tempranos de dicho software.
- Recalcular protocolo de planificación de FALP para Fast Forward IMRT en el software Accuray Precision de Radixact
- Analizar los resultados dosimétricos del protocolo Fast Forward IMRT para tratamiento de cáncer de mama en estadios tempranos en dicho software.
- Comparar los resultados dosimétricos y los criterios de evaluación de los protocolos Fast Forward 3D e IMRT para tratamiento de cáncer de mama en estadios tempranos

V. Materiales y Métodos.

V. I. Material

- Software de simulación dosimétrica en 3D: XiO del equipo Synergy Agility 3D⁽¹²⁾
- Software de simulación dosimétrica en IMRT: Accuray Precision de Radixact⁽¹⁴⁾
- Software Microsoft Excel versión 13
- STATA/BE versión 18

V. II. Metodología

Tipo de estudio: Corresponde a un diseño Cuasiexperimental In Silico, debido a que esta investigación considera datos de simulaciones de pacientes expuestos a un tratamiento de Fast Forward con anterioridad, los cuales serán nuevamente procesados, planificado y analizados con cálculos computacionales para realizar una evaluación entre ambas planificaciones y así distinguir la inferioridad o superioridad de uno frente al otro en términos de dosimetría y volumetría.

Diseño de estudio: El presente estudio se llevará a cabo mediante la recopilación exhaustiva de planificaciones técnicas y cálculos dosimétricos de tratamientos para Cáncer de mama en etapa temprana (pT1–3, pN0–1 y M0) y que hayan utilizado la técnica Fast Forward 3D. Posteriormente, se procederá a hacer un recálculo de estas planificaciones utilizando el sistema de planificación Accuray Precision® del equipo Radixact para la técnica IMRT (Radioterapia con Modulación de Intensidad).

Específicamente, la planificación del tratamiento se ejecutará siguiendo los protocolos establecidos por la FALP (Fundación Arturo López Pérez) para esta técnica en particular. Se considerará la dosis prescrita al PTV (Volumen de Tratamiento Planificado) y se tomarán en cuenta las limitaciones de dosis de los órganos de riesgo (OAR) presentes en la zona a tratar.

Este enfoque permitirá comparar y analizar las diferencias entre las planificaciones originales basadas en la técnica Fast Forward 3D y las nuevas planificaciones recalculadas

con el sistema Fast Forward con IMRT. De esta manera, se evaluará la eficacia y la idoneidad de la técnica Fast Forward 3D en comparación con la aplicación de IMRT en el cáncer de mama en etapa temprana.

Población: Pacientes que se realizaron tratamiento de cáncer de mama en etapa temprana que se atendieron en FALP desde enero de 2021 al mes de mayo de 2023. De estos se seleccionan las simulaciones de pacientes que cumplan los criterios de inclusión y exclusión especificados más adelante.

Muestra: El tamaño de la muestra ha sido establecido considerando tanto el tiempo disponible para la investigación como la disponibilidad de casos en el servicio de Radioterapia de la Fundación Arturo López Pérez. Contamos con una muestra aproximada de 30 tratamientos de pacientes portadores de cáncer de mama, lo que nos brinda la oportunidad de examinar detalladamente la variabilidad entre las mamas derecha e izquierda. De esta manera, garantizamos que nuestro análisis se base en una muestra lo suficientemente representativa y robusta, permitiéndonos realizar conclusiones sólidas y precisas en nuestro estudio sobre Cáncer de mama en etapa temprana y las técnicas de tratamiento utilizadas.

Las simulaciones que serán re-planificados serán aquellos que cumplan con los criterios de inclusión y exclusión que se nombran a continuación;

Criterios de inclusión:

- Simulaciones de pacientes mayores o iguales a 18 años.
- Cáncer de mama en estadios tempranos (pT1–3).
- Estudio conformacional 3D.
- Irradiación de mama completa.
- Simulaciones de pacientes con indicación prescrita de Boost no integrado.

Criterios de exclusión:

- Simulaciones de pacientes con indicación prescrita de Boost integrado.
- Cáncer de mama en estadios tardíos (pT>3).
- Cáncer de mama por recidiva
- Tener más de 1 linfonodo afectado.
- Presentar metástasis.

Variables

Para las variables se elegirán y trabajarán con relación al protocolo dosimétrico establecido por la FALP para la técnica Fast Forward, según la dosis prescrita al PTV (Planning Target Volumen) y las limitaciones de dosis de los órganos de riesgo (OAR).

PROTOCOLO MAMA - FAST FORWARD* 5 Fx		
1) PRESCRIPCIÓN:		
a) PTV26: 26 Gy / 5 fx de 5,2 Gy	Ideal	Acceptable
V24,7 (95 % dosis)	> 95 %	> 90%**
D2 % (Dnear Max)	< 27,82 Gy (107%)	
D5 %	< 27,3 Gy % (105%)	
DMax	< 28,6 Gy (110% dosis)	
2) OARs:		
a) Corazón: ***		
DMean (registro)		
V7	< 5 %	
V1.5	<30%	
b) Pulmón Ipsilateral		
DMean (Registro)		
V8	< 15 %	< 17 %
c) Piel		
DMax puntual (Registro)		
DMax 0.03 cc		
DMax 0.1 cc		
d) Aux		
DMax 0.03 cc		

** Se debe marcar lecho para evitar subdosarlo.

** Lecho debe estar cubierto por curva $\geq 95\%$

Tabla N.º 2: Muestra protocolo dosimetría Fast Forward para cáncer de mama establecido en la FALP

- **Variables Dependientes del estudio**

Dentro del contexto de nuestra investigación, es de vital importancia considerar las variables dependientes relacionadas con los criterios dosimétricos que se presentan como medidas cuantitativas continuas y son meticulosamente evaluadas por los histogramas dosis-volumen (DVH) y los gráficos de Isodosis del Sistema de Planificación (TPS).

La implementación de un plan de tratamiento para el cáncer de mama en etapa temprana mediante la técnica Fast Forward requiere el cumplimiento estricto de una cobertura mínima del PTV (Volumen de Tratamiento Planificado) y la adecuación de las dosis en los órganos de riesgo, de acuerdo con las restricciones establecidas en el protocolo. No obstante, debido a la particularidad de esta técnica, tanto por la gran dosis por fracción que administra, sino también por lo nueva que es su implementación, es esencial establecer criterios dosimétricos adicionales para evaluar la aceptabilidad del tratamiento, para posteriormente, llevar a cabo una comparación exhaustiva entre las diversas planificaciones

En el marco de estos criterios dosimétricos, se destacan los siguientes puntos:

1. Cobertura de la superficie del PTV prescrita: es caracterizado como una variable continua. Se requiere alcanzar una cobertura óptima del volumen blanco (PTV) para asegurar la eficacia del tratamiento. Sin embargo, es importante considerar que esta exigencia puede variar en función de las dosis prescritas y el grado de cumplimiento de las limitaciones de dosis aplicadas a los órganos de riesgo yuxtapuestas, además de la forma de mama. Para esta se establece un umbral Aceptable de cobertura del 90% del PTV, con una meta de al menos un 95% en el Lecho Tumoral.

2. Áreas de Altas Dosis: Debido a las variaciones en la forma de las mamas y la ubicación de las zonas afectadas, las estructuras del PTV pueden ser más superficiales o internas, lo que puede ocasionar una distribución no uniforme de la dosis. Esto da lugar a áreas que sobrepasan la dosis prescrita en distintas áreas de la mama. Es por esto que será caracterizado como una variable continua y para describir este efecto, se establecen límites específicos para las áreas de altas dosis, como:

- El 107% de la dosis prescrita debe estar confinado en un volumen menor al 2% del PTV.
- El 105% de la dosis prescrita debe estar confinado en un volumen menor al 5% del PTV.
- La dosis máxima puntual debe ser menor al 110% de la dosis prescrita.

3. Cobertura de los Órganos de Riesgo; En el estudio de la dosis en órganos de riesgo, se han identificado dos órganos de especial relevancia para este tipo de tratamiento oncológico, a saber, el corazón y el pulmón ipsilateral. Estos órganos se encuentran en estrecha proximidad al volumen de tratamiento, lo que hace que su irradiación excesiva puede conllevar diversos efectos secundarios tardíos, de considerable importancia clínica. Ambos órganos serán caracterizados como una variable continua.

- Para proteger adecuadamente el corazón durante el tratamiento, se han establecido criterios específicos relacionados con el volumen del órgano irradiado. Concretamente, se busca que en un volumen inferior al 5% del corazón no exceda los 7 Gy, además, se busca que en un volumen inferior al 30% del corazón no exceda los 1,5 Gy, y junto con ello tener un registro de la dosis media del órgano.
- Por otro lado, en el caso del pulmón ipsilateral, también se han establecido criterios específicos para el volumen irradiado. Se busca que en un volumen inferior al 15% del pulmón ipsilateral no se supere los 8 Gy, aunque se acepta un volumen aceptable de hasta el 17% con dosis dentro de estos límites y junto con ello tener un registro de la dosis media del órgano
- Además, en este estudio llevaremos un registro de las dosis en Piel y de un Volumen auxiliar (Aux, volumen fuera del PTV). En la Piel llevaremos un registro de la dosis máxima puntual, dosis máxima en 0,03 cc y dosis máxima en 0,1 cc, y para el volumen auxiliar llevaremos un registro de la dosis máxima en 0,03 cc.

Nombre de la variable	Definición operacional	Categoría y unidad de medida	Fuente de obtención
Área de alta dosis	Porcentaje de dosis que supera la dosis del 105%, 107% y 110%	Porcentaje - volumen (%)	Histograma dosis-volumen del

			sistema de planificación (TPS)
Cobertura PTV	Porcentaje de volumen que recibe la dosis prescrita	Porcentaje - volumen (%)	Histograma dosis-volumen del sistema de planificación (TPS)
Cobertura de dosis en Órganos de riesgo (Corazón)	Porcentaje de dosis que recibe el corazón, se busca que un volumen inferior al 5% no exceda los 7 Gy, también que un volumen inferior al 30% no exceda los 1,5 Gy y junto con ello tener un registro de la dosis media.	Porcentaje (%)	Histograma dosis-volumen del sistema de planificación (TPS)
Cobertura de dosis en Órganos de riesgo (Pulmón ipsilateral)	Porcentaje de dosis que recibe el pulmón ipsilateral, se busca que un volumen inferior al 15% no supere los 8 Gy y junto con ello tener un registro de la dosis media	Porcentaje (%)	Histograma dosis-volumen del sistema de planificación (TPS)
Cobertura Piel	Cantidad de dosis máxima puntual, dosis máxima en 0,03 cc y dosis máxima en 0,1 cc que recibe.	Gray (Gy)	Histograma dosis-volumen del sistema de planificación (TPS)
Cobertura Aux	Cantidad de dosis máxima en 0,03 cc que recibe.	Gray (Gy)	Histograma dosis-volumen del sistema de planificación (TPS)

Tabla N.º 3: Variables dependientes

- **Variable Control; Caracterización de la lesión:**

1. Localización de la lesión; para describir el lugar y cuadrante mamario en el cual se encuentra la lesión o lecho tumoral. Será caracterizada como una variable cualitativa categórica o nominal, la cual puede tomar valores de superior o inferior, interno o externo y anterior o posterior. Creando distintas variaciones con estas posibilidades, por ejemplo, Superior, externo y anterior, o Inferior, externo y posterior. Este dato se entrega por el programa de planificación debido a que el lecho ya se encuentra contorneado post escáner de simulación.

Nombre de la variable	Definición operacional	Categoría y unidad de medida	Fuente de obtención
Localización de la Lesión	Cuadrante de la lesión mamaria	Nominal (SEP, SEA, SIP, SIA, IEP, IEA, IIP, IIA)	Sistema de planificación de tratamientos

Tabla N.º 4: Variables de Control; Caracterización de la lesión

- **Variable independiente:**

1. Compromiso de la mama; variable cualitativa dicotómica que da cuenta de la mama en estudio que se realizara, diferenciando así, la mama derecha de la mama izquierda, debido a que presentan una divergente cercanía o lejanía a órganos de riesgo.

2. Sistema de planificación (TPS); es una clasificación cualitativa dicotómica que refleja la plataforma empleada para llevar a cabo la planificación técnica y dosimetría del tratamiento, basándose en la información obtenida del escáner de simulación. Esta variable presenta dos opciones distintas: el sistema Accuray Precision® (Radixact) y XiO (Synergy).

La elección del sistema de planificación es una decisión crítica que impacta significativamente en la calidad y precisión del tratamiento radioterapéutico. El sistema Accuray Precision® (Radixact) representa una avanzada plataforma de planificación, conocida por su enfoque en la Radioterapia de Intensidad Modulada (IMRT), lo cual permite una distribución altamente personalizada de la dosis en el tejido tumoral, minimizando la irradiación de los órganos sanos circundantes. Por otro lado, el sistema XiO (Synergy)

también se destaca por capacidad de planificación con Radioterapia conformada tridimensional (3D), el cual mediante por campos fijos, brinda una precisa y rápida entrega de dosis en el área afectada.

Nombre de la variable	Definición operacional	Categoría y unidad de medida	Fuente de obtención
Compromiso de la mama	Compromiso de la mama la cual compromete la lesión	Dicotómica Derecha-Izquierda	Escáner de simulación
Sistema de planificación	Software para realizar planificación y dosimetría del tratamiento a partir del escáner de simulación	Dicotómica Sistema Accuray Precisión (Radixact)- Sistema Accuray 3D (Synergy)	

Tabla N.º 5: Variables independientes

V. III Fuente y método de recolección de datos

Toda información requerida para dicha investigación se obtendrá a partir de los escáneres de simulación ya realizados a los pacientes con diagnóstico de cáncer de mama; esta información será mediada y procesada por la Unidad de Informática Médica y Data Science (IMDS) de FALP, la cual será entrega en una base de datos anonimizada, con el fin de resguardar los aspectos éticos de la investigación.

V. IV Análisis estadístico

Los datos que se recopilen en la investigación a partir de las planificaciones de Precisión del sistema Accuray, serán ingresados en el software Redcap y después se exportarán al programa estadístico STATA v 18 para su análisis. Lo que buscamos en este estudio es comparar la distribución de los resultados dosímetros obtenidos en Precisión con la técnica IMRT y los obtenidos con XiO para la técnica 3D, para establecer un grado de diferenciación de los valores obtenidos de manera cuantitativa y discutiendo sus diferencias con respecto a las variables elegidas.

Para cumplir con los objetivos de esta investigación presentada y con el fin de garantizar resultados sólidos y precisos, se ha seleccionado un margen de error del 5%, lo cual implica que el nuevo tratamiento con IMRT será considerado no inferior al estándar en 3D si la diferencia en la variable “Cobertura del PTV” no supera este umbral predefinido.

Para esto, con el programa estadístico STATA v 18 se aplicará una prueba de normalidad Shapiro-Wilk de los datos cuantitativos de cada grupo de variables, donde los valores $p < 0,05$ se consideraran estadísticamente significativos, es decir, si los valores salen mayor a 0,05 se concluyen que los valores vienen de una distribución normal por lo que se realizará un Test parámetro T-Student, por el contrario, si los valores menores 0,05 se concluyen que los valores vienen de una distribución no normal por lo que se realizará Test no paramétrico de U-Mann Whitney.

V. V. Procedimiento:

1. Se realizará una búsqueda en el sistema de base de datos del software planificador XiO del equipo Synergy Agility 3D⁽¹²⁾ de todas las simulaciones de pacientes con cáncer de mama atendidas desde enero 2021 al mes de mayo 2023 con los tratamientos Fast Forward en 3D que cumplen con los criterios de inclusión y exclusión. Además, se buscará obtener una muestra de casos con diagnóstico de cáncer de mama izquierda y cáncer de mama derecha por igual, de esta manera, se obtendrá una muestra que contenga planificaciones con protocolo Fast Forward 3D de diferentes lateralidades y que ya se realizaron el tratamiento. Luego, manteniendo la marcación de los órganos de riesgo y PTV originales del plan, se podrá observar cuáles fueron los valores dosimétricos y volumétricos que fueron entregados para posterior verificar e ingresar los datos obtenidos de la dosimetría de cada uno de los tratamientos en el sistema de datos Redcap.
2. Ya con todas las planificaciones y datos dosimétricos registrados del protocolo de Fast Forward 3D, estas se re-planificarán para un tratamiento Fast Forward IMRT a través del TPS del equipo Radixact⁽¹⁴⁾ manteniendo las marcaciones del PTV y los órganos de riesgo originales de cada uno los tratamientos, para así permanecer lo

más fidedigna su evaluación dosimétrica. Después todas las dosimetrías se ingresarán a la base de datos registrada en Redcap.

3. Por último, se realizará una comparación de la dosimetría de la base de datos de los protocolos, en ellos se tendrá como índice comparativo las dosis por volumen que son mandatorias para la técnica del Fast-Forward, para visualizar cuál protocolo cumple de mejor manera los estándares esperados. Esto quiere decir, que se espera que los planes de planificación llegue a los siguientes objetivos; el 95% del PVT debe ser irradiado con el 95% de la dosis, es decir, 24.7 Gy, de la misma forma, debemos cumplir que el 2% del volumen del PVT no debe superar las dosis de 27,82 Gy (107%). Por otro lado, tenemos los límites de dosis-volumen que debemos cumplir para los órganos de riesgo, en primer punto tenemos al corazón, en el cual se busca que no sobrepase de 7 Gy (25% de la dosis) y 1,5 Gy (5% de la dosis) en el 5 % y el 30% respectivamente del volumen del órgano de riesgo. En segundo punto tenemos al pulmón ipsilateral, en el cual se busca que no supere 8 Gy en el 15% del volumen del órgano de riesgo. Se recomienda anotar las dosis promedio de ambos órganos irradiados. Por otra parte, es importante señalar que es más relevante priorizar las dosis del OARs por sobre de las coberturas del PVT y que estos límites no tienen considerados los Boosts⁽¹⁰⁾. La medición comparativa se llevará a cabo el software de análisis estadísticos STATA/BE versión 18 y se evaluará la normalidad de los datos cuantitativos de cada grupo, si estos se distribuyen de manera normal se realizará un Test paramétrico T-Student, y en caso de que los datos no presenten una distribución normal se realizará entonces un Test no paramétrico de U-Mann Whitney.

VI. Resultados

Analizamos 83 simulaciones, de las cuales 37 fueron rechazadas producto de que eran otros tratamientos/fracciones, 4 eran simulaciones repetidas de pacientes que tenían su plan con boost integrado, 12 pacientes no terminamos producto del tiempo acotado de realización del proyecto, por lo que contamos con 30 simulaciones, de las cuales 15 son simulaciones de mama izquierda y 15 simulaciones de mama derecha.

El análisis fue realizado en el software estadístico STATA/BE 18.0, que al aplicar una prueba de normalidad mediante el test de Shapiro-Wilk (Tabla 6) con el fin de determinar la distribución de las variables, se realizaron pruebas no paramétricas para datos con distribución no normal. Por lo tanto, las variables descritas fueron analizadas a través de una comparación de grupos mediante el test U de Mann-Whitney, donde los valores de $p < 0,05$ fueron considerados estadísticamente significativos, en consecuencia de esto, los datos fueron expresados en términos de la mediana y rango intercuartílico (Q1-Q3), para resumir las variables definidas en el estudio.

Categoría	W	p-valor
Cobertura de la superficie del PTV prescrita (%)	0.96137	0.00000
Cobertura del 105% (Gy)	0.88821	0.05492
Cobertura del 107% (Gy)	0.88426	0.00005
Dosis Máxima Puntual (Gy)	0.93412	0.00298
Dosis Promedio del Corazón (Gy)	0.88243	0.00003
Cobertura Corazón V1.5 Gy (%)	0.81728	0.0000
Cobertura Corazón V7 Gy (%)	0.87781	0.00002
Dosis promedio del Pulmón ipsilateral (Gy)	0.91646	0.00055
Cobertura Pulmón ipsilateral V8 Gy (%)	0.94567	0.00979
Dosis en 0.003 cc de la piel (Gy)	0.71268	0.00000
Dosis en 0.1 cc de la piel (Gy)	0.80564	0.00000
Dosis máxima puntual en piel (Gy)	0.90684	0.00024
Dosis máxima fuera del PTV (Gy)	0.76813	0.00000

Tabla N.º 6: Test Shapiro-Wilk

VI. I Cobertura de la superficie del PTV prescrita

En esta área de estudio se evaluó la variable de la cobertura de las dosis en el volumen del PTV según el límite planteado por el protocolo, es decir; el volumen del PTV que contiene el 95% de la dosis, vale decir, el volumen del PTV que está irradiado por lo menos con 24.7

Gy. Esto a través de una comparación de las técnicas IMRT y 3D para visualizar los cambios generados.

Los resultados del análisis comparativo (Diagrama N.º 1) revelan que la mediana del porcentaje de cobertura PTV V24,7 Gy fue 94,73% (92.15 - 95.76%) para la modalidad 3D, y 97,75% (95,28 - 99,4 %) para la modalidad IMRT.

La modalidad 3D presenta un gran rango con un valor máximo (99.15%) y un valor mínimo (89.2%), con una menor variabilidad con una distribución sesgada negativa, es decir, los datos están más concentrados hacia la parte superior de la distribución. En su contraparte, la modalidad IMRT presenta un menor rango con respecto al 3D con un valor máximo (100%) y un valor mínimo (92%), pero con una variabilidad mayor al 3D con una distribución sesgada negativa.

Respecto a la comparación de los grupos, se demostró una diferencia significativa ($p = 0,0001$) entre ambas modalidades para la variable PTV 24,7 Gy, por lo que se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que la técnica IMRT es más eficiente, producto de que obtiene mayor valor de cobertura en esta variable.

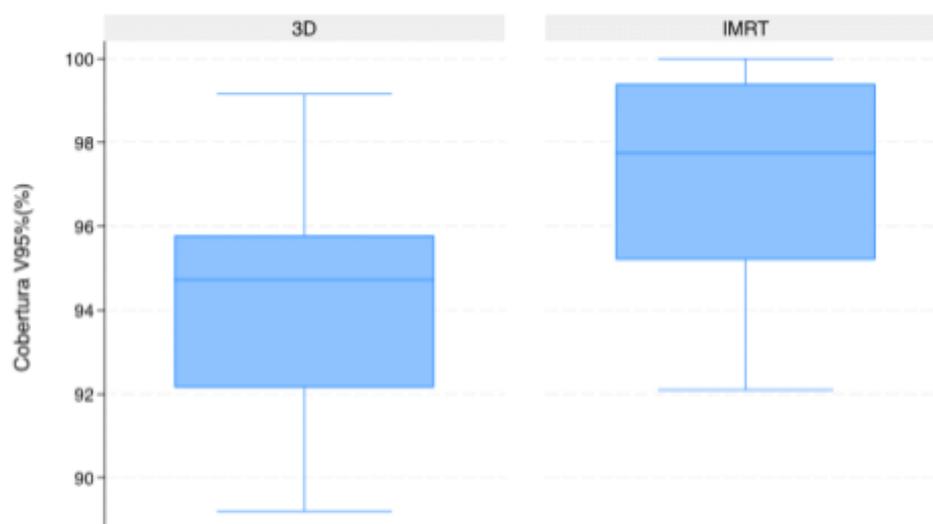


Diagrama caja y bigotes N°1: Comparación descriptiva de la distribución de la cobertura del PTV V24,7 en ambas modalidades.

VI. II. Áreas de alta dosis

Con respecto a esta variable, en este punto se analiza las dosis del PTV que sobrepasan la dosis prescrita que se plantearon en el protocolo y que afectan a la distribución no uniforme de la dosis. A continuación se visualizará como varían las dosis con el uso de la técnica 3D e IMRT con los distintos objetivos y límites establecidos.

- a. PTV D2% < 27,82 Gy (107 %), es decir, el 107% de la dosis prescrita busca estar confinado en un volumen menor al 2% del PTV.**

Al analizar el diagrama N.º 2, se evidencia una diferencia de las medianas entre ambas técnicas, para 3D esta se ubica en 27,4 Gy (27,3 - 27,5 Gy), mientras que para la técnica IMRT se ubica en 26,59 Gy (26,46 - 26,8 Gy), por lo que, los valores de alta dosis PTV-D2% tienden a ser mayores en 3D.

Para la técnica 3D se registra un valor mínimo de 27,14 Gy y un valor máximo de 27,62 Gy, además, de una distribución de los datos simétrica, por otro lado, en la técnica IMRT se registra un valor mínimo de 26,26 Gy y un valor máximo atípico de 27,73 Gy, además, una mayor variabilidad con respecto al 3D con una distribución sesgada positiva, es decir, los datos están más concentrados hacia la parte inferior de la distribución.

Respecto a la comparación de los grupos, se demostró una diferencia significativa ($p = 0$) entre ambas modalidades para la variable PTV D2%, por lo que se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que la técnica IMRT obtiene menores áreas de con el 107% de la dosis prescrita.



Diagrama caja y bigotes N°2: Comparación descriptiva de la distribución de cobertura PTV D2% en relación a ambas técnicas.

- b. PTV D5% < 27,3 Gy, es decir, el 105% de la dosis prescrita debe estar confinado en un volumen menor al 5% del PTV.**

Al analizar el diagrama N.º 3, se evidencia una diferencia de las medianas entre ambas técnicas, siendo para la técnica 3D del 27,23 Gy (27,19 - 27,3 Gy) y para IMRT del 26,45 Gy (26,37 - 26,61 Gy), por lo que, los valores de alta dosis PTV D5% tienden a ser menores en IMRT.

Para la técnica 3D se registra un valor mínimo atípico del 26,95 Gy y un valor máximo del 27,4 Gy, además de una menor variabilidad de los datos con respecto al IMRT, con una distribución sesgada positiva. Por otro lado, para la modalidad IMRT presenta un valor mínimo del 26,2 Gy y un valor máximo atípico del 27,59 Gy, además de una mayor variabilidad de los datos e igualmente una distribución sesgada positiva.

Respecto a la comparación de los grupos, se demostró una diferencia significativa ($p = 0$) entre ambas modalidades para la variable PTV D5%, por lo que, se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que la técnica IMRT tiene resultados más satisfactorios, producto de que obtiene menores valores de dosis en esta variable.



Diagrama caja y bigotes N°3: Comparación descriptiva de la distribución de la cobertura de PTV D5%.

- c. PTV Dmax < 28,6 Gy, es decir, la dosis máxima puntual debe ser menor al 110% de la dosis prescrita.**

Al analizar el diagrama N.º 4, se evidencia una leve diferencia de las medianas entre ambas técnicas, siendo para el 3D de 27,83 Gy (27,76 - 27,89 Gy) y para IMRT de 27,94 Gy (27,30 - 28,68 Gy).

La técnica 3D tiene un valor mínimo atípico de 27,49 Gy y un valor máximo atípico de 28,6 Gy, además de una menor variabilidad de los datos con una distribución sesgada positiva. En cambio, la técnica IMRT tiene un valor mínimo de 26,75 Gy y un valor máximo de 28,92 Gy, con una mayor variabilidad de los datos en comparación al 3D y con una distribución sesgada levemente positiva.

Respecto a la comparación de los grupos, no se demostró una diferencia significativa ($p = 0,8129$) entre ambas modalidades para la variable PTV Dmax, por lo que no es posible rechazar la hipótesis nula y se concluye que no hay diferencias en la variable PTV Dmáx entre las técnicas 3D e IMRT.



Diagrama caja y bigotes N°4: Comparación descriptiva de la distribución de la cobertura de PTV Dmax.

VI. III. Cobertura de los Órganos de Riesgo

En relación con esta variable, en este punto se busca determinar las dosis de radiación entregadas a los órganos de riesgo, considerando los límites y objetivos definidos en el protocolo descrito previamente. Estos son fundamentales para mitigar la posibilidad de efectos secundarios, tanto agudos como tardíos, que puedan surgir como consecuencia de la radioterapia. A continuación, se realizó una visualización detallada de cómo varían las dosis cuando se emplean las técnicas de radioterapia en 3D (tridimensional) e IMRT (Radioterapia de Intensidad Modulada) en relación con los distintos límites establecidos para los órganos en riesgo, en particular, para el pulmón ipsilateral, el corazón y piel.

VI. III. I. Cobertura del Corazón

- a. $V 7 \text{ Gy} < 5 \%$, es decir, se busca que en un volumen inferior al 5% del corazón no exceda los 7 Gy.**

Al analizar el diagrama N.º 5, se evidencia una diferencia entre las medianas de ambas técnicas, para el 3D esta se encuentra en 0,63% (0 - 4,02%) y para IMRT en 1,15% (0 - 3,75%).

Sin embargo, para la técnica 3D, esta tiene un valor mínimo de 0% y un valor máximo de 6,96%, con una gran variabilidad con una distribución sesgada positiva, en cambio, para el IMRT tiene un valor mínimo de 0% y un valor máximo de 5,5% con una menor variabilidad de los datos con una distribución sesgada positiva igualmente.

Respecto a la comparación de los grupos, no se demostró una diferencia significativa ($p = 0,7744$) entre ambas modalidades para la variable Corazón V7, por lo que no es posible rechazar la hipótesis nula y se concluye que no hay diferencias en la variable Corazón V7 entre las técnicas 3D e IMRT

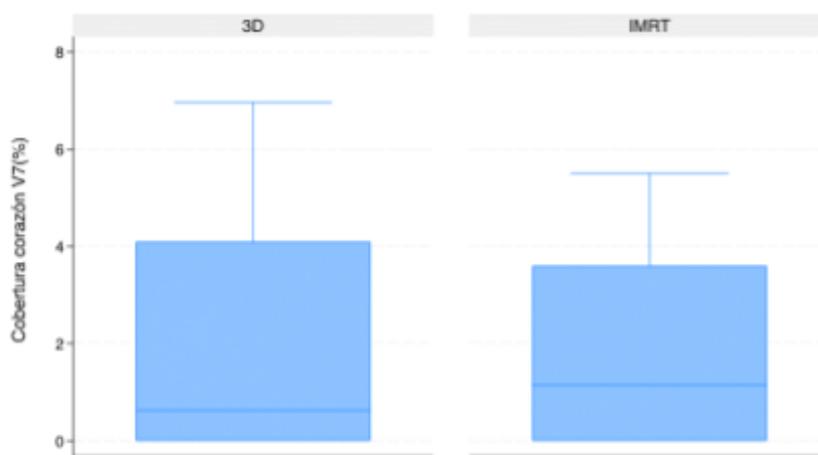


Diagrama de caja y bigotes 5: Comparación de la cobertura de dosis 7Gy en el corazón con ambas la tecnica utilizadas

b. $V 1.5 \text{ Gy} < 30\%$, es decir, además se busca que en un volumen inferior al 30% del corazón no exceda los 1,5 Gy

Al analizar el diagrama N.º 6, se observa que hay una diferencia entre las medianas de ambas técnicas, siendo para el 3D de 4,69% (0,04 - 13,64%) y para IMRT de 3,55% (0 - 12,07%).

Además, la técnica 3D tiene un valor mínimo de 0,04% y un valor máximo de 20,89% y presenta una mayor variabilidad en comparación al IMRT con una distribución sesgada positiva, en cambio, en IMRT se tiene un valor mínimo de 0% y un valor máximo de 21% con una menor variabilidad de los datos con una distribución sesgada positiva.

Respecto a la comparación de los grupos, no se demostró una diferencia significativa ($p = 0,5074$) entre ambas modalidades para la variable Corazón V1,5, por lo que no es posible rechazar la hipótesis nula y se concluye que no hay diferencias en la variable Corazón V1,5 entre las técnicas 3D e IMRT.

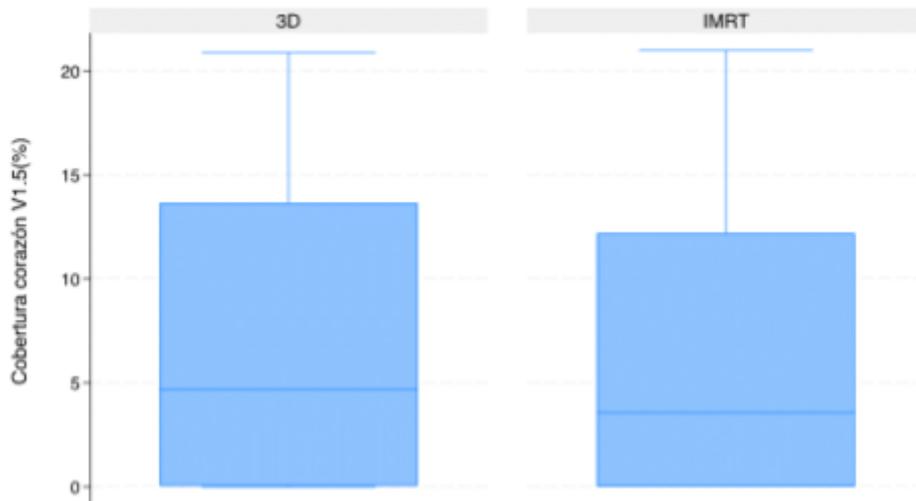


Diagrama caja y bigotes 6: Comparación de la cobertura de dosis 1.5Gy en el corazón con ambas la técnica utilizadas

c. Dosis promedio en el Corazón, Dmean

Al analizar el diagrama N.º 7, se observa que hay una diferencia entre las medianas de ambas técnicas, para el modelo 3D esta es de 0,79 Gy (0,43 - 1,51 Gy) y para IMRT es de 0,68 Gy (0,32 - 1,39 Gy).

En la técnica 3D se tuvo un valor mínimo de 0,29 Gy y un valor máximo de 2,26 Gy, con una distribución sesgada positiva de los datos, en cambio, en IMRT se tuvo un valor mínimo de 0,22 Gy y un valor máximo 1,98 Gy, y al igual que en 3D se tiene una distribución sesgada positiva de los datos.

Respecto a la comparación de los grupos, no se demostró una diferencia significativa ($p = 0,1493$) entre ambas modalidades para la variable Corazón Dmean, por lo que no es posible rechazar la hipótesis nula y se concluye que no hay diferencias en la variable Corazón Dmean entre las técnicas 3D e IMRT

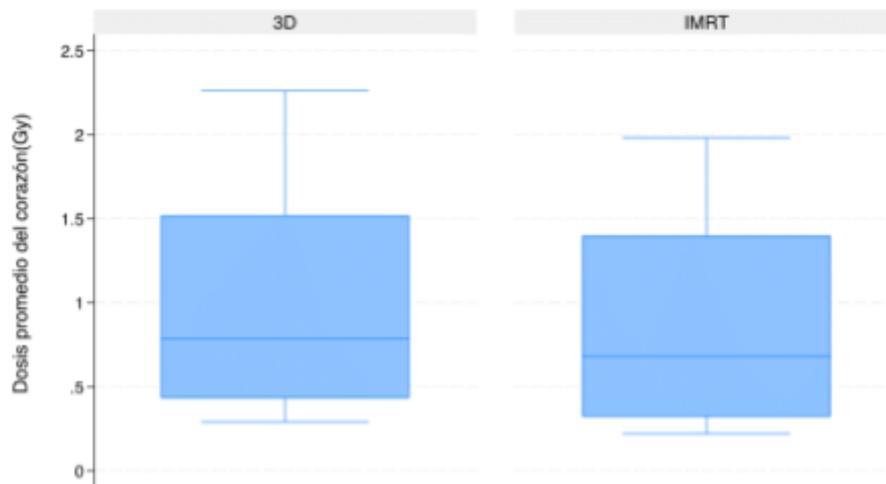


Diagrama caja y bigotes 7: Comparación de la dosis promedio del corazón (Gy) con ambas técnicas de tratamiento.

VI. III. II Cobertura del Pulmón Ipsilateral

- a. **V8 Gy < 15 %**, es decir, se busca que en un volumen inferior al 15% del pulmón ipsilateral no se supere los 8 Gy.

Al analizar el diagrama N.º 8, se evidencia una diferencia entre las medianas, para la técnica 3D, con un valor de 15,14% (13,72 - 16,57%), en cambio, para IMRT con un valor de 13% (12,3 - 13,97%), por lo que en términos de cobertura al pulmón ipsilateral V8 es mayor en la técnica 3D.

La técnica IMRT presentó un valor mínimo atípico de 7,9% un valor máximo atípico de 16,9%, además de presentar una menor variabilidad de los datos en comparación a la técnica 3D y con una distribución sesgada positiva. Por el otro lado, para la técnica 3D presentó un valor mínimo atípico de 4,9% y un valor máximo de 17,2%, además de una gran variabilidad de los datos y una ligera distribución sesgada positiva.

Respecto a la comparación de los grupos, se demostró una diferencia significativa ($p = 0,0002$) entre ambas modalidades para la variable Pulmón Ipsilateral V8, por lo que se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que la técnica IMRT es ventajosa, producto de que obtiene menores valores de dosis en esta variable.

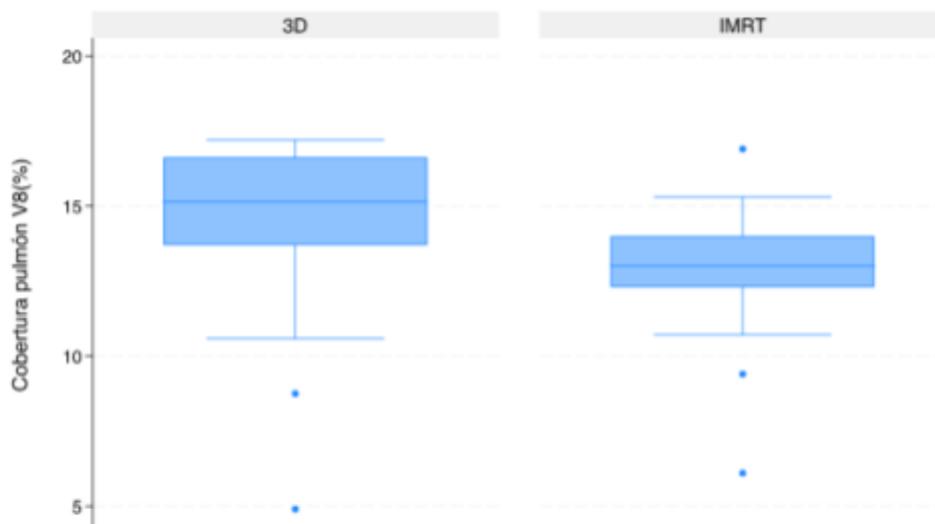


Diagrama caja y bigotes 8: Comparación de la cobertura de dosis 8 Gy en el pulmón con ambas la técnica utilizadas

b. Dosis promedio entregada al Pulmón Ipsilateral, Dmean

Al analizar el diagrama N.º 9, se observa una diferencia de las medianas entre ambas técnicas, para el 3D es de 3,91 Gy (3,49 - 4,21 Gy) y para IMRT de 3,45 Gy (3,12 - 3,66 Gy), por lo que, en valores de Dmean en el pulmón ipsilateral es mayor en 3D.

En la técnica IMRT se presentó un valor mínimo atípico de 2,23 Gy y un valor máximo de 4,18 Gy, además de presentar una menor variabilidad de los datos en comparación a la técnica 3D y con una dispersión sesgada negativa de los datos. Mientras que, en 3D se tuvo un valor mínimo atípico de 1,8 Gy y un valor máximo de 4,4 Gy, que al igual que en IMRT obtuvo una distribución sesgada negativa de los datos.

Respecto a la comparación de los grupos, se demostró una diferencia significativa ($p = 0,0009$) entre ambas modalidades para la variable Pulmón Ipsilateral Dmean, por lo que se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que la técnica IMRT es más conveniente, producto de que obtienen menores valores de dosis en esta variable.

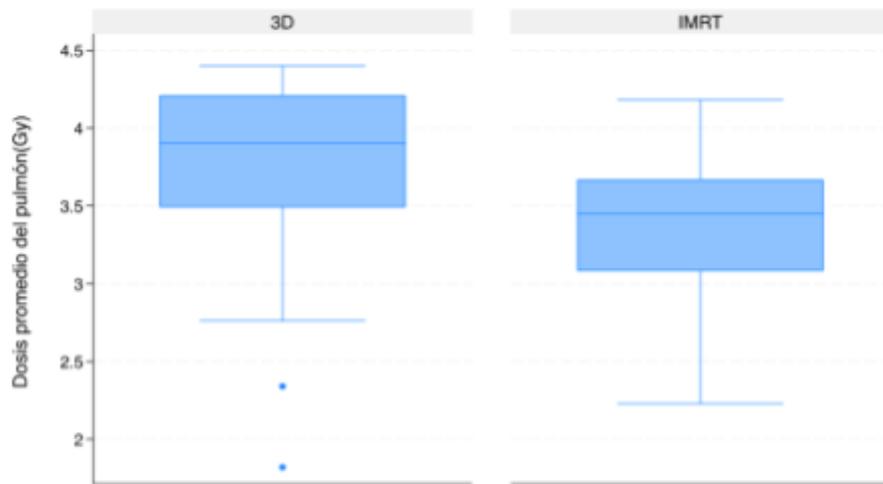


Diagrama caja y bigotes 9: Comparación de la dosis promedio del pulmón (Gy) con ambas técnicas de tratamiento.

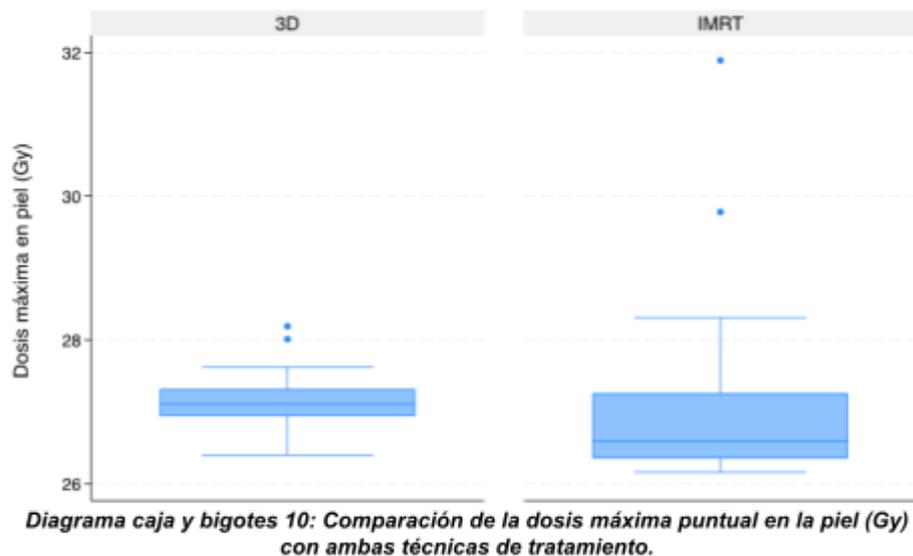
VI. III. III. Cobertura de la Piel y Áreas Auxiliares

a. Dosis máxima puntual registrada en la piel, Dmax

Al analizar el diagrama N.º 10, se observa la diferencia entre medianas de ambas técnicas, siendo el 3D en 27,11 Gy (26,95 - 27,31 Gy) y para IMRT 26,59 Gy (26,36 - 27,18 Gy), por lo que, en términos de dosis máxima puntual en piel, es mayor en 3D.

Además, la técnica 3D tuvo un valor mínimo de 26,4 Gy y un valor máximo atípico de 26,19 Gy, con una menor variabilidad de los datos en comparación a la técnica IMRT con una distribución sesgada positiva de los valores, en cambio, en la técnica IMRT presentó un valor mínimo de 26,16 Gy y un valor máximo atípico de 31,890 Gy, que al igual que en 3D presentó una distribución sesgada positiva.

Respecto a la comparación de los grupos, se demostró una diferencia significativa ($p = 0,0024$) entre ambas modalidades para la variable Piel Dmax, de manera que, se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que la técnica IMRT es superior, debido a que presenta menores valores de dosis en esta variable.



b. Dosis máxima registrada en un volumen de 0,03 cc de la piel

Al analizar el Anexo N.º 1 se evidencia una diferencia entre medianas, para la técnica 3D con un valor de 26,9 Gy (26,64 - 27,09 Gy) y para la técnica IMRT un valor de 26,45 Gy (26,18 - 26,68 Gy), de manera que los valores de dosis en piel a 0,03 cc fueron menores en IMRT.

En la modalidad 3D se obtuvo un valor mínimo de 25,96 Gy y un máximo atípico de 28,02 Gy, este tuvo una menor variabilidad de los datos en comparación al IMRT con una ligera distribución sesgada negativa de los valores, en cambio, para IMRT se obtuvo un valor mínimo de 25,89 Gy y un valor máximo atípico de 30,21 Gy con una distribución sesgada negativa.

Respecto a la comparación de los grupos, se demostró una diferencia significativa ($p = 0,0012$) entre ambas modalidades para la variable Piel Dmax 0,03 cc, por lo que se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que la técnica IMRT es óptima, ya que, obtiene menores valores de dosis en esta variable.

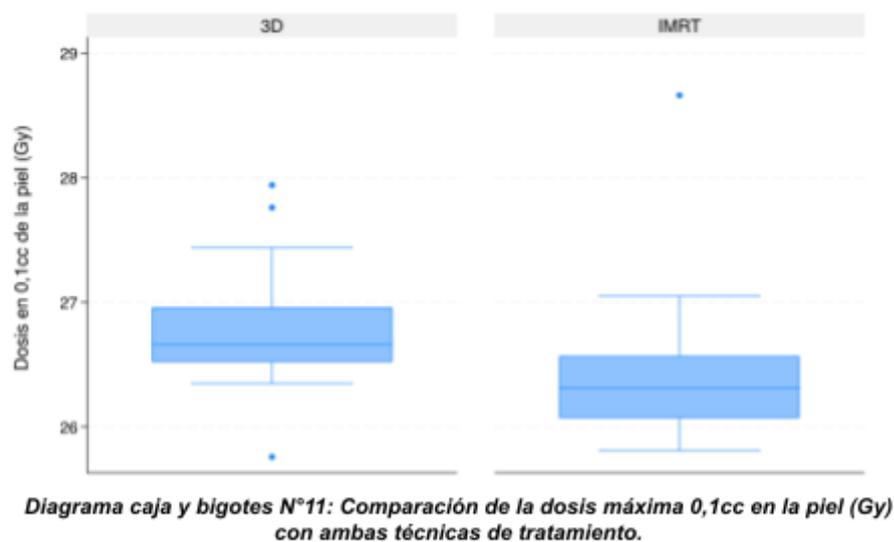
c. Dosis máxima entregada a un volumen de 0.1 cc de la piel

Al analizar el diagrama N.º 11 se observa que hay diferencia de las medianas entre ambas técnicas, para 3D es de 26,66 Gy (26,53 - 26,96 Gy) y para IMRT de 26,36 Gy (26,09 -

26,59 Gy), por lo que las dosis máxima entregada en un volumen de 0.1 cc a la piel fue mayor en la modalidad 3D.

En 3D se obtuvo un valor mínimo atípico de 25,76 Gy y un máximo atípico de 27,94 Gy, además, presentó menor variabilidad de los datos en comparación al IMRT con una distribución sesgada positiva, por otra parte, en IMRT se obtuvo un valor mínimo de 25,81 Gy y un máximo atípico de 28,66 Gy además de una distribución sesgada negativa de los datos.

Respecto a la comparación de los grupos, se demostró una diferencia significativa ($p = 0,0002$) entre ambas modalidades para la variable Piel Dmax 0,1 cc, por lo que se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que la técnica IMRT es superior, dado que presenta menores valores de dosis en esta variable.



d. Dosis máxima entregada en un área fuera del PTV, llamada zona Auxiliar (AUX)

Al analizar el diagrama N.º 12, se evidencia una diferencia entre las medianas, siendo para el 3D un valor de 27,65 Gy (27,37 - 27,77 Gy) y para el IMRT de 27,25 Gy (26,49 - 28,32 Gy), por lo cual, las dosis fuera del PTV fueron mayores en la modalidad 3D.

En 3D se obtuvo un valor mínimo atípico de 26,5 Gy y un valor máximo de 28 Gy, además de presentar una menor variabilidad de los datos en comparación al IMRT con una

distribución sesgada negativa, en cambio, en IMRT se obtuvo un valor mínimo de 26,07 Gy y un máximo atípico de 33,52 Gy, además de una distribución sesgada positiva.

Respecto a la comparación de los grupos, no se demostró una diferencia significativa ($p = 0,1185$) entre ambas modalidades para la variable Volumen Auxiliar, por lo tanto, no es posible rechazar la hipótesis nula y se concluye que no hay diferencias en la variable Volumen Auxiliar entre las técnicas 3D e IMRT



Diagrama caja y bigotes N°12: Comparación de la dosis máxima puntual fuera del PTV (Gy) con ambas técnicas de tratamiento.

VI. IV. Lateralidad de la mama

Con respecto a esta variable, en este punto se busca cumplir con el objetivo de los límites de dosis presentados por el protocolo, así recibir la dosis de radiación prescrita, proporcionando la máxima eficacia terapéutica. Esto se realizó a través de una comparación de las dosis entregadas con la técnica impartida; es decir, 3D e IMRT, con una comparación detallada de cómo varía la entrega de dosis al PTV y los órganos de riesgo al modificar la lateralidad de la mama irradiada. Este análisis se centra en entender como factores como la anatomía específica y la lateralidad de la mama afectan la distribución de la radiación.

VI. IV. I. Cobertura de la superficie del PTV prescrita contrastada con la lateralidad de la mama utilizada.

Se busca asegurar que el volumen irradiado alcance y supere el 95%, considerando diversas técnicas de radioterapia, entre las cuales se incluyen las metodologías tridimensional (3D) e Intensidad Modulada (IMRT), comparando cómo cambia la cobertura según el lado de la mama irradiado.

a. PTV V24,7 > 95 %, vale decir, el volumen del PTV que está irradiado por lo menos con 24.7 GY.

Al analizar el diagrama N.º 13, se observa una diferencia en las medianas, siendo para la modalidad 3D en mama izquierda de 93,87% (90,38 - 95,12%) y en mama derecha de 95,37% (93,2 - 97,19%). En la modalidad IMRT en mama izquierda de 97,2% (95 - 99,4%) y en mama derecha de 97,9% (95,2 - 99,6%).

En la modalidad 3D en mama izquierda se obtuvo un valor mínimo de 89,2% y un valor máximo de 97,1% además de una distribución sesgada negativa, en cambio, para 3D en mama derecha se obtuvo un valor mínimo de 90,8% y un máximo de 99,15 e igualmente una distribución sesgada negativa.

Por su contraparte, para la técnica IMRT en mama izquierda se obtuvo un valor mínimo de 92,5% y un valor máximo de 99,8% con una distribución sesgada positiva, y para IMRT en mama derecha se obtuvo un valor mínimo de 92,1% y un máximo de 100% con una distribución sesgada negativa.

Respecto a la comparación de los grupos, nos encontramos con dos comparaciones importantes 3D izquierda v/s IMRT izquierda y 3D derecha v/s IMRT derecha, las cuales demostraron una diferencia significativa ($p = 0.0017$ y $p = 0.0213$, respectivamente) entre ambas modalidades para la variable PTV 24,7, por lo que, se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que la técnica IMRT presentan mayores coberturas al PTV independientemente de la lateralidad de la mama.

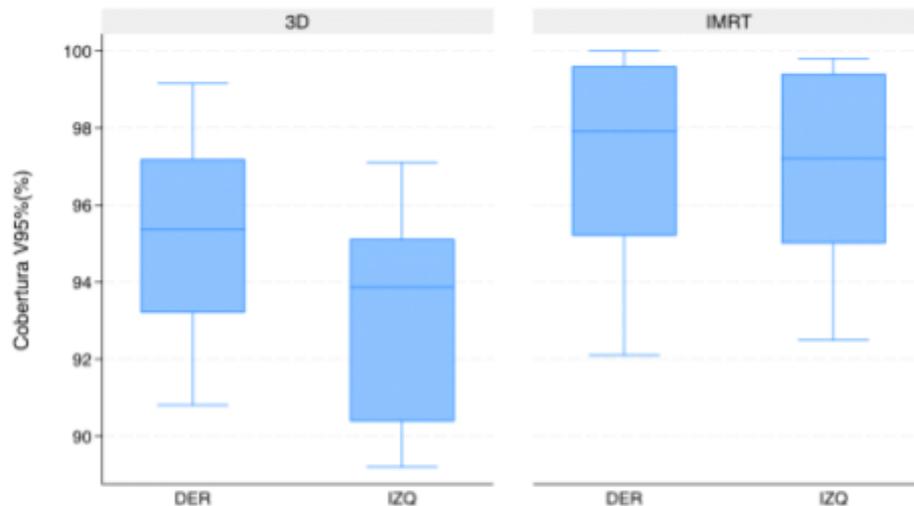


Diagrama caja y bigotes N°13: Comparación descriptiva de la distribución de la cobertura del PTV V24,7 en cada lado de la mama, en ambas modalidades.

VI. IV. II. Áreas de alta dosis

En esta variable, identificamos las dosis en el PTV que excedan a la cantidad inicialmente prescrita en el protocolo. Este análisis se enfoca en encontrar las dosis adicionales pueden afectar la uniformidad de la distribución de la radiación. Además, explicaremos cómo varían estas dosis al utilizar diferentes técnicas, como la radioterapia tridimensional (3D) y la radioterapia de intensidad modulada (IMRT), y cómo éstas varían en relación con el lado del seno irradiado, ya sea, derecho o izquierdo

- a. PTV D2% < 27,82 Gy (107%), es decir, el 107% de la dosis prescrita busca estar confinado en un volumen menor al 2% del PTV**

Al analizar el Anexo N.º 2, se observa que la mediana de la técnica 3D en mama izquierda es de 27,4 Gy (27,3 - 27,5 Gy) y en mama derecha de 27,45 Gy (27,3 - 27,5 Gy), por otro lado, en la técnica IMRT en mama izquierda es de 26,55 Gy (26,45 - 26,78 Gy) y en mama derecha es de 26,63 Gy (26,47 - 26,9 Gy).

En la técnica 3D en mama izquierda se registró un valor mínimo de 27,3 Gy y un valor máximo de 27,55 Gy con una distribución simétrica, en cambio, para mama derecha se registró un valor mínimo de 27,14 Gy y un valor máximo de 27,62 Gy igualmente con una distribución sesgada negativa de los datos. Al contrario, para IMRT en mama izquierda se registró un valor mínimo de 26,29 Gy y un máximo atípico de 27,73 Gy con una distribución

sesgada positiva de los valores, y en mama derecha se registró un valor mínimo de 26,26 Gy y un máximo de 27,32 Gy, igualmente con una distribución sesgada positiva.

Respecto a la comparación de ambas técnicas por lado, nos encontramos con dos comparaciones importantes 3D izquierda v/s IMRT izquierda y 3D derecha v/s IMRT derecha, las cuales demostraron una diferencia significativa ($p = 0$ para cada comparación) entre ambas modalidades para la variable PTV D2 %, por lo que, se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que la técnica IMRT presenta menores áreas de alta dosis, independiente del lado de la mama irradiado.

b. PTV D5% < 27,3 Gy, es decir, el 105% de la dosis prescrita debe estar confinado en un volumen menor al 5% del PTV.

Al analizar el Anexo N.º 3: se evidencia una diferencia de las medianas, siendo para la técnica 3D en mama izquierda de 27,21 Gy (27,1 - 27,3 Gy) y en mama derecha de 27,25 Gy (27,2 - 27,3 Gy). En cambio, para la técnica IMRT en mama izquierda de 26,42 Gy (26,36 - 26,63 Gy) y en mama derecha de 26,46 Gy (26,37 - 26,6 Gy).

En 3D para mama izquierda se obtuvo un valor mínimo de 27,1 Gy y un máximo de 27,3 Gy con una ligera distribución sesgada negativa de los datos, por otro lado, para mama derecha se registró un valor mínimo atípico de 26,95 Gy un máximo de 27,4 Gy con una distribución simétrica de los valores.

En cambio, para IMRT en mama izquierda se obtuvo un valor mínimo de 26,21 Gy y valor máximo atípico de 27,59 Gy con una distribución sesgada positiva, por otro lado, en la mama derecha se registró un valor mínimo de 26,2 Gy y un máximo atípico de 26,94 Gy e igualmente una distribución sesgada positiva.

Respecto a la comparación de ambas técnicas (3D e IMRT) por lado de la mama, nos encontramos con dos comparaciones importantes 3D izquierda v/s IMRT izquierda y 3D derecha v/s IMRT derecha, las cuales demostraron una diferencia significativa ($p = 0$ para ambas comparaciones) para la variable PTV D5 %, por lo que, se rechaza la hipótesis nula,

y se concluye que la técnica IMRT presenta menores áreas del 105% de la dosis prescrita, independiente del lado de la mama irradiado.

c. PTV Dmax < 28,6 Gy, es decir, la dosis máxima puntual debe ser menor al 110% de la dosis prescrita.

Al analizar el diagrama N.º 14, se evidencia una diferencia entre medianas, por un lado, en la técnica 3D para mama izquierda es de 27,8 Gy (27,76 - 27,84 Gy) y para mama derecha de 27,81 Gy (27,7 - 27,93 Gy), por el otro lado, en la técnica IMRT para mama izquierda es de 28,09 Gy (27,65 - 28,69 Gy) y para mama derecha de 27,41 Gy (27,1 - 28,02 Gy). Por lo tanto, en valores de D_{máx} es mayor para mama izquierda con la técnica IMRT y mayor en 3D para mama derecha, además se evidencia que la técnica 3D tiene una menor variabilidad de los datos en comparación con la técnica IMRT.

Para la técnica 3D en mama izquierda se registró un valor mínimo de 27,7 Gy y un máximo de 27,98 Gy, con una distribución simétrica de los valores, y para mama derecha un valor mínimo de 27,49 Gy y un máximo atípico de 28,6 Gy, e igualmente una distribución sesgada positiva.

En cambio, para IMRT en mama izquierda se registró un valor mínimo de 26,93 Gy y un máximo de 28,91 Gy, con una distribución sesgada positiva, y para mama derecha un valor mínimo de 26,75 Gy y un máximo de 28,92 Gy, e igualmente una distribución sesgada positiva.

Respecto a la comparación de ambas técnicas por lado, nos encontramos con dos comparaciones importantes 3D izquierda v/s IMRT izquierda y 3D derecha v/s IMRT derecha, las cuales demostraron una diferencia significativa para la mama izquierda, ($p = 0,0361$), de modo que, se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que la diferencia en las medianas de las poblaciones es estadísticamente significativa, demostrando una menor dosis máxima en la técnica 3D. Todo lo contrario ocurre con la mama derecha, la cual no posee una diferencia significativa ($p = 0,0849$), por lo que, no es posible rechazar la hipótesis nula, es decir, sus medianas son similares a pesar de la gran variabilidad de los datos de la técnica IMRT.

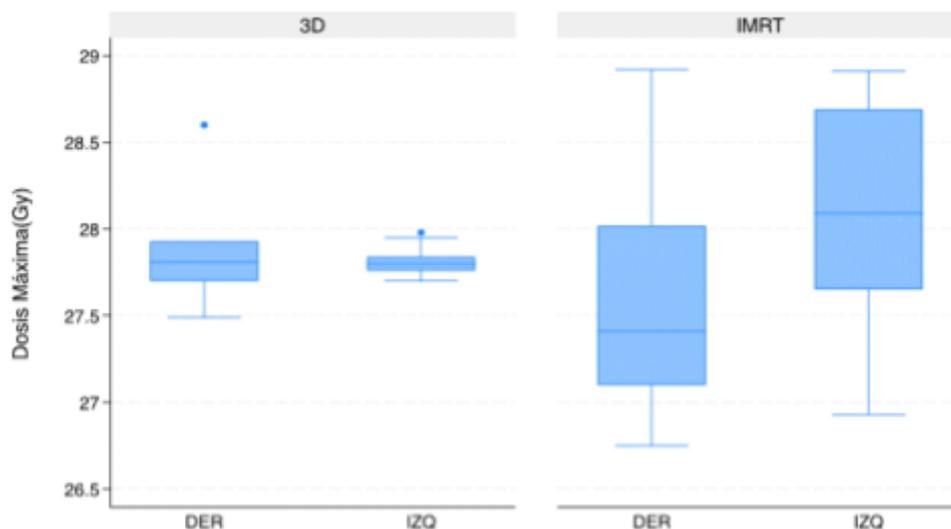


Diagrama caja y bigotes N°14: Comparación descriptiva de la distribución de la dosis máxima puntual en relación a cada lado de la mama, utilizando ambas técnicas.

VI. IV. III. Cobertura de los Órganos de Riesgo

VI. IV. III. I. Cobertura del Corazón

- a. **V 7 Gy < 5 %**, es decir, se busca que en un volumen inferior al 5% del corazón no exceda los 7 Gy.

Al analizar el diagrama N.º 15, se evidenció una diferencia entre las medianas, siendo para la técnica 3D en mama izquierda de 4,1% (3,16 - 4,74%), y en mama derecha de 0% (0 - 0%), y para técnica IMRT para mama izquierda de 3,6% (3,1 - 4,3%) y en mama derecha de 0% (0 - 0%).

En la técnica 3D en mama izquierda se registró un valor máximo de 6,96% y un valor mínimo de 1,26% con una distribución sesgada negativa, al contrario, para la técnica IMRT para la misma mama se registró un valor máximo de 5,5% y un mínimo de 2,3% presentando una distribución sesgada positiva.

Respecto a la comparación de los grupos, nos encontramos con dos comparaciones importantes 3D izquierda v/s IMRT izquierda y 3D derecha v/s IMRT derecha, las cuales no demostraron una diferencia significativa ($p = 0.442$ y $p = 1$, respectivamente) entre ambas modalidades para la variable cobertura corazón V7, por lo que, no es posible rechazar la hipótesis nula y se concluye que no hay diferencias en la variable cobertura V7 del corazón

en relación a las técnicas por cada lado, sin embargo, el lado izquierdo sí presenta una mayor dosis en comparación a la derecha.

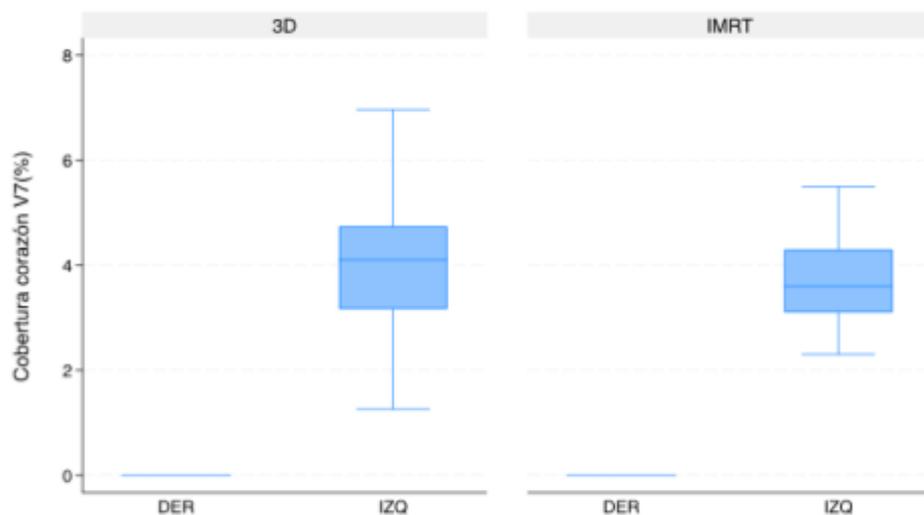


Diagrama caja y bigotes N°15: Comparación descriptiva de la distribución de la Cobertura de V7Gy (%) en relación a cada lado de la mama, utilizando ambas técnicas.

- b. V 1.5 Gy < 30 %, es decir, se busca que en un volumen inferior al 30% del corazón no exceda los 1,5 Gy.**

Al analizar el Anexo N.º 4, se evidencia una diferencia entre las medianas, siendo para la técnica 3D en mama izquierda de 13,66% (12,88 - 15,22%) y en mama derecha de 0,03% (0 - 0,39%), por otro lado, para la modalidad IMRT en mama izquierda de 12,2% (10,4 - 14,4%) y mama derecha 0% (0 - 0,2%).

En la modalidad 3D para mama izquierda se registró un valor mínimo atípico de 8,59% y un máximo atípico de 20,89%, con una distribución sesgada positiva, y en mama derecha un valor mínimo de 0% y un máximo de 0,79%, igualmente una distribución sesgada positiva.

En cambio, para IMRT en mama izquierda se registró un valor mínimo de 6,3% y un máximo atípico de 21%, con una distribución sesgada positiva, y para mama derecha un mínimo de 0% y un máximo atípico de 0,8%, e igualmente una distribución sesgada positiva.

Respecto a la comparación de los grupos, nos encontramos con dos comparaciones importantes 3D izquierda v/s IMRT izquierda y 3D derecha v/s IMRT derecha, las cuales no demostraron una diferencia significativa ($p = 0.271$ y $p = 0.414$ respectivamente) entre

ambas modalidades para la variable cobertura corazón V1,5, por lo tanto, no es posible rechazar la hipótesis nula y se concluye que no hay diferencias en la variable cobertura del corazón V1,5 en las técnicas por lado de la mama irradiado.

c. Dosis promedio en el Corazón, Dmean

Al analizar el Anexo N.º 5, se puede observar que hay diferencias entre las medianas, siendo para la técnica 3D en mama izquierda de 1,52 Gy (1,33 - 1,72 Gy) y en mama derecha de 0,43 Gy (0,39 - 0,52 Gy), y para la técnica IMRT en mama izquierda de 1,4 Gy (1,2 - 1,53 Gy) y en mama derecha de 0,32 Gy (0,25 - 0,42 Gy).

Para la técnica 3D en mama izquierda se registró un valor máximo de 2,26 Gy y un mínimo de 0,93 Gy, con una distribución sesgada positiva de los datos, y en mama derecha un máximo de 0,64 Gy y un mínimo de 0,29 Gy, igualmente con una distribución sesgada positiva.

Para la técnica IMRT en mama izquierda se registró un valor máximo de 1,98 Gy y un mínimo de 0,85 Gy, con una distribución sesgada negativa de los valores, y para mama derecha un valor máximo de 0,51 Gy y un mínimo de 0,22 Gy, con una distribución sesgada positiva.

Respecto a la comparación de ambas técnicas por lado, nos encontramos con dos comparaciones importantes 3D izquierda v/s IMRT izquierda y 3D derecha v/s IMRT derecha, la cual no demostró una diferencia significativa para en la mama izquierda ($p = 0,1984$), por otro lado, la mama derecha demostró una diferencia significativa ($p = 0,0054$). De esta manera, la variable de la dosis media del corazón presenta valores más bajos de dosis en la técnica IMRT en mama derecha y en su contraparte, la mama izquierda presenta valores estadísticamente similares para ambas técnicas.

VI. IV. IV. Cobertura del Pulmón Ipsilateral

- a. V8 Gy < 15 %, es decir, se busca que en un volumen inferior al 15% del pulmón ipsilateral no se supere los 8 Gy.**

Al analizar el diagrama N.º 16, se evidencian diferencias de las medianas, para 3D, en mama izquierda de 15,08% (13,15 - 16,81%) y para mama derecha de 15,2% (13,69 - 16,38%), en cambio, para IMRT en mama izquierda de 12,9% (12,3 - 14%) y en mama derecha de 13,1% (11,3 - 14%).

En 3D para mama izquierda se registró un valor mínimo atípico de 4,9% y un máximo de 17,2%, con una distribución sesgada negativa, y para mama derecha un valor mínimo atípico de 8,75% y un máximo de 17,05%, con una distribución sesgada negativa.

Para IMRT en mama izquierda se registró un valor mínimo atípico de 6,1% y un máximo de 15,3%, con una distribución sesgada positiva, y para mama derecha un valor mínimo de 9,4% y un máximo de 16,9%, con una distribución sesgada negativa.

Respecto a la comparación de los grupos, nos encontramos con dos comparaciones importantes 3D izquierda v/s IMRT izquierda y 3D derecha v/s IMRT derecha, las cuales demostraron una diferencia significativa ($p = 0.0107$ y $p = 0,0084$ respectivamente) entre ambas modalidades para la variable cobertura Pulmón Ipsilateral V8%, de manera que se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que la técnica IMRT entrega menores valores de dosis en el órgano de riesgo sin importar el lado irradiado de la mama.

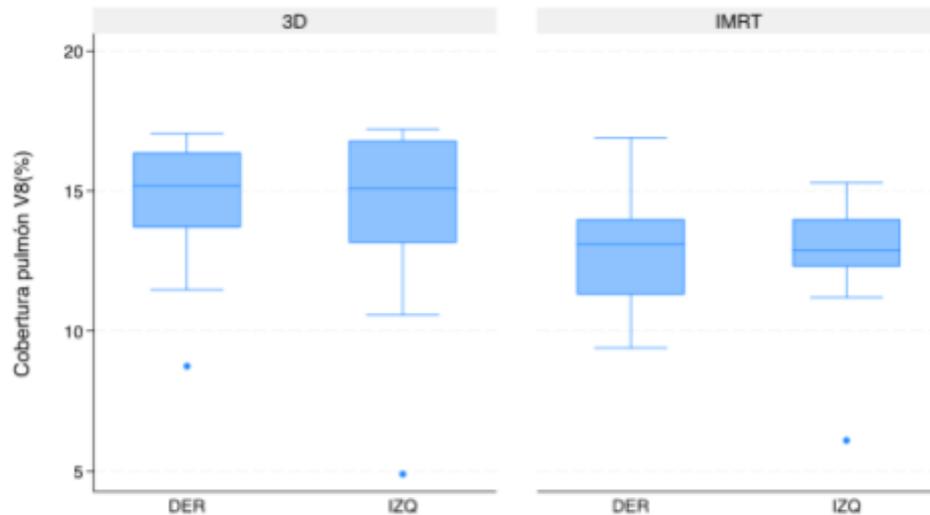


Diagrama caja y bigotes N°16: Comparación descriptiva de la distribución de la Cobertura de V8Gy (%) en relación a cada lado de la mama, utilizando ambas técnicas

c. Dosis promedio entregada al Pulmón Ipsilateral, Dmean

Al analizar el Anexo N.º 6, se puede observar que existe una diferencia entre las medianas, siendo para la técnica 3D en mama izquierda de 3,92 Gy (3,29 - 4,2 Gy) y en mama derecha de 3,92 Gy (3,49 - 4,25 Gy), y en la modalidad IMRT en mama izquierda de 3,42 Gy (3,24 - 3,62 Gy) y en mama derecha de 3,52 Gy (2,99 - 3,7 Gy).

En la técnica 3D en mama izquierda se registró un valor máximo de 4,4 Gy y un mínimo atípico de 1,82 Gy, con una distribución sesgada negativa de los valores, en cambio, para mama derecha se registró un valor máximo de 4,4 Gy y un mínimo atípico de 2,31 Gy, con una distribución sesgada negativa igualmente.

En la técnica IMRT en mama izquierda se registró un valor máximo de 4,03 Gy y un mínimo atípico de 2,23 Gy, con una distribución sesgada positiva de los datos, y en mama derecha se registró un valor máximo de 4,18 Gy y un mínimo 2,29 Gy, con una distribución sesgada negativa de los valores.

Respecto a la comparación de los grupos, nos encontramos con dos comparaciones importantes 3D izquierda v/s IMRT izquierda y 3D derecha v/s IMRT derecha, las cuales demostraron una diferencia significativa ($p = 0.0294$ y $p = 0,0309$ respectivamente) entre ambas modalidades para la variable de dosis media en Pulmón Ipsilateral, por lo que, se

rechaza la hipótesis nula, y se concluye que la técnica IMRT entrega dosis menores sin importar el lado irradiado de la mama.

VI. IV. V Cobertura de la Piel y Áreas Auxiliares

a. Dosis máxima puntual registrada en la piel, Dmax

Al analizar el Anexo N.º 7, se evidenció una diferencia entre las medianas, siendo para la técnica 3D en mama izquierda de 27,24 Gy (27,01 - 27,34) y en mama derecha de 27 Gy (26,82 - 27,31 Gy), y para la técnica IMRT en mama izquierda de 26,65 Gy (26,37 - 27,37 Gy) y en mama derecha de 26,48 Gy (26,25 - 26,8 Gy).

En la técnica 3D para mama izquierda se registró un valor máximo atípico 28,19 Gy y un mínimo atípico de 26,4 Gy con una distribución sesgada negativa de los datos, en cambio mama derecha se registró un valor máximo de 27,62 Gy y un mínimo 26,65 Gy con una distribución sesgada positiva de los valores.

En la técnica IMRT para mama izquierda se registró un valor máximo atípico de 29,78 Gy y un mínimo de 26,16 Gy, con una distribución sesgada positiva de los valores, en cambio para mama derecha se registró un valor máximo atípico de 31,89 Gy y un mínimo de 26,18 Gy, e igualmente con una distribución sesgada positiva.

Respecto a la comparación de los grupos, nos encontramos con dos comparaciones importantes 3D izquierda v/s IMRT izquierda y 3D derecha v/s IMRT derecha, las cuales no se demostró una diferencia significativa ($p = 0.1353$) en mama izquierda y se demostró una diferencia significativa ($p = 0,0058$) en mama derecha, entre ambas modalidades para la variable de dosis máxima puntual. Por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que la técnica IMRT es similar al 3D en mama izquierda, por el otro lado, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el IMRT es superior a la técnica 3D en mama derecha al obtener menores valores de dosis máxima puntual en la piel.

b. Dosis máxima registrada en un volumen de 0,03 cc de la piel

Al analizar el Anexo N.º 8 se evidencia una diferencia entre las medianas, siendo para 3D en mama izquierda de 26,96 Gy (26,69 - 27,13 Gy) y para mama derecha de 26,72 Gy

(26,57 - 27,04 Gy), y para IMRT en mama izquierda de 26,53 Gy (26,25 - 26,91 Gy) y para mama derecha de 26,31 Gy (26,15 - 26,66 Gy),

Para la modalidad 3D en mama izquierda se registró un valor mínimo atípico de 25,98 Gy y un máximo atípico de 28,02 Gy, con una distribución sesgada negativa de los valores, y para mama derecha un valor mínimo de 26,44 Gy y un máximo de 27,46 Gy, con una distribución sesgada positiva.

Por otro lado, para IMRT en mama izquierda se registró un valor mínimo de 26,05 Gy y un máximo de 27,88 Gy, con una distribución sesgada positiva, y para mama derecha un valor mínimo de 25,89 Gy y un máximo atípico de 30,21 Gy, e igualmente una distribución sesgada positiva de los valores.

Respecto a la comparación de los grupos, nos encontramos con dos comparaciones importantes 3D izquierda v/s IMRT izquierda y 3D derecha v/s IMRT derecha, la cual se demostró para qué para mama izquierda no hay una diferencia significativa ($p = 0.0512$), en consecuencia, no es posible rechazar la hipótesis nula y se concluye que ambas técnicas son similares. Por el contrario, para mamá derecha se demostró una diferencia significativa ($p = 0,0066$), por lo que se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que la técnica IMRT presenta menores valores de dosis a comparación de la técnica 3D.

c. Dosis máxima entregada a un volumen de 0.1cc de la piel

Al analizar el Anexo N.º 9, se puede observar que hay una diferencia entre las medianas, siendo para la técnica 3D en mama izquierda de 26,83 Gy (26,57 - 27,05 Gy), en cambio, para mama derecha de 26,56 Gy (26,44 - 26,95 Gy), por otro lado, en la técnica IMRT en mama izquierda de 26,37 Gy (26,07 -26,6 Gy) y en mama derecha de 26,26 Gy (26,04 - 26,48 Gy).

Para la técnica 3D en mama izquierda se registró un valor máximo atípico de 27,94 Gy y un mínimo atípico de 25,76 Gy, con una distribución sesgada negativa de los valores, en cambio, para mama derecha se registró un valor máximo de 27,37 Gy y un mínimo de 26,35 Gy, con una distribución sesgada positiva de los datos.

Para la técnica IMRT en mama izquierda se registró un valor máximo atípico de 27,76 Gy y un mínimo de 26,05 Gy, con una distribución sesgada negativa de los valores, en cambio, para mama derecha se registró un valor máximo atípico de 28,66 Gy y un mínimo de 25,81 Gy, e igualmente con una distribución sesgada negativa de los datos.

Respecto a la comparación de los grupos, nos encontramos con dos comparaciones importantes 3D izquierda v/s IMRT izquierda y 3D derecha v/s IMRT derecha, las cuales demostraron una diferencia significativa ($p = 0.0128$ y $p = 0,0048$ respectivamente) entre ambas modalidades para la variable de dosis máxima en 0.1 cc de la piel, por lo que se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que la técnica IMRT es más eficiente, debido a que entrega dosis menores sin importar el lado irradiado de la mama.

d. Dosis máxima entregada en un volumen 0.03cc en un área fuera del PTV, llamada zona Auxiliar (AUX)

Al analizar el Anexo N.º 10, se evidencia una diferencia entre las medianas, siendo para 3D en mama izquierda de 27,62 Gy (27,33 - 27,75 Gy) y para mama derecha de 27,67 Gy (27,38 - 27,83 Gy), en cambio, para IMRT en mama izquierda es de 27,72 Gy (26,79 - 28,83 Gy).

En la técnica 3D en mama izquierda se registró un valor máximo de 28 Gy y un mínimo de 27,04 Gy, con una distribución sesgada negativa de los valores, en cambio, para mama derecha se registró un valor máximo de 27,93 Gy y un mínimo atípico de 26,5 Gy, igualmente con una distribución sesgada negativa.

Para la técnica IMRT en mama izquierda se registró un valor máximo de 30,58 Gy y un mínimo de 26,07 Gy, con una distribución sesgada positiva de los valores, en cambio, para mama derecha se registró un máximo atípico de 33,52 Gy y un mínimo de 26,09 Gy, e igualmente una distribución sesgada positiva de los datos.

Respecto a la comparación de los grupos, nos encontramos con dos comparaciones importantes 3D izquierda v/s IMRT izquierda y 3D derecha v/s IMRT derecha, las cuales

demonstraron que no existe una diferencia significativa ($p = 0,8034$) para mama izquierda, por lo cual, no es posible rechazar la hipótesis nula, y se concluye que son similares. En cambio, para mama derecha se demostró una diferencia significativa ($p = 0,0191$), por lo que se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que son diferentes, siendo la técnica IMRT superior, ya que, que obtiene menor valores de dosis.

VI. V Localización de la Lesión

De las 83 pacientes estudiadas, 30 cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión. Estas pacientes se clasificaron según la localización del lecho en la mama siendo:

- * 9 Inferior - Externo - Posterior (IEP)
- * 4 Inferior - Externo - Anterior (IEA)
- * 3 Inferior - Interno - Posterior (IIP)
- * 3 Inferior - Interno - Anterior (IIA)
- * 3 Superior - Externo - Posterior (SEP)
- * 3 Superior - Externo - Anterior (SEA)
- * 2 Superior - Interno - Posterior (SIP)
- * 3 Superior - Interno - Anterior (SIA)

Para cada paciente, se calcularon las dosis de radiación entregadas al PTV y a los órganos de riesgo, incluido el pulmón ipsilateral, el corazón y la piel, visualizando cómo cambian las dosis de radiación entregadas con las técnicas 3D e IMRT. Esto agregándole la variable de la localización de la lesión, para comprender cómo los factores anatómicos afectan la distribución de la radiación.

VI. V. I. Cobertura de la superficie del PTV prescrita

- a. **PTV $V_{24,7} > 95\%$, vale decir, el volumen del PTV que está irradiado por lo menos con 24.7 Gy**

Al analizar el diagrama N.º 17, se evidencia una diferencia entre las medianas, en el caso de la técnica 3D se obtuvo; en IEA de 95,24% (94,37 - 95,43%), IEP es 93,87% (92,16 - 95,67%), en IIA de 93,3% (91,25 - 94,15%), en IIP de 95,79% (95,45 - 96,65%), en SEA de

90,57% (90,47 - 90,68%), en SEP de 94,06% (92,11 - 95,17%), en SIA de 97,1% (95,22 - 97,25%), y en SIP de 97,13% (96,12 - 98,14%).

Por el otro lado, en las medianas en IMRT se obtuvo; en IEA de 95,2% (92,62 - 98,2%), en IEP de 99% (95,5 - 99,6%), en IIA de 96,2% (95,6 - 97,05%), en IIP de 98,9% (96,7 - 99,2%), en SEA de 92,7% (92,6 - 94,1%), en SEP de 97,2% (96,55 - 97,7%), en SIA de 99,4% (99,15 - 99,7%), y en SIP de 99,65% (99,52 - 99,77%).

En referencia a la comparación de la localización de la lesión con la técnica empleada, nos encontramos con que no existe una diferencia significativa, es decir, son similares los valores de dosis en las localizaciones; IEA ($p = 0,772$), IIA ($p = 0,076$), IIP ($p = 0,512$), SEP ($p = 0,126$) y SIP ($p = 0,121$). En cambio, sí poseen una diferencia significativa en; IEP ($p = 0,0118$), SEA ($p = 0,0495$) y SIA ($p = 0,049$), donde se rechaza la hipótesis nula y se demuestra que la técnica IMRT presenta una mayor cobertura del PTV con un 95% de la dosis prescrita en estas localizaciones.

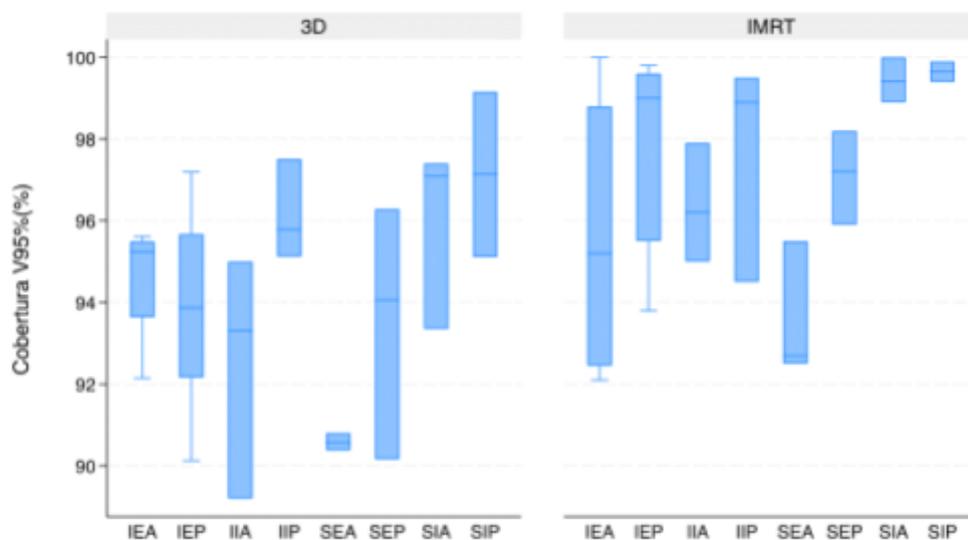


Diagrama caja y bigotes N°17: Comparación de la cobertura V24,7 Gy del PTV (%) en relación cada a la localización de la lesión irradiada; con ambas técnicas de tratamiento

VI. V. II Áreas de alta dosis

a. **PTV D2% < 27,82 Gy (107%), es decir, el 107% de la dosis prescrita busca estar confinado en un volumen menor al 2% del PTV**

Al analizar el Anexo N.º 11, se evidencia una diferencia entre medianas, en el caso de la técnica 3D se obtuvo; IEA es de 27,45 Gy (27,35 - 27,56 Gy), en IEP es de 27,3 Gy (27,3 - 27,5 Gy), en IIA es de 27,4 Gy (27,4 Gy - 27,55 Gy), en IIP es de 27,5 Gy (27,3 - 27,5 Gy), en SEA es de 27,4 Gy (27,36 - 27,5 Gy), en SEP es de 27,45 Gy (27,4 - 27,5 Gy), en SIA es de 27,31 Gy (27,25 - 27,4 Gy), y en SIP es de 27,37 Gy (27,3 - 27,45 Gy).

En cambio, las medianas observadas en IMRT son; IEA es de 26,73 Gy (26,41 - 27,31 Gy), en IEP es de 26,78 Gy (26,58 - 26,82 Gy), en IIA es de 26,72 Gy (26,3 - 26,98 Gy), en IIP es de 26,44 Gy (26,29 - 26,67 Gy), en SEA es de 26,5 Gy (26,46 - 26,71 Gy), en SEP es de 26,55 Gy (26,4 - 26,75 Gy), en SIA es de 26,61 Gy (26,47 - 26,93 Gy), y en SIP es de 26,45 Gy (26,35 - 26,55 Gy).

En referencia a la comparación de la localización de la lesión con la técnica empleada, nos encontramos con que no existe una diferencia significativa, es decir, son similares en las localizaciones; IEA ($p = 0,2482$) y SIP ($p = 0,1213$). En cambio, tenemos que los si poseen una diferencia significativa son; IEP ($p = 0,0067$), IIA ($p = 0,0473$), IIP ($p = 0,0463$), SEA ($p = 0,0495$), SEP ($p = 0,0495$), SIA ($p = 0,0495$), donde se rechaza la hipótesis nula y se demuestra que la técnica 3D presenta una mayor área de dosis de 107% de la dosis prescrita en el PTV.

b. **PTV D5% < 27,3 Gy, es decir, el 105% de la dosis prescrita debe estar confinado en un volumen menor al 5% del PTV.**

Al analizar el Anexo N.º 12 se evidencia una diferencia entre las medianas, en el caso para la técnica 3D se obtuvo en la localización; IEA de 27,33 Gy (27,24 - 27,39 Gy), IEP es 27,2 Gy (27,1 - 27,25 Gy), en IIA de 27,3 Gy (27,2 - 27,4 Gy), en IIP de 27,3 Gy (27,1 - 27,3), en SEA de 27,22 (27,21 - 27,3 Gy), en SEP de 27,24 Gy (27,2 - 27,3 Gy), en SIA de 27,19 Gy (27,06 - 27,3 Gy), y en SIP de 27,21 Gy (27,1 - 27,33 Gy).

En cambio, las medianas en IMRT se observó en; IEA de 26,5 Gy (26,33 - 27,06 Gy), en IEP de 26,5 Gy (26,42 - 26,68 Gy), en IIA de 26,63 Gy (26,21 - 26,8 Gy), en IIP de 26,36 Gy

(26,24 - 26,45 Gy), en SEA de 26,42 Gy (26,37 - 26,64 Gy), en SEP de 26,36 Gy (26,32 - 26,5 Gy), en SIA de 26,51 Gy (26,39 - 26,77 Gy), y en SIP de 26,34 Gy (26,26 - 26,42 Gy).

En referencia a la comparación de la localización de la lesión con la técnica empleada, nos encontramos con que no existe una diferencia significativa, es decir son similares en las localizaciones; IEA ($p = 0,2482$) y SIP ($p = 0,1213$), En cambio, tenemos que los si poseen una diferencia significativa son; IEP ($p = 0,0012$), IIA ($p = 0,0495$), IIP ($p = 0,0463$), SEA ($p = 0,0495$), SEP ($p = 0,0495$) y SIA ($p = 0,0495$), donde se rechaza la hipótesis nula y se demuestra que la técnica 3D presenta una mayor áreas de alta dosis en la cobertura del 105% de la dosis prescrita en estas localizaciones.

c. PTV Dmax < 28,6 Gy, es decir, la dosis máxima puntual debe ser menor al 110% de la dosis prescrita.

Al analizar el Anexo N.º 13 se evidencia una diferencia entre las medianas, en el caso para la técnica 3D es; IEA es 27,79 Gy (27,64 - 27,86 Gy), IEP es 27,83 Gy (27,76 - 27,93 Gy), en IIA de 27,79 Gy (27,7 - 27,8 Gy), en IIP de 27,83 Gy (27,76 - 27,9 Gy), en SEA de 27,92 Gy (27,83 - 27,95 Gy), en SEP de 27,81 Gy (27,78 - 27,98 Gy), en SIA de 27,73 Gy (27,7 - 27,77 Gy), y en SIP de 27,82 Gy (27,79 - 27,85 Gy).

En cambio, las medianas en IMRT son en; IEA de 27,59 Gy (26,94 - 28,42 Gy), en IEP de 27,68 Gy (27,18 - 28,02 Gy), en IIA de 27,65 Gy (27,63 - 28,91 Gy), en IIP de 28,68 Gy (28,09 - 28,92 Gy), en SEA de 27,93 Gy (27,3 - 28,5 Gy), en SEP de 28,69 Gy (27,84 - 28,81 Gy), en SIA de 27,15 Gy (26,75 - 27,3 Gy), y en SIP de 28,11 Gy (27,41 - 28,82 Gy).

Con respecto a la comparación de los grupos, no se demuestra una diferencia significativa en las localizaciones IEA, IEP, IIA, SEA, SEP y SIP ($p = 1$, $p = 0,5658$, $p = 0,5127$, $p = 0,8273$, $p = 0,1266$, $p = 1$, respectivamente), por lo que, no es posible rechazar la hipótesis nula y se concluye que ambas técnicas son similares al tener valores de cobertura parecidos en estas localizaciones. Por otro lado, en las localizaciones IIP y SIA se demostró una diferencia significativa ($p = 0,495$, en ambos), por lo que, se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que la técnica 3D es preferible en estas localizaciones al tener menor valores de dosis en esta variable.

VI. IV. III Cobertura de los Órganos de Riesgo

Se analizaron los datos para los órganos de riesgo como el pulmón ipsilateral, el corazón y la piel en donde se considerará la localización de la lesión en la mama.

VI. IV. III. I Cobertura del Corazón

- a. V 7 Gy < 5 %, es decir, se busca que en un volumen inferior al 5% del corazón no exceda los 7 Gy.**

Al analizar el diagrama N.º 18, se evidencia una diferencia entre las medianas, en caso para la técnica 3D es; IEA de 0% (0 - 1,41%), IEP es 0% (0 -3,16%), en IIA de 3,8% (0 - 4,16%), en IIP de 4,75% (0 - 6,96%), en SEA de 4,1% (0 - 4,75%), en SEP de 3,79% (0 - 4,74%), en SIA de 0% (0 - 4,69%), y en SIP de 1,1% (0 - 2,21%).

En cambio, las medianas en IMRT son; IEA de 0% (0 -1,15%), en IEP de 0% (0 - 3,1%), en IIA de 3,2% (0 - 4,1%), en IIP de 3,9% (0 - 5,5%), en SEA de 3,8% (0 - 4,3%), en SEP de 3,3% (0 - 3,6%), en SIA de 0% (0 - 4,5%), y en SIP de 1,65% (0 - 3,3%).

En cuanto a la comparación de la localización de la lesión con la técnica empleada, nos encontramos con que todas las localizaciones no presentan una diferencia significativa, es decir, las dosis son similares en todas las localizaciones; IEA ($p = 0,8501$), IEP ($p = 0,9227$), IIA ($p = 0,6579$), IIP ($p = 0,6579$), SEA ($p = 0,6579$), SEP ($p = 0,3758$), SIA ($p = 0,7963$), SIP ($p = 0,6831$), por lo que, no se rechaza la hipótesis nula y se demuestra que la localización de la lesión no influye en la dosis de cobertura del V7Gy en el corazón.

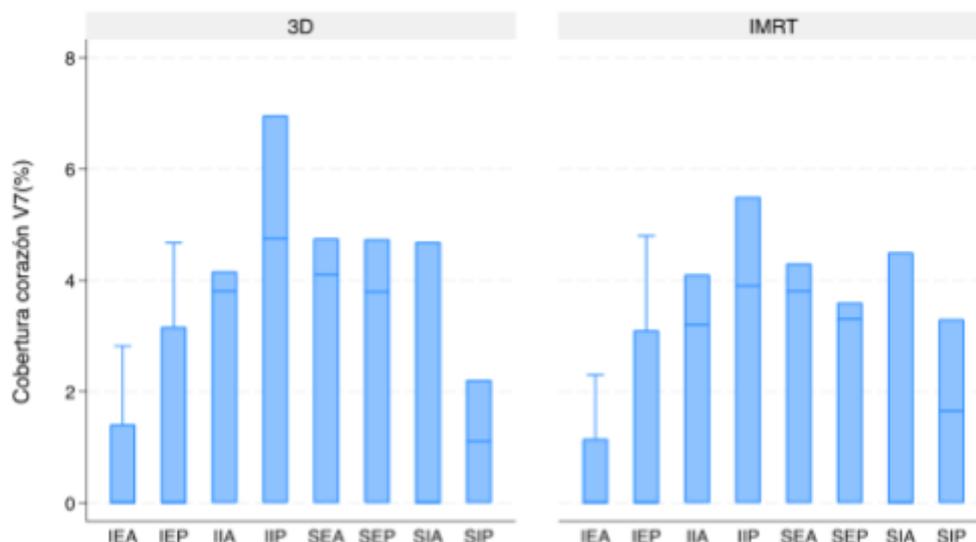


Diagrama caja y bigotes N°18: Comparación descriptiva de la distribución de la Cobertura de V7Gy (%) en relación a la localización de la lesión, utilizando ambas técnicas.

- b. V 1.5 Gy < 30 %, es decir, se busca que en un volumen inferior al 30% del corazón no exceda los 1,5 Gy.**

Al analizar el Anexo N.º 14, se evidencia una diferencia entre las medianas, en caso para la técnica 3D es; IEA de 0,47% (0,07 - 7,19%), IEP es 0,42% (0,01 - 12,17%), en IIA de 13,7% (0 - 17,9%), en IIP de 13,8% (0 - 20,89%), en SEA de 12,99% (0,39 - 15,66%), en SEP de 13,71% (0 - 15,22%), en SIA de 0,57% (0,25 - 13%), y en SIP de 5,02% (0,05 - 10%).

En cambio, las medianas en IMRT son; IEA de 0,45% (0,1 - 5,15%), en IEP de 0,2% (0 - 11,7%), en IIA de 12,2% (0 - 18,1%), en IIP de 11,7% (0 - 21%), en SEA de 13,4% (0,8 - 14,4%), en SEP de 10,4% (0 - 16%), en SIA de 0,1% (0 - 12,5%), y en SIP de 4,6% (0 - 9,2%).

Con respecto a la comparación de la localización de la lesión con la técnica empleada, nos encontramos con que todas las localizaciones no presentan una diferencia significativa, es decir, las dosis son similares en todas las localizaciones; IEA ($p = 0,8845$), IEP ($p = 0,7547$), IIA ($p = 1$), IIP ($p = 1$), SEA ($p = 0,8273$), SEP ($p = 1$), SIA ($p = 0,2752$), SIP ($p = 0,4386$), por lo que, no se rechaza la hipótesis nula y se demuestra que la localización de la lesión no influye en la dosis de cobertura del V1.5Gy en el corazón.

c. Dosis promedio en el Corazón, Dmean

Al analizar el Anexo N.º 15, se evidencia una diferencia entre las medianas, en caso para la técnica 3D son; IEA de 0.46 Gy (0.38 - 0.91 Gy), IEP es 0,64 Gy (0,42 - 1,33 Gy), en IIA de 1,52 Gy (0,47 - 1,72 Gy), en IIP de 1,63 Gy (0,6 - 2,26 Gy), en SEA de 1,43 Gy (0,39 - 1,73 Gy), en SEP de 1,61 Gy (0,33 - 1,73 Gy), en SIA de 0,44 Gy (0,39 - 1,48 Gy), y en SIP de 0,85 Gy (0,52 - 1,18 Gy).

En cambio, las medianas en IMRT son; IEA de 0,45 Gy (0,31 - 0,77 Gy), en IEP de 0,47 Gy (0,32 - 1,24 Gy), en IIA de 1,36 Gy (0,3 - 1,69 Gy), en IIP de 1,37 Gy (0,26 - 1,98 Gy), en SEA de 1,4% (0,42 - 1,53 Gy), en SEP de 1,2 Gy (0,24- 1,47 Gy), en SIA de 0.46 Gy (0,32 - 1,49 Gy), y en SIP de 0,71 Gy (0,22 - 1,2 Gy).

Con respecto a la comparación de la localización de la lesión con la técnica empleada, nos encontramos con que todas las localizaciones no presentan una diferencia significativa, es decir, las dosis son similares en todas las localizaciones; IEA ($p = 0,7728$), IEP ($p = 0,5361$), IIA ($p = 0,5127$), IIP ($p = 0,5127$), SEA ($p = 0,8273$), SEP ($p = 0,2752$), SIA ($p = 0,8273$), SIP ($p = 1$), por lo que, no se rechaza la hipótesis nula y se demuestra que la localización de la lesión no influye en la dosis media del corazón por cada técnica empleada

VI. IV. III. II. Cobertura del Pulmón Ipsilateral

a. V8 Gy < 15 %, es decir, se busca que en un volumen inferior al 15% del pulmón ipsilateral no se supere los 8 Gy.

Al analizar el diagrama N.º 19, se evidencia una diferencia entre las medianas, en caso para la técnica 3D son; IEA de 13,81% (10,11 - 16,25%), IEP es 14,54% (12,96 - 16,38%), en IIA de 16,63% (16,33 - 17%), en IIP de 14,19% (13,36 - 16,81%), en SEA de 16,99% (16,3- 17,2%), en SEP de 15,08% (13,83 - 16,98%), en SIA de 14,82% (13,15 - 15,44%), y en SIP de 14,34% (14,33 - 14,36%).

En cambio, las medianas en IMRT son; IEA de 11,1% (10,2 - 11,95%), en IEP de 13,9% (12,1 - 14,9%), en IIA de 12,8% (12,3 - 13,1%), en IIP de 12,7% (12,5 - 13,1%), en SEA de

14,3% (12,3 - 14,5%), en SEP de 12,9% (12,7 - 13,6%), en SIA de 14% (10,7 - 14%), y en SIP de 13,3% (13,1 - 13,5%).

Con respecto a la comparación de los grupos con respecto a la localización de la lesión con la técnica empleada, no se presentaron diferencias significativas en las localizaciones IEA, IEP, SIA y SIP ($p = 0,3865$, $p = 0,6911$, $p = 0,2683$ y $p = 0,1213$ respectivamente), por lo que, no es posible rechazar la hipótesis nula, y se concluye que las técnicas se comportan similares en estas localizaciones. Por otro lado, para las localizaciones IIA, IIP, SEA, SEP se demostró una diferencia significativa ($p = 0,0495$ para todas) por lo que se rechaza la hipótesis nula, resultando superior la técnica IMRT en estas localizaciones al lograr menores valores de dosis.

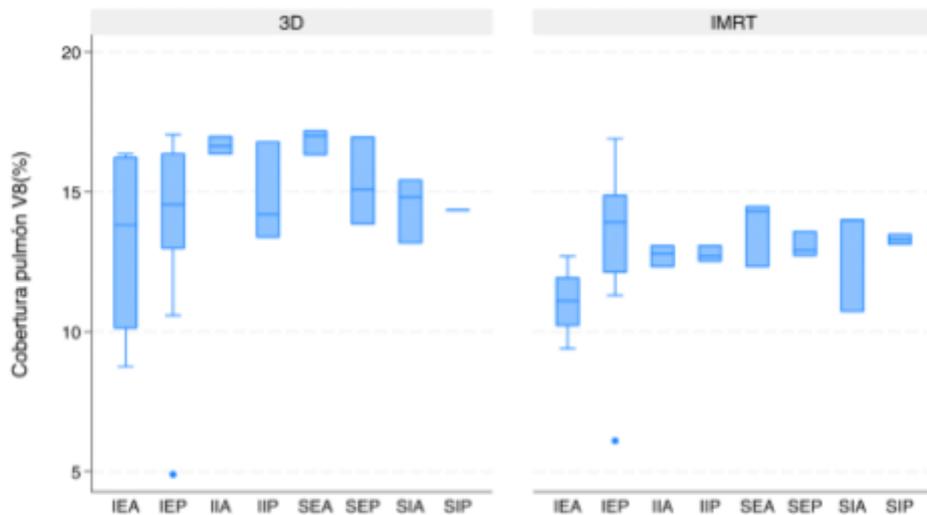


Diagrama caja y bigotes N°19: Comparación descriptiva de la distribución de la Cobertura de V8 (%) en relación a la localización de la lesión, utilizando ambas técnicas

b. Dosis promedio entregada al Pulmón Ipsilateral, Dmean

Al analizar el Anexo N.º 16, se evidencia una diferencia entre las medianas, en caso para la técnica 3D son; IEA de 3,52 Gy (2,67 - 4,14 Gy), IEP es 3,49 Gy (3,29 - 4,18 Gy), en IIA de 4,32 Gy (4,2 - 4,4 Gy), en IIP de 3,81 Gy (3,5 - 4,2 Gy), en SEA de 4,21 Gy (4,18- 4,37 Gy), en SEP de 3,92 Gy (3,6 - 4,32 Gy), en SIA de 3,79 Gy (3,29 - 3,84 Gy), y en SIP de 3,79 Gy (3,67 - 3,91 Gy).

En cambio, las medianas en IMRT son; IEA de 2,69 Gy (2,42 - 3,18 Gy), en IEP de 3,7 Gy (3,02 - 3,75 Gy), en IIA de 3,44 Gy (3,42 - 3,54 Gy), en IIP de 3,35 Gy (3,08 - 3,41 Gy), en

SEA de 3,76 Gy (3,46 - 4,02 Gy), en SEP de 3,62 Gy (3,24 - 3,67 Gy), en SIA de 3,37 Gy (2,99 - 3,52 Gy), y en SIP de 3,4 Gy (3,27 - 3,54 Gy).

Al realizar la comparación entre los grupos con respecto a la localización de la lesión con la técnica empleada, no se presentaron diferencias significativas en las localizaciones; IEA, IEP, SEP, SIA y SIP ($p = 0,2482$, $p = 0,7910$, $p = 0,2752$, $p = 0,2752$ y $p = 0,1213$ respectivamente), por lo que, no es posible rechazar la hipótesis nula y se concluye que ambas técnicas se comportan similares en estas localizaciones. Mientras que, en las localizaciones IIA, IIP, SEA se demostró una diferencia significativa ($p = 0,0495$ para todas) por lo que se rechaza la hipótesis nula y se concluye que la técnica IMRT es ventajoso, pues presenta menores valores de dosis en estas localizaciones.

VI. IV. IV Cobertura de la Piel y Áreas Auxiliares

a. Dosis máxima puntual registrada en la piel, Dmax

Al analizar el Anexo N.º 17, se evidencia una diferencia entre las medianas, en caso para la técnica 3D son; IEA de 27,11 Gy (26,9 - 27,41 Gy), IEP es 27,07 Gy (26,94 - 27,31 Gy), en IIA de 27,14 Gy (26,4 - 27,21 Gy), en IIP de 27,22 Gy (27,04 - 27,62 Gy), en SEA de 27,34 Gy (27 - 27,4 Gy), en SEP de 27,26 Gy (27,07 - 28,19 Gy), en SIA de 26,91 Gy (26,67 - 26,96 Gy), y en SIP de 27,06 Gy (26,81 - 27,32 Gy).

En cambio, las medianas en IMRT son; IEA de 26,9 Gy (26,36 - 27,77 Gy), en IEP de 26,72 Gy (26,51 - 26,92 Gy), en IIA de 26,33 Gy (26,16 - 27,26 Gy), en IIP de 29,78 (26,37 - 31,89 Gy), en SEA de 26,8 Gy (26,28 - 28,31 Gy), en SEP de 26,58 Gy (26,18 - 27,37 Gy), en SIA de 26,35 Gy (26,21 - 26,61 Gy), y en SIP de 26,47 Gy (26,46 - 26,48 Gy).

Con respecto a la comparación entre los grupos con respecto a la localización de la lesión con la técnica empleada, no se encontraron diferencias significativas en las localizaciones IEA, IIA, IIP, SEA, SEP y SIP ($p = 0,7728$, $p = 0,5127$, $p = 0,5127$, $p = 0,5127$, $p = 0,2752$, $p = 0,1213$ respectivamente) por lo que no es posible rechazar la hipótesis nula y se concluye que ambas técnicas se comportan similar en estas localizaciones. Mientras que, para las localizaciones IEP y SIA se demostró una diferencia significativa ($p = 0,0303$ y $p = 0,0495$

respectivamente) por lo que se rechaza la hipótesis nula y se concluye que la técnica IMRT se destaca al obtener menores valores de dosis en estas localizaciones.

b. Dosis máxima registrada en un volumen de 0,03 cc de la piel

Al analizar el Anexo N.º 18, se evidencia una diferencia entre las medianas, en caso para la técnica 3D son; IEA de 26,79 Gy (26,66 - 27,1 Gy), IEP es 26,69 Gy (26,54 - 27,11 G), en IIA de 26,81 Gy (25,98 - 26,9 Gy), en IIP de 27,12 Gy (26,91 - 27,46 Gy), en SEA de 27,04 Gy (26,84 - 27,22 Gy), en SEP de 27 Gy (26,99 - 28,02 Gy), en SIA de 26,69 Gy (26,54 - 26,7 Gy), y en SIP de 26,76 Gy (26,57 - 26,96 Gy).

En cambio, las medianas en IMRT son; IEA de 26,73 Gy (26,19 - 27,54 Gy), en IEP de 26,53 Gy (26,31 - 26,66 Gy), en IIA de 26,05 Gy (25,89 - 26,61 Gy), en IIP de 27,75 Gy (26,16 - 30,21 Gy), en SEA de 26,66 Gy (26,27 - 27,7 Gy), en SEP de 26,51 Gy (26,16 - 26,86 Gy), en SIA de 26,15 Gy (26,14 - 26,57 Gy), y en SIP de 26,31 Gy (26,25 - 26,37 Gy).

Con respecto a la comparación de los grupos con respecto a la localización de la lesión con la técnica empleada, no se demostró una diferencia significativa en las localizaciones IEA, IIA, IIP, SEA, SIA y SIP ($p = 0,7728$, $p = 0,2752$, $p = 0,5127$, $p = 0,5127$, $p = 0,1266$, $p = 0,1213$, respectivamente) por lo que no es posible rechazar la hipótesis nula y se concluye que ambas técnicas se comportan similar en estas localizaciones. Por otra parte, en las localizaciones IEP y SEP se demostró una diferencia significativa ($p = 0,0469$, $p = 0,0495$ respectivamente) por lo que se rechaza la hipótesis nula y se concluye que la técnica IMRT es más eficiente al obtener menores valores de dosis.

c. Dosis máxima entregada a un volumen de 0.1cc de la piel

Al analizar el Anexo N.º 19, se evidencia una diferencia entre las medianas, en caso para la técnica 3D son; IEA de 26,63 Gy (26,47 - 26,92 Gy), IEP es 26,57 Gy (26,45 - 26,96 G), en IIA de 26,59 Gy (25,76 - 26,6 Gy), en IIP de 27,37 Gy (26,88 - 27,76 Gy), en SEA de 26,83 Gy (26,59 - 27,05 Gy), en SEP de 26,95 Gy (26,89 - 27,94 Gy), en SIA de 26,55 Gy (26,42 - 26,57 Gy), y en SIP de 26,6 Gy (26,44 - 26,76 Gy).

En cambio, las medianas en IMRT son; IEA de 26,1 Gy (26,02 - 26,59 Gy), en IEP de 26,37 Gy (26,26 - 26,43 Gy), en IIA de 26,05 Gy (25,81 - 26,57 Gy), en IIP de 27,01 Gy (26,07 -

28,66 Gy), en SEA de 26,57 Gy (26,24 - 27,05 Gy), en SEP de 26,36 Gy (26,11 - 26,6 Gy), en SIA de 26,09 Gy (26,06 - 26,48 Gy), y en SIP de 26,21 Gy (26,16 - 26,27 Gy).

Al hacer la comparación de los grupos con respecto a la localización de la lesión y la técnica empleada, no se demostró una diferencia significativa en las localizaciones IEA, IIA, IIP, SEA, SIA y SIP ($p = 0,1489$, $p = 0,5127$, $p = 0,8273$, $p = 0,3758$, $p = 0,1266$ y $p = 0,1213$, respectivamente) por lo que no es posible rechazar la hipótesis nula y se concluye que las técnicas se comportan similares en estas localizaciones. Mientras que, en las localizaciones IEP y SEP se demostró una diferencia significativa ($p = 0,0271$ y $p = 0,0495$, respectivamente) por lo que se rechaza la hipótesis nula y se concluye que la técnica IMRT es más eficiente al obtener menores valores de dosis.

d. Dosis máxima entregada en un volumen 0.03 cc en un área fuera del PTV, llamada zona Auxiliar (AUX)

Al analizar el Anexo N.º 20, se evidencia una diferencia entre las medianas, en caso para la técnica 3D es; IEA de 27,41 Gy (27,35 - 27,55 Gy), IEP es 27,76 Gy (27,74 - 27,85 G), en IIA de 27,77 Gy (27,46 - 27,83 Gy), en IIP de 27,33 Gy (26,5 - 27,36 Gy), en SEA de 27,68 Gy (27,62 - 27,76 Gy), en SEP de 27,41 Gy (26,99 - 28 Gy), en SIA de 27,23 Gy (27,04 - 27,75 Gy), y en SIP de 27,63 Gy (27,54 - 27,72 Gy).

En cambio, las medianas en IMRT son; IEA de 26,8 Gy (26,47 - 27,15 Gy), en IEP de 27,01 Gy (26,49 - 27,72 Gy), en IIA de 28,28 Gy (26,07 - 29,12 Gy), en IIP de 30,58 Gy (27,23 - 33,52 Gy), en SEA de 28,55 Gy (26,52 - 28,83 Gy), en SEP de 28,69 Gy (26,42 - 28,83 Gy), en SIA de 26,79 Gy (26,31 - 26,85 Gy), y en SIP de 26,67 Gy (26,09 - 26,26 Gy).

Al realizar la comparación entre los grupos con respecto a la localización de la lesión y la técnica empleada, no se demostró una diferencia significativa en las localizaciones IIA, IIP, SEA, SEP y SIP ($p = 0,5127$, $p = 0,2752$, $p = 0,5127$, $p = 0,5127$ y $p = 0,1213$ respectivamente) por lo que no es posible rechazar la hipótesis nula y se concluye que ambas técnicas se comportan igual en estas localizaciones. En cambio, en las localizaciones IEA, IEP y SIA se demostró una diferencia significativa ($p = 0,0209$, $p =$

0,0703 y $p = 0,0495$) por lo que se rechaza la hipótesis nula y se concluye que la técnica IMRT es más eficiente al obtener menores valores de dosis.

VII. Discusión

VII. I. Dosis impartida por técnica utilizada

Principalmente hablando del porcentaje cobertura del PTV, el protocolo demanda que el 95% de la dosis prescrita esté contenida en por lo menos el 95% del volumen de este, podemos ver que comparando ambas técnicas se evidenció una diferencia significativa ($p = 0,0001$) entre ambas modalidades, por lo tanto, se puede manifestar que la entrega de la dosis con la elección de una técnica u otra, si influye en la cobertura final del PTV. Esto demuestra una preponderancia del uso de la técnica IMRT por sobre la técnica 3D, debido a que presenta mayores valores de mediana (97,75% / 94,73%), máximos (100% / 99,15%) y mínimos (92,1% / 89,2%), esto gracias a la habilidad del sistema de control de movimiento y modulación del haz de alta precisión, característico del equipo Radixact.

Desde otra perspectiva tenemos las áreas de alta dosis donde el protocolo busca que las dosis de 27,82 Gy y 27,3 Gy no superen los volúmenes del 2% y el 5% del PTV respectivamente. En la comparación de las técnicas 3D e IMRT en ambas dosis nos encontramos con una diferencia significativa de ($p = 0$) entre ambas modalidades, es decir, la técnica IMRT generó notablemente resultados con valores menores para ambos límites de dosis. Esto por causa de la capacidad de modular el haz que le permite jugar con las dosis entregadas, adaptándose a los límites de dosis establecidos de mejor manera. Desde otro punto de vista, los datos del gráfico para ambos límites de dosis se observó que para la técnica 3D presenta una menor variabilidad de los datos, que para la IMRT.

Sin embargo, en el caso de D_{max} , esta tiene un límite de 28,6 Gy y en la gráfica no se encontraron diferencias significativas ($p = 0,8129$), por lo que, los valores obtenidos son similares. En conclusión, se puede evidenciar que los límites con la técnica IMRT se pudo disminuir las áreas de alta dosis tanto en D2% como D5%, sin embargo, la D_{max} presenta dosis máximas levemente más altas a comparación de la técnica 3D.

Examinando las coberturas de los órganos de riesgo; en primer lugar tenemos al corazón, el cual busca mantener una dosis de 7 Gy en un volumen menor al 5% y una dosis de 1.5 Gy en un volumen menor al 30%, comparando ambas técnicas se analizó que no se demostró una diferencia significativa ($p = 0,7744$) entre ambas modalidades para la variable Corazón V7 Gy y no se demostró una diferencia significativa ($p = 0,5074$) entre ambas modalidades para la variable Corazón V1,5 Gy. De esta manera, se puede evidenciar que los datos entregados por ambas técnicas son similares, pero hay que destacar que no todos los pacientes cumplieron con el límite de dosis de 7 Gy, esto puede ser debido a problemas geométricos generados por el método utilizado o por la posición de la lesión dentro de la mama, además, que corresponden a pacientes las cuales sus simulaciones ya estaban aprobadas por los médicos. Continuando con el corazón, nos encontramos con el Dmean de dicho órgano, el cual es solo un registro debido a que no posee un límite definido, al igual que los índices anteriores, este punto no demostró una diferencia significativa ($p = 0,1493$) entre ambas modalidades, además de sus máximos (1,98/2,26 Gy) y mínimos (0,22/0,29 Gy).

En segundo lugar, observando las coberturas presentadas por el pulmón ipsilateral, este busca que dosis de 7 Gy no supere un volumen de 30 % del pulmón ipsilateral y comparando el uso de ambas técnicas utilizadas se obtuvo una diferencia significativa ($p = 0,0009$), además visualizando la Dmean del pulmón ipsilateral, está también demostró una diferencia significativa ($p = 0,0002$). En consiguiente, ambos resultados demuestran diferencias entre 3D e IMRT, siendo esta última la que presenta una cobertura de 7 Gy y dosis promedio del pulmón ipsilateral evidentemente menor en los pacientes, con medianas de 13% y 15,14% para IMRT y 3D respectivamente. Los resultados obtenidos se pueden explicar debido a que el sistema de planificación de la técnica IMRT permite, además, de modular la dosis del haz, limitar la dosis a los órganos adyacentes con restricciones y penalizaciones.

En tercer lugar, examinando las dosis de la piel, en estas variables se hizo un registro de las dosis máxima en piel, ya sea puntual, en 0,03 cc, y 0,1 cc, donde comparando entre ambas técnicas hubo diferencias significativas ($p = 0,0024$), ($p = 0,0012$), ($p = 0,0002$),

respectivamente, de esta manera se puede evidenciar que la técnica IMRT obtiene resultados beneficiosos debido a que sus dosis son menores en estas variables, y esto se puede explicar por el mismo motivo que se ha mencionado anteriormente, el cual es por la gran capacidad de modulación de dosis del IMRT.

Por último lugar, al analizar las dosis del volumen auxiliar, no se demostró una diferencia significativa ($p = 0,1185$) entre ambas técnicas, por lo que estadísticamente son similares, sin embargo, algo a recalcar es que la técnica 3D presenta una menor variabilidad de los valores que a comparación de la técnica IMRT.

Un hecho a analizar es que si bien, no hubo diferencias estadísticamente significativas en las variables del corazón y volumen auxiliar, estos van relacionados con una gran cobertura del PTV V24,7, y esto se puede explicar debido a que al hacer las simulaciones en IMRT, cuando se cumplieron los valores establecidos en el protocolo no se buscó seguir simulando, es por eso, la importancia de la habilidad del profesional a cargo de hacer las simulaciones y del equipo médico para elegir que priorizar, por ejemplo buscar una gran cobertura del PTV 24,7 a costa de tener dosis en corazón similares al 3D, o buscar priorizar disminuir las dosis del corazón a costa de sacrificar parte de la cobertura del PTV.

Como se dijo anteriormente, el IMRT fue superior en varios términos al 3D, pero este no siempre va a ser opción preferible en todas las pacientes, debido a que es una técnica más compleja con un tiempo más largo de sesión y planificación, es por eso, que el médico junto con los tecnólogos deben discutir las ventajas y desventajas de cada técnica con el paciente para elegir la opción ideal para su tratamiento.

VII. II. Dosis impartida en relación con la lateralidad de la mama por técnica utilizada

Con respecto al porcentaje de cobertura del PTV V24,7 Gy, se evidenció que la técnica IMRT resulto ser superior en comparación al 3D, independientemente de la mama a simular, ($p = 0.0017$ y $p = 0.0213$, para la izquierda y derecha respectivamente), y lo mismo se puede decir acerca de la cobertura del PTV D2% Y D5%, ya que en IMRT logró tener una menor cobertura en estas variables, con una diferencia significativa con la técnica 3D en

ambas mamas ($p = 0$). Esto se puede explicar debido el IMRT además de poder modular la dosis a través de los MLC y girar en torno al paciente, nos permite controlar altas tasas de dosis, a diferencia de la técnica 3D que posee la colimación multilamina, pero no logra modular la dosis entregada al paciente, ni girar alrededor del paciente.

No obstante, un punto interesante a analizar es respecto a la cobertura de la dosis máxima del PTV, donde a pesar de que se indica que la mama derecha en la técnica IMRT posee una mayor variabilidad de los datos, comparando ambas técnicas, se evidencia que estas son similares ($p = 0.0849$), además, que esta mamá logró valores de mediana más bajos con la técnica IMRT en mama derecha. De manera contraria, la mama izquierda se identificó que las técnicas son diferentes ($p = 0,0361$), logrando menores valores de mediana con la técnica 3D, además que, la técnica 3D obtiene una menor variabilidad de los resultados en general. Esto se debe a 2 factores; el primero, que en la técnica de irradiación IMRT el haz de radiación de alta dosis suele girar alrededor del paciente al mismo tiempo que se desplaza la camilla, creando una especie de derrame de dosis pequeñas alrededor del PTV provocando un aumento de las dosis presentadas. En segundo lugar, la mama derecha, al tener órganos de riesgo como el corazón más lejos, este puede subir la dosis irradiada y aun así, cumplir penalizaciones y restricciones señaladas en el sistema de planificación.

Con respecto a la cobertura del corazón V7%, V1,5%, un hecho a analizar es que se obtuvieron valores similares entre las técnicas, para la cobertura del corazón V7% un $p = 0.442$ y $p = 1$ (para mama izquierda y derecha, respectivamente), y para la cobertura del corazón V1.5% un $p=0.271$ y $p=0.414$ (para mama izquierda y derecha, respectivamente), sin embargo, si se observa los lados por separado los valores de las variables de este órgano, en mama derecha toma valores de 0 para ambas técnicas. Adicionalmente, el Dmean del corazón presenta algún cambio, ya que, en la mama izquierda dio medianas similares ($p = 0,1984$), pero la mama derecha demostró una diferencia significativa ($p = 0.0054$). Estos resultados se pueden explicar por 3 puntos, el primero, es debido a que ambos sistemas de planificaciones tienen sus inconvenientes en la entrega de dosis, en la mama izquierda al usar la técnica 3D los campos opuestos no permiten muchas veces

proteger por completo el corazón, que se demuestra con los valores más altos en el Dmean, al igual que la técnica IMRT que genera un derrame de baja dosis los cuales llegan al corazón, presentando los valores más variados para las coberturas del corazón. El segundo punto es; porque estos resultados se acompañan con una gran cobertura del PTV 24.7, por lo que, a medida que se aumenta la dosis, mayor es la probabilidad de que lleguen dosis de radiación a los órganos de riesgo. El tercer punto se debe por la posición anatómica en relación con la mama tratada y que entre más lejos esté el órgano de riesgo de la mama a irradiar, menor es la dosis que presentará, es por esto mismo, que la mama derecha presenta valores cercanos a 0 en la mayoría de los casos.

Con respecto a las variables del pulmón ipsilateral como lo son el V8% y su Dmean, se evidenció que ambas variables presentaban diferencias, con un $p = 0.0107$ y $p = 0,0084$ en la cobertura del V8%, en mama izquierda y derecha respectivamente. Además, un $p = 0.0294$ y $p = 0,0309$ en la Dmean del pulmón ipsilateral, demostrando en las dos variables que la técnica IMRT logró menor valores de dosis independientemente de la mama tratada y esto se explica por la gran capacidad de modulación de dosis que presenta la técnica IMRT. Adicionalmente, en el caso de la técnica 3D, al tener campos tangenciales opuestos tiene una mayor limitación para proteger este órgano de riesgo sin ocasionar cambios drásticos en la cobertura del PTV 24,7%.

Con respecto a la dosis máxima en piel, hubo discrepancias entre los valores obtenidos, ya que, las variables de dosis de piel en un 0,1 cc, demostró que los valores son significativamente diferentes en mama izquierda ($p = 0.0128$) y mama derecha ($p = 0,0048$), evidenciando así que la técnica IMRT logró obtener menores valores a comparación del 3D. En su contraparte, la dosis máxima puntal en piel y la dosis máxima de la piel en 0.03cc, dieron valores diferentes cada lado de la mama, puesto que el primero de estos muestra que en mama izquierda no se demostró una diferencia significativa ($p = 0.1353$) y se demostró una diferencia significativa en mama derecha ($p = 0,0058$), algo similar sucedió para la variable de la dosis máxima de la piel en 0.03cc la cual presenta una diferencia significativa en la mama derecha ($p = 0,0066$) y en la mama izquierda no posee una diferencia significativa ($p = 0.0512$). Es importante decir que tanto como en la dosis puntal

máxima en la piel como la dosis máxima en 0.03 cc de la piel, se concluyó que el IMRT es superior que el 3D en la mama derecha al obtener menores valores de dosis. Estos resultados se dieron por dos razones; la primera es debido a que la técnica IMRT permite entregar la dosis de manera céntrica, formando áreas más circulares u ovaladas, por lo que puede conformar de mejor manera la forma de la mama y evitar áreas como la piel del paciente, evitando así generar quemaduras futuras, es por eso que las variables que presentaron una diferencia significativa, demostraron una preferencia por esta técnica. En un segundo punto, la mama derecha en el sistema de planificación presenta menores penalizaciones y restricciones por los órganos de riesgo (el corazón está más cerca de la mama izquierda), lo que genera que se puedan mover más sus curvas de isodosis de manera más posterior, evitando la sobre irradiación de la piel.

Hablando de las dosis en el volumen auxiliar, no se demuestra una diferencia significativa en mama izquierda ($p = 0,8034$), al contrario de la mama derecha que sí se demuestra una diferencia ($p = 0,0191$), por lo tanto, las técnicas se comportan similares en mama izquierda, y en mama derecha es más eficiente el IMRT al obtener menores valores de dosis. Esto puede ser debido por posición de la anatomía del cuerpo humano, es decir, por el lado izquierdo tenemos de órganos de riesgo como el corazón y el pulmón ipsilateral, por lo que, a la hora de realizar la simulación de tratamiento, hay que tener en consideración las penalidades y restricción de estos órganos. Es por eso que genera valores de dosis similares en 3D e IMRT en la mama izquierda, en cambio, para el lado derecho tenemos únicamente al pulmón ipsilateral como órgano de riesgo, de modo que, las dosis se pueden conformar de mejor manera al PTV y disminuir las dosis en el volumen auxiliar.

VII. III. Dosis impartida con relación a la localización de la lesión por técnica utilizada

Hablando del porcentaje PTV 24,7, en este se demostró que la técnica IMRT fue más eficiente que la técnica 3D debido a que logró una mayor cobertura de esta variable en las localizaciones IEP, SEA y SIA. Para la cobertura de PVT D2 y D5, resultó más eficiente la técnica IMRT al lograr menores valores de dosis en estas variables, en las localizaciones IEP, IIA, IIP, SEA, SEP, SIA. Un hecho interesante es que en la variable PTV Dmáx hubo

una diferencia significativa en las localizaciones IIP y SIA, pero en este caso resultó ser más eficiente la técnica 3D al lograr menor valor de dosis.

Hablando de las variables de corazón, en las variables de cobertura V7, V1,5 y dosis promedio de este mismo, la localización de la lesión no influyó en la dosis en estas variables, ya que ambas técnicas se comportan similares.

En el pulmón ipsilateral, en su variable de cobertura V8, en las localizaciones IIA, IIP, SEA y SEP resultó ser más eficiente la técnica IMRT, y en su variable de dosis promedio, las localizaciones IIA, IIP y SEA igualmente resultó ser superior el IMRT debido a la baja dosis que presento en esta variable.

Con respecto a la dosis máxima puntual en piel se demostró una diferencia significativa en las localizaciones IEP y SIA. En dosis máxima en piel en 0,03 cc y 0,1 cc las diferencias significativas fueron en IEP y SEP, y en el volumen auxiliar las localizaciones IEA, IEP y SIA demostraron diferencias significativas, siendo más eficiente el IMRT en estas variables.

Es importante mencionar que en estas variables hay una mayor tendencia por no obtener resultados significativos entre las técnicas por cada unas de las localizaciones, demostrando la poca dependencia de la localización con las coberturas de la dosis, siendo este punto más dependiente del operador del sistema de planificación para llegar a las dosis objetivo. Sin embargo, la única localización que mostró una tendencia, exceptuando los límites de dosis del pulmón ipsilateral, fue la localización inferior—externa—posterior (IEP), la cual muestra una controversia al ser la localización del mayor número de pacientes (n=9), generando la incógnita si la falta diferencia significativa de los resultados o las diferencias contraproducentes generadas se deben a una falta de cantidad de datos de las otras localizaciones que nos permita dar exactitud y precisión en un análisis crítico. Es importante destacar que la metodología de U de Mann-Whitney se utiliza para tamaños de muestra pequeños, pero algunas variables solamente presentan entre 2 y 4 pacientes, por lo que, no se logra crear la verdadera estructura de la caja y bigote, ya que, se pierde sus valores mínimos y máximos diferenciados del rango intercuartílico (Q1— Q3)

VIII. Conclusión

En el transcurso de esta investigación y el análisis detallado que se ha presentado, se llevó a cabo una comparación minuciosa entre las técnicas de tratamiento 3D e IMRT, con el objetivo de evaluar su similitud dosimétrica en el contexto del tratamiento Fast Forward para el cáncer de mama en estadios tempranos.

En este proceso, se aplicó el test de U de Mann-Whitney a las variables; dosimétricas, lateralidad de la mama y localización de la lesión, revelando diferencias estadísticamente valiosas en varios aspectos. En particular, se observan disparidades en la cobertura del PTV V24,7Gy, D2%, D5%, así como en la cobertura del pulmón ipsilateral V8 y su Dmean. Asimismo, se evidenciaron diferencias en la dosis máxima puntual en la piel y sus dosificaciones máximas en 0,03 cc y 0,1 cc, señalando una mayor efectividad con la aplicación de la técnica IMRT, esto debido a que demuestra una mayor cobertura del área a irradiar y una menor dosis a los órganos de riesgo implicados.

Es importante destacar que, a pesar de estas diferencias significativas, un descubrimiento intrigante fue la falta de disparidad estadística entre las técnicas con unas de las variables claves, como la cobertura del corazón (V7%, V1,5%, y Dmean), así como en la cobertura del volumen auxiliar. Observando estas variables, los resultados no cambiaron significativamente, resultando ambas técnicas similares, y como se comentó anteriormente, esto se puede deber al cómo fue el proceso de realización de la simulación en IMRT donde se priorizó cumplir con lo mandado del protocolo, por lo que si se buscara disminuir las dosis en estos órganos podría influir en la cobertura final del PTV 24,7 Gy.

Un aspecto adicional de interés radica en la tendencia de la técnica 3D a generar una menor variabilidad de los datos en torno a la mediana en la mayoría de los casos, en contraste con la técnica IMRT. Este fenómeno sugiere una mayor consistencia en los resultados obtenidos con la técnica 3D. Por otro lado, se observó que la técnica 3D logra valores de dosis máximas más bajas en las gráficas de caja y bigote; en las variables de la cobertura del PTV, la dosis máxima puntual de la piel y en la dosis del área auxiliar en comparación con la técnica IMRT, lo que puede ayudar a evitar tener implicaciones en los riesgos de efectos

secundarios en el área irradiada, como lo son; el eritema cutáneo (enrojecimiento de la piel), el oscurecimiento de la piel, dolor en el área, sensibilidad, edemas cutáneos, entre otros. Por esto mismo, es importante evitar que la dosis en la piel o áreas auxiliares al PTV sean elevadas.

Estudiando cómo cambian estas variables al observar las técnicas según la lateralidad, se concluye lo siguiente; la cobertura del PTV 24,7 Gy es superior en la técnica IMRT independiente del lado estudiado, asimismo, las áreas de alta dosis, como el PTV D2% y el PTV D5% es superior la técnica IMRT, ya que, presentan menores dosis sin importar la mama irradiada, en cambio, la Dmax presenta menores dosis en la mama izquierda con la técnica 3D. De igual modo, en el pulmón ipsilateral se constató que las coberturas y Dmean presentadas fueron menores con la técnica IMRT sin importar el lado de la mama irradiada. Por otro lado, el corazón no evidencia una diferencia entre técnicas, pero sí demuestra que cuando se trata la mama derecha de los pacientes, (independiente la técnica utilizada), esta presenta valores cercanos a 0, tanto en V7 Gy, como V1.5 Gy, esto debido a factores geométricos de lejanía al órgano irradiado.

Cuando hablamos que el IMRT es superior por su mayor cobertura en el PTV, es debido a que es beneficioso para el tratamiento del paciente, ya que, es un indicador de la eficiencia del control tumoral, debido a que implica que se está administrando una dosis terapéutica adecuada a la totalidad del volumen tumoral. Además, reduce el riesgo de recurrencia local, disminuyendo la probabilidad de células cancerosas residuales y evita el riesgo de recidivas tumorales.

Adicionalmente, es beneficioso que la técnica IMRT presente menores dosis de radiación el pulmón ipsilateral, puesto que, la irradiación del pulmón ipsilateral en el tratamiento de cáncer de mama con radioterapia puede llevar efectos secundarios a temprano como a largo plazo, que dependen de la dosis de radiación y la sensibilidad individual del paciente. Algunos de los posibles riesgos y efectos secundarios son; la inflamación pulmonar que genera neumonitis por radiación, fibrosis pulmonar donde los pulmones son más rígidos afectando a la función respiratoria o lesiones vasculares a largo plazo.

Este estudio representa un paso inicial y significativo hacia la validación de la técnica de Radioterapia de Intensidad Modulada (IMRT) como una alternativa viable para el tratamiento Fast Forward en el cáncer de mama en estadios tempranos. La incorporación de IMRT ofrece una nueva dimensión a las opciones terapéuticas disponibles, proporcionando a los profesionales de la salud una herramienta adicional en la toma de decisiones para la atención de los pacientes. Además, esta investigación deja en evidencia de nuevas perspectivas a los médicos tratantes, que les ayude con la noción de la complejidad inherente en la elección entre las técnicas de tratamiento, como lo demuestran los resultados obtenidos, subraya la necesidad de una comprensión detallada de las ventajas y desventajas específicas de cada enfoque.

Es esencial reconocer que, a pesar de los hallazgos significativos, este estudio presenta limitaciones notables. La cantidad limitada de simulaciones y el tiempo restringido para la investigación son desafíos que deben abordarse en futuras investigaciones. Además, de tener más tiempo para la realización del proyecto nos permite poder perfeccionar las planificaciones, pudiendo incidir en las dosis obtenidas, alcanzando una posible mejora. Estos factores podrían haber influido en la profundidad de ciertos análisis, lo que destaca la necesidad de estudios más extensos y detallados.

En el contexto de las limitaciones señaladas, se destaca la importancia de ampliar los estudios dosimétricos con muestras más extensas (un "n" mayor) para confirmar y fortalecer los resultados obtenidos. Especialmente, la variable de la localización de la lesión que requiere una atención más detallada, dado que la cantidad de pacientes calculados por cada ubicación es insuficiente para realizar un análisis completamente preciso. Por lo que, se espera ampliar este estudio dosimétrico para corroborar los resultados obtenidos.

Además, se destaca que este trabajo sienta las bases para investigaciones adicionales, explorando variables cruciales no abordadas en este estudio, como el tamaño del lecho tumoral. Este enfoque más holístico permitirá una comprensión más completa de los factores que influyen en la eficacia y seguridad de las técnicas de tratamiento evaluadas.

IX. Agradecimientos y Dedicatoria.

María Sol Herrera

Aprovecho este medio para expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que participaron en el proceso de elaboración de esta tesis; aquellos que dieron su esfuerzo y dedicación en la revisión de nuestra investigación. Su valiosa retroalimentación y comentarios han sido fundamentales para mejorar nuestro trabajo y hacerlo más completo.

También quiero agradecer a nuestros tutores, tanto el profesor Alexis Troncoso, como la profesora Denisse Karl por su paciencia, sabiduría y dedicación al guiarnos en este camino académico. Por otro lado, quiero agradecer a mi compañero de tesis Matias Morales, por compartir su conocimiento, estar comprometido en el proceso, además de ser colaborador y participativo durante toda la experiencia.

Uno de los agradecimientos más importantes, es para mi familia, gracias por su amor incondicional y apoyo constante en cada paso de mi vida, más aún en los procesos de frustraciones y desaliento. Gracias eternas por ser mi fuente de inspiración y motivación para alcanzar mis metas. Por otro lado, me gustaría agradecerle a mi pareja, que estuvo conmigo en todo el proceso universitario, dándome ánimos y fuerzas para continuar, haciéndome creer que yo puedo con todo.

Porque la gratitud en silencio no le sirve a nadie, debo darle las gracias a mi hermano Gabriel Herrera Ruiz por su colaboración que fue esencial para la realización de este trabajo. Muchas gracias por su tiempo y disposición de explicarme los procesos análisis estadísticos, además, de ayudarme a obtener los datos necesarios para mi investigación.

Como dijo Sócrates, “La verdadera sabiduría está en reconocer la propia ignorancia” y “El primer paso no te lleva a donde quieres ir, pero te saca de donde estás”. Estas dos frases muestran humildad, mi deseo de seguir aprendiendo y mi deseo de contribuir al avance del conocimiento en mi campo de estudio.

Matías Alfredo Morales García

A través de este medio, quiero dar un agradecimiento a todas las personas que me acompañaron en el proceso de la elaboración de tesis y en mi proceso de formación profesional, en especial a mi compañera María Sol por su valiosa amistad y colaboración en este trabajo.

A mi familia y pareja, por estar siempre presente y darme su apoyo y amor incondicional, al igual que agradecer a nuestros profesores tutores Alexis Troncoso y Denisse Karl por su ayuda, paciencia y guía para este trabajo tan especial.

X. Bibliografía:

1. American Cancer Society | Information and Resources about for Cancer: Breast, Colon, Lung, Prostate, Skin [Internet]. ¿Qué es el cáncer de seno?; 18 de septiembre de 2018 [consultado el 10 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.cancer.org/es/cancer/cancer-de-seno/acerca/que-es-el-cancer-de-seno.html>
2. CLC - Clínica Las Condes [Internet]. Clínica Las Condes – Líder en Atención; [consultado el 17 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://www.clinicalascondes.cl/CENTROS-Y-ESPECIALIDADES/Centros/Centro-Integral-de-la-Mama/Factores-de-riesgo>
3. World Health Organization (WHO) [Internet]. Breast cancer; [consultado el 15 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/breast-cancer>
4. Global Cancer Observatory - p [Internet]. Cancer today; [consultado el 22 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://gco.iarc.fr/today/home>
5. Mayo Clinic - Mayo Clinic [Internet]. Radioterapia para el cáncer de mama - Mayo Clinic; 29 de julio de 2021 [consultado el 2 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/radiation-therapy-for-breast-cancer/about/pac-20384940>
6. Murray Brunt A, Haviland JS, Wheatley DA, Sydenham MA, Alhasso A, Bloomfield DJ et al. Hypofractionated breast radiotherapy for 1 week versus 3 weeks (FAST-Forward): 5-year efficacy and late normal tissue effects results from a multicentre, non-inferiority, randomised, phase 3 trial. The Lancet [Internet]. Mayo de 2020 [consultado el 26 de septiembre de 2022];395(10237):1613-26. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(20\)30932-6](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)30932-6)
7. American Cancer Society | Information and Resources about for Cancer: Breast, Colon, Lung, Prostate, Skin [Internet]. Radiación para el cáncer de seno; [consultado el 7 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.cancer.org/es/cancer/cancer-de-seno/tratamiento/radioterapia-para-el-cancer-de-seno.html>
8. La Sociedad Americana Contra El Cáncer. American Cancer Society | Information

- and Resources about for Cancer: Breast, Colon, Lung, Prostate, Skin [Internet]. Tratamiento del cáncer de seno en etapas I a III; 2 de abril de 2022 [consultado el 14 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.cancer.org/es/cancer/cancer-de-seno/tratamiento/tratamiento-del-cancer-de-seno-segun-su-etapa/tratamiento-para-el-cancer-de-seno-en-etapas-i-a-iii.html>
9. Top Doctors [Internet]. Hipofraccionamiento: qué es, síntomas y tratamiento | Top Doctors; [consultado el 10 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.topdoctors.es/diccionario-medico/hipofraccionamiento>
 10. SOCHIRA Sociedad chilena radioterapia oncológica. YouTube [Internet]. [Video], [VIVO] Fast Forward - Nuevo esquema para Radioterapia en Cáncer de Mama; 8 de mayo de 2020 [consultado el 26 de septiembre de 2022]; [121 min, 45 s]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=vfSvHSXjYrw>
 11. La Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación. ICRU 60. Prescribing, Recording, and Reporting Photon Beam Therapy [Internet]. Maryland, USA: [editorial desconocido]; 1993 [consultado el 29 de septiembre de 2022]. 88 p. Disponible en: https://socios.sefm.es/psefm/1999_ICRU-50.pdf
 12. Elekta. Elekta | Radiotherapy Treatment | Cancer & Brain Disorders [Internet]. Elekta Synergy | Radiation Therapy Cancer Care | Elekta; [consultado el 14 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.elekta.com/products/radiation-therapy/synergy/>.
 13. Oncolink [Internet]. Todo sobre la radioterapia de intensidad modulada (IMRT) | OncoLink; [consultado el 12 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://es.oncolink.org/tratamiento-del-cancer/radiacion/tratamiento/todo-sobre-la-radioterapia-de-intensidad-modulada-imrt>.
 14. Accuray. Accuray [Internet]. Radixact Radiation Therapy - Accuray; [consultado el 14 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www accuray.com/es/radixact/>.
 15. González Díaz E, Hernández González H. Hipofraccionamiento extremo (FAST-Forward) en el tratamiento radioterápico del cáncer de mama: Toxicidad aguda y dosimetría clínica. En: 7º Congreso Conjunto SEFM- SEPR. On Line [Internet]; 1 de junio de 2021; Madrid, España. [lugar desconocido]: Hospital Universitario La Princesa; [consultado el 22 de septiembre de 2022]. p. 1-21.

Disponible

en:

<https://plataforma.congresosefmsepr.es/event/4/contributions/2041/contribution.pdf>.

16. Global Cancer Observatory [Internet]. Cancer today; [consultado el 10 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://gco.iarc.fr/today/home>

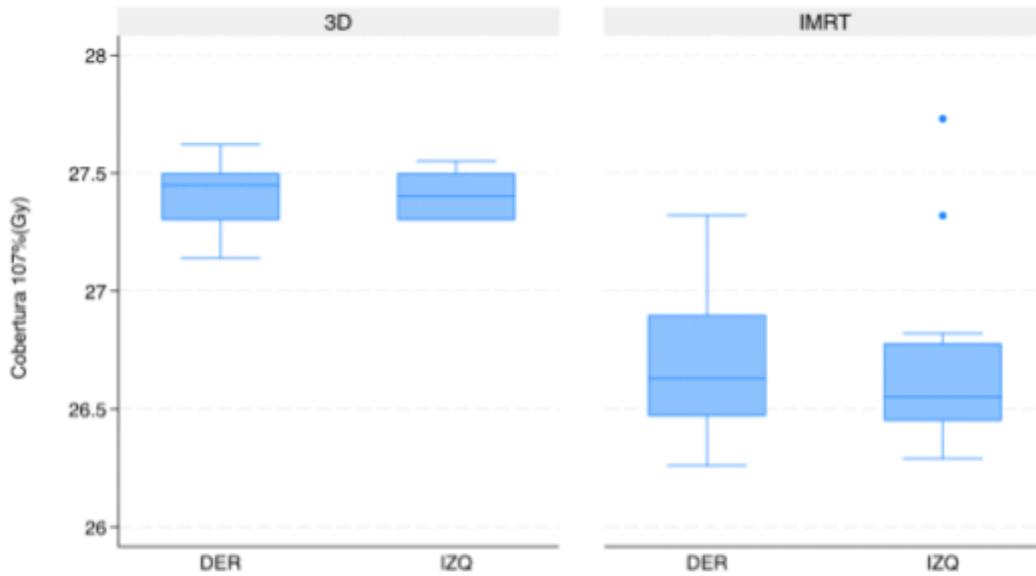
XI. Anexos

1. Dosis máxima registrada en un volumen de 0,03 cc de la piel



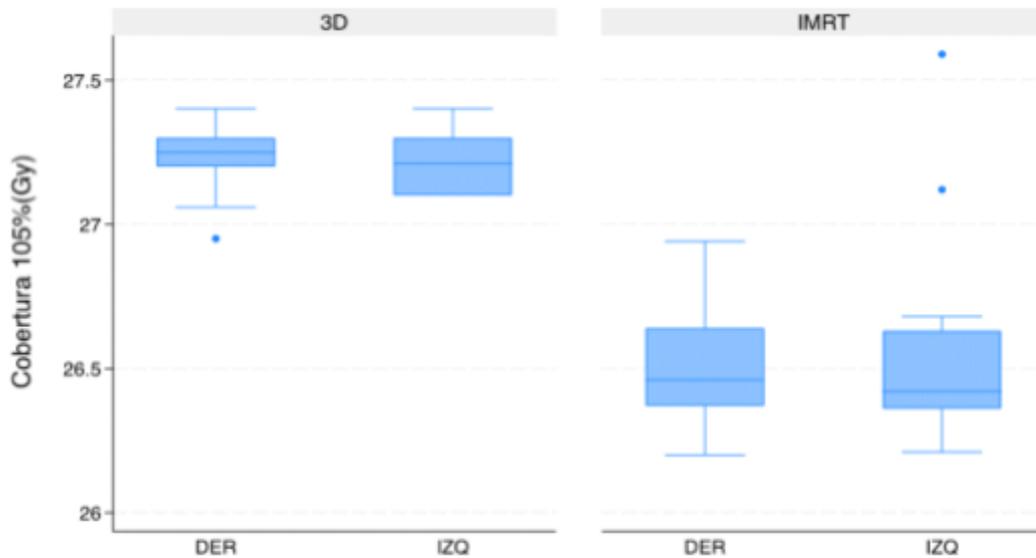
Anexo 1: Diagrama caja y bigotes comparación de la dosis máxima en 0.03cc en la piel (Gy) con ambas técnicas de tratamiento.

2. PTV D2% < 27,82 Gy (107%), es decir, el 107% de la dosis prescrita busca estar confinado en un volumen menor al 2% del PTV. En comparación con la lateralidad y la técnica.



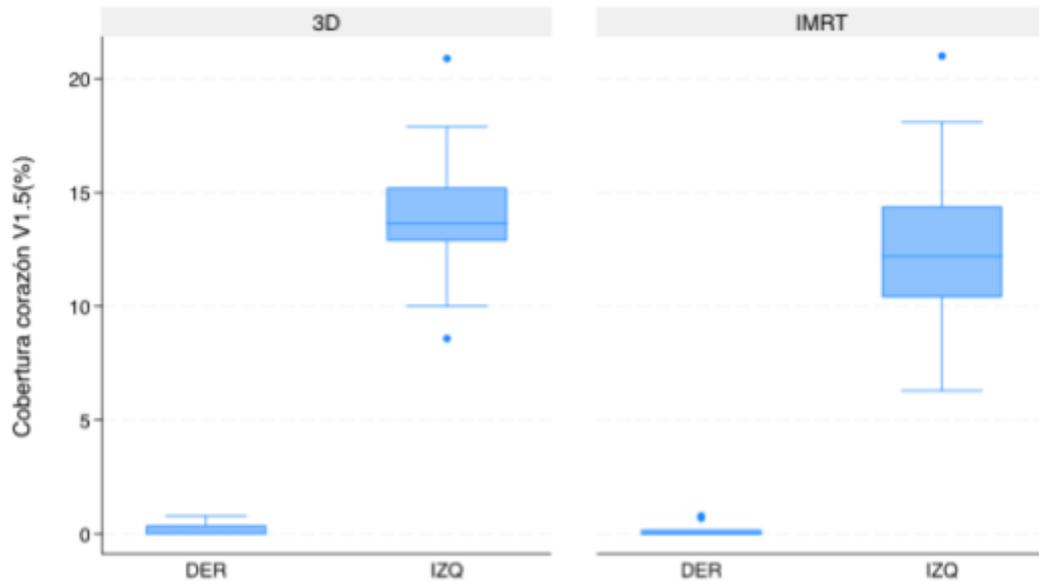
Anexo 2: Diagrama caja y bigotes, comparación descriptiva de la distribución de cobertura PTV D2% en relación a cada lado de la mama, utilizando ambas técnicas.

- PTV D5% < 27,3 Gy %, es decir, el 105% de la dosis prescrita debe estar confinado en un volumen menor al 5% del PTV. En comparación con la lateralidad y la técnica



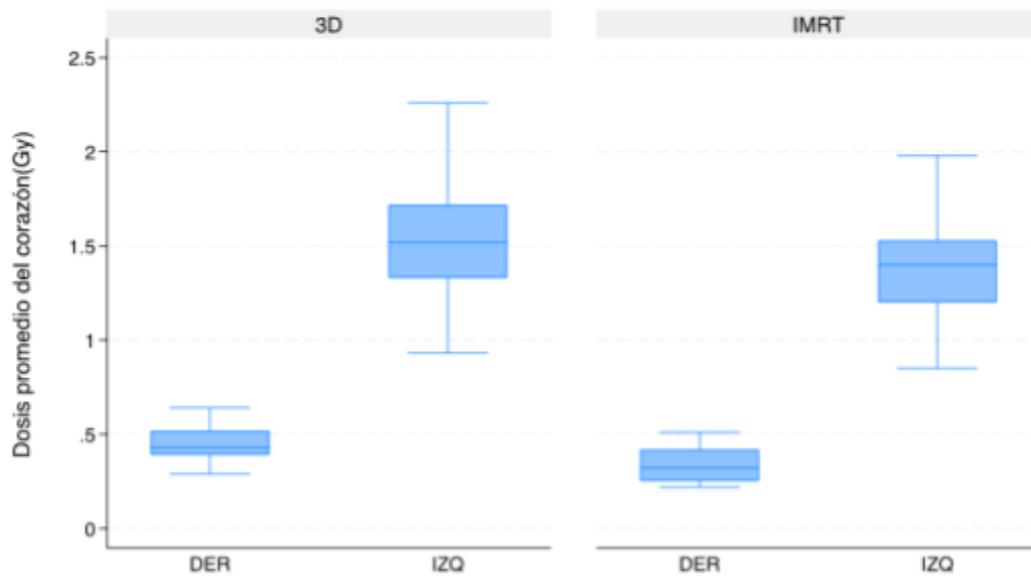
Anexo 3: Diagrama caja y bigotes, comparación descriptiva de la distribución de cobertura PTV D5% en relación a cada lado de la mama, utilizando ambas técnicas.

- V 1.5 Gy < 30 %, es decir, se busca que en un volumen inferior al 30% del corazón no exceda los 1,5 Gy. En comparación con la lateralidad y la técnica.



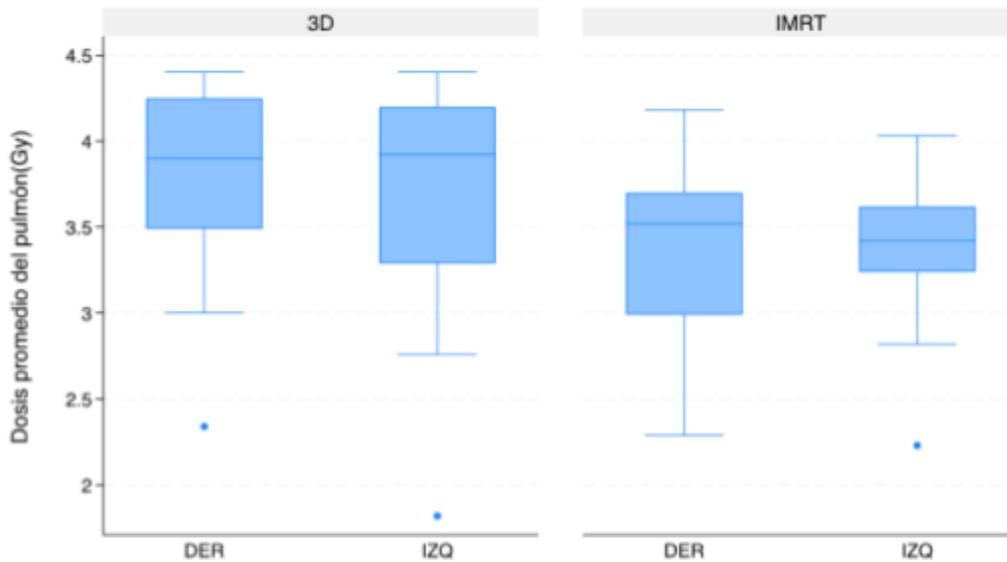
Anexo 4: Diagrama caja y bigotes, comparación descriptiva de la distribución de la Cobertura de V1.5Gy (%) en relación a cada lado de la mama, utilizando ambas técnicas

5. Dosis promedio en el Corazón, Dmean. En comparación con la lateralidad y la técnica.



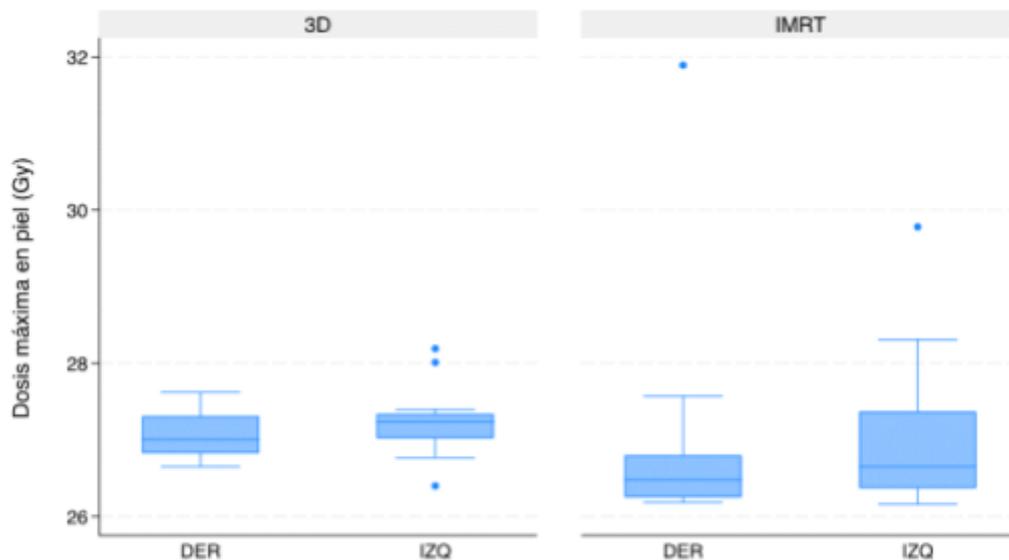
Anexo 5: Diagrama caja y bigotes, comparación de la dosis promedio del corazón (Gy) en relación cada mama irradiada; con ambas técnicas de tratamiento.

6. Dosis promedio entregada al Pulmón Ipsilateral, Dmean. En comparación con la lateralidad y la técnica



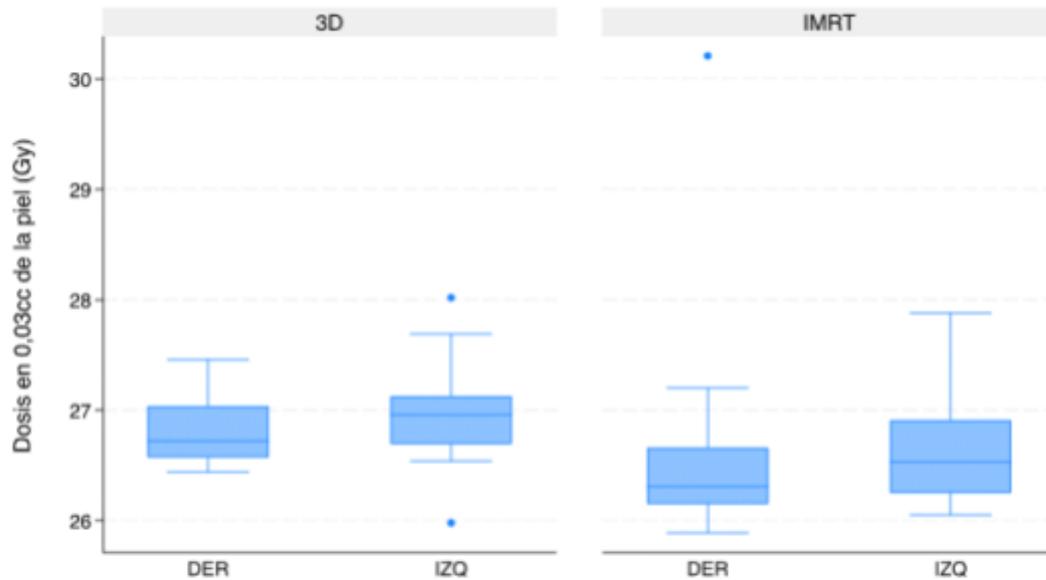
Anexo 6: Diagrama caja y bigotes, comparación de la dosis promedio del pulmón (Gy) en relación cada mama irradiada; con ambas técnicas de tratamiento

7. Dosis máxima puntual registrada en la piel, Dmax. En comparación con la lateralidad y la técnica.



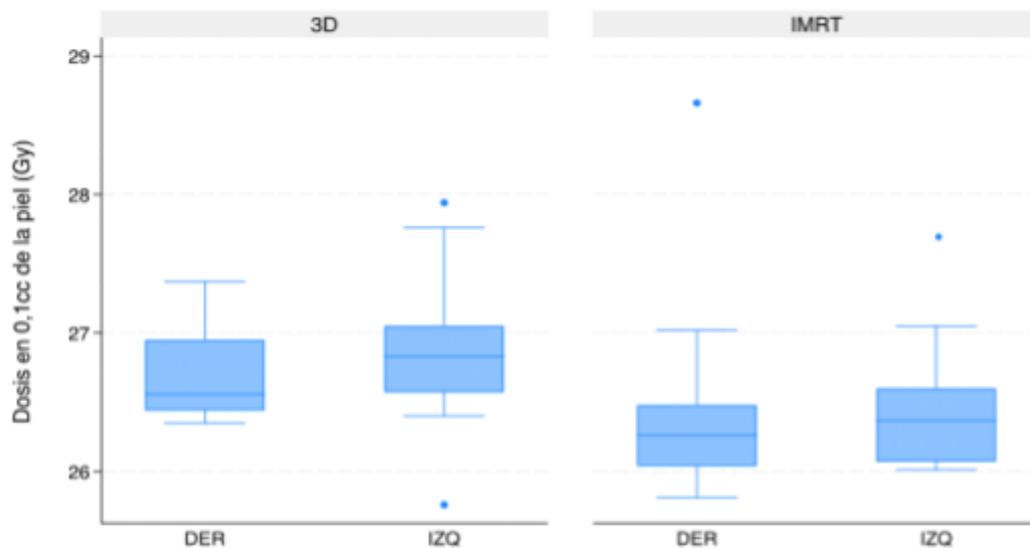
Anexo 7: Diagrama caja y bigotes comparación de la dosis máxima puntual en la piel (Gy) en relación cada mama irradiada; con ambas técnicas de tratamiento

8. Dosis máxima registrada en un volumen de 0,03 cc de la piel. En comparación con la lateralidad y la técnica.



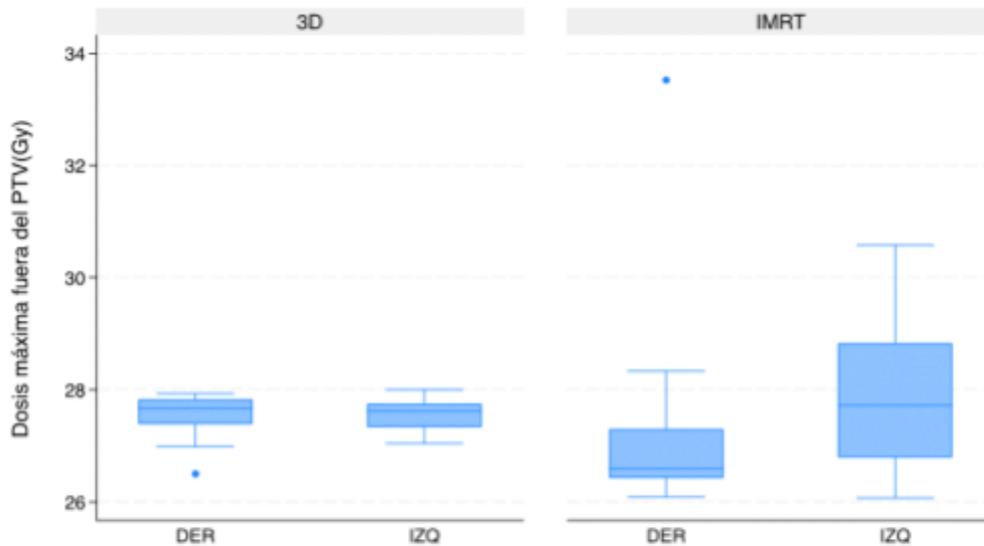
Anexo 8: Diagrama caja y bigotes, comparación de la dosis máxima en 0.03 cc en la piel (Gy) en relación cada mama irradiada; con ambas técnicas de tratamiento

9. Dosis máxima entregada a un volumen de 0.1cc de la piel. En comparación con la lateralidad y la técnica.



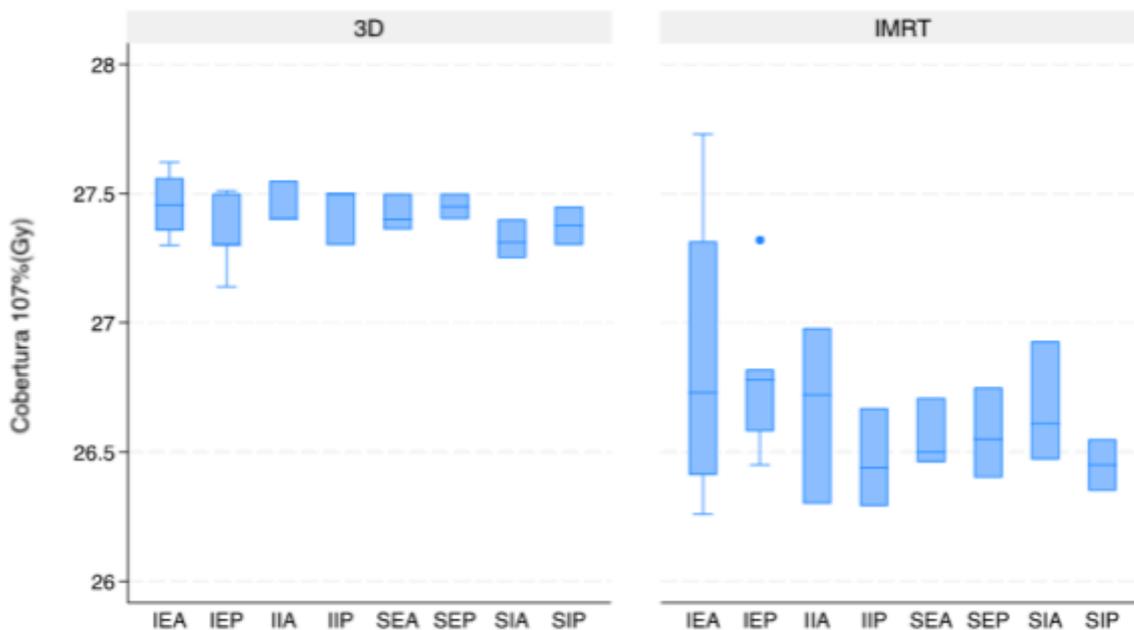
Anexo 9: Diagrama caja y bigotes, comparación de la dosis máxima en 0.1 cc en la piel (Gy) en relación cada mama irradiada; con ambas técnicas de tratamiento

10. Dosis máxima entregada en un volumen 0.03cc en un área fuera del PTV, llamada zona Auxiliar (AUX). En comparación con la lateralidad y la técnica.



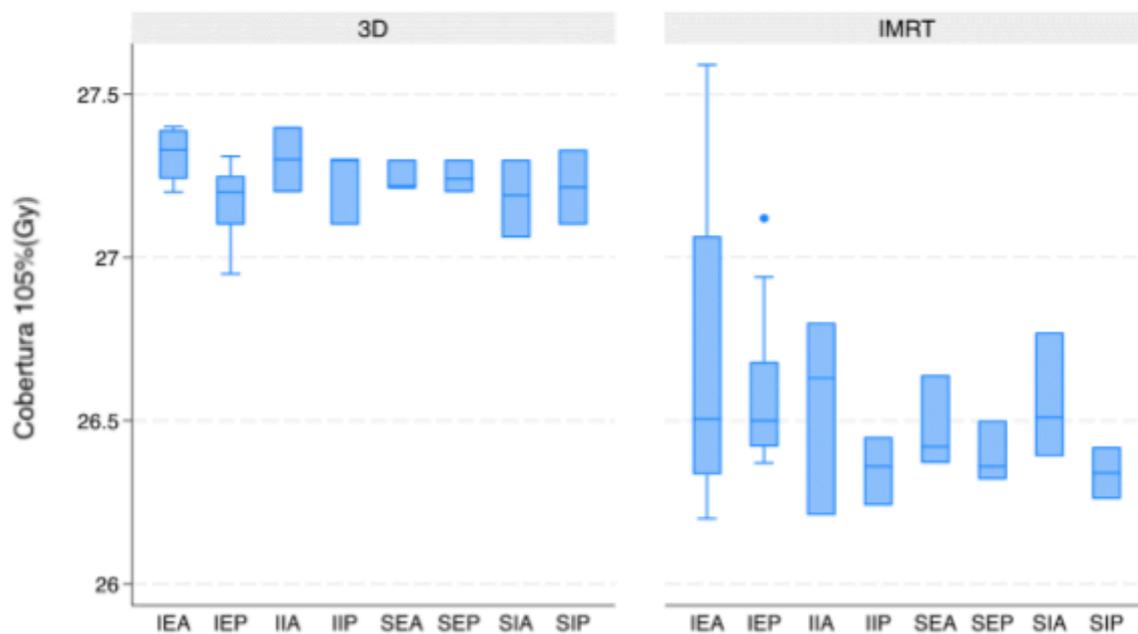
Anexo 10: Diagrama caja y bigotes, comparación de la dosis máxima fuera del PTV (Gy) en relación cada mama irradiada; con ambas técnicas de tratamiento

11. PTV D2% < 27,82 Gy (107 %), es decir, el 107% de la dosis prescrita busca estar confinado en un volumen menor al 2% del PTV. En comparación con la localización y la técnica.



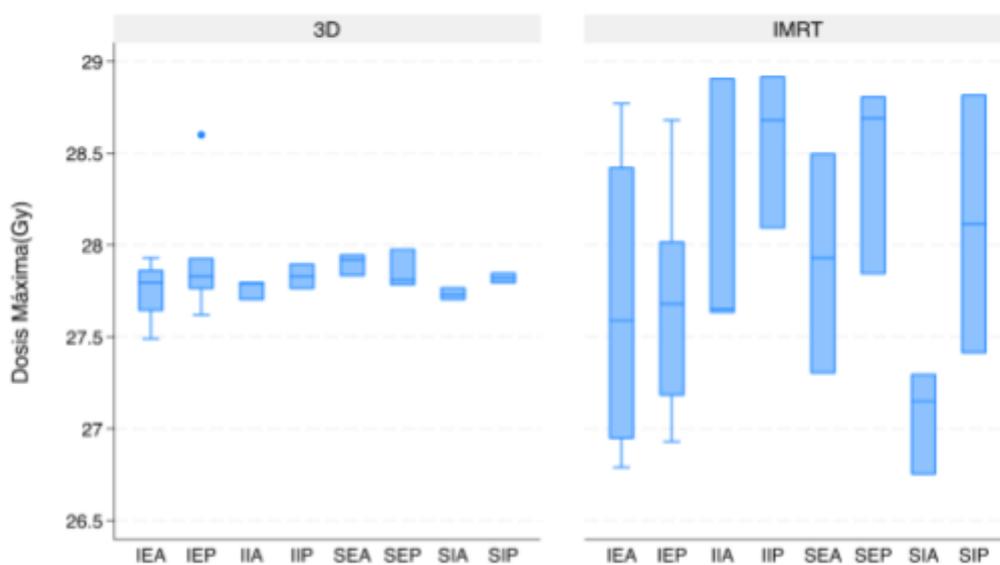
Anexo 11: Diagrama caja y bigotes, comparación de la cobertura PTV D2% (Gy) en relación cada a la localización de la lesión irradiada; con ambas técnicas de tratamiento

12. PTV D5% < 27,3 Gy %, es decir, el 105% de la dosis prescrita debe estar confinado en un volumen menor al 5% del PTV. En comparación con la localización y la técnica.



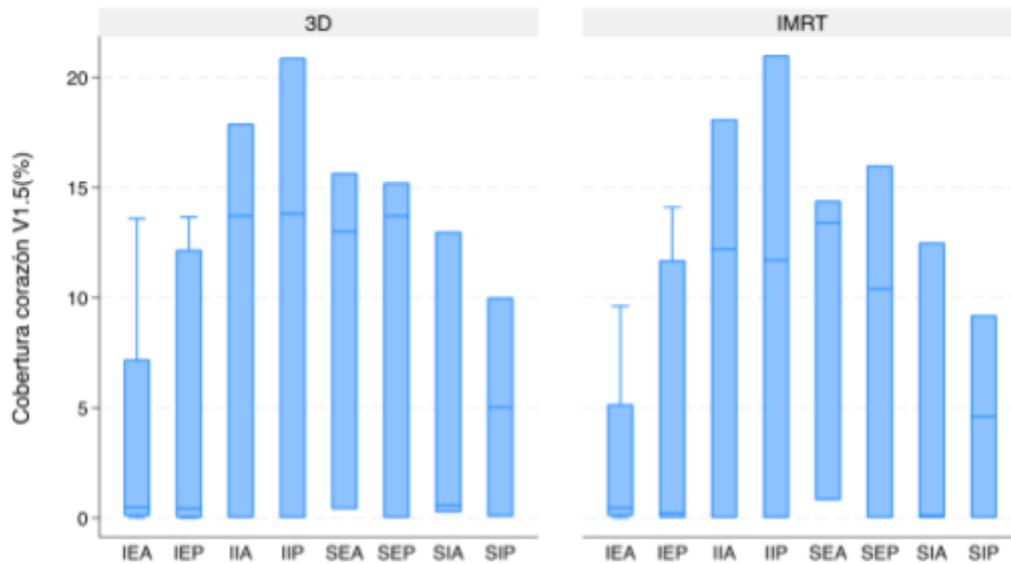
Anexo 12: Diagrama caja y bigotes, comparación de la cobertura PTV D5% (Gy) en relación cada a la localización de la lesión irradiada; con ambas técnicas de tratamiento

13. PTV Dmax < 28,6 Gy, es decir, La dosis máxima puntual debe ser menor al 110% de la dosis prescrita. En comparación con la localización y la técnica.



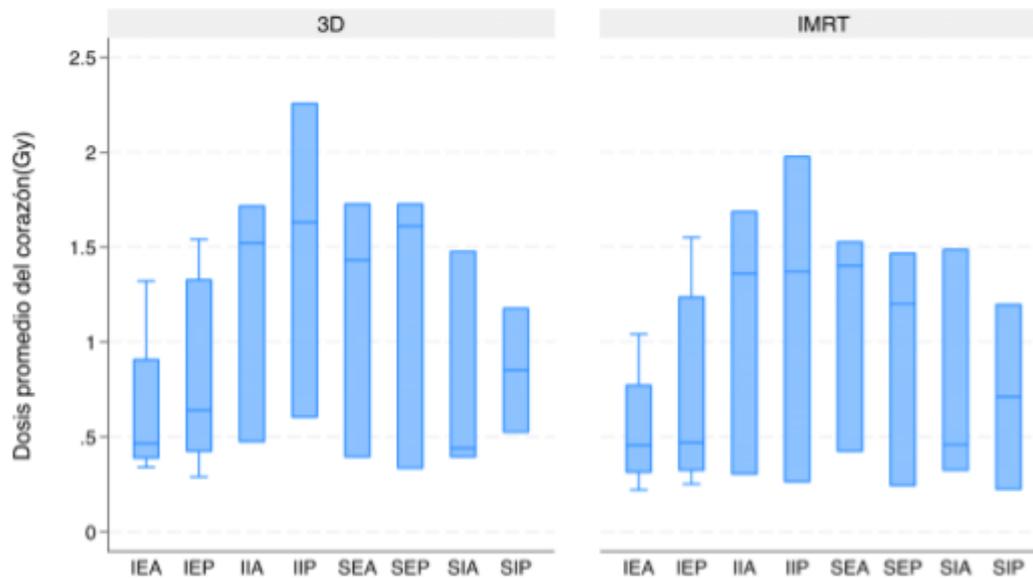
Anexo 13: Diagrama caja y bigotes, comparación de la Dosis Máxima puntual (Gy) en relación cada a la localización de la lesión irradiada; con ambas técnicas de tratamiento

14. V 1.5 Gy < 30 %, es decir, se busca que en un volumen inferior al 30% del corazón no exceda los 1,5 Gy. En comparación con la localización y la técnica.



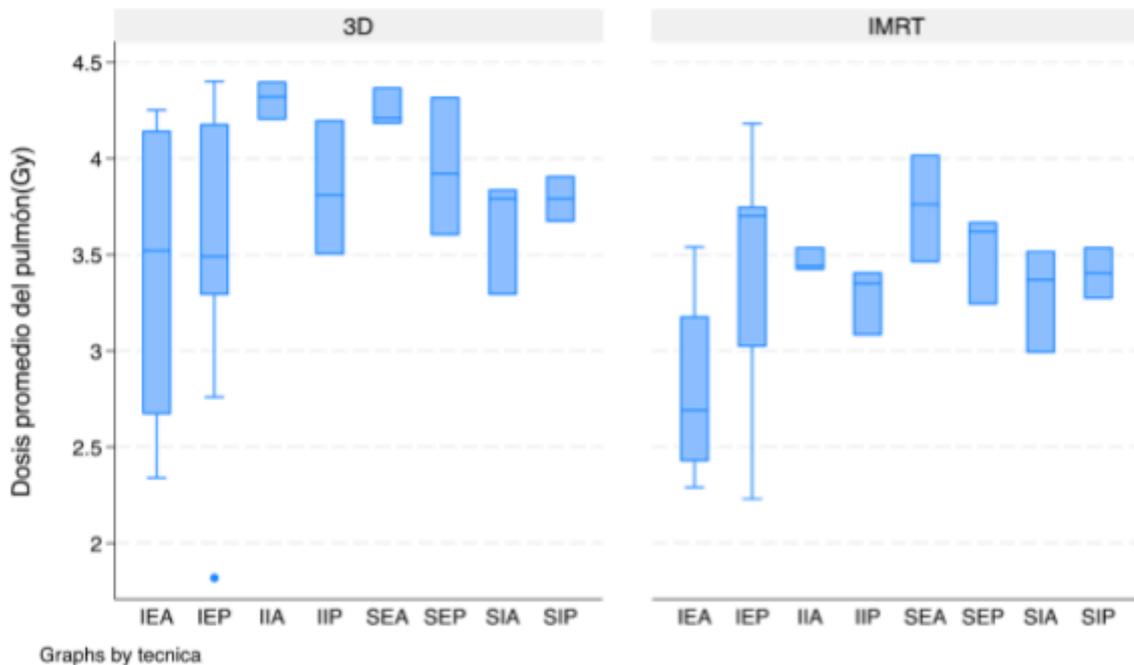
Anexo 14: Diagrama caja y bigotes, comparación descriptiva de la distribución de la Cobertura de V1.5Gy (%) en relación a la localización de la lesión, utilizando ambas técnicas

15. Dosis promedio en el Corazón, Dmean. En comparación con la localización y la técnica.



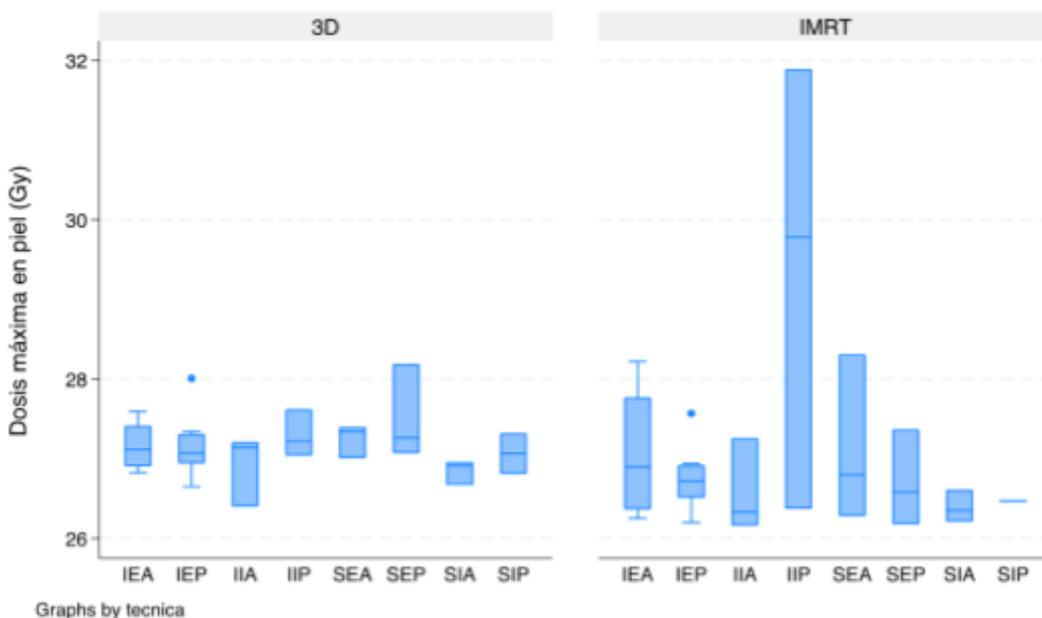
Anexo 15: Diagrama caja y bigotes, comparación de la dosis promedio del corazón (Gy) en relación con la localización de la lesión; con ambas técnicas de tratamiento.

16. Dosis promedio entregada al Pulmón Ipsilateral, Dmean. En comparación con la localización y la técnica.



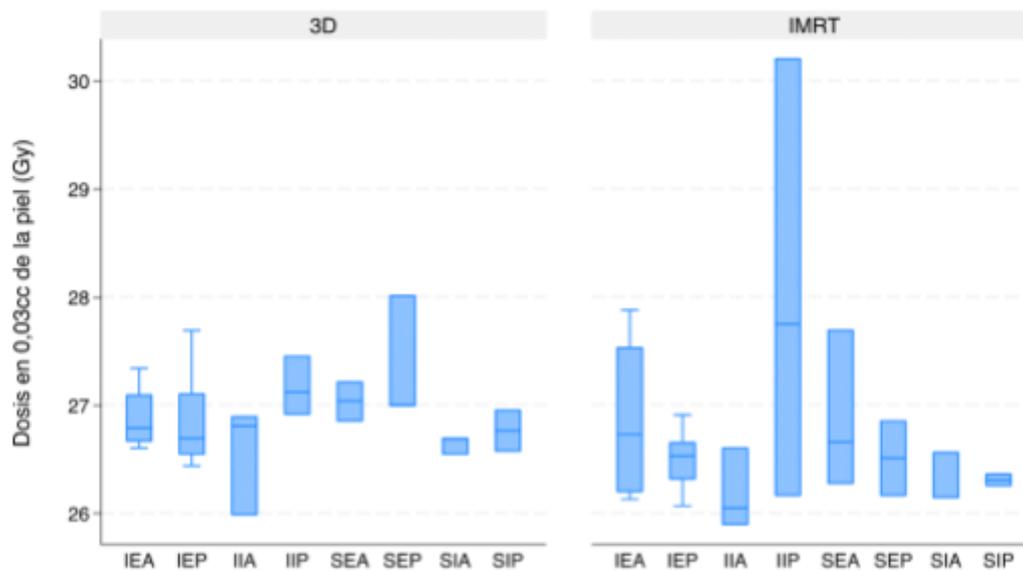
Anexo 16: Diagrama caja y bigotes, comparación descriptiva de la distribución de la Dosis promedio en pulmón (Gy) en relación a la localización de la lesión, utilizando ambas técnicas

17. Dosis máxima puntual registrada en la piel, Dmax. En comparación con la localización y la técnica.



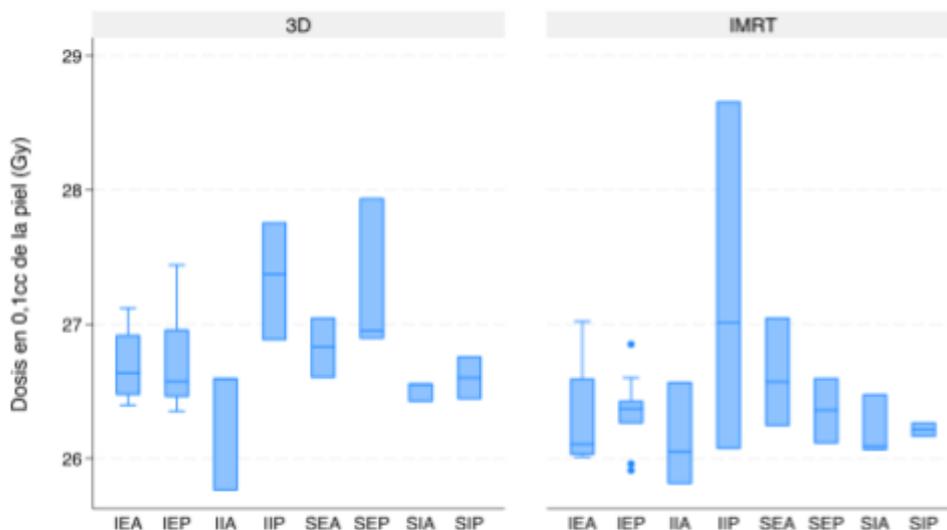
Anexo 17: Diagrama caja y bigotes comparación de la dosis máxima puntual en la piel (Gy) en relación a la localización de la lesión; con ambas técnicas de tratamiento

18. Dosis máxima registrada en un volumen de 0,03 cc de la piel. En comparación con la localización y la técnica.



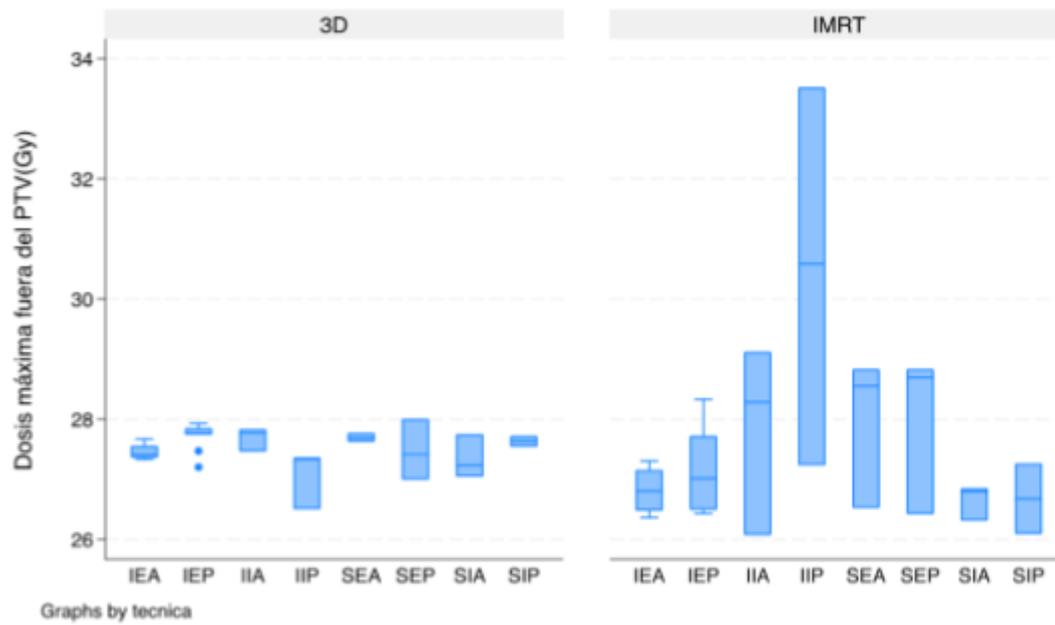
Anexo 18: Diagrama caja y bigotes, comparación de la dosis máxima en 0.03 cc en la piel (Gy) en relación a la localización de la lesión; con ambas técnicas de tratamiento

19. Dosis máxima entregada a un volumen de 0.1cc de la piel. En comparación con la localización y la técnica.



Anexo 19: Diagrama caja y bigotes, comparación de la dosis máxima en 0.1 cc en la piel (Gy), en relación a la localización de la lesión; con ambas técnicas de tratamiento

20. Dosis máxima entregada en un volumen 0.03cc en un área fuera del PTV, llamada zona Auxiliar (AUX). En comparación con la localización y la técnica.



Anexo 20: Diagrama caja y bigotes, comparación de la dosis máxima fuera del PTV (Gy) en relación a la localización de la lesión; con ambas técnicas de tratamiento

ACTA CURSO TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El **Sr. Matías Alfredo Morales García**, estudiante de Tecnología Médica con Mención Imagenología, Radioterapia y Física Médica, cumpliendo con los requisitos establecidos en el plan de estudio, realizó durante el decimo semestre de la carrera, la Tesis Profesional titulada: **“Evaluación Dosimétrica de protocolo Fast Forward con IMRT en Cáncer de Mama en pacientes previamente atendidos en Instituto Oncológico Fundación Arturo López Pérez”**, dirigida por el **Prof. TM. Alexis Troncoso Vicencio**, académico del Departamento de Tecnología Médica, Facultad de Medicina de la Universidad de Chile.

La Escuela de Tecnología Médica designó para su corrección una Comisión integrada por: **TM. Alejandro Ferreira** del Instituto Nacional del Cáncer y el **TM. Justo Pérez** de la Fundación Arturo López Pérez.

La calificación obtenida se detalla a continuación:

Corrector 1 Prof. Alejandro Ferreira	6.63	25%
Corrector 2 Prof. Justo Pérez	6.60	25%
Tutor(es) Guía:		
Evaluación intermedia	6.56	25%
Nota final tutor	6.50	25%
Nota final tesis profesional	6.57	

En consecuencia el estudiante **Matías Alfredo Morales García** aprueba satisfactoriamente la asignatura.


PATRICIO FELIPE
RIQUELME CONTRERAS
16.413.786-4
12/03/2024 - 12:43
ESTE DOCUMENTO CONTIENE FIRMA ELECTRÓNICA AVANZADA
<https://ceropapel.uchile.cl/validacion/verificador>
CV: np43a1f1zpp7faddkobb3mdhnr

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


HERNAN RODRIGO
TORRES RIVERA
15.932.579-2
12/03/2024 - 13:38
ESTE DOCUMENTO CONTIENE FIRMA ELECTRÓNICA AVANZADA
<https://ceropapel.uchile.cl/validacion/verificador>
CV: np43a1f14tp7faddkobb3mdhnr

Prof. Hernán Torres.
PEC curso
Trabajo de Investigación

ACTA CURSO TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La **Srta. María Sol Herrera Ruiz**, estudiante de Tecnología Médica con Mención Imagenología, Radioterapia y Física Médica, cumpliendo con los requisitos establecidos en el plan de estudio, realizó durante el decimo semestre de la carrera, la Tesis Profesional titulada: **“Evaluación Dosimétrica de protocolo Fast Forward con IMRT en Cáncer de Mama en pacientes previamente atendidos en Instituto Oncológico Fundación Arturo López Pérez”**, dirigida por el **Prof. TM. Alexis Troncoso Vicencio**, académico del Departamento de Tecnología Médica, Facultad de Medicina de la Universidad de Chile.

La Escuela de Tecnología Médica designó para su corrección una Comisión integrada por: **TM. Alejandro Ferreira** del Instituto Nacional del Cáncer y el **TM. Justo Pérez** de la Fundación Arturo López Pérez.

La calificación obtenida se detalla a continuación:

Corrector 1 TM. Alejandro Ferreira	6.63	25%
Corrector 2 TM. Justo Pérez	6.60	25%
Tutor(es) Guía:		
Evaluación intermedia	6.56	25%
Nota final tutor	6.50	25%
Nota final tesis profesional	6.57	

En consecuencia la estudiante **María Sol Herrera Ruiz** aprueba satisfactoriamente la asignatura.



PATRICIO FELIPE
RIQUELME CONTRERAS
16.413.786-4
12/03/2024 - 12:43
ESTE DOCUMENTO CONTIENE FIRMA ELECTRÓNICA AVANZADA
<https://ceropapel.uchile.cl/validacion/verificador>
CV: np43a1f1zjp7faddkobb3mdhnr

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



HERNAN RODRIGO
TORRES RIVERA
15.932.579-2
12/03/2024 - 13:38
ESTE DOCUMENTO CONTIENE FIRMA ELECTRÓNICA AVANZADA
<https://ceropapel.uchile.cl/validacion/verificador>
CV: np43a1f14pp7faddkobb3mdhnr

Prof. Hernán Torres.
PEC curso
Trabajo de Investigación