

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE MEDICINA  
ESCUELA DE TECNOLOGÍAS EN SALUD

PRÁCTICA EN SIMULACIÓN VIRTUAL Y PLANIFICACIÓN DOSIMÉTRICA  
PARA EL TRATAMIENTO DE CÁNCER DE MAMA IZQUIERDA CON  
RADIOTERAPIA EXTERNA, EN ESTADIO TEMPRANO, EN EL SERVICIO DE  
RADIOTERAPIA DEL HOSPITAL MÉXICO, DURANTE EL AÑO 2019.

Informe de Práctica Dirigida sometido a la consideración de la Escuela de  
Tecnologías en Salud para optar al grado de licenciatura de la carrera de  
Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Proponente:

Carolina Matamoros Lobo - Carné: B13994

Comité Asesor:

Director: M.Sc. Estiven Arroyo Artavia.

Asesor Técnico: M.Sc. Estiven Arroyo Artavia.

Lector: M.Sc./M.Res. Sergio M. Solís Barquero.

Lectora: Licda. Michelle Gutiérrez Sandoval.

Fecha de defensa: lunes 10 de febrero del 2020.

## HOJA DE APROBACIÓN

Este Trabajo Final de Graduación fue aceptado por la Escuela de Tecnologías en Salud de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Imagenología, el lunes 10 de febrero del 2020.



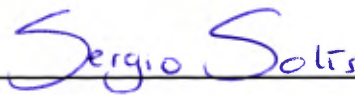
Dr. Horacio Chamizo García

Director a.i. de la Escuela de Tecnologías en Salud



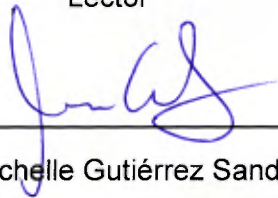
M.Sc. Estiven Arroyo Artavia

Director y Asesor Técnico de la Práctica Dirigida



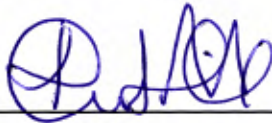
M.Sc./M.Res. Sergio M. Solís Barquero

Lector



Licda. Michelle Gutiérrez Sandoval

Lectora



M.Sc. Carolina Masís Calvo

Profesor Asignado

## **DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL**

Este documento pertenece a la suscrita Carolina Matamoros Lobo, cédula de identidad 207170396. No está permitida la reproducción total o parcial de este documento sin previo conocimiento por escrito de la autora, según lo establecido en la Ley N°6683: sobre derechos de autor y derechos conexos. Debe citarse como: Matamoros, Carolina. (2020). Práctica en Simulación Virtual y Planificación Dosimétrica para el tratamiento de cáncer de mama izquierda con radioterapia externa, en estadio temprano, en el Servicio de Radioterapia del Hospital México, durante el año 2019. Trabajo Final de Graduación en modalidad de Práctica Dirigida para optar al grado de Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica, Universidad de Costa Rica. San José.

## **AGRADECIMIENTOS**

Dedico el presente trabajo a mis padres, que son todo para mí y me ayudaron en todo el proceso hasta el final de este camino. Les agradezco toda su intención en buscar mi crecimiento personal y profesional, y por mostrarme su amor incondicional a través de los años. Es todo un orgullo y un privilegio ser su hija, son los mejores padres.

Además, agradezco a todas las personas cercanas, familiares y amigos, que estuvieron a mi lado apoyándome en el camino recorrido hasta llegar a donde estoy.

Asimismo, a todos los hicieron posible que el trabajo se realizara con éxito, en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

## ÍNDICE GENERAL

HOJA DE APROBACIÓN .....	ii
DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	ix
ÍNDICE DE CUADROS .....	xiii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiv
CITA BIBLIOGRÁFICA.....	xvii
RESUMEN EJECUTIVO .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	19
CAPÍTULO I. PROBLEMA Y OBJETIVOS .....	22
1.1 Planteamiento del problema .....	22
1.1.1 Situación problema.....	22
1.1.2 Antecedentes de la intervención.....	26
1.1.3 Contextualización de la instancia .....	28
1.2. Objetivos Generales, Específicos y Externos.....	30
1.2.1. Objetivo General .....	30
1.2.2 Objetivos Específicos .....	30
1.2.3 Objetivo Externo.....	30
CAPÍTULO II. MARCO CONCEPTUAL.....	31
2.1 Anatomía de la mama.....	31
2.2 Funcionamiento de la mama.....	32
2.3 Patología de la mama: Cáncer.....	32
2.4 Estadificación de la mama .....	32
2.4.1 Clasificación T (tamaño del tumor) .....	33
2.4.2 Clasificación N (Nódulos linfáticos regionales) en tumores de mama .....	34
2.4.3 Clasificación M (Metástasis distantes).....	38
2.5 Métodos radiológicos de detección del cáncer de mama .....	38
2.5.1 Mamografía .....	38
2.5.2 Ecografía.....	39

2.5.3 Resonancia Magnética (RMN).....	39
2.6 Modalidades de tratamiento.....	40
2.6.1 Tratamientos sistémicos.....	40
2.6.2 Tratamientos locales .....	40
2.7 Radioterapia en el cáncer de mama .....	41
2.7.1 Proceso de la Radioterapia .....	44
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO .....	66
3.1 Población meta, beneficiarios directos e indirectos.....	66
3.2 Estrategia de intervención.....	67
3.3 Definición de actividades, funciones, tareas básicas y productos esperados.....	70
3.4 Definición de las relaciones interdisciplinarias .....	73
3.5 Definición del sistema de supervisión .....	74
3.6 Definición del proceso de evaluación.....	74
3.7 Precauciones.....	75
3.8 Consideraciones éticas y legales.....	75
3.9 Propuesta para la redacción del informe final .....	77
CAPÍTULO IV. INFORME DE LA PRÁCTICA.....	79
4.1 Experiencias vividas .....	79
4.1.1 Planificación de la técnica dosimétrica 3D Conformacional .....	84
4.1.2 Planificación de la técnica dosimétrica Intensidad Modulada .....	87
4.1.3 Planificación de la técnica dosimétrica Arcoterapia Volumétrica.....	92
4.2 Descripción de los casos atendidos .....	102
4.2.1 3D Conformacional:.....	103
4.2.2 Intensidad Modulada .....	105
4.2.3 Arcoterapia Volumétrica .....	109
4.3 Aspectos adicionales de interés.....	117
4.4 Discusión .....	122
4.4.1 Facilidades .....	128
4.4.2 Dificultades.....	128

CAPÍTULO V. GUÍA DE PLANIFICACIÓN DE TRATAMIENTOS CON TÉCNICAS ESPECIALES PARA EL CÁNCER DE MAMA.....	130
5.1 Prólogo .....	130
5.2 Glosario de siglas .....	132
5.3 Capítulo I .....	133
5.4 Capítulo II .....	136
5.4.1 Objetivo .....	136
5.4.2 Alcance .....	136
5.4.3 Responsabilidades.....	136
5.5 Capítulo III .....	137
5.5.1 Procedimientos e instrucciones de la Guía.....	137
5.6 Capítulo IV.....	169
5.6.1 Plantillas para la optimización con las técnicas dosimétricas IMRT para el tratamiento de cáncer de mama izquierda.....	169
5.6.2 Plantillas para la optimización con las técnicas dosimétricas VMAT para el tratamiento de cáncer de mama izquierda.....	171
5.7 Capítulo V.....	173
5.7.1 Instrumento creado con la revisión bibliográfica exhaustiva del trabajo.....	173
5.8 Referencias de la Guía. ....	175
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	177
6.1 Conclusiones .....	177
6.2 Recomendaciones .....	181
7. BIBLIOGRAFÍA .....	185
8. ANEXOS .....	196
Anexo 1. Aceptación formal de la Jefatura de Servicio de Radioterapia, Hospital México. ....	196
Anexo 2. Hoja de Simulación Virtual para afecciones de tórax y abdomen. ....	197
Anexo 3. Hoja de simulación de rampa de mama. ....	198
Anexo 4. Consentimiento informado de la Caja Costarricense del Seguro Social. ....	199
Anexo 5. Ejemplo de resultados de la sistematización de experiencias de Planificación Dosimétrica: parámetros para el diseño del plan 3DCRT.....	201

Anexo 6. Ejemplo de resultados de la sistematización de experiencias de Planificación Dosimétrica: parámetros para el diseño del plan IMRT.....	202
Anexo 7. Ejemplo de resultados de la sistematización de experiencias de Planificación Dosimétrica: parámetros para el diseño del plan VMAT.....	204
Anexo 8. Resultados de la sistematización de experiencias de Planificación Dosimétrica: parámetros dosimétricos de evaluación para PTV.....	206
Anexo 9. Resultados de la sistematización de experiencias de Planificación Dosimétrica: parámetros dosimétricos de evaluación para órganos de riesgo.....	206
Anexo 10. Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Observación y Simulación Virtual.....	207
Anexo 11. Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase Planificación dosimétrica. ....	218



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1: Porcentaje de usuarias tratadas por unidad funcional, período 2017. Servicio de Radioterapia. Hospital México. ....	23
Figura 2: Definición de tumor primario (T), clínica y patológicamente. ....	33
Figura 3: Definición de los nódulos regionales linfáticos, de forma clínica y patológica. ..	35
Figura 4: Rampa para simulación supina de mama. ....	47
Figura 5: Volúmenes de tratamiento. ....	51
Figura 6: Resumen de estructura organizativa del Servicio de Radioterapia. ....	70
Figura 7: Normalización 95% de la dosis cubre el 98% del volumen. ....	98
Figura 8: Sin normalización. ....	99
Figura 9: Normalización 100% de la dosis cubre el 50% del volumen. ....	100
Figura 10: Normalización 100% de la dosis cubre el 70% del volumen. ....	101
Figura 11: Normalización 100% de la dosis cubre el 75% del volumen blanco. ....	120
Figura 12: Normalización 95% de la dosis cubre el 96.7% del volumen blanco. ....	120
Figura 13: Comparación de histogramas. ....	121
Figura 14. Porcentaje de casos de usuarias trabajos en relación a su volumen mamario en centímetros cúbicos. ....	124
Figura 15: Rampa de mama del Servicio de Radioterapia del Hospital México. ....	138
Figura 16: Puntos 1, 2, 3. ....	140
Figura 17: Punto 4. ....	140
Figura 18: Punto 5. ....	141
Figura 19: Estructura de ANILLO. ....	144

Figura 20: PTV_MI_40.04 EXT.....	145
Figura 21: PTV_MI_40.04 OPT.....	145
Figura 22: PTV-EXT.....	146
Figura 23: CORAZON MOD.....	146
Figura 24: PULMON I MOD.....	147
Figura 25: control med vmat.....	147
Figura 26: CONTROL LAT VMAT.....	148
Figura 27: Nuevo curso de tratamiento.....	148
Figura 28: Nuevo plan de tratamiento.....	149
Figura 29: Selección del curso.....	150
Figura 30: Selección del volumen blanco.....	150
Figura 31: Punto de referencia.....	151
Figura 32: Posición del usuario.....	151
Figura 33: Propiedades del plan.....	152
Figura 34: Dosis del plan de tratamiento.....	152
Figura 35: Equipo de tratamiento.....	153
Figura 36: Propiedades del campo de tratamiento.....	153
Figura 37: Geometría del arco.....	154
Figura 38: Modificar ángulos de arco.....	156
Figura 39: Nombre de arcos, energía, tamaño de campo X.....	156
Figura 40: CW-CCW.....	157
Figura 41: Insertar bolus.....	157

Figura 42: Elegir densidad de bolus. ....	158
Figura 43: Tamaño y grosor de bolus. ....	158
Figura 44: Ligar bolus al arco. ....	159
Figura 45: Placas de verificación de tratamiento. ....	159
Figura 46: Ventana de optimización. ....	160
Figura 47: Herramientas del lado izquierdo. ....	160
Figura 48: Herramientas del lado derecho. ....	161
Figura 49: Herramientas para la manipulación de la imagen 3D. ....	161
Figura 50: NTO. ....	163
Figura 51: Resolución de rejilla. ....	163
Figura 52: Optimización de PTV. ....	163
Figura 53: Niveles de optimización. ....	164
Figura 54: Modo Automático de Optimización y Dosis Intermedia Automática. ....	164
Figura 55: Copia del plan de tratamiento. ....	165
Figura 56: Desligar el bolus del arco. ....	165
Figura 57: Calcular nuevamente. ....	166
Figura 58: Sin normalización. ....	166
Figura 59: Normalizado. ....	167
Figura 60: Curvas de isodosis en porcentaje. ....	168
Figura 61: Plantilla para el optimizador de IMRT. ....	169
Figura 62: Plantilla para el optimizador de VMAT. ....	171
Figura 63: Presentación Powerpoint con la Revisión Bibliográfica analizada. ....	173

Figura 64: Presentación Powerpoint con la Revisión Bibliográfica analizada.....	173
Figura 65: Ejemplo de diapositiva de Presentación Powerpoint con la Revisión Bibliográfica analizada.....	174
Figura 66. Ejemplo de diapositiva de Presentación Powerpoint con la Revisión Bibliográfica analizada.....	174

## ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1: Categoría T de tumores de mama. ....	34
Tabla 2: Categoría cN. Definición de Nódulos Linfáticos Regionales- Clínicamente.....	36
Tabla 3: Categoría pN. Definición de Nódulos Linfáticos Regionales- Patológicamente..	37
Tabla 4: Definición de metástasis a distancia. ....	38
Tabla 5: Parámetros geométricos establecidos en el TC para la Simulación Virtual. ....	48
Tabla 6: Protocolo existente para el contorneo de órganos de riesgo del Servicio de Radioterapia del Hospital México del Hospital México.....	54
Tabla 7: Dosis de restricción a OARs en esquema de Hipofraccionamiento del grupo Cooperativo Danés contra el Cáncer de Mama. ....	63
Tabla 8: Restricciones del PTV y OARs del RTOG 1005.....	64
Tabla 9: Objetivos para el volumen de planificación, IMRT. ....	88
Tabla 10: Objetivos para el volumen de planificación, VMAT. ....	95
Tabla 11: Parámetros geométricos establecidos en TC para Simulación Virtual. ....	138
Tabla 12: Guía existente de contorneo de órganos para tratamiento de cáncer de mama en el Servicio de Radioterapia del Hospital México. ....	143
Tabla 13: Valores de referencia para objetivos superiores e inferiores de cada PTV. ...	162

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

2D: Dos dimensiones.

3D: Tres dimensiones.

3DCRT: Radioterapia Tri-dimensional Conformada.

AJCC: *American Joint Committee on Cancer* (Comité Americano sobre el Cáncer).

AP: Antero-posterior.

ASTRO: *American Society for Radiation Oncology* (Sociedad Americana para Radiación Oncológica).

BBs: *Beta Blockers* (Marcadores radiopacos).

CBCT: *Cone Beam CT* (Tomografía Computarizada con haz de cono).

CCSS: Caja Costarricense del Seguro Social.

CCW: *Counter Clockwise* (En contra de manecillas de reloj).

CEC- UCR: Comité Ético Científico de la Universidad de Costa Rica.

CTV: *Clinic Tumor Volume* (Volumen de Tumor Clínico).

CW: *Clockwise* (A favor de manecillas de reloj).

DBCG: *Danish Breast Cancer Cooperative Group* (Grupo Cooperativo Danés Contra el Cáncer de Mama).

DFS: Distancia fuente-superficie.

DICOM: *Digital Imaging and Communication on Medicine* (Almacenamiento y Comunicación de Imágenes Médicas).

DMLC: *Dynamic Multileaf Collimators* (Colimador Multiláminas Dinámico).

EPID: *Electronic Portal Imaging* (Imágenes con el Portal).

FiF: *Field in Field* (Campo en campo).

FOV: *Field of view* (Campo de visión).

GTV: *Gross Tumor Volume* (Volumen de Tumor Macroscópico).

Gy: Gray.

HDV: Histograma dosis-volumen.

IC: Índice de Conformidad.

ICRU: *International Commission on Radiation Units and Measurements* (Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación).

IGRT: *Image- Guided Radiation Therapy* (Radioterapia Guiada por Imágenes).

IH: Índice de Homogeneidad.

IMRT: *Intensity- Modulated Radiation Therapy* (Radioterapia de Intensidad Modulada).

INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.

kV: Kilovoltaje.

LI: Lateral izquierdo.

LINAC: *Linear Accelerator* (Acelerador Lineal).

mAs: Miliamperio- segundo.

MeV: Megaelectronvoltios.

MLC: *Multileaf Collimators* (Sistema de Multihojas).

MSF-MLC: *Static- Field Multileaf Collimator* (Colimador Multiláminas Estático).

MV: Megavoltios.

NTO: *Normal Tissue Objective* (Objetivo de Tejido Normal).

OARs: Órganos de Riesgo.

OBI: *On Board Image* (Dispositivo de Imagen de Kilovoltaje).

OIEA: Organismo Internacional de Energía Atómica.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

OPS: Organización Panamericana de la Salud.

PET: *Positron Emission Tomography* (Tomografía por Emisión de Positrones).

PRV: *Planning Organ at Risk Volume* (Volumen de Planificación para Órganos de Riesgo).

PTV: *Planning Tumor Volume* (Volumen Blanco de Planificación).

QUANTEC: *Quantitative Analysis of Normal Tissue Effects in the Clinic* (Análisis Cuantitativo de los Efectos Clínicos en Tejido Normal).

RMN: Resonancia Magnética Nuclear.

RT-HMEX: Servicio de Radioterapia del Hospital México.

RTOG: *Radiation Therapy Oncology Group* (Grupo de Oncología de Radioterapia).

TC: Tomografía Computarizada.

TE: Tangencial Externo.

TI: Tangencial Interno.

TNM: Clasificación del Tumor, Nódulo Linfático, Metástasis.

TPS: *Treatment Planning System* (Sistema de Planificación de Tratamiento).

UH: Unidades Houndsfield.

UM: Unidades Monitor.

VMAT: *Volumetric Modulated Arc Therapy* (Arcoterapia Volumétrica).

VT: Volumen Tratado.



## **CITA BIBLIOGRÁFICA**

Matamoros, Carolina (2020). Práctica en Simulación Virtual y Planificación Dosimétrica para el tratamiento de cáncer de mama izquierda con radioterapia externa, en estadio temprano, en el Servicio de Radioterapia del Hospital México, durante el año 2019.

Informe de Práctica Dirigida para Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica, Universidad de Costa Rica, Sede Rodrigo Facio, San José, Costa Rica.

*Director:* M. Sc. Estiven Arroyo Artavia.

*Palabras clave:* Radioterapia conformada en 3D (3DCRT), radioterapia de intensidad modulada (IMRT), arcoterapia volumétrica (VMAT), glándula mamaria, estadio temprano, Servicio de Radioterapia, Hospital México, volumen blanco de planificación (PTV), órgano de riesgo (OAR), histograma dosis-volumen (HDV).

## **RESUMEN EJECUTIVO**

Debido a la alta incidencia de cáncer de mama en la población mundial y costarricense, es de vital importancia conocer el papel del tratamiento radioterápico en dicha patología. Múltiples investigaciones han comparado las distintas técnicas dosimétricas existentes para el tratamiento del carcinoma mamario, dentro de las cuales se destacan: la 3DCRT, la IMRT y la VMAT.

Los métodos dosimétricos mencionados anteriormente son utilizados actualmente en el país. Dicha tecnología no lleva mucho tiempo de haberse implementado, por lo que con este trabajo se pretendió hacer incapie al uso de estas técnicas innovadoras.

Con la práctica dirigida se buscó, principalmente, el enriquecimiento profesional y académico de la estudiante en las áreas de Simulación Virtual y Planificación Dosimétrica del Servicio de Radioterapia para tratamiento del cáncer de mama izquierda en estadio

temprano. Además, éste es el primer documento publicado en Costa Rica, donde se mencionan los beneficios y perjuicios de cada técnica dosimétrica aludida.

La práctica fue desarrollada en el Servicio de Radioterapia del Hospital México, durante el segundo semestre del año 2019. Se trabajó con 60 usuarias afectadas con tumoración de mama izquierda en estadio temprano, las cuales fueron tratadas con radiaciones ionizantes, ya que así lo decidió el especialista radioterápico. Primeramente, se trabajó en la etapa de Simulación, la cual se desarrolló por medio del tomógrafo computadorizado, donde las usuarias se situaron en la rampa de plano inclinado para mama, en posición supina. Posteriormente, dentro de la misma fase, se procedió a contornear los órganos de riesgo de cada usuaria en la tomografía computadorizada.

Para la segunda fase, se planificó cada caso con las tres técnicas dosimétricas señaladas previamente. La dosis prescrita fue de 40.05 Gy en 15 fracciones. Las planificaciones emplearon energías de 6 MV y 10 MV.

La cobertura del volumen de tratamiento e irradiación a órganos de riesgo fueron evaluadas con base en los histogramas dosis-volumen. A partir de dicha comparación se logra concluir las ventajas y desventajas de cada técnica dosimétrica, dependiendo de las características propias del tumor y la anatomía de la usuaria. Se concluye con este trabajo que la aplicación de los métodos de intensidad modulada en tratamientos de radioterapia, ayudan a obtener distribuciones de dosis homogéneas en el volumen blanco, asimismo disminuye dosis en los órganos de riesgo ipsilaterales.

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el cáncer corresponde a la segunda causa de muerte de la población. Según el Centro de Investigaciones sobre el Cáncer, perteneciente a la Organización Mundial de la Salud (OMS), a partir del presente año se contabilizarán 18 millones de nuevos casos en el mundo (1).

Gracias a datos obtenidos del Registro Nacional de Tumores del Ministerio de Salud y del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), se sabe que en Costa Rica, cerca de 11.500 habitantes son diagnosticados con cáncer, y fallecen 5000 costarricenses, cada año (2).

Globalmente, el cáncer de mama ha liderado las primeras posiciones de los carcinomas más frecuentes en la población femenina. Costa Rica sigue las tendencias descritas internacionalmente, pues el cáncer de seno corresponde al segundo tumor con más incidencia en las mujeres costarricenses, sólo superado por las afecciones de la piel; igualmente, el carcinoma mamario presenta una de las tasas más altas de mortalidad en la población (3).

En el país se han efectuado numerosos esfuerzos para fortalecer la prevención y el tratamiento del cáncer de mama. El tratamiento estándar para este tipo de carcinoma en estadio temprano es la cirugía conservadora, seguido de radioterapia adyuvante. El propósito de estos abordajes terapéuticos es mejorar el control local del pecho tratado, con una toxicidad mínima (4).

El proceso para emplear este esquema de tratamiento actual, se ha desarrollado con el paso del tiempo, ya que la radioterapia ha ido evolucionando exponencialmente. Hace poco menos de un siglo se empleaban haces de radiación delimitados con campos rectangulares grandes, sin ningún tipo de conformación especial, ni protección a órganos circundantes al tumor, como por ejemplo: la técnica radioterápica en dos dimensiones (2D). Con la introducción de la tecnología digital en simuladores, específicamente en 1970, cuando se crea la tomografía computarizada (TC), surgen nuevos avances en el hardware y el software

de los ordenadores, que incrementaron la capacidad computacional y dieron paso a estudios con imágenes en tres dimensiones (3D) (5). Dicho auge, facilitó la creación de nuevos sistemas de planificación dosimétrica, como lo es la radioterapia tri-dimensional conformada (3DCRT). En los últimos años, se han perfeccionado técnicas dosimétricas muy modernas como: Intensidad Modulada (IMRT, por sus siglas en inglés) y Arcoterapia Volumétrica (VMAT, por sus siglas en inglés), entre otros (6).

En vista de estos grandes avances para el desarrollo de procedimientos modernos radioterapéuticos como la simulación y la planificación dosimétrica, se exige en los distintos servicios de Radioterapia de la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS), una constante preparación y un compromiso por parte de los trabajadores en mantenerse capacitados y a la vanguardia de los conocimientos relacionados con sus ámbitos de acción.

Cada uno de los profesionales pertenecientes a los servicios de radioterapia cumple un papel fundamental en el proceso de la aplicación de la terapia con radiaciones ionizantes. En este trabajo, se pretendió enfatizar el rol de la persona profesional en Imagenología, en las áreas de Simulación Virtual y de Dosimetría Clínica. (7). Asimismo, se buscó un acercamiento a la realidad de un servicio de radioterapia en uno de los hospitales de la CCSS.

La presente práctica dirigida se desarrolló en el Servicio de Radioterapia del Hospital México (RT-HMEX), ente principal a nivel nacional, de la CCSS, para el tratamiento del cáncer, con radiación ionizante en el país (8). Se trabajó en las áreas de simulación y planificación de dosimetría clínica.

En la simulación virtual se utilizaron equipos que simulan los movimientos mecánicos y la geometría de los haces de tratamiento de los aceleradores lineales (LINAC), los cuales son las máquinas que suministran el procedimiento terapéutico a cada usuario (9). Consecutivamente, en el espacio de dosimetría se confeccionaron los tratamientos de radioterapia externa para las personas con tumoraciones, utilizando los registros gráficos obtenidos de los simuladores.

Se trabajó con casos de mujeres diagnosticadas con la patología de cáncer de mama izquierda, las cuales necesitaban tratamiento con radiaciones ionizantes en el RT-HMEX. Se realizaron planificaciones sobre la mama izquierda, con la necesidad de proteger la salud cardiopulmonar de cada caso (10), lo anterior hizo que el proceso de simulación y planificación fuera más complejo de lo habitual que en otras localizaciones.

El periodo de práctica se llevó a cabo en la jornada diurna de 6:00 de la mañana a 2:00 de la tarde (8 horas diarias), de lunes a viernes, durante todas las semanas, durante el segundo semestre del 2019. Se tuvo el mismo horario del Director del Comité Asesor, quien veló por la evaluación de la práctica.

De manera general, la práctica se dividió en dos fases. La primera se enfocó en un proceso de observación del método de trabajo de simulación y planificación, con el fin de que la estudiante se adaptara a la metodología de trabajo del Servicio. Al mismo tiempo, en esta fase la pasante indagó bibliográficamente sobre el tema en cuestión para actualizar sus conocimientos y además fortalecer el conocimiento de datos epidemiológicos con los que cuenta el área operativa del RT- HMEX. También se abarcó la simulación virtual de cada usuaria, con el objetivo de recolectar las imágenes que se emplearon en la fase posterior. En la segunda fase, se trabajó en el proceso de la planificación dosimétrica clínica con radioterapia externa.

El presente documento recopila la información respectiva de la práctica dirigida y se constituye de: el marco de referencia, que presenta la situación problema y antecedentes del mismo; se destaca el marco conceptual, que sustenta de forma teórica la actividad propuesta. Se continúa con la estrategia metodológica empleada, pues se describen todas aquellas actividades que se llevaron a cabo durante la práctica. Además se incluyen capítulos adicionales en el informe de la práctica: el primero donde se describe el proceso desarrollado en la práctica, una propuesta de protocolo de planificación de tratamientos con técnicas especiales: arcoterapia volumétrica para la atención al usuario con cáncer de mama, así como las plantillas de planificación para algunos de los casos realizados. La última sección incluye los resultados y finaliza con las conclusiones obtenidas y las recomendaciones a partir de la experiencia de la práctica dirigida.

## **CAPÍTULO I. PROBLEMA Y OBJETIVOS**

### **1.1 Planteamiento del problema**

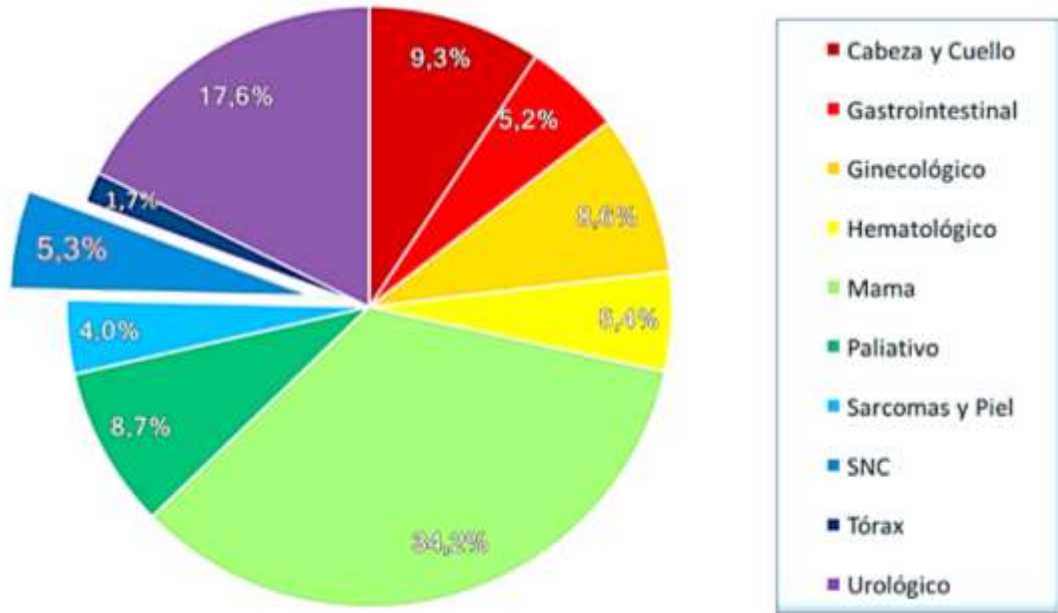
#### **1.1.1 Situación problema**

Los autores Cox et al. (11), afirman que “la veracidad de los sistemas de tamizaje, como la mamografía, y los esfuerzos para mejorar la educación pública en cuanto a la comprensión del cáncer de mama, ha incrementado abruptamente el diagnóstico de usuarias con carcinoma mamario en estadios tempranos”. Como respuesta a la situación descrita anteriormente, la CCSS ha invertido parte de su presupuesto en medicamentos y equipos que faciliten el tratamiento eficaz de esta enfermedad, para reducir las tasas de mortalidad (12).

Estos datos se ven reflejados en la cantidad de personas usuarias que acuden a los hospitales públicos del país, en busca de un adecuado manejo para esta enfermedad, ya sea por medio de cirugía, quimioterapia, radioterapia u otro método de tratamiento.

En el caso de la radioterapia, los porcentajes de las usuarias atendidas en el 2017 por cáncer de seno son altos respecto a otros tipos de cáncer (13), ya que, según la información más actualizada, facilitada por el Jefe del Área Operativa del RT-HMEX, el M.Sc. Estiven Arroyo Artavia (comunicación personal, 2019), de una totalidad de 2336 usuarios tratados en las unidades de radioterapia, 800 casos correspondieron a mujeres afectadas con cáncer de mama (izquierda, derecha o bilateral), lo que representa un 34.2% del total, tal como se aprecia en la figura 1 (8). Se solicitó información de años más recientes, pero el Servicio señala que por el momento sólo poseen datos completos y fidedignos del año 2017. Se indica que en años posteriores faltan datos de ciertos meses.

Figura 1. Porcentaje de usuarias tratadas por unidad funcional, período 2017. Servicio de Radioterapia. Hospital México.



Fuente: MSc. Estiven Arroyo Artavia. Jefe Área Operativa. Servicio de Radioterapia. Hospital México, 2017.

La evidencia representada en la figura anterior (Figura 1), es una razón por la cual la práctica dirigida se concentró exclusivamente en el carcinoma mamario. Seguidamente, se tomó la determinación de realizar la práctica en los casos específicos de usuarias con afección de la mama izquierda. Esto porque el riesgo de radiotoxicidad en esos tratamientos, es mayor en el corazón, ya que anatómicamente este órgano se encuentra más lateralizado hacia la izquierda, lo que lo convierte en el órgano de riesgo más importante a evaluar (14). Al ser esta planificación de alto riesgo, el procedimiento toma más tiempo que la planificación del tratamiento de otras áreas anatómicas. Además, requiere de una capacitación especializada, para reconocer estructuras anatómicas relevantes y diversas técnicas para planificar la disposición de los haces de radiación.

Es importante resaltar que RT-HMEX ha entrado en una etapa de modernización, pues ha pasado de máquinas analógicas, cálculos y aparatos manejados manualmente, a múltiples

mejoras en: sistemas de inmovilización, el desarrollo de la simulación virtual, la incorporación de LINAC, el avance de la 3DCRT, y excelentes sistemas de control de calidad (13). Incluso, en el año 2018 se instaló un sistema de imagen de kilovoltaje (OBI, por sus siglas en inglés), el cual cuenta con una tomografía computarizada con haz de cono (CBCT, por sus siglas en inglés) de alta resolución que permite desarrollar la Radioterapia Guiada por Imágenes (IGRT, por sus siglas en inglés). Además, se han implementado técnicas de tratamiento más avanzadas y exactas, como la VMAT y IMRT (15).

Sin embargo, en la actualidad, dicho servicio se rige conforme a lo estipulado en la “Norma para la atención integral de personas con cáncer de mama”, publicada en el Diario Oficial La Gaceta, número 95 del año 2014 (16), la cual describe información referente a cómo abordar el cáncer de mama. En el apartado sólo se menciona el uso de la técnica dosimétrica de tres dimensiones conformacional para abordar el cáncer de mama con radioterapia externa. En otras palabras, no se enfatiza la importancia de emplear otros métodos dosimétricos más recientes, que ya pueden implementarse en Costa Rica.

Por lo tanto, las tumoraciones de seno, fueron tratadas durante mucho tiempo, con campos tangenciales en 2D y 3D, ya que en años anteriores, la CCSS no contaba con los equipos ni la tecnología idónea (17). Actualmente, en el Centro Radioterápico del Seguro Social de nuestro país, se ha iniciado el abordaje del cáncer de las glándulas mamarias con otras tecnologías modernas, como lo son la IMRT y la VMAT.

Dicha tecnología no lleva mucho tiempo de haberse implementado, por lo que, se pretendió hacer hincapié al uso de estos métodos innovadores para la práctica y la adquisición de nuevas habilidades.

Con la práctica dirigida se buscó principalmente el enriquecimiento profesional y académico de la practicante, en donde se le permitiera aplicar los conocimientos teóricos-prácticos adquiridos en los cursos del plan de estudios de la carrera de Imagenología Diagnóstica y Terapéutica impartida en la Universidad de Costa Rica, para el desarrollo de técnicas innovadoras y habilidades complejas para la simulación y planificación del tratamiento del cáncer de mama izquierda en estadio temprano.



Este trabajo final de graduación tuvo como objetivo externo el contribuir con la salud pública costarricense, brindando las destrezas y habilidades de la pasante, junto con el desarrollo de herramientas tecnológicas que optimicen el sector de la atención oncológica, apoyando así en los procesos de simulación y planificación del RT- HMEX.

Dada toda esta situación nació el interés por conocer:

¿Qué mejoras se le puede brindar al proceso de Simulación Virtual del Servicio de Radioterapia del Hospital México, y cuáles son las diferencias respecto a otros Servicios radioterápicos?

¿Existen diferencias verdaderamente significativas de los resultados en los histogramas dosis-volumen, de realizar un tratamiento radioterápico para una persona usuaria con cáncer de mama, con las tres técnicas dosimétricas utilizadas en el país?

¿Cuál es la mejor manera de desarrollar cada técnica dosimétrica, dependiendo de la anatomía y comorbilidades de la persona usuaria?

¿Cuáles son los beneficios y perjuicios de cada técnica dosimétrica en las usuarias con carcinoma mamario?

¿Qué elementos y criterios debe considerar el diseño de una Guía para la elaboración de un tratamiento dosimétrico con técnicas de Intensidad Modulada para personas usuarias con cáncer de mama?

¿Existen vacíos de información teórica y práctica en el personal del Servicio mencionado?

¿Cómo contribuir a la protocolización del sistema de experiencias y a la homogenización de conocimientos en el Servicio de Radioterapia del Hospital México?

### **1.1.2 Antecedentes de la intervención**

En los últimos años, mundialmente, se han generado múltiples investigaciones científicas, las cuales describen los grandes avances tecnológicos disponibles para el tratamiento radioterapéutico del cáncer de mama en estadio temprano.

Sakas menciona (18), que "con el paso del tiempo, la calidad del proceso de simulación ha mejorado paulatinamente, pues se ha pasado de toma de imágenes planas de rayos X a imágenes tridimensionales".

Con la aparición de los LINAC que disponen de colimadores multiláminas (MLC) especiales, el uso de la radioterapia 3DCRT ha prosperado; además, con la entrada de las imágenes de TC, resonancia magnética nuclear (RMN) y tomografía por emisión de positrones (PET), se han logrado determinar volúmenes tumorales y órganos de riesgo (OARs) con más precisión; del mismo modo, se han mejorado aspectos como: la prescripción de dosis, corrección en las inhomogeneidades de las dosis, entre otros para lograr mejores tratamientos con radioterapia externa de la mama.

A la hora de planificar con la técnica 2D, cubrir todo el parénquima de la mama se vuelve imposible, por lo que los tratamientos no son óptimos para una buena cobertura de la tumoración; tampoco logran la protección ideal de los OARs cercanos a la enfermedad (19). Los planes 3DCRT son superiores dosimétricamente a los planes 2D, según el estudio de Aref et al. (20). Por lo tanto, según el Grupo de Oncología de Radioterapia (RTOG, por sus siglas en inglés) 2018 (21), la planeación dosimétrica 3DCRT ha constituido la solución óptima y típica, durante muchos años, para el abordaje de las personas usuarias con afección tumoral mamaria.

Con el desarrollo de la tecnología en radiaciones ionizantes y gracias a las últimas versiones de los sistemas de Planificación Dosimétrica (TPS, por sus siglas en inglés), lanzadas por las empresas fabricantes de equipos radiológicos, ha sido posible el surgimiento del algoritmo de optimización inversa (22). Dando paso a métodos dosimétricos más precisos como la IMRT, el cual se utiliza cada vez más en personas usuarias con carcinoma de seno a nivel mundial (22).

Estudios dosimétricos han documentado la superioridad del plan IMRT en comparación con los métodos de 2D, incluso, a los de 3DCRT, pues brinda: una buena cobertura al volumen blanco y mejor protección de los OARs, a costa del aumento de dosis bajas en tejido sano. Además, la planificación de IMRT muestra un mejor control local con menos toxicidad a piel y mejores resultados cosméticos (19).

Otra técnica implementada últimamente, consiste en la VMAT. Muchas investigaciones, aseguran que el VMAT ha logrado reducir el tiempo de tratamiento, permitiendo reducir los efectos biológicos relativos de los tejidos, debido a que la persona disminuye los movimientos intratratamiento e intertratamiento. Igualmente, restringe el número de unidades monitor (UM) brindadas por la máquina, sin afectar la distribución de dosis. Las UM son datos propuestos por el algoritmo del mismo sistema de planificación, las cuales permiten calcular la dosis entregada a la usuaria y el tiempo requerido para otorgar la dosis prescrita (23).

La mayoría de indagaciones muestran, como conclusión que las dosis máximas y dosis medias son menores al utilizar los métodos de IMRT y VMAT, entonces existen menos puntos calientes (puntos de alta concentración de dosis) en órganos críticos (24).

La investigación de Muralidhar et al.(25), recalca la “posibilidad de reducir el volumen de pulmón irradiado y mayor parte del corazón se mantiene a salvo con el método de IMRT”. Dichos autores, también, afirman la mejoría del índice de conformidad (IC) y homogeneidad respecto al plan 3D conformacional. Asimismo, el artículo señala “una cobertura similar para los volúmenes blanco con ambas técnicas de planificación inversa”

Por lo tanto, fue de utilidad para esta práctica dirigida, desarrollar una integración de conocimientos teóricos y prácticos en las áreas de simulación y dosimetría clínica. Se tomaron en cuenta las herramientas tecnológicas de hardware y software que poseen los equipos radioterapéuticos disponibles en la seguridad social del país, para obtener finalmente opciones de tratamientos que se adecuaran a las características de la mujer costarricense.

### 1.1.3 Contextualización de la instancia

El Hospital México es uno de los hospitales centrales de la CCSS y se encuentra ubicado en el distrito de La Uruca, en el cantón de San José, perteneciente a la provincia con el mismo nombre. Su director actual es el Dr. Douglas Montero Chacón. Este hospital brinda múltiples servicios en las áreas de Cirugía, de Medicina, de Ginecología y Neonatología, de Oncología, entre otros. Esta última especialidad mencionada se divide en los servicios de Radioterapia, Hematología, Quimioterapia, Medicina, entre otros (26).

En 1969, en Costa Rica, se instaló la primera unidad de cobalto en el Hospital México, años después se instaló una segunda unidad de cobalto. Sin embargo, hoy por hoy ya no se utilizan para el tratamiento de pacientes (27). En el 2013, la CCSS inauguró una moderna edificación, exclusiva para dar tratamiento de radioterapia y quimioterapia a personas que así lo ameriten. En esta instalación se incorporó tecnología de punta en lo que respecta a radiaciones ionizantes terapéuticas disponibles en el mundo (28).

Actualmente, en Costa Rica, a nivel de salud pública, específicamente en la CCSS, sólo existe un centro especializado de radioterapia ubicado en el Hospital México. Es decir, en esta infraestructura se atienden las personas usuarias referidas de todo el país (28). Es importante conocer que la Radioterapia, se aplica bajo supervisión de las siguientes entidades: el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y el Ministerio de Salud (27).

RT-HMEX se encuentra equipado con cinco LINAC un tomógrafo simulador digital y otro tomógrafo de menor resolución; un equipo de terapia superficial, un dispositivo de braquiterapia de alta tasa, un TPS con múltiples servidores y licencias de planificación dosimétrica, equipamiento de control de calidad, entre otros (28).

El simulador es un tomógrafo digital de 16 cortes de la marca *GE Medical Systems* (General Electric, Boston), del Sistema CT 5352087. Los LINAC pertenecen al modelo Clinac iX de la compañía *Varian Medical Systems* (Palo Alto, California); los LINAC pueden emitir con fotones de energías de 6, 10 o 18 Megavoltios (MV) y con electrones de energías de 6, 9,

12, 16 o 20 Megaelectronvoltios (MeV). El sistema de MLC está conformado por 120 hojas *millennium*, las cuales obedecen a un campo de 40 cm x 40 cm (17).

Tres LINAC tienen el mecanismo de detector electrónico de imágenes portal (EPID, por sus siglas en inglés). Los otros dos equipos de tratamiento poseen además el dispositivo de imagen de kilovoltaje. Asimismo, dos LINAC permiten desarrollar técnicas de IMRT, VMAT, Terapia en Arco Conformado Dinámico, entre otros (17). En el caso del sistema de planeación de los tratamientos, el Servicio cuenta con la versión Eclipse 13.6 (2015), desarrollada por la empresa *Varian Medical Systems* (Palo Alto, Estados Unidos) (29).

La directora del RT-HMEX es la Dra. Kattia Montero Fernández, y el personal está integrado por personas profesionales en: Imagenología, Física Médica, Dosimetría, Enfermería, Auxiliares en Enfermería, Secretaría, entre muchos otros. Según los datos más actualizados, ofrecidos por el Área Operativa del centro, en dicho Servicio se atienden aproximadamente 2500 personas usuarias por año. En el 2017, un total de 2818 personas y en el 2018, 3445 (27).

## **1.2. Objetivos Generales, Específicos y Externos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Desarrollar habilidades técnicas de los procesos de simulación virtual y planificación dosimétrica para el tratamiento de cáncer de mama izquierda con radioterapia externa, en estadio temprano, en el Servicio de Radioterapia del Hospital México, durante el año 2019.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Aplicar los conocimientos técnicos de los procesos de simulación virtual para el tratamiento de cáncer de mama izquierda con radioterapia externa.
- Desarrollar habilidades técnicas de los diferentes procesos de planificación dosimétrica para el tratamiento de cáncer de mama izquierda con radioterapia externa.

### **1.2.3 Objetivo Externo**

Apoyar al personal en el proceso de la Simulación y Planificación Dosimétrica para el tratamiento del cáncer de mama izquierda con radioterapia externa en el Servicio de Radioterapia del Hospital México.

## **CAPÍTULO II. MARCO CONCEPTUAL**

En este apartado se describen las temáticas que comprenden el fundamento teórico del presente trabajo. El primero de ellos se refiere al cáncer como patología médica, específicamente el cáncer de mama en mujeres, donde se encuentran conceptos básicos que interfieren en la salud de la población. Posteriormente se mencionan los métodos diagnósticos y las opciones de tratamiento en general existentes para combatir el cáncer mamario. Como siguiente aspecto, se explica el tema de la radioterapia como tal, describiendo cada una de las técnicas empleadas para tratar el cáncer de seno en la actualidad en nuestro país.

### **2.1 Anatomía de la mama**

Como explica Drake et al. (30): “Las mamas están constituidas por las glándulas mamarias, la piel y el tejido conjuntivo asociado; son estructuras sudoríparas modificadas que se sitúan sobre la fascia superficial, anteriores a la musculatura pectoral y a la pared torácica anterior”. En el texto de Rizzo (31) se describe que “El pecho está constituido por una serie de conductos y los lóbulos secretorios, de 15 a 20 conductos lactíferos o galactóforos, que desembocan de forma independiente en el pezón, el cual está rodeado por un área de piel pigmentada denominada areola”. La base, o superficie de inserción, de cada mama se extiende verticalmente desde las costillas II a VI, y transversalmente, desde el esternón hasta casi la línea medio axilar (31).

Badve et al. (32), mencionan que: “La glándula está relacionada con la pared torácica y con las estructuras asociadas con el miembro superior; por tanto, la vascularización arterial y el drenaje venoso pueden tener múltiples recorridos; lateralmente se ubican: las ramas de la arteria axilar, torácica superior, tóraco-abdominal, torácica lateral y subescapular. Medialmente, aparecen: las ramas de la arteria torácica interna”.

El Sistema de Estadificación del Cáncer de Mama del Manual del Comité Americano sobre el Cáncer (AJCC, por sus siglas en inglés) describe la inervación de la mama, la cual “proviene de la rama cutánea anterior y lateral de los nervios intercostales del segundo al sexto”. El pezón está inervado por el cuarto nervio intercostal (32). El drenaje linfático de la

mama es permitido gracias a tres vías principales, las cuales corresponden a: la axilar, la interpectoral y la mamaria interna (32).

## **2.2 Funcionamiento de la mama**

Como menciona el documento de Rizzo (31): “La glándula mamaria tiene múltiples funciones como: la síntesis, secreción y salida de leche, las acciones anteriores son denominadas lactancia, y están asociadas al embarazo y nacimiento”.

## **2.3 Patología de la mama: Cáncer**

Steward (33) describe el proceso del cáncer, como aquel que surge después de la acumulación de mutaciones en el ADN, estas alteraciones subvierten los procesos normales del tejido que protegen contra la tumorigénesis. Las células cancerígenas ganan la capacidad de invadir tejidos, sobrevivir en la circulación y crecer en otros lugares más alejados del punto primario.

Como indica Beyzadeoglu et al. en su libro (34): “La mayoría de carcinomas mamarios son los de tipo adenocarcinomas. Existen otras clases de tumores menos comunes, como los de células escamosas, cistosacoma filoides, sarcomas, linfomas, entre otros”. También establecen la división histológica del cáncer de pecho en dos grupos principales: carcinoma *in situ* y carcinoma invasivo (34).

## **2.4 Estadificación de la mama**

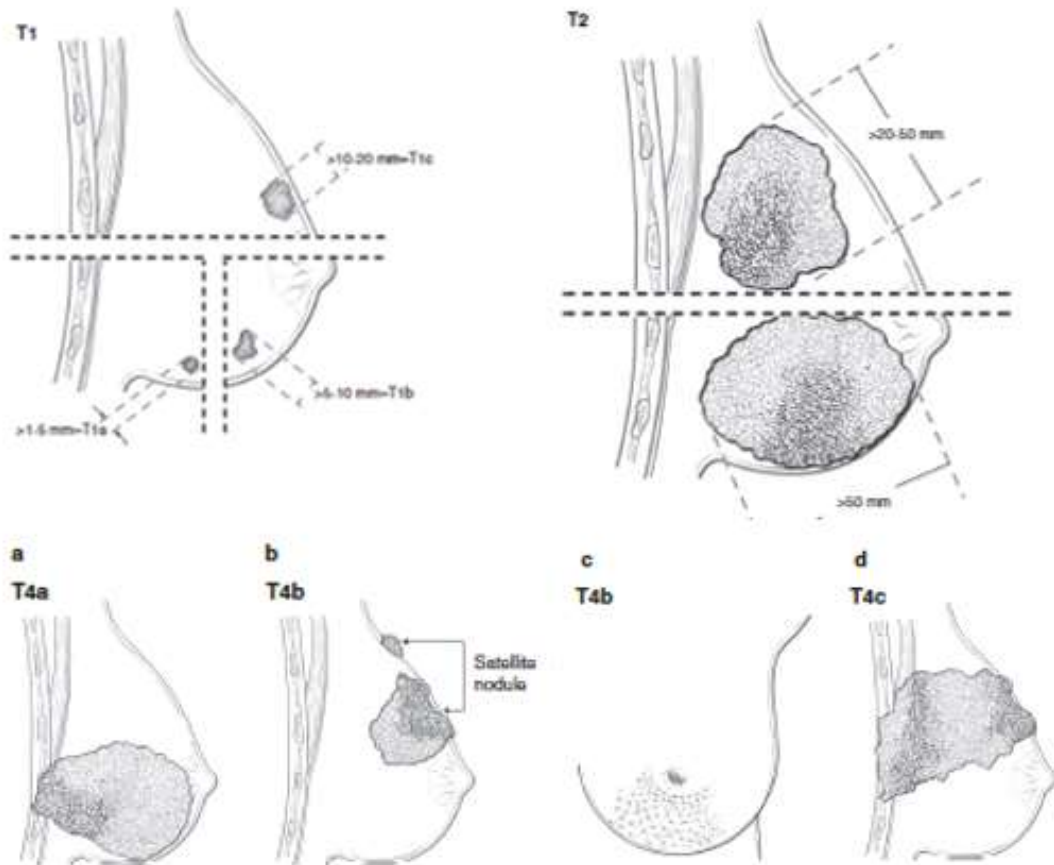
El sistema de estadificación actualmente utilizado es el TNM (Tumor, Nódulos Linfáticos, Metástasis), establecido por el AJCC. Para clasificar a las personas usuarias en alguna de las categorías, es requerida una confirmación previa microscópica e histológica del tejido, para posteriormente determinar el estadio clínico o patológico de la tumoración (32). El Comité sugiere que el tejido patológico, sólo puede ser analizado posterior a una resección del tumor principal y de los nódulos linfáticos regionales (32).



### 2.4.1 Clasificación T (tamaño del tumor)

El estadio clínico consiste en el tamaño del componente invasivo del tumor, es decir el volumen de enfermedad (medido en centímetros). En la Figura 2 y en la Tabla 1 se detalla la división de dicha clasificación según el tamaño del tumor.

Figura 2. Definición del tumor primario (T), clínica y patológicamente.



Fuente: Manual de Estadaje de Cáncer de AJCC, 8th Edición.

Tabla 1. Categoría T de tumores de mama.

Categoría T	Criterio T
<b>RX</b>	Tumor primario no puede ser accedido
<b>T0</b>	No hay evidencia de tumor primario
<b>Tis (DCIS)</b>	Carcinoma ductal in situ
<b>Tis (Paget)</b>	Enfermedad de Paget en el pezón no está asociado a carcinoma invasivo o carcinoma in situ (DCIS). Carcinomas en el parénquima de la mama asociados a la enfermedad de Paget son categorizados dependiendo del tamaño y de las características de la enfermedad parenquimatosas
<b>T1</b>	Tumor ≤20mm en la mayor dimensión
<b>T1mi</b>	Tumor ≤1mm en la mayor dimensión
<b>T1a</b>	Tumor >1mm, pero ≤ 5mm en la mayor dimensión
<b>T1b</b>	Tumor >5mm, pero ≤ 10mm en la mayor dimensión
<b>T1c</b>	Tumor >10mm, pero ≤ 20mm en la mayor dimensión
<b>T2</b>	Tumor >20mm, pero ≤ 50mm en la mayor dimensión
<b>T3</b>	Tumor >1mm, pero ≤ 5mm en la mayor dimensión
<b>T4</b>	Tumor de cualquier tamaño con extensión a la pared costal o piel (ulceración o nódulos macroscópicos)
<b>T4a</b>	Extensión a pared costal; invasión o adherencia al músculo pectoral
<b>T4b</b>	Ulceración y/o nódulos macroscópicos ipsilaterales y/o edema de la piel
<b>T4c</b>	T4a y T4b se presentan
<b>T4d</b>	Carcinoma inflamatorio

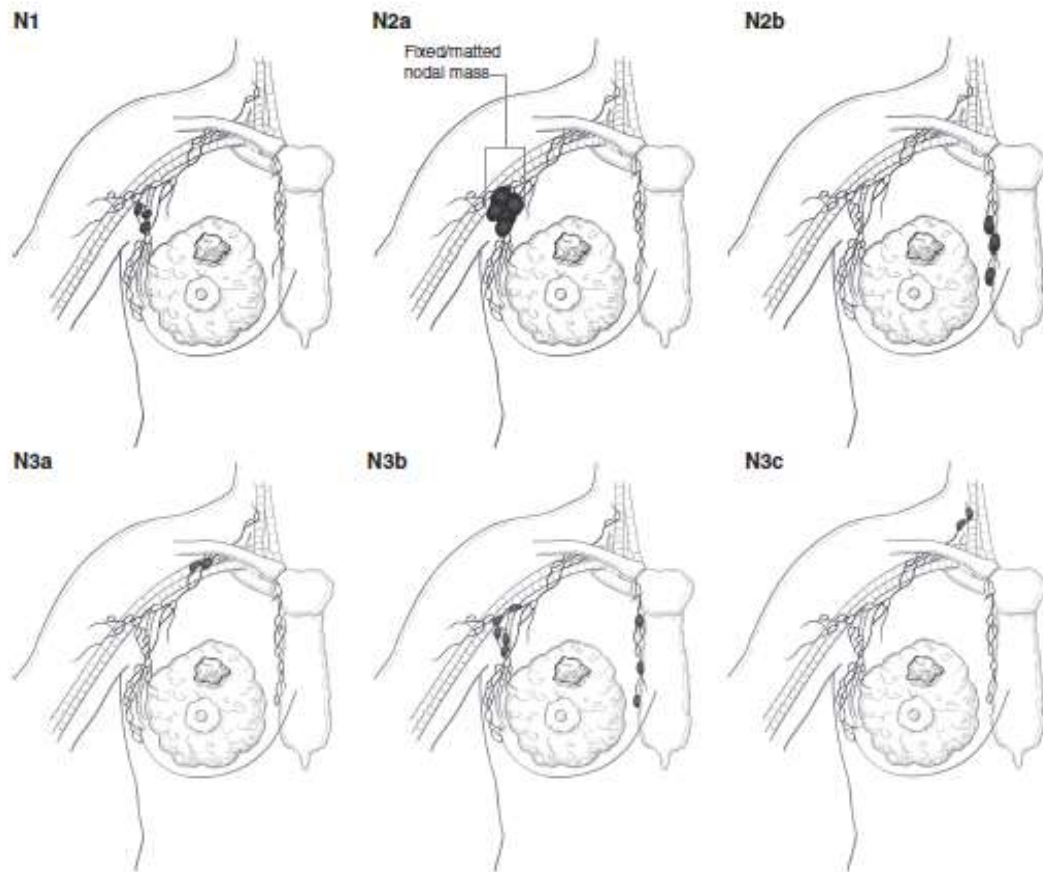
Fuente: Manual de Estadíaje de Cáncer de AJCC, 8th Edición.

#### 2.4.2 Clasificación N (Nódulos linfáticos regionales) en tumores de mama

El AJCC, indica en el Manual de Estadíaje del Cáncer que “el estadio nodular se basa en la examinación clínica o en los estudios de imágenes para determinar si existen o no nódulos linfáticos afectados, donde sean apreciables características muy sospechosas de malignidad o presuntas macrometástasis” (32). En la figura 3 y en la tabla 2, se describe la clasificación clínica (N). En la tabla 3, se menciona la clasificación de los nódulos linfáticos desde el punto de vista patológico.

La clasificación patológica (pN) se emplea sólo si se tiene la resección quirúrgica con una asignación patológica de T e incluye la evaluación de los nódulos extraídos desde un nódulo centinela a la extracción de todos los nódulos linfáticos (32).

*Figura 3. Definición de los nódulos regionales linfáticos, de forma clínica y patológica.*



Fuente: Manual de Estadaje de Cáncer de AJCC, 8th Edición.

*Tabla 2. Categoría cN. Definición de Nódulos Linfáticos Regionales- Clínicamente.*

<b>Categoría cN</b>	<b>Criterio cN</b>
<b>cNX</b>	Nódulos linfáticos regionales no pueden ser contactados (removido previamente).
<b>cN0</b>	Nódulos linfáticos regionales metastásicos (por examinación clínica o por imagen).
<b>cN1</b>	Metástasis ipsilaterales a nódulos linfáticos axilares de los niveles I, II.
<b>cN1mi</b>	Micrometástasis.
<b>cN2</b>	Metástasis ipsilateral en la linfa axilar, nivel I y II, nódulos clínicamente fijos, o nódulos mamarios internos ipsilaterales en ausencia de metástasis de nódulos linfáticos axilares.
<b>cN2a</b>	Metástasis ipsilaterales en los nódulos linfáticos axilares de los niveles I y II fijas unas con otras, o fijas a otras estructuras.
<b>cN2b</b>	Metástasis sólo en nódulos de la cadena mamaria interna ipsilateral, en ausencia de nódulos linfáticos axilares metastásicos.
<b>cN3</b>	Metástasis en nódulos linfáticos ipsilaterales –infraclaviculares (nivel III axilar), con o sin involucramiento de los niveles I y II de los nódulos linfáticos axilares. O nódulos linfáticos ipsilaterales de la mamaria interna, con metástasis en el nivel I y II de nódulos linfáticos axilares. O metástasis en nódulos linfáticos ipsilaterales – supraclaviculares, con o son involucramiento en nódulos linfáticos axilares o mamarios internos.
<b>cN3a</b>	Metástasis en nódulos linfáticos ipsilaterales – infraclaviculares.
<b>cN3b</b>	Metástasis ipsilaterales en nódulos linfáticos axilares y mamarios internos.
<b>CN3C</b>	Metástasis en nódulos linfáticos ipsilaterales – supraclaviculares.

Fuente: Manual de Estadíaje de Cáncer de AJCC, 8th Edición.

*Tabla 3. Categoría pN. Definición de Nódulos Linfáticos Regionales- Patológicamente.*

<b>Categoría pN</b>	<b>Criterio pN</b>
<b>pNX</b>	Nódulos linfáticos regionales no pueden ser contactados (no pueden ser removidos para estudio patológico removido previamente).
<b>pN0</b>	No metástasis de nódulos linfáticos regionales identificados o solo ITCs.
<b>pN0(i+)</b>	Sólo ITCs en nódulos linfáticos regionales.
<b>pN0(mol+)</b>	Resultados positivo por RT-PCR, no ITCs detectados.
<b>pN1</b>	Micrometástasis o metástasis en 1-3 nódulos linfáticos axilares y/o nódulos mamaros internos negativos con micrometástasis o macrometástasis por biopsia de ganglio centinela.
<b>pN1mi</b>	Micrometástasis.
<b>pN1a</b>	Metástasis en 1-3 nódulos linfáticos axilares, al menos 1 mayor a 2mm.
<b>pN1b</b>	Metástasis ipsilaterales en nódulos en centinelas de la mamaria interna excluyendo ITCs.
<b>pN1c</b>	pN1a + pN1b
<b>pN2</b>	Metástasis en 4-9 nódulos linfáticos axilares, o positivo en nódulos linfáticos ipsilaterales de la mamaria interna por imagen, en ausencia de metástasis de nódulos linfáticos axilares.
<b>pN2a</b>	Metástasis en 4-9 nódulos linfáticos, al menos 1 mayor a 2mm.
<b>pN2b</b>	Metástasis detectadas clínicamente en nódulos linfáticos mamaros internos con o sin confirmación microscópica, con nódulos linfáticos axilares negativos.
<b>pN3</b>	Metástasis en 10 o más nódulos linfáticos axilares, o nódulos linfáticos infraclaviculares (axilar nivel III). O nódulos linfáticos ipsilaterales de la mamaria interna positivos, por imagen en presencia de 1 o más nódulos linfáticos axilares de nivel I, II. O en más de 3 nódulos linfáticos axilares y micrometástasis o macrometástasis por biopsia de ganglio centinela en nódulos linfáticos ipsilaterales-mamaros internos negativos.
<b>pN3a</b>	Metástasis en 10 o más nódulos linfáticos axilares (al menos 1 mayor a 2mm) o metástasis en nódulos infraclaviculares (nivel III de nódulos axilares).
<b>pN3b</b>	pN1a o pN2 en presencia del cN2b (nódulos linfáticos mamaros internos por imagen).
<b>pN3c</b>	Metástasis en nódulos linfáticos ipsilaterales – supraclavicular.

Fuente: Manual de Estadaje de Cáncer de AJCC, 8th Edición.

### 2.4.3 Clasificación M (Metástasis distantes)

En el 2018, el AJCC designa la enfermedad metastásica distal como enfermedad M1. Las metástasis surgen cuando una célula cancerígena deja el tumor primario destruyendo las barreras que las mantienen en un solo lugar y se transporta por medio de la sangre a un lugar lejano e invade otros tejidos u órganos sanos, los cuales no necesariamente estaban en contacto con el tumor principal (32). En la tabla 4, es posible evidenciar la división de las metástasis a distancia en el caso de cáncer mamario.

Tabla 4. Definición de metástasis a distancia.

Categoría M	Criterio M
<b>M0</b>	No evidencia clínica, ni radiográfica de metástasis a distancia.
<b>cM0 (i+)</b>	No evidencia clínica, ni radiográfica de metástasis a distancia en presencia de células tumorales o depósitos no mayores a 0.2 mm detectadas microscópicamente o por técnicas moleculares en sangre circulante, prueba de huesos o tejidos nodales no regionales en un paciente sin síntomas o señales de metástasis.
<b>cM1</b>	Metástasis a distancia detectadas clínicamente o radiográficamente.
<b>pM1</b>	Cualquier histología proveniente de órganos con metástasis, o metástasis mayores a 0.2 mm.

Fuente: Manual de Estadaje de Cáncer de AJCC, 8th Edición.

## 2.5 Métodos radiológicos de detección del cáncer de mama

Como sostienen los autores Kirby et al (35): “Los estudios diagnósticos son todos aquellos métodos por imágenes médicas empleados para la detección de enfermedades benignas o malignas situadas en el tejido mamario”. El método diagnóstico por excelencia y, por ende, más comúnmente utilizado es la mamografía (36)

### 2.5.1 Mamografía

La mamografía se puede realizar con dos propósitos: tamizaje o diagnóstico. La mamografía empleada como método de tamizaje, es utilizada para aplicar sistemáticamente pruebas a una población asintomática, con el objetivo de detectar, a tiempo, anomalías

indicativas de cáncer de seno. En el apartado: “Norma para la atención integral de personas con cáncer de mama” del documento La Gaceta N°95, emitido el martes 20 de mayo del 2014 (16), se comenta que la mamografía de tamizaje se debe efectuar en todas las mujeres a partir de los 45 años hasta los 70 años, cada dos años. La mamografía diagnóstica, se efectúa para evaluar las mamas de usuarias con síntomas, por ejemplo, bultos o secreción anormal del pezón (31).

### **2.5.2 Ecografía**

El contenido del libro de Kirby et al. (35), señala la ecografía, como “el estudio que genera imágenes gracias a las vibraciones de frecuencias, sin la necesidad de someter el tejido a radiaciones ionizantes”. El ultrasonido es fundamental para el estudio de quistes, evitando la realización de cirugías y biopsias innecesarias (36).

### **2.5.3 Resonancia Magnética (RMN)**

Otra modalidad de detección, es la resonancia magnética (36), la cual brinda imágenes muy detalladas de la anatomía mamaria, permitiendo valorar con exactitud el volumen tumoral y de los órganos sanos a riesgo por cercanía a la enfermedad. Un estudio de mamografía y IMR en conjunto, es el proceso de tamizaje recomendado por la Sociedad Americana de Cáncer para las personas con riesgo elevado de padecer de cáncer de seno(36).

El uso de la RMN, está asociado con la aparición de falsos positivos en los estudios de imágenes; sin embargo, Hansen et al. (37), exponen la utilidad de este estudio en usuarios con las siguientes enfermedades: “cáncer lobular invasivo, adenopatías axilares con el tumor primario oculto, enfermedad de Paget, también para conocer la respuesta a quimioterapia, en mujeres jóvenes con mamas densas y en individuos con mutaciones en los genes BRCA 1 y/o 2”.

La RMN, junto con la tomografía por emisión de positrones y la resonancia magnética espectroscópica, son empleadas como estudios imagenológicos, los cuales se fusionan con la tomografía de simulación, permitiendo alcanzar información de la proliferación celular,

actividad del metabolismo tumoral, oxigenación, vascularización, entre otros, con el fin de administrar dosis mayores en sitios de mayor actividad proliferativa (37).

## **2.6 Modalidades de tratamiento**

Cuando se confirma la existencia de una patología mamaria, se necesita tener una historia clínica completa, un examen físico, y una evaluación del estadio clínico en el que se encuentra la enfermedad, y así poder definir el tratamiento más adecuado (38). A continuación se describirán algunas de las modalidades de tratamiento para el cáncer de mama:

### **2.6.1 Tratamientos sistémicos**

Consisten en drogas capaces de alcanzar a las células cancerígenas, ubicadas en cualquier parte del cuerpo. Son administradas vía oral o intravenosa. Dependiendo del tipo de tumor mamario, se debe seleccionar la terapia sistémica adecuada. Dentro de estos tratamientos se encuentra: la quimioterapia, los tratamientos hormonales, las terapias blanco, entre otros (35).

### **2.6.2 Tratamientos locales**

#### **2.6.2.1 Cirugía**

En la actualidad, según la “Norma para la atención integral de personas con cáncer de mama” de La Gaceta N°95, publicada el martes 20 de mayo del 2014 (16), el tratamiento estándar para el cáncer de mama en estadio temprano es la terapia conservadora de mama, la cual consiste en la cirugía conservadora en conjunto con radioterapia adyuvante; con el fin de eliminar la posible enfermedad microscópica. Dentro de los procedimientos quirúrgicos cabe mencionar: la tumorectomía, la lumpectomía, la cuadrantectomía, entre otros (16).



### **2.6.2.2 Tratamiento con Radioterapia**

Conforme a lo estipulado por la Sociedad Americana del Cáncer (36), la terapia de radiación busca, mediante rayos X de muy alta energía exterminar la enfermedad residual subclínica y minimizar las tasas de recurrencia locales (control local). Junto con la cirugía y quimioterapia, la radioterapia es de las modalidades de tratamiento médico más utilizadas en los padecimientos oncológicos.

En el artículo de Fernández (9), se asegura que la interacción de las radiaciones ionizantes con el tejido vivo provoca alteraciones en el comportamiento de las células; en el caso de las tumorales, se busca su destrucción si se administran niveles altos de radiación. Entonces, el objetivo de este procedimiento es obtener una dosis de radiación necesaria en el tumor, limitando estrictamente la dosis que pueda llegar a tejidos sanos aledaños.

Existen dos tipos de radioterapia, la terapia de radiación externa y la braquiterapia. Con la braquiterapia se irradia el volumen de interés a través de fuentes radiactivas colocadas en contacto directo con el tumor, es decir en el interior de la persona. La teleterapia emite la radiación desde un punto exterior a la persona; la idea es converger varios haces de energía en un punto de interés en el cuerpo humano, con gran precisión (9). En la radioterapia externa se necesitan máquinas productoras de radiación de muy alta energía, como lo son los aceleradores lineales. Los LINAC son equipos que producen la radiación acelerando electrones de forma rectilínea, mediante ondas electromagnéticas (9).

## **2.7 Radioterapia en el cáncer de mama**

La radiación ha tenido un rol importante en el manejo de las personas con afecciones tumorales de mama. Se ha probado que la radioterapia brinda una tasa de supervivencia alta, junto a otras técnicas de tratamiento como la cirugía (35).

Los aparatos de radioterapia externa han ido evolucionando rápidamente, en los años 1970 y 1980 la mayoría de centros contaban con equipos de cobalto, pero a partir de 1990, empezaron a surgir los aceleradores lineales y fueron sustituyendo a las unidades de

cobalto. Los aceleradores lineales no cuentan con una fuente radioactiva latente, sino que producen radiación una vez que la máquina es conectada a la electricidad (39).

El Consejo de Seguridad Nuclear de España, muestra el funcionamiento de un LINAC en uno de sus materiales didácticos, el cual se resume de la siguiente manera: los electrones son generados por un filamento incandescente (cañón de electrones), luego son introducidos en una cavidad aceleradora, la cual es inyectada con ondas. Las ondas son generadas por un modulador y amplificadas por una fuente de potencia (magnetron o klystron). Entonces los electrones y las ondas, que viajan en el vacío, son expulsados en la sección aceleradora en forma de pulsos. Los electrones adquieren rápidamente energía y velocidad (39).

Para evitar la desviación de dichos electrones, los aparatos trabajan con campos magnéticos durante el proceso. Los electrones necesitan salir en la misma dirección que se encuentra el paciente (paralelo al suelo), entonces es preciso desviar la trayectoria de los electrones a  $90^\circ$  o  $270^\circ$ , lo anterior ocurre en el sistema magnético de deflexión del haz. A partir de este momento, el paquete de energía se dirige hacia la persona usuaria, ya sea en forma de electrones o fotones. Los fotones se originan, si se hace chocar el haz de electrones contra un blanco de alto número atómico, ocasionando radiación de frenado o rayos X (39).

En el cabezal del acelerador lineal se encuentra el blanco mencionado, además de filtros homogeneizadores, cámaras de ionización y colimadores. La colimación del sistema está conformada por un colimador primario y uno secundario. El primero es fijo y señala el máximo tamaño del haz, dependiendo de la fuente. El secundario posee mandíbulas móviles las cuales concretan el tamaño del campo de irradiación.

Posee cuatro mandíbulas con movimientos independientes y son llamadas: X (X1, X2) y Y (Y1, Y2). Cabe mencionar de un posible colimador terciario compuesto por el sistema de láminas multihojas, las cuales se mueven cada una por aparte y poseen una anchura cambiante de 0.5 cm a 1 cm (39). El máximo recorrido que puede efectuar una lámina en el campo es de 15 cm, por lo que se recomiendan campos en el eje X más pequeños de 15 cm para una buena conformación.

La aplicación de la terapia de radiaciones ionizantes en una persona debe realizarse con mucho cuidado ya que se habla de haces de muy alta energía. Por ejemplo, es primordial verificar el correcto posicionamiento del usuario durante todas las sesiones de tratamiento desde el día que se simuló. Lo anterior se logra gracias a la incorporación de sistemas de producción de imágenes dentro del mismo LINAC (39). Algunos dispositivos de obtención de imágenes radiológicas son:

- Dispositivo de imagen portal

Es un brazo mecanizado integrado a la unidad de tratamiento; este mecanismo permite obtener las imágenes en tiempo real y en formato digital de forma directa (40).

Las imágenes ortogonales en dos dimensiones son creadas por fotones de altas energías (Megavoltaje) del mismo brazo del acelerador, por lo que poseen un contraste inferior comparadas a las imágenes de radiodiagnóstico. Al recogerse la imagen, automáticamente se compara con la imagen adquirida durante la reconstrucción del TC simulación, lo que permite observar estructuras óseas y ayudan en gran manera a posicionar al paciente a la hora del tratamiento; también ayuda a reconocer diferencias en el posicionamiento de la persona con respecto al isocentro (40).

- Radioterapia guiada por imágenes

Dicha modalidad utiliza la imagen en tres dimensiones, con tubos de rayos X adicionales incorporados al LINAC o ubicados en el bunker, para la verificación del volumen tumoral, antes o durante de la irradiación. Asimismo, aportan información funcional y biológica de la persona. El objetivo de la IGRT es reducir la incertidumbre provocada por el movimiento entre fracciones de tratamiento y mejorar los márgenes. Se han desarrollado diferentes sistemas de IGRT con imágenes en dos dimensiones o tres dimensiones, los cuales abarcan equipos de radiodiagnóstico convencionales, equipos de tomografía, ultrasonidos, resonancia magnética, entre otros (40).

## **2.7.1 Proceso de la Radioterapia**

### **2.7.1.1 Simulación**

El proceso de simulación se basa en colocar a la persona usuaria en el punto más apropiado y confortable para el posterior desarrollo del tratamiento. Dicho posicionamiento se logra gracias a las unidades simuladoras, las cuales aparentan los movimientos mecánicos y la geometría de los haces de tratamiento de las máquinas de teleterapia (9). Durante la simulación: se define el volumen tumoral (colocación y dimensión), además, se adquieren datos geométricos que brindan las características de las densidades y composición de los tejidos, para llevar a cabo el cálculo dosimétrico (9).

Pero el principal objetivo de esta etapa es suministrar referencias (marcas y tatuajes) que sirvan como guías para conseguir una perfecta reproducibilidad, a la hora de la colocación de la persona en la camilla, todos los días (5). Con el equipo simulador, también se obtienen las imágenes de la anatomía del usuario, donde se buscarán los órganos de riesgo de interés para el tratamiento (34).

En el pasado, se utilizaba el simulador convencional, el cual consistía en un equipo de rayos X, capaz de lograr simetría en movimientos y tamaños de campo, similares al Cobalto 60. Actualmente, estos equipos están en desuso y han sido reemplazados por simuladores TC. Estos equipos cuentan con un tomógrafo y un software adecuado, los cuales suministran una representación virtual en 3D de los datos (5).

El radiofísico Nuñez (5), detalla el funcionamiento de la tomografía computarizada, la cual se basa en: “un haz rayos X que atraviesa el tejido, el cual atenúa dicho haz de radiación. El detector recoge las señales producidas y éstas son almacenadas en computadoras especiales procesadoras de datos, mediante algoritmos matemáticos, para posteriormente reconstruir la imagen”, información que representa un corte transversal. Lo anterior ocurre gracias a que los dispositivos (tubo generador de rayos x y el detector), giran 360° alrededor del paciente, permitiendo transmitir diferentes señales que dependen del tejido atravesado.

El tomógrafo simulador está compuesto por dos partes: el propio equipo de TC, el cual se encarga de tomar los datos tridimensionales y el programa informático, donde se representa virtualmente en 3D, las posiciones geométricas del acelerador lineal o unidad de tratamiento (5). Para la obtención de las imágenes transversales con el tomógrafo, se aplica en la mayoría de ocasiones la tecnología de modo helicoidal, en donde el tubo y el detector giran simultáneamente mientras la mesa se desplaza al mismo tiempo; brindando la ventaja de un tiempo de la exploración menor (5).

Cada vez que se utiliza el tubo productor de rayos se debe tomar en cuenta una serie de elementos afines con la exposición para conseguir la imagen correcta. Dichos factores corresponden al miliamperio-segundo (mAs) y kilovoltaje (kV). El miliamperaje-segundo se refiere a la cantidad de radiación empleada, y obedece a incrementar la intensidad de la corriente del tubo de rayos X por el tiempo de exposición. El kilovoltaje decreta el poder de penetración de las radiaciones en el cuerpo y ayuda a determinar el contraste de la imagen (41).

Es importante conocer los componentes básicos de un equipo de TC:

- La consola de control permite la selección de parámetros técnicos.
- La computadora de reconstrucción de imágenes; en ella se lleva cabo el procesado posterior, la visualización y manipulación de iconografías.
- La mesa plana de simulación está elaborada de fibra de carbono, para que ningún material interfiera en la producción de la imagen topográfica. Dicho tablero posee movimientos verticales y longitudinales.
- El *gantry* es la coraza con una apertura grande, en donde se encuentran distintos aparatos indispensables para la formación de la imagen, como lo son: el filtro plano, el colimador, los detectores, el anillo deslizante y el sistema de láseres (5).

El filtro está formado con placas de cobre o aluminio ubicados en la salida de los haces de radiación, con el objetivo de eliminar fotones de baja energía y crear un haz monoenergético. El colimador radica en aperturas de distintos tamaños, las cuales regulan en el paso del haz de radiaciones, reduciendo así la llegada de dosis al paciente y permite la formación de una mejor imagen (5).

El TC cuenta con varias filas de detectores sólidos unidos a un cristal de centelleo, encargados de convertir los rayos x en señal eléctrica. El otro implemento dentro del gantry corresponde al anillo deslizante rotatorio y es el que hace posible la inexistencia de cables eléctricos en el equipo (5).

Una parte vital en la simulación es el sistema de láseres; existen dos conjuntos, uno dentro del gantry y otro fuera del mismo. Todos los láseres convergen en un punto del eje de rotación del tomógrafo (5).

Las proyecciones generadas por los rayos X y los detectores son guardados en computadoras específicas, y luego son procesados por algoritmos matemáticos. La reconstrucción está creada por píxeles (celdas). El manipulador del TC elige el diámetro de reconstrucción o campo de visión (FOV, por sus siglas en inglés), el cual corresponde “a la longitud del lado del cuadrado que abarca la matriz de pixeles” (5).

Si se toma en cuenta el espesor de corte, los píxeles se convierten en vóxeles, los cuales refieren a un volumen determinado. Cada vóxel posee información numérica relacionada con el algoritmo matemático de reconstrucción, conocido como unidad Hounsfield (UH) o número TC. Este valor es afín a la cantidad de atenuación que sufren los rayos X al traspasar un tejido perteneciente a un vóxel (5). En otras palabras, los valores de UH se relacionan a la escala de grises presentes en la imagen y con la densidad del tejido que representan.

El valor de referencia es el agua con un UH: 0, el cual se aprecia como un gris promedio y es el dato más similar al tejido humano (piel, órganos, músculo, entre otros). Un UH: 1000, concierne a un material compacto con mucho poder de atenuación, como el metal y el hueso, en la imagen se observa blanco; el aspecto contrario lo presenta el aire, por ejemplo, un material poco denso con UH:-1000 y se aprecia negro.

Asimismo, dentro del proceso de Simulación se deben utilizar dispositivos de inmovilización adecuados para conseguir el menor movimiento posible por parte de la usuaria. Los inmovilizadores buscan reproducir la colocación de la persona lo más parecido posible desde la simulación hasta el tratamiento. En el caso de lesiones mamarias, se usa una rampa de plano inclinado, mostrada en la Figura 4. El objetivo de este aparato es ubicar la

superficie del tórax lo más paralela posible a la camilla, dicha posición ayuda a elevar la mama cranealmente, mejora la simetría y puede disminuir la dosis a corazón (5). El uso del plano inclinado de la rampa ayuda a disminuir el volumen de pulmón dentro del campo de tratamiento (42). Es fundamental reproducir la posición de la paciente diariamente, sin mucha dificultad, dentro de un margen de  $\pm 5$  mm.

*Figura 4. Rampa para simulación supina de mama.*



Fuente: Fotografía tomada al equipo del Servicio de Radioterapia, Hospital México (2019).

Baycan et al. (4), sugieren ubicar a la mujer en posición supina con los brazos arriba de la cabeza. La cabeza se acomoda girándola al lado contrario de la mama a tratar, para evitar la afectación del esófago y mandíbula. Posteriormente, se lleva a cabo el escáner, luego se traslada la información del tomógrafo computarizado al sistema de planificación del tratamiento. A la hora de posicionar adecuadamente a la usuaria se debe llenar la hoja de configuración de la rampa de mama, así como la hoja de datos de simulación por TC (ver anexo 2 y 3).

En la siguiente Tabla 5, se muestran los parámetros geométricos utilizados en la adquisición de las imágenes en el TC simulador.

*Tabla 5. Parámetros geométricos establecidos en el TC para Simulación Virtual.*

<b>Topograma</b>	S350-I400 Cuello y tórax, desde la base de cráneo hasta el borde mamario inferior (abarcando toda la mama) más un margen de 5 cm
<b>kV</b>	120
<b>mAs</b>	300
<b>Pitch</b>	1.2
<b>Field of View (FOV)</b>	65
<b>Medio de contraste</b>	No
<b>Espesor de corte</b>	5 mm
<b>Espacio entre cortes</b>	5mm
<b>Límites de estudio de TC (barrido)</b>	Límite superior: 4 cm por encima del hueso hioides. Limite inferior: 10 cm caudal del borde inferior de la mama o 10 cm caudal del borde caudal de la apófisis xifoides.

Fuente: Elaboración propia a partir de información del Servicio de Radioterapia, Hospital México.

Respecto al marcaje de los puntos de referencia (BBs, por sus siglas en inglés), la señalización del sistema de coordenadas del paciente sobre su anatomía se realizó de la siguiente forma: primero se determinó el corte cero en la persona usuaria, luego se colocó el láser celiático sagital sobre la línea media sagital corporal. Se buscó la escotadura supraesternal y se colocó el bb número uno en ese punto. Posteriormente, se desplazó la camilla verticalmente hasta ubicar laser coronal en línea media axilar. Y se restableció el sistema de coordenadas en el equipo. Se desplazó longitudinalmente la mesa hasta 2 cm por debajo del límite inframamario, donde se coloca el bb número tres, el CT da una distancia en centímetros entre el punto uno y tres, la mitad de esta distancia es donde se posicionó el bb número dos sobre el esternón. Y se colocan lateralmente los bbs de los puntos número cuatro y cinco sobre la intersección coronal-axial. El punto número seis se colocó en zona discreta sobre región temporal.

Los puntos dos, cuatro y cinco, definieron axialmente el punto cero del CT, a partir del cual se formalizaron los desplazamientos en el equipo de tratamiento.



### 2.7.1.2 Dosimetría. Contorneo y delimitación de volúmenes

La dosimetría del tratamiento está relacionada con el cálculo de la distribución de la dosis absorbida producto de la interacción de haces de radiación proporcionados por los LINAC, con el fin de conseguir los objetivos determinados en la prescripción dosimétrica (5). Existen diversos elementos que se deben tomar en cuenta para la construcción de una planificación, como lo son: tipo, ubicación, tamaño del tumor, geometría y tipo radiación, energía de los haces, técnicas dosimétricas, entre otros.

Respecto a la geometría de irradiación, se trabaja el plan dosimétrico obedeciendo a la distancia desde la fuente de irradiación a la superficie del usuario (DFS), por lo tanto, a la hora de colocar al paciente en el LINAC, se corrobora dicha distancia, en centímetros, en la piel o superficie del inmovilizador el cual se posicione sobre la persona en ese momento. Es más ventajoso una posición donde no se mueva la distancia entre la fuente de radiación y el centro de la tumoración durante el tratamiento, pues solamente se necesita la rotación del *gantry* para brindar radiación; dicha técnica se conoce como isocéntrica (5).

Se establece el isocentro, el cual consiste en un punto geométrico en un espacio tridimensional localizado en el cruce de los tres planos (X, Y, Z). Dicho sitio establece el centro de rotación del gantry, la intersección de la proyección del haz en el centro del campo y el eje de rotación de la camilla y el colimador (43).

Para efectos de esta práctica se trabajó con mamas no muy grandes, lo que permitió emplear el método isocéntrico (el mismo isocentro para todos los campos), en donde se planifican campos asimétricos posicionando el isocentro en el mismo punto. Entonces, se elaboran muchas combinaciones de campos, conservando el isocentro, lo que facilita el flujo de trabajo en la sala de tratamiento (43).

Otro elemento circunstancial que se considera en la planificación es el haz de energía; la cual se elige dependiendo de la profundidad y localización del volumen blanco. Si se quiere tratar enfermedades instaladas a poca profundidad, es preferible emplear energías de haz bajas como la de 6 MV, la cual depositará mayor dosis en los centímetros más próximos a

la piel y menos dosis a más profundidad. Pero, si se busca tratar tumores más profundos, es necesario usar haces de mayor energía, como los de 10 MV y 18 MV (5).

Otro factor que influye en la planificación es el margen que se le deja entre las multiláminas y el PTV (5). El colimador multiláminas es un dispositivo que permite ajustar cada una de las láminas a la forma del volumen blanco, con el propósito de cuidar los lugares cercanos al tejido sano.

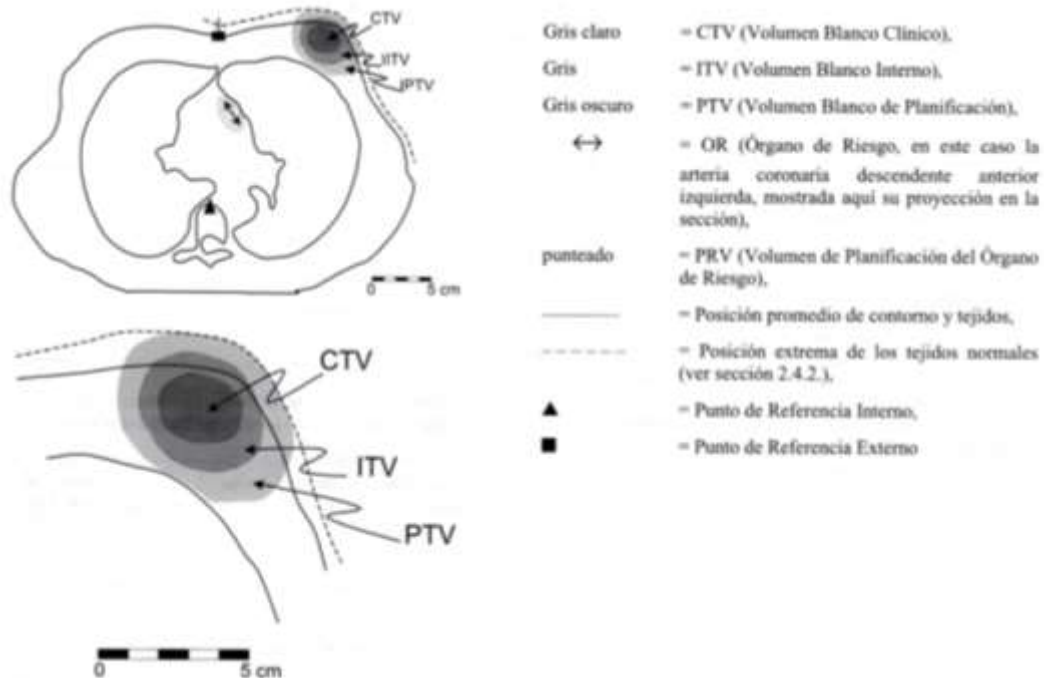
La zona de acumulación de dosis, conocida como *build up*, es un componente que interviene en la forma de planificar el tratamiento. Esta región se desarrolla desde la superficie donde ocurre el aumento de dosis hasta llegar al máximo de la misma (equilibrio electrónico). Es fundamental conocer, si el volumen a tratar se halla dentro de dicha zona, porque si no se requiere un material simulador al tejido de agua (bolus) sobre la piel para compensar el déficit dosimétrico de dosis (5).

#### **2.7.1.2.1 Selección de volúmenes**

El Informe ICRU (Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación, por sus siglas en inglés) busca seleccionar y evaluar los datos más recientes, relacionados al tema de la medida de la radiación y la dosimetría, y de esta manera da a conocer los valores y técnicas para su implementación. En la actualidad se puede acceder a los reportes ICRU 29 (1978), 50 (1993), 62 (1999), 71 (2004) y 81 (2010), los cuales se actualizan con el paso de los años.

El ICRU, dentro de muchos otros temas, explica los volúmenes de tratamiento idóneos para delimitar al tumor y tejidos normales sanos. En el documento se describen con detalle: el volumen de tumor macroscópico, el volumen blanco clínico, el volumen blanco de planificación, el volumen tratado, el volumen irradiado, los órganos de riesgo y el volumen de planificación de órgano de riesgo (44). En la Figura 5, se reflejan los volúmenes de tratamiento contorneados por el médico radioterápico.

Figura 5. Volúmenes de tratamiento.



Fuente: ICRU62.

En ICRU 62 (44), demuestra el Volumen de Tumor Macroscópico (GTV, por sus siglas en inglés) como: “la extensión y localización demostrable del crecimiento maligno, donde la densidad de células tumorales es mayor”.

El Volumen Blanco Clínico (CTV, por sus siglas en inglés) consiste en la enfermedad maligna subclínica y engloba al GTV ya descrito. El ICRU 62 señala que el CTV, junto al GTV, corresponden a conceptos meramente clínicos y anatómicos, pues estos volúmenes muestran la diseminación de la enfermedad subclínica (44).

Si no se crean márgenes adicionales, es posible que el tejido de interés se desplace de una forma inadecuada en el campo de tratamiento. Entonces, es recomendable agregar márgenes al CTV en caso de cambios en su posición, forma, tamaño (variaciones intrafraccionales e interfractionales). El Volumen Blanco de Planificación (PTV, por sus

siglas en inglés) se dibuja para analizar las variaciones geométricas del blanco de tratamiento, recomendación sugerida en el ICRU 62 (44).

El Volumen Tratado (VT) es una zona planificada para recibir parte de la dosis prescrita. Este volumen surge de la planificación del tratamiento y la configuración de los haces. Asimismo, se debe de tomar en cuenta el Volumen Irradiado, el cual corresponde a un área susceptible a recibir una dosis importante en relación con la tolerancia del tejido normal (44).

Cerca del Volumen Blanco es posible encontrar tejido normal crítico, el cual debe ser resguardado de dosis altas (Órganos de Riesgo), por lo que su sensibilidad interviene en la restricción de la dosis al PTV y en la forma de realizar la planificación. El ICRU 62, también aconseja (44), que a ciertos OARs se les dibuje un margen para valorar todos los posibles movimientos de los mismos durante el tratamiento e incertidumbres de posición. El concepto anterior es conocido como Volumen de Planificación para Órganos de Riesgo (PRV, por sus siglas en inglés).

El volumen blanco delimitado para el tratamiento de cáncer de mama en estadios tempranos abarca: todo el tejido mamario y/o la cavidad resultante luego de la lumpectomía, el Volumen Blanco Clínico, el Volumen Blanco de Planificación (45).

El texto de Lee et al.(45), sugiere el contorno de los principales órganos de riesgo para llevar a cabo el tratamiento de cáncer de mama, los cuales corresponden a: corazón, pulmones, mama contralateral, médula, PRV médula, esófago, entre otros.

#### **2.7.1.2.2 Órganos de riesgo**

El órgano de riesgo consiste en el tejido crítico circundante al tumor, que limita la libertad de entrega de dosis en esa zona. Los OARs son estructuras críticas en la evaluación del plan de tratamiento y es un gran desafío para el personal de radioterapia (46).

Para el contorno de los OARs se emplea el atlas de anatomía para cáncer de mama del RTOG (47). Se comienza a pintar el corazón justo en: “el corte inferior al tronco pulmonar,

donde se divide en bronquio izquierdo y derecho, hasta el final de la estructura, cercano al diafragma”. La mama contralateral se contornea según las marcas clínicas, el tejido glandular visible en el TC, y los límites anatómicos definidos. El límite anterior de la mama contralateral se contornea: “a 5 milímetros desde la piel; posteriormente se pinta hasta la superficie anterior de los músculos pectoral y serrato anterior; no se incluye la pared costal, costillas. El límite medial es la unión costo – esternal. El límite del borde lateral se implanta en la línea media axilar, excluyendo el músculo dorsal ancho ipsilateral”. Para los pulmones se contornean: “todo el espacio aéreo de los mismos, excluyendo los alveolos”.

En el hospital se cuenta con una guía de contorneo de los órganos de riesgo para la mayoría de enfermedades, creada por diferentes dosimetristas; a continuación se muestra parte del contorneo propuesto para el tejido de interés en planificaciones de mama.

Tabla 6. Protocolo existente para el Contorneo de Órganos de Riesgo del Servicio de Radioterapia del Hospital México.

Nombre de estructura	Abreviatura	Color	Guía de contorneo
<b>Médula Espinal</b>	Médula	Amarillo	<i>Sup:</i> se contornea desde el borde superior de la apófisis odontoides. <i>Inf:</i> se contornea hasta 2 cm por debajo del PTV más inferior o hasta el final de la misma en el límite inferior de L2.
<b>PRV de Médula Espinal</b>	PRV médula		<i>Lat:</i> se contornea todo el ancho de la medula delimitada por el líquido cefaloraquídeo contenido en el canal medular. Se debe realizar un PRV de 5 mm en todos los ejes de la estructura.
<b>Esófago</b>	Esófago	Naranja	Se debe contornear utilizando la ventana para tejido blando de mediastino. <i>Sup:</i> desde su inicio justo por debajo del cartílago cricoides (6ta vértebra cervical). <i>Inf:</i> unión gastroesofágica, inmediatamente por debajo del hemidiafragma izquierdo. <i>Lat:</i> se contornea todo el perímetro esofágico incluyendo aire.
<b>Pulmones</b>	Pulmones	Blanco	Se deben contornear ambos pulmones por separado, utilizando la ventana de tejido pulmonar. Se segmentan desde el ápice hasta la base.
<b>Pulmón izquierdo</b>	Pulmón I	Azul	No se deben incluir: GTV, los hilios, la tráquea, ni los bronquios primarios, tampoco se debe incluir líquido, ni atelectasias visibles.
<b>Pulmón derecho</b>	Pulmón D		Se contornean por separado, pero posteriormente se debe hacer un solo volumen con ambos pulmones.
<b>Corazón</b>	Corazón	Púrpura	Debe contornearse en conjunto con el pericardio, superiormente se incluyen grandes vasos, se contornea desde la parte inferior de la arteria pulmonar y se continúa inferiormente hasta el pericardio que recubre el ápex del ventrículo izquierdo caudalmente. Se debe incluir el tejido adiposo pericárdico, parte de los grandes vasos, recesos normales y cámaras cardiacas. La vena cava inferior se excluye del contorneo.
<b>Mama izquierda</b>	Mama I	Cian	<i>Sup:</i> por debajo de la cabeza de la clavícula. <i>Inf:</i> hasta el pliegue mamario inferior. <i>Interno:</i> hasta el borde externo más lateral.
<b>Mama derecha</b>	Mama D		<i>Lateral:</i> hasta el musculo dorsal ancho. <i>Profundo:</i> superiormente el musculo pectoral mayor, inferiormente la parrilla costal y músculos intercostales. <i>Superficial:</i> hasta la piel, incluyéndola; se debe contornear todo el tejido mamario aparente, aunque se encuentre fuera de los límites establecidos. Se contornean por separado.

Fuente: Servicio de radioterapia del Hospital México.

### **2.7.1.2.3 Dosis de prescripción y fraccionamientos**

La prescripción es descrita por la persona médica profesional en oncología radioterapéutica; Nuñez señala en su libro (5), la función de dichos profesionales como: el establecer cuál será la intención terapéutica, los volúmenes tumorales de interés, su respectiva dosificación, el número de fracciones y la dosis por fracción. Del mismo modo, debe solicitar la protección de los órganos de riesgo involucrados; asimismo, debe definir los parámetros radiobiológicos de cada usuario gracias a las dosis biológicas equivalentes (5).

En el artículo del estudio hipofraccionado RTOG (Grupo de Oncología de Radioterapia, por sus siglas en inglés) 1005 (48), se recalca el cambio de la distribución de la dosis para el tratamiento de cáncer de mama en específico con el paso del tiempo. Vicini et al. (47) destaca el paso del “normofraccionamiento (2 Gy por fracción), al hipofraccionamiento, donde la dosis prescrita será 2,67 Gy por fracción, durante 15 días”. Es decir, se reduce el tiempo total tratamiento por usuaria (5).

Algunos de los estudios más importantes (49–51) indican cuales son las características que las personas usuarias deben de cumplir para recibir tratamiento hipofraccionado: “usuaria con carcinoma infiltrante, con carcinoma ductal infiltrante in situ, grado histológico 3, cirugía conservadora o mastectomía, mayor de 18 años., reciba quimioterapia/ hormonoterapia, adyuvante o neoadyuvante, grado pT1-3, pN0-3, M0”.

### **2.7.1.2.4 Planificación dosimétrica**

Consiste en conseguir una buena adaptación de las distribuciones de dosis a la forma irregular de los tumores. El proceso de planificación conlleva seleccionar la técnica, el tipo de radiación, la energía, la intensidad y forma de los haces de tratamiento con el objetivo de cumplir la prescripción de dosis solicitada por el médico. Mientras se elabora el plan de tratamiento, se debe ir valorando la cobertura de la tumoración con la dosis indicada, siempre resguardando los órganos de riesgo (5).

### **2.7.1.3 Técnicas dosimétricas con radioterapia externa**

#### **2.7.1.3.1 Radioterapia conformacional**

En los años noventa, con el avance tecnológico de las herramientas informáticas, se han generado imágenes médicas digitales de alta calidad, permitiendo la creación de sistemas de planificación avanzados para procedimientos radioterapéuticos. Lo anterior permitió la transición de radioterapia bidimensional a tridimensional (52).

Con el avance tecnológico indiscutible, se conoce la distribución de dosis en cualquier zona del volumen tumoral y en los órganos de riesgo, mediante la herramienta: histograma dosis volumen (HDV) (53).

La planificación 3DCRT, es un procedimiento de tipo directo, pues el especialista selecciona distintos parámetros como lo son: números de haces, ángulo de incidencia, energía, entre otros, previo al cálculo de la distribución de la dosis (52). Se consigue con el empleo de dos haces tangenciales opuestos, un tangencial interno y un tangencial externo, ya sea ambos con la misma energía del haz o con distinta energía dependiendo de la profundidad y el tamaño del seno. La angulación de entrada del haz se adopta de manera tal que se irradie lo menos posible corazón, pulmón ipsilateral, pulmón contralateral y mama contraria (5).

También, el uso de cuñas es de suma importancia en este tipo de planificación dosimétrica. Las cuñas físicas son filtros elaborados con materiales de alta densidad, los cuales provocan una transformación del perfil del haz de radiación. Según Nuñez (5) la finalidad de la cuña consiste en “compensar la inclinación de la superficie de la persona en relación a la incidencia del haz”, con el fin de conseguir un cubrimiento uniforme de los volúmenes de interés. Existen las cuñas virtuales o dinámicas, las cuales consiguen el efecto de la modificación de la distribución de la dosis, gracias al movimiento de las mordazas de los colimadores.

Un plan 3DCRT se consigue también, elaborando primero un haz principal, del cual surgen subhaces que trabajan la fluencia y consiguen proteger órganos sanos y cubrir adecuadamente el volumen blanco. En resumen los segmentos son una manera de modular



el haz de radiación, y ayudan a remediar la infradosificación en la zona de la mama cercana a la pared torácica (5). Dicha técnica donde se modula utilizando las MLC es conocida como Campo en campo.

Según lo estipulado en el ICRU 83 (49), el objetivo de la planificación es “lograr una distribución homogénea de la dosis, dentro del -5% a +7% de la isodosis”. Con el método de los dos campos tangenciales empleados en planes 3D Conformacional, lograr la distribución citada anteriormente no siempre es posible (54). Esta técnica de tratamiento convencional genera regiones de dosis altas y muchas veces afectan significativamente los pulmones y el corazón, a la hora de intentar el cubrimiento del volumen blanco (45). El documento de Lee et al. (45) describe lo anterior, como una falta de homogeneidad en la dosis.

En la investigación de Liu et al. (22) concluyen que las técnicas radioterapéuticas más modernas, poseen incomparables ventajas sobre el plan de 3DCRT, en cuanto a distribución de dosis adaptadas al tumor, con mayor control.

#### **2.7.1.3.2 Radioterapia intensidad modulada**

Este tipo de radioterapia es un proceso de planificación inversa, es decir los objetivos clínicos son especificados en un optimizador y el sistema tratará de llevar acabo la mejor solución matemática modificando el plan automáticamente (55). El ICRU 83 (49), detalla el funcionamiento de la IMRT, mediante “la entrega isocéntrica secuencial de múltiples campos pequeños, típicamente de intensidad no uniforme, en direcciones especificadas, que puedan llevar a la generación de gradientes de dosis muy marcadas para la entrega del tratamiento planificado”. Liu et al. (22), también señalan que con la IMRT se logra, intencionalmente, haces de radiación no homogéneos dentro del mismo volumen, es decir en ciertas áreas se puede aumentar la dosis (refuerzo en el lecho tumoral).

El IMRT es un método de entrega empleado para crear distribuciones de dosis muy conformadas. Durante la optimización del IMRT, las fluencias de cada campo son optimizadas dependiendo del cambio en la distribución de dosis. La fluencia representa la

solución matemática de cómo distribuir de mejor manera los pesos en los campos para alcanzar la dosis (55).

El tipo de entrega de la Intensidad Modulada que se aplica en el Servicio, es el método de movimiento deslizante de las láminas, en donde cambian dos parámetros al mismo tiempo: la forma de las MLC y la dosis entregada, es decir las láminas se mueven mientras la radiación está activada. Primeramente, las MLC están en una posición inicial y posteriormente se irán moviendo a lo largo del campo (de derecha a izquierda), mientras la dosis es entregada (55)

A la hora de colocar los campos no se deben utilizar aquellos que queden de forma paralela u opuesta, pues se anulan el uno al otro ya que los rayos no compiten entre sí y no resulta ninguna forma de optimización (55).

El estudio de Jin et al. (56) describe como la tecnología de Intensidad Modulada disminuye las dosis a tejidos circundantes, como el corazón y el pulmón contralateral, y mantiene una buena homogeneidad y cobertura en el volumen blanco. En los resultados y discusión, respecto a los parámetros dosimétricos, el plan IMRT tiene mayores ventajas en el índice de homogeneidad.

#### **2.7.1.3.3 Arcoterapia volumétrica**

Con el rápido desarrollo en hardware y software en el campo de la radioterapia, surge una nueva tecnología conocida como Arcoterapia Volumétrica, la cual trabaja con el mismo principio de la técnica IMRT, pero permite irradiación en arco (22).

El Sistema Médico de Varian (*Varian Medical Systems*, Palo Alto) (57) explica que el VMAT admite la distribución de la dosis de una forma precisa, gracias a la rotación de 360 grados realizada por el gantry (cabezal del acelerador lineal de donde se externalizan las radiaciones ionizantes), a diferencia del tratamiento de IMRT, donde el cabezal del acelerador lineal gira y se detiene en distintos ángulos determinados para tratar el tumor.

La Arcoterapia de Intensidad Modulada con colimación dinámica fue propuesta por Yu en 1995 (58) , sin embargo este método no fue generalizado en ese momento, debido a la ausencia de dispositivos de planificación comercialmente complejos para dicha función. En el 2008 Karl Otto (59), propone un algoritmo específico para la optimización del plan de tratamiento donde la dosis es entregada en un solo arco de 360 grados del gantry, abriendo paso a la Arcoterapia de Intensidad Modulada: IMRT en un arco único.

La alta tecnología y los algoritmos del software con los que cuenta esta técnica, aseguran la precisión en la entrega de tratamiento, lo cual ayuda a la delimitación adecuada de dosis alrededor de los tejidos sanos cercanos (57).

Durante la irradiación varios parámetros varían: la apertura de las MLC, la tasa de dosis y la velocidad de rotación del gantry (55). El arco posee gran cantidad de puntos de control, en cada punto se conocen: la localización, los movimientos de las láminas, la energía, la tasa de dosis y la dosis, entonces conforme el gantry se continúa moviendo de punto de control a otro, cambia la apertura de MLC, dosis y gantry.; la dosis varía conforme cambian la tasa de dosis y la velocidad del cabezal del LINAC.

#### **2.7.1.4 Optimización**

El optimizador de fotones busca, por medio del proceso de optimización, encontrar una fluencia óptima. Asimismo, dependiendo de la técnica seleccionada, se crea la secuencia de las láminas, gracias a la creación de un mapa de la fluencia recomendable y lo transfiere al LINAC. La optimización trabaja con objetivos que permiten definir las metas clínicas. Los objetivos superiores (*“upper”*) son empleados para limitar la dosis a estructuras críticas y establecer un máximo de dosis para el PTV; en el histograma los objetivos superiores aparecen como flechas apuntando hacia abajo (55).

Los objetivos inferiores (*“lower”*) son aquellos colocados sólo en estructuras blanco, ya que son determinantes de la cobertura de dicho elemento. En el histograma se muestran en forma de flechas señalando hacia arriba (55).

Para la optimización, siempre se debe establecer el Objetivo de Tejido Normal (NTO, por sus siglas en inglés) cuando se tenga al menos un PTV, porque nos ayuda a controlar la caída de dosis afuera del volumen blanco. El NTO manual (en donde el dosimetrista lo controla), disminuye zonas calientes alrededor de la zona de interés (55). Entre los parámetros variantes del Objetivo de Tejido Normal se encuentran: la prioridad, la cual define la importancia del NTO con respecto a otros objetivos de la optimización, como los órganos de riesgo. También, se menciona la distancia del borde del blanco, que define el rango en centímetros donde el NTO empieza a evaluar el tejido normal. La dosis de inicio corresponde a un porcentaje el cual define la dosis máxima permitida desde el borde del PTV; la dosis final define donde el sistema deja de evaluar la caída de dosis. El caída de dosis controla la pendiente de la curva del PTV en el histograma (55).

Internacionalmente, se realizan competencias de planificaciones dosimétricas en radioterapia, con el propósito mejorar la calidad de tratamientos a nivel mundial, mediante la definición y la expansión de conocimientos. Estos seminarios web (en vivo), les permite a los participantes interactuar con otros dosimetristas y físicos médicos del concurso y así discutir de estrategias que les permitan lograr planes de alta calidad. Dentro de las múltiples recomendaciones que brindan los profesionales participantes de la actividad, son el uso de estructuras accesorias para mejorar los planes de VMAT (60). Los órganos modificados son los elementos agregados, que ayudan a bajar dosis a los tejidos originales contorneados antes de trabajar la planificación, sin perder mucha cobertura en el volumen blanco de planificación. También exhortan al uso de anillos que abarcan el cuerpo, pero con un margen establecido del PTV, con la intención de disminuir paulatinamente las dosis bajas hacia tejido sano (60).

De la misma forma, las competencias mencionadas a nivel mundial, indican la mejor forma de optimizar el plan; brindan estrategias en las numeraciones que se deben colocar en la ventana de optimización. En el optimizador se establecen las restricciones para los volúmenes blanco, para los órganos de riesgo y para el tejido normal. También se pueden limitar las unidades monitor. Esta ventana, ofrece la posibilidad de controlar cómo se comportan las curvas de isodosis alrededor del tumor, dependiendo si se busca más cobertura en el volumen de planificación o resguardo alto a los órganos de riesgo (61).

Para el VMAT de mama es importante trabajar una región de fuga, con el fin de evitar el subdosaje en la zona superficial del PTV, igualmente se toma en cuenta los movimientos de la usuaria y las incertidumbres a la hora de la colocación de la persona en el equipo de tratamiento. Asimismo, con la fuga se evita la formación de edema en la mama.

Gracias a la fuga en la parte anterior de la mama, se presenta una distribución más homogénea de la dosis, sin descubrir ninguna zona de la superficie de la mama (62). Todo lo anterior se realiza manualmente, pues el software de Eclipse no posee una herramienta en específico que realice dicho espacio de forma automática.

Cuando se refiere de forma manual, la acción consiste en insertar un bolus virtual para cada arco; la optimización se desarrolla con un bolus para tomar en cuenta ese tejido adicional y de esta forma el programa crea un espacio extendido anterior a la mama, el cual se usará como fuga en el tratamiento; posteriormente, se copia ese plan, se le elimina el bolus y se vuelve a calcular. El plan de tratamiento que recibirá la mujer es ese mismo sin bolus.

La investigación de Lizondo et al. (63) recomienda, utilizar un bolus virtual con un valor entre -500 y -400 UH, dependiendo del grosor del bolus. Esos valores maximizan la robustez del plan y minimiza la necesidad de cambiar mucho la normalización del plan recalculado sin bolus.

Según la Sociedad Americana de Oncología Radiológica del año 2018 (21), se recomienda para la planificación de tratamiento de pacientes con cáncer de mama sin afectación de nódulos regionales, el uso de la técnica radioterápica de 3DCRT, con la cual se logra un buen plan de tratamiento con una correcta cobertura del PTV.

El empleo de la técnica de IMRT se solicita en el momento que acuda una persona usuaria con anatomía peculiar, la cual sea imposible tratar con campos tangenciales y cuyas restricciones de OARs no cumplan con los límites establecidos dentro de los protocolos (64).

Según Muralidharet et al (25), la técnica VMAT, no es la más recomendada para el tratamiento de cáncer mamario, pues los arcos abarcan grandes volúmenes que exponen a mayor cantidad de radiación a pulmones, corazón, mama contralateral y otros; sin

embargo, si en el IMRT son necesarios mucha cantidad de arcos se prefiere el empleo de VMAT para disminuir la cantidad de tiempo en máquina del usuario.

## 2.7.1.5 Consideraciones de Restricciones

### 2.7.1.5.1 Histograma Dosis/volumen.

El texto elaborado por Urbina et al.(65), alude al histograma como “un esquema que describe la dosis, en Gray, en función al porcentaje del volumen de los tejidos”, el cual es ofrecido por el sistema de planificación. Asimismo, brinda información de dosis máxima, mínima y media recibida por los órganos de interés y por el volumen blanco (65).

A la hora de estudiar el histograma es importante revisar distintos valores correspondientes a: dosis máxima ( $D_{max}$ ), dosis del 2% del volumen ( $D_2$ ), dosis mediana ( $D_{mediana}$ ), dosis media ( $D_{media}$ ), dosis mínima ( $D_{min}$ ), dosis del 98% del volumen ( $D_{98}$ ) para el PTV, deben coincidir con lo descrito para la prescripción (49).

Se deben verificar  $D_{max}$  o  $D_{media}$  para los OARs de acuerdo con los límites ya establecidos, ya sea en el histograma o en la ventana “Estadísticas de dosis” en el TPS. Además, se deben verificar las curvas de isodosis, corte a corte, en los planos axial, sagital y coronal.

Asimismo, es importante valorar el Índice de Homogeneidad (IH) del PTV. El IH es definido como la uniformidad de la distribución de la dosis absorbida dentro del Volumen Blanco de tratamiento (49). El ICRU 83 recomienda extraer el IH utilizando la dosis mínima, máxima y el punto de referencia ICRU, mediante la siguiente ecuación [1]:

$$HI = \frac{D_2\% - D_{98}\%}{D_{50}\%} [1]$$

Un IH de 0 es indicador de que la distribución de la dosis absorbida es homogénea.

La conformidad de la dosis se refiere al grado en que las regiones de altas dosis se conforman al PTV. Según el ICRU 62, el Índice de Conformidad (IC) se define como el

cociente entre el Volumen Tratado y el Volumen Blanco de Planificación, siempre y cuando el PTV se encuentre contenido en el VT (44).

Según datos arrojados por los documentos del RTOG (21), el índice de conformidad idóneo es cercano a 1; cuando el índice de conformación es mayor a uno, el volumen irradiado es mayor que el volumen blanco y probablemente se incluyan tejidos cercanos sanos. Si ese índice es menor de 1, señala que el volumen blanco no está siendo irradiado completamente

### 2.7.1.5.2 Límite de dosis a OARs

Los límites de dosis en los OARs, se establecen según el esquema de dosis impartido en el tratamiento, por lo que las restricciones dependen del fraccionamiento. En la tabla 7, se establecen las dosis máximas que deben recibir los órganos en el esquema hipofraccionado, dispuesto por el Grupo Cooperativo Danés contra el Cáncer de Mama (DBCG, por sus siglas en inglés), cuando se elabora el plan con método de 3DCRT (51). Asimismo, se emplea las restricciones estudio hipofraccionado del Grupo Oncológico de Radiación Terapéutica RTOG 1005 (48), del brazo II donde aplican 40 Gy en 15 fracciones. En la tablas 7 y 8, se encuentran las restricciones empleadas para evaluar los planes de tratamiento elaboradas con las técnicas VMAT e IMRT.

*Tabla 7. Dosis de restricción a OARs en esquema de Hipofraccionamiento del Grupo Cooperativo Danés contra el cáncer de mama.*

OAR	V17 (hipo)	V35 (hipo)	Dmax (Gy)
<b>Corazón</b>	10%	5%	
<b>Pulmón ipsilateral</b>	35%		Dmedia 18 (normo) Dmedia 15 (hipo)
<b>Mama contralateral</b>			V300 cGy≤5%
<b>Médula espinal</b>			45 (normo) 38.54 (hipo)

Fuente: Danish Breast Cancer Cooperative Group.

Tabla 8. Restricciones del PTV y OARs del RTOG1005.

<b>Descripción del PTV eval mama</b>	<b>Restricción</b>			<b>Brazo I 50 Gy en 25 fx, con boost secuencial de 12-14 Gy. 62- 64 Gy</b>	<b>Brazo I 42.7 Gy en 16 fx, con boost secuencial de 12-14 Gy. 54.7-56.7 Gy</b>	<b>Brazo II 40 Gy en 15 fx, boost integrado hasta 48 Gy</b>
	<b>Meta</b>	<b>Volumen</b>	<b>Dosis</b>			
PTV Eval mama, recibe dosis en mama completa	Ideal	≥95% del PTV Eval mama	≥95% de toda la dosis en mama	≥47.5 Gy	≥40.6 Gy	≥38 Gy
	Aceptable	≥90% del PTV Eval mama	≥90% de toda la dosis en mama	≥45 Gy	≥38.4 Gy	≥36 Gy
PTV Eval mama, recibe dosis boost	Ideal	≥30% del PTV Eval mama	≥100% de dosis del boost	≥62-64 Gy	≥54.7-56.7 Gy	≥48 Gy
	Aceptable	≥35% del PTV Eval mama	≥100% de dosis del boost	≥62-64 Gy	≥54.7-56.7 Gy	≥48 Gy
PTV Eval mama, recibe dosis en mama completa	Ideal	≥50% del PTV Eval mama	≥108% de toda la dosis en mama	≥54 Gy	≥46.1 Gy	≥43.2 Gy
	Aceptable	≥50% del PTV Eval mama	≥112% de toda la dosis en mama	≥56 Gy	≥47.8 Gy	≥44.8 Gy
PTV Eval mama, dosis máxima	Ideal		≥115% de toda la dosis en mama	≤57.5 Gy	≤49.1 Gy	≤46 Gy
	Aceptable		≥120% de toda la dosis en mama	≤60 Gy	≤51.2 Gy	≤48 Gy
<b>Descripción del PTV lumpectomía</b>	<b>Restricción</b>			<b>Brazo I 50 Gy en 25 fx, con boost secuencial de 12-14 Gy. 62- 64 Gy</b>	<b>Brazo I 42.7 Gy en 16 fx, con boost secuencial de 12-14 Gy. 54.7-56.7 Gy</b>	<b>Brazo II 40 Gy en 15 fx, boost integrado hasta 48 Gy</b>
	<b>Meta</b>	<b>Volumen</b>	<b>Dosis</b>			
PTV Eval lumpectomía, recibe dosis boost	Ideal	≥95% del PTV Eval lumpectomía	≥95% de dosis del boost	≥58.9-60.8 Gy	≥52-53.9 Gy	≥45.6 Gy
	Aceptable	≥90% del PTV Eval lumpectomía	≥90% de toda la dosis en mama	≥55.8-57.6 Gy	≥49.2-51 Gy	≥43.2 Gy
PTV Eval lumpectomía, recibe más dosis boost	Ideal	≤5% del PTV Eval mama	≥110% de dosis del boost	≥68.2-70.4 Gy	≥60.2-62.4 Gy	≥52.8 Gy
	Aceptable	≤10% del PTV Eval mama	≥110% de dosis del boost	≥68.2-70.4 Gy	≥60.2-62.4 Gy	≥52.8 Gy
PTV Eval lumpectomía, dosis máxima	Ideal		≥115% de dosis del boost	≤71.3-73.6 Gy	≤62.9-65.2 Gy	≤55.2 Gy



	Acceptable		≥120% de dosis del boost	≤74.4-76.8 Gy	≤65.6-68 Gy	≤57.6 Gy
<b>Restricciones Tejido Normal</b>						
Descripción	Volumen				Brazo I	Brazo II
Restricción corazón 1	Ideal	Mama Izq: ≤ 5 % del corazón Mama Der: 0% del corazón			≥20 Gy	≥16 Gy
	Acceptable	Mama Izq: ≤ 5 % del corazón Mama Der: 0% del corazón			≥25 Gy	≥20 Gy
Restricción corazón 2	Ideal	Mama Izq: ≤ 30 % del corazón Mama Der: ≤ 10% del corazón			≥10 Gy	≥8 Gy
	Acceptable	Mama Izq: ≤ 35 % del corazón Mama Der: ≤ 15% del corazón			≥10 Gy	≥8 Gy
Restricción corazón 3	Ideal	Dosis media			≤400 cGy	≤320 cGy
Restricción pulmón ipsilateral	Acceptable	Dosis media			≤500 cGy	≤400 cGy
	Ideal	≤ 15 % del pulmón ipsilateral			≥20 Gy	≥16 Gy
	Acceptable	≤ 20 % del pulmón ipsilateral			≥20 Gy	≥16 Gy
Restricción pulmón ipsilateral 1	Ideal	≤ 35 % del pulmón ipsilateral			≥10 Gy	≥8 Gy
	Acceptable	≤ 40 % del pulmón ipsilateral			≥10 Gy	≥8 Gy
Restricción pulmón ipsilateral 2	Ideal	≤ 50 % del pulmón ipsilateral			≥5 Gy	≥4 Gy
	Acceptable	≤ 50 % del pulmón ipsilateral			≥5 Gy	≥4 Gy
Restricción pulmón contralateral	Ideal	≤ 10 % recibe			5 Gy	4 Gy
	Acceptable	≤ 15 % recibe			5 Gy	4 Gy
Restricción de mama contralateral	Ideal	Dmax			≤300 cGy	≤240 cGy
	Acceptable	Dmax			≤330 cGy	≤264 cGy

Fuente: Grupo Oncológico de Radiación Terapéutica RTOG 1005.

## **CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO**

Este trabajo final de graduación se llevó a cabo en la modalidad de práctica dirigida, lo que implica llegar a dominar los procedimientos de Simulación Virtual y Planificación Dosimétrica para el tratamiento de cáncer de mama izquierda, con radioterapia externa, en estadio temprano, en el Servicio de Radioterapia del Hospital México, de la CCSS. Con los alcances del trabajo se buscó fortalecer los fundamentos teóricos imagenológicos, para la adquisición de habilidades técnicas.

Además se buscó el desenvolvimiento de capacidades y habilidades, como lo son la indagación, la crítica, la capacidad de síntesis y sobre todo el trabajo en equipo. También, se adquirieron habilidades para el desarrollo de tareas multidisciplinarias, dentro de las disponibilidades de tiempo y recursos existentes en la institución; asimismo, se desarrolló una aptitud óptima para el planeamiento, la organización y control de las acciones puestas bajo responsabilidad.

### **3.1 Población meta, beneficiarios directos e indirectos**

La población meta se corresponde con los casos de las personas con la patología de cáncer de mama, las cuales fueron tratadas con radiaciones ionizantes en el Servicio de Radioterapia del Hospital México durante el segundo semestre del año 2019. Se escogieron personas usuarias meta que cumplieran con ciertos criterios, obedeciendo las normas establecidas en el Grupo Cooperativo Danés contra el Cáncer de Mama (51).

Asimismo, se utilizó el documento RTOG1005 perteneciente al Grupo Oncológico de Terapia con Radiación; en el Servicio se utilizan varios estudios fehacientes y vitales que se han llevado a cabo durante muchos años en otros países, los demuestran aspectos más beneficiosos para los usuarios conforme avanza la tecnología.

Se emplearon como base teórica, gran cantidad de investigaciones referentes a las tres técnicas radioterápicas para el tratamiento de carcinoma mamario. Los estudios se buscaron por medio de internet, buscando en editoriales fidedignos y relacionados con temas de la salud, también se visitó las bibliotecas físicas y virtuales de la Universidad de

Costa Rica, Sede Rodrigo Facio. Se les solicitó a algunos profesionales que laboraban en el Servicio de Radioterapia del Hospital México, escritos que tuvieran los cuales brindaran datos importantes a la estudiante. De la misma forma, se consultó a especialistas en Física Médica, los cuales trabajan en el Centro de Radioterapia del Hospital Madre de Dios, en Brasil, dichos expertos poseen una basta experiencia en la aplicación de IMRT y VMAT en sus usuarios, por lo que se consideraron de utilidad sus recomendaciones.

La beneficiaria directa de esta práctica fue la estudiante, pues la misma fortaleció los conocimientos teóricos y las habilidades prácticas como profesional en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica de la Universidad de Costa Rica.

En esta práctica dirigida se trabajó con casos de mujeres, pues la aparición del carcinoma de mama es poco probable en los hombres; aproximadamente, los varones con esta afección corresponden a un 2% de todos los casos de cáncer de mama en nuestro país (16).

Asimismo, la mama de interés fue la izquierda debido a que el riesgo de radiotoxicidad es mayor para el corazón, pues la mayoría de veces, este órgano se encuentra anatómicamente más lateralizado hacia la izquierda de las personas (14).

En relación al estadio, se seleccionaron las usuarias con conservación total o parcial de la glándula mamaria, en estos casos sólo se irradió la mama, porque tiene menos de cuatro ganglios axilares afectados. Cuando las mujeres, presentan afectación de más de cuatro ganglios axilares (N1-N2 clínico), también se irradia la región supraclavicular (16).

### **3.2 Estrategia de intervención**

Un Servicio de Oncología Radioterápica debe de contar con un equipo de profesionales de la salud especializado para garantizar una atención integral a cada usuaria. La Sociedad Americana del Cáncer (36) recomienda que el personal del Servicio debe estar constituido por un equipo multidisciplinario, que incluya personas profesionales en: Imagenología, Oncología Médica, Física Médica, Enfermería, Trabajo Social, Nutrición, Terapia Física,

entre otros. De igual forma, son necesarias instalaciones e infraestructuras apropiadas para la supervisión y el control de las radiaciones (Radioprotección).

Es fundamental conocer cómo se desarrolla el flujo de trabajo en la actividad radioterápica de cada centro, para garantizar eficiencia y seguridad en tratamientos. Se describirá a continuación, todos los procesos de la labor del servicio, en donde están contemplados las etapas de Simulación Virtual y Planificación Dosimétrica, las cuales fueron las áreas de intervención para esta práctica.

El primer paso es la admisión de la usuaria, donde el profesional en medicina oncológica decide si es de utilidad este procedimiento contra la enfermedad, respetando siempre el principio de justificación de las radiaciones ionizantes (66).

La segunda etapa, es la Simulación, la cual consiste en adquirir las imágenes clínicas para trabajar sobre ellas durante el tratamiento. Según Rizo et al. (67), en la actualidad, la información del tumor puede ser brindada por tomografía computarizada, resonancia magnética, tomografía por emisión de positrones, angiografía, ecografía, entre otros. La simulación es elaborada por los profesionales en Imagenología, los cuales están capacitados para operar el TC simulador (5).

Cuando el estudio imagenológico es adquirido, se manda al servidor de redes y en el Área de Dosimetría Clínica se contornea las estructuras anatómicas sanas, aledañas a la zona de enfermedad tumoral. Posteriormente, se transfiere los datos a la persona profesional en medicina oncológica y radioterápica para que delimite el tumor grueso. Cuando se tiene definido el volumen tumoral, la persona especialista especificará la prescripción dosimétrica (66). El texto de Rizo et al. (67) dice que dependiendo del: "Tamaño de padecimiento, ubicación, estadiaje, cercanía a tejido íntegro, el especialista elegirá la dosis límite a suministrar". Asimismo, se elige el fraccionamiento, donde instaura la dosis total y la dosis por sesión (68).

En seguida, se lleva a cabo la planificación dosimétrica, el profesional en Dosimetría Clínica estima la distribución de dosis absorbida en la persona tratada, del mismo modo selecciona la técnica, las angulaciones del LINAC para impartir los haces de radiación, la energía, entre

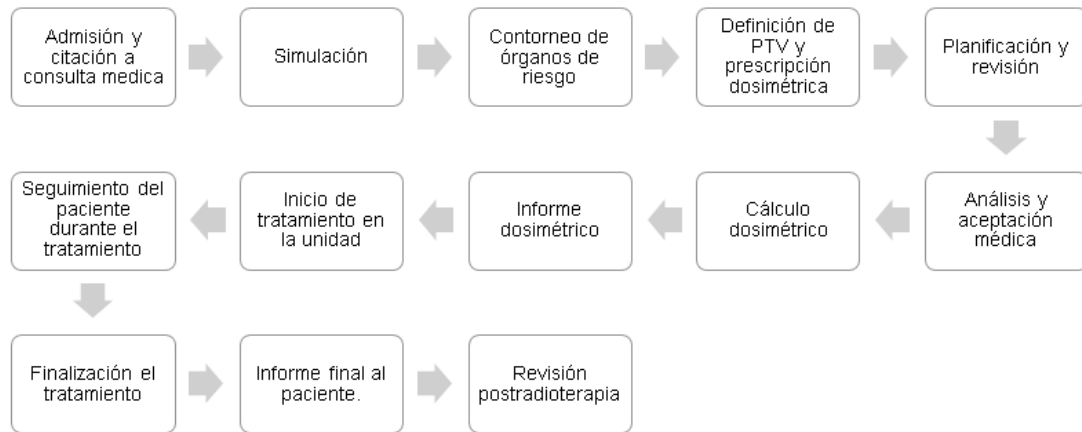
otros. El manual elaborado por Ñunez (5), aclara que la persona profesional en física médica: "Debe velar por la calidad integral del tratamiento, con el fin enviarle al especialista médico el caso terminado, para que el mismo lo valore y brinde su criterio". En las etapas finales, el tratamiento es aceptado por el oncólogo radioterápico (5).

Para la ejecución del tratamiento en los aceleradores lineales, las personas profesionales en Física y Oncología Médica, deben de revisar los valores dosimétricos del plan nuevamente (66). Al instante, se sitúa a la persona usuaria sobre los implementos de inmovilización y se toman radiografías, ya sea con el detector electrónico de imágenes portal o con el sistema de imagen de kilovoltaje, para comprobar la reproducibilidad diaria del procedimiento (5).

Conforme la usuaria recibe el tratamiento, los profesionales en Imagenología, Medicina y Enfermería, deben observar la evolución del procedimiento (de forma diaria, semanal e incluso quincenalmente). Una vez finalizadas las sesiones de tratamiento, se le dará toda la información con las características, desarrollo y revisiones clínicas a usuaria, tal y como lo sugiere Nuñez en su texto (5).

El seguimiento clínico postradioterapia es crucial, para evaluar la respuesta al procedimiento con radiaciones ionizantes y la posible toxicidad aguda y tardía a causa de las dosis absorbidas (67). En la figura 6, se resume un poco la conformación de la estructura organizativa en radioterapia descrita anteriormente.

Figura 6. Resumen de estructura organizativa del servicio de radioterapia.



Fuente: Elementos de radiofísica para técnicos superiores en radioterapia y dosimetría.

Para esta práctica, la estudiante intervino sobre la Simulación y la Planificación del tratamiento con radioterapia externa. En relación con la Simulación, la estudiante participó en el proceso de la adquisición de los estudios, para comprender de una manera más cercana los procedimientos que se realizan para obtener como producto final las imágenes requeridas en la planificación. La estrategia de intervención de esta práctica consistió en fortalecer las habilidades en los procesos de Simulación Virtual y de la Planificación dosimétrica, trabajando sobre los casos de las personas usuarias con tumores de mama en el Servicio de Radioterapia del Hospital México.

### 3.3 Definición de actividades, funciones, tareas básicas y productos esperados.

La presente práctica se desarrolló obedeciendo una secuencia de pasos. En la fase uno, se procedió a observar los procesos de Simulación y Planificación del Servicio para comprender la cultura de trabajo, al mismo tiempo se realizó una breve búsqueda bibliográfica referente los procesos de tratamiento del cáncer de mama en estadio

temprano, con el propósito de actualizar los conocimientos con los que contaba la practicante.

Además, la estudiante repasó los documentos del Servicio de Radioterapia del Hospital México, para la comprensión de las características de la institución, la visión, la misión, los programas que desarrolla, entre otros. Lo anterior, con el fin de estar al tanto de la realidad nacional y sobre todo de la situación actual del Hospital y del Servicio. También se estudió el protocolo de tratamiento para cáncer de mama, utilizado actualmente por el Servicio, así como los documentos propuestos.

Primeramente, se cumplió con un período observación y de refrescamiento de conocimientos, aprendidos durante la práctica hospitalaria, propia del plan de estudios de la carrera de Imagenología Diagnóstica. La oportunidad de rotar durante este Servicio de Radioterapia años atrás, brindó un valor agregado a la práctica dirigida, pues se inició con nociones básicas de los procesos llevado a cabo en este lugar y se conocía un poco mejor el flujo de trabajo desarrollado en los centros de salud pública. Fue importante cumplir con el espacio de observación de funcionamientos y procedimientos de Simulación Virtual y Planificación Dosimétrica, para lograr la aclimatación al rol de trabajo de dicho Servicio.

Las acciones anteriores, se llevaron a cabo durante las primeras semanas de la estancia en el Hospital. La practicante asistió al Servicio ocho horas diarias (de 6 am a 2 pm), de lunes a viernes, las cuatro semanas de cada mes (se estima aproximadamente que el mes tiene cuatro semanas), durante el segundo semestre del año 2019, el último mes se aprovechó para elaborar el informe.

En la primera fase, también se llevó a cabo la Simulación Virtual. Durante la elaboración de la tomografía, la practicante estuvo acompañada siempre de la persona dosimetrista a cargo del TC, la cual vigiló el correcto manejo del tomógrafo por parte de la practicante.

Una vez listo el estudio tomográfico, para cada uno de los casos analizados, se procedió a reconocer los órganos de riesgo de la patología de mama izquierda, gracias a las distintas herramientas de contorneo brindadas por el TPS, para delimitarlos correctamente (29).

El volumen tumoral fue definido y contorneado por las persona profesionales en Medicina Oncológica (67). Igualmente, el profesional médico revisó el buen contorneo de los OARs por parte de la practicante. Una vez definido el PTV, se procedió a planificar el tratamiento que recibiría cada usuaria seleccionada, con las técnicas dosimétricas: 3DCRT, IMRT y VMAT.

La practicante tuvo a disposición el personal profesional en Dosimetría Médica y Física Médica, pues estuvieron anuentes a: resolver dudas, revisar detenidamente cada caso realizado, brindar sugerencias. Con el fin de sistematizar las experiencias, para el informe final se completaron varias tablas (ver anexos 5, 6, 7, donde se coloca un ejemplo de usuaria a la cual se le completaron las tablas), con los fundamentos geométricos para la elaboración de dichos planes.

El tratamiento una vez planificado y preparado, se revisó con la persona profesional en radioterapia tratante. Listos los planes, se apuntaron todos los parámetros dosimétricos de evaluación solicitados (anexos 8 y 9, se coloca un ejemplo de usuaria a la cual se le completaron las tablas), con el fin de conocer la calidad del plan realizado.

Se contó con aproximadamente cinco meses para la ejecución de las tomografías simulación y las planificaciones con las tres técnicas dosimétricas, el sexto mes fue empleado para construir el informe de la práctica dirigida y para terminar de completar las tablas descritas. Cabe destacar que ambas fases, Simulación y Planificación, se ejecutaron al mismo tiempo; debido a la naturaleza del Servicio; entonces no se pudo asegurar que sólo surgieran procedimientos de seno izquierdo. Es decir, una vez que llegaba una usuaria con patología mamaria izquierda, la misma era simulada y posteriormente se le planificaba el tratamiento correspondiente, en espera de otra persona usuaria que necesitara ser simulada, y así constantemente, alternando ambas tareas durante el tiempo establecido.

Es importante enfatizar, que por persona se efectuaron tres procedimientos planificación dosimétrica; en 3DCRT, en IMRT y en VMAT.

En la CCSS, para recibir una acreditación y poder desempeñarse como personal capacitado en cualquier rango de acción profesional, el Ministerio de Salud solicita un análisis de



trabajo de un mínimo de cincuenta usuarios (69), por lo que el rango cumplido de casos en esta práctica, fue suficiente para obtener la acreditación.

### **3.4 Definición de las relaciones interdisciplinarias**

Las usuarias remitidas fueron valoradas y diagnosticadas por la persona profesional en Medicina Radioterápica, la cual determinó la necesidad de dar radiaciones ionizantes para el tratamiento del tumor. A partir de esta decisión, muchas especialistas de la salud entraron en acción, con el fin de seguir una serie de procesos para el alcance de un óptimo tratamiento de cada persona usuaria.

Durante la práctica supervisada se trabajó junto a profesionales en Física Médica, Oncología Radioterápica e Imagenología, gracias a las cuales se adquirieron conocimientos a partir de experiencias en el campo laboral. Lo anterior, permitió una construcción profesional, a partir de una socialización que accedió a desarrollar nuevos conocimientos, habilidades, actitudes y valores, a través de la integración de la práctica en el entorno sanitario, creándose una identidad coherente con las disciplina de la radioterapia.

En el proceso de Simulación, las personas tecnólogas encargadas del tomógrafo facilitaron la estancia de la estudiante en el transcurso de la primera fase de la práctica.

En la etapa de Planificación, los físicos M.Sc. Estiven Arroyo Artavia y a M.Sc. Juan Pablo Campos García, capacitados en los sistemas hardware y software de la empresa Varian (*Varian Medical Systems*, Palo Alto) ayudaron en gran manera en la adquisición de nuevos conocimientos. Asimismo, el Diplomado en Imágenes Médicas, Andrés Aguilera Montero, el cual se instruyó en el uso de Arcoterapia Volumétrica fuera del país, contribuyó al desarrollo de esta práctica dirigida. Cabe recalcar la participación de los demás profesionales en Física Médica e Imagenología que de una u otra forma enriquecieron y permitieron la estancia de la practicante en el Servicio.

### **3.5 Definición del sistema de supervisión**

La supervisión y evaluación de esta práctica dirigida se llevó a cabo por el M.Sc. Estiven Arroyo Artavia, Jefe del Área Operativa del Servicio de Radioterapia del Hospital México, quien es, también, el Director del Comité Asesor y el Asesor Técnico de este trabajo. La practicante asistió al Servicio, en el mismo horario del Director del trabajo, es decir en la jornada diurna, de seis de la mañana a dos de la tarde, ocho horas diarias. Igualmente, el Director se aseguró de la obtención de destrezas profesionales por parte de la estudiante, generadas por las experiencias vividas y asimismo el abordaje de problemáticas concretas.

Al Comité Asesor, se le enviaron los informes mensuales, con el fin de mantenerlos enterados de los avances, y así extendieron sus opiniones y modificaciones que consideraron necesarias. Igualmente, los lectores: M.Sc./M.Res. Sergio Solís y la Licda. Michelle Gutiérrez realizaron cuatro visitas al Hospital durante el semestre, con el fin de valorar el proceso de la práctica.

### **3.6 Definición del proceso de evaluación**

La evaluación de la práctica se efectuó mediante el cumplimiento de las metas y los objetivos programados. El Director y Asesor Técnico completó dos evaluaciones distintas, cada dos semanas. La primera correspondió al proceso de Simulación y la otra concernió a la etapa de Planificación (observar anexos 10 y 11).

En general, se efectuaron veintidos evaluaciones, cada dos semanas, a lo largo de la práctica, once evaluaciones de Simulación y once valoraciones de Planificación. Cada una de las evaluaciones tuvo un valor de 4.5% para completar un valor total de aproximadamente 100%. Los puntos evaluados se apreciaron mediante una escala nominal (escala de Likert), que abarca del número 1 al 5, donde 1 se refiere a una puntuación mala y 5 alude a un concepto excelente. En las evaluaciones se tomaron en cuenta criterios conceptuales, procedimentales y actitudinales.

Una vez alcanzados los objetivos de la práctica, a criterio del Comité Asesor, la estudiante procedió a redactar el informe del trabajo final de graduación correspondiente.

### **3.7 Precauciones**

Debido a la manipulación de equipos emisores de radiaciones ionizantes, se veló en todo momento por el cumplimiento del Reglamento sobre Protección contra las Radiaciones Ionizantes, Decreto Ejecutivo N° 24037-S, vigente a partir del 8 de marzo de 1995. En todo momento, se utilizó el dosímetro personal, el cual brinda información acerca de la dosis de radiación recibida por el personal y si está dentro de los límites establecidos por la legislación vigente (70).

La práctica fue totalmente supervisada, pues el Asesor Técnico estuvo pendiente de las gestiones ejecutadas por la practicante; la misma no efectuó ninguna actividad sin autorización previa o no controlada por el personal del Servicio, calificado para la labor.

Todas planificaciones fueron revisadas y corregidas por personas profesionales en Física Médica, posteriormente consideradas por especialistas en Medicina Radioterapéutica. Una vez que el tratamiento es aprobado el profesional en Oncología, se somete a un control de calidad, donde otra persona experta en Imagenología y otra en Física Médica, vuelven a revisar paso por paso el caso, disminuyendo las probabilidades de error humano.

### **3.8 Consideraciones éticas y legales**

Este texto se fundamenta principalmente en el Artículo 3 del Reglamento Ético Científico de la Universidad de Costa Rica, el cual señala: “El beneficio para la humanidad siempre deberá ser mayor al riesgo para los seres humanos participantes en las investigaciones. Los resultados esperados de la investigación deben beneficiar a la sociedad” (71). Se espera que las mujeres con cáncer de mama serán beneficiadas con el trabajo y con las propuestas elaboradas por la practicante.

Además, se busca cumplir el punto del Reglamento Ético Científico de la Universidad de Costa Rica, el cual expresa: “La no maleficencia es dirigida a evitar riesgo o perjuicio que

puedan sufrir los sujetos participantes” (71). Se enfatiza en el punto anterior, pues una vez realizadas las tres técnicas dosimétricas para cada usuaria, la persona especialista en medicina radioterápica, elegirá la planificación más idónea, necesaria y acorde a la necesidad de la persona usuaria, buscando siempre el método más ventajoso para el tratamiento de las personas.

El artículo 6 del Reglamento mencionado anteriormente, señala la importancia del respeto a la persona, la personalidad, a la dignidad e intimidad del individuo (71). Se procuró proteger la privacidad y confidencialidad de las identidades de las personas usuarias; a la hora de tabular los datos de interés, se agregó un código de identificación aleatorio, una cifra numérica del 1 al 60 (la cantidad total de usuarias abordadas). Como la exposición de los resultados del Trabajo Final de Graduación es de forma grupal, se mantuvo, en todo momento, el anonimato de los individuos involucrados y la información se salvaguardó durante y después del desarrollo de la práctica.

Este trabajo se consideró exento de la revisión ante el Comité Ético Científico de la Universidad de Costa Rica (CEC-UCR). La idea de la práctica fue contribuir al refuerzo un conocimiento ya existente de la estudiante. Lo anterior se logró trabajando, a partir de teorías científicas ya comprobadas, estudiadas y obtenidas de una búsqueda bibliográfica exhaustiva.

Como protocolo, a todas las personas usuarias que recibieron radioterapia se les solicitó completar el formulario de consentimiento informado, conforme al Artículo 75, inciso b, del Reglamento del Seguro de Salud y el Artículo 4 del Reglamento del Expediente de Salud y las demás normas relacionadas a la materia. El especialista médico debió explicarle a la usuaria, de forma sencilla, el procedimiento al cual se sometió, así como los beneficios y los perjuicios del mismo. Si se requirió efectuar otros procesos, no contemplados dentro del presente documento (ver anexo 4), se debieron llenar todos los formularios necesarios.

### 3.9 Propuesta para la redacción del informe final

Una vez cumplidos los objetivos y terminada la práctica dirigida, se completaron cuadros con información recolectada de cada usuaria trabajada, con el fin de la construcción de una sistematización de las experiencias vividas durante este período. Además, se adjuntaron todas las evaluaciones realizadas por el Director del trabajo y los informes mensuales.

Posterior a la entrega del Informe de Práctica, se entregó una copia del documento al Servicio de Dosimetría Clínica del Hospital México, para ser usado como referencia para los procesos radioterapéuticos de Simulación y Planificación de usuarias con afección de las glándulas mamarias. Además, se le ofrece dicho documento al Servicio de Física Médica y a los especialistas radioterápicos del Hospital México.

Se facilitan las plantillas elaboradas para las planificaciones de tratamientos con IMRT y VMAT, dichas plantillas se hacen con el fin de agilizar los pasos a la hora de la optimización de cada usuaria (72).

También, se brinda un instrumento elaborado por la estudiante, a solicitud del director del trabajo, el cual consiste en una presentación de *PowerPoint* con una revisión bibliográfica profunda, la cual comprende el análisis de aproximadamente veintiséis investigaciones, documentos oficiales, información de páginas Web confiables, entre otros. La búsqueda de información se logró gracias a consultas vía internet, en páginas web de editoriales confiables. Igualmente, se visitó las bibliotecas físicas y virtuales de la Universidad de Costa Rica, Sede Rodrigo Facio.

A la hora de iniciar con las visitas al nosocomio se solicitó acceso a los escritos almacenados en los archivos del Servicio de Radioterapia, los cuales contemplaban protocolos antiguos y vigentes del mismo Servicio, publicaciones de investigaciones internacionales bibliográficas, libros de textos afines al tratamiento con radiaciones ionizantes (aspectos físicos, radiobiológicos, clínicos, entre otros). Se les pide las notas a los profesionales involucrados en la práctica, buscando obtener datos importantes que han ido adquiriendo con el tiempo y la experiencia, que puedan ayudar a facilitar y mejorar la estadía de la estudiante en el nosocomio. Dentro de los mayores aportes, para el impulso

de este trabajo, fue las recomendaciones transmitidas por especialistas en Física Médica los cuales laboran en el Centro de Radioterapia del Hospital Madre de Dios, en Brasil, dichos profesionales poseen una basta experiencia en la aplicación de IMRT y VMAT en sus personas atendidas.

Las documentaciones anteriores, presentan las etapas de Simulación y Planificación pulidas con diferentes técnicas radioterápicas para el abordaje del cáncer mamario; del mismo modo refieren el modo de realización de los procesos, recomendaciones para llevar a cabo los casos, asimismo, facilitan comparaciones entre distintas técnicas dosimétricas, las ventajas y desventajas de cada una, entre muchos otros aspectos.

El fin de la entrega de dicho material consiste en que todos los trabajadores del Servicio de Radioterapia tengan acceso a él y de esta forma posean bases teóricas fidedignas, para tomar criterios a la hora de trabajar en las etapas de Simulación Virtual y Planificación Dosimétrica.

Por último, se elabora una guía para elaborar una planificación con la técnica dosimétrica VMAT para el tratamiento de cáncer de mama, perteneciente al Servicio de Radioterapia del Hospital México, ya que el existente, es una pequeña guía y está un poco incompleta. Dicha propuesta de guía, describe paso a paso cómo armar un caso con Arcoterapia Volumétrica. Se colocaron gran cantidad de fotos tomadas del sistema de planificación, las cuales ayudan a ejemplificar y facilitar la comprensión del documento para cualquier lector. En la guía se expone datos teóricos relacionados al cáncer de mama, la metodología del escrito, las reseñas bibliográficas empleadas, entre otros aspectos importantes.

Al final del Informe, se describen las conclusiones más importantes del trabajo y se exteriorizan recomendaciones consideradas vitales de tomar en cuenta por los Servicios de salud pública y por la Universidad de Costa Rica.

Al finiquitar el trabajo, la información se mantiene bajo resguardo por un plazo de máximo 5 años, a partir de su publicación, luego será destruido bajo la supervisión de un representante del Comité Asesor de práctica y ante un notario público que dará fe del acto.

## **CAPÍTULO IV. INFORME DE LA PRÁCTICA**

En este apartado se detallan las experiencias vividas durante la práctica. Se describen los resultados del análisis de la bibliografía, para ser aplicados en la etapa de Simulación Virtual y en elaboración de los planes de tratamiento. Mientras se trabajaba en los tratamientos radioterápicos, se consideraron ciertos casos clínicos, como aquellas planificaciones con aspectos especiales importantes de recalcar.

Asimismo, se impregnaron los aprendizajes obtenidos, dificultades presentadas durante el proceso, así como las metas propuestas alcanzadas. Una vez cumplidos los pasos anteriores, se procedió a diseñar una guía para la elaboración de la planificación dosimétrica VMAT para el tratamiento de cáncer de mama.

En la última sección, se habla acerca de la cantidad de planificaciones dosimétricas realizadas y cuales factores influyeron en dicho número. También, se compartieron algunos resultados obtenidos, al desarrollar las tres técnicas dosimétricas de interés y se complementaron con datos recopilados de la revisión bibliográfica elaborada.

### **4.1 Experiencias vividas**

Primeramente, se realizó una recopilación de material bibliográfico científico exhaustiva, con el fin de profundizar en los conocimientos específicos de la temática de la práctica. A pesar de que en la carrera de Imagenología se recibe la formación académica, esta revisión se basó en un refrescamiento y actualización de las técnicas dosimétricas pertenecientes al tratamiento de la patología mamaria con radiaciones ionizantes.

En la primera semana de la práctica, se continúa con la búsqueda de más información relacionada al contenido de interés; asimismo, se buscan bases de datos de años anteriores y se solicitan guías y protocolos vigentes en el Servicio de Radioterapia del Hospital México. Con el objetivo de obtener un refrescamiento de conocimientos, se acudió al Hospital en la semana uno para observar a las personas profesionales de Imagenología y Física Médica trabajar en las etapas de Simulación, Contorneo de OARs y en la elaboración de la planificación dosimétrica de cada tratamiento con las

distintas técnicas de interés. Se evacuaron dudas del funcionamiento del tomógrafo y la consola, así como de herramientas del software a la hora de contornear los órganos de riesgo. Al mismo tiempo, se elaboró una presentación extensa con diapositivas animadas, con el fin de agrupar los datos bibliográficos más importantes en un documento, para su uso posterior en el Servicio.

Una vez que la practicante recibió la semana de inducción y preparación en el Hospital, empezó en sí el proceso de la Práctica Dirigida, iniciando con la Simulación Virtual, la cual fue parte de la primera fase del trabajo. Es importante mencionar que la estudiante siempre estuvo acompañada de la persona a cargo del tomógrafo y no realizó ninguna actividad sola y sin la autorización correspondiente.

Una vez que la usuaria con cáncer de mama fue evaluada por Oncología Radioterápica, la persona profesional en Medicina tomó la decisión clínica de impartirle el tratamiento con radiaciones ionizantes. Entonces, la usuaria fue enviada a realizarse el TC de Simulación Virtual de la zona de interés.

Primeramente, se hizo pasar a la usuaria a la sala y se verificó su nombre, el número de cédula, número de teléfono, dirección en donde reside, localización del carcinoma (lado derecho o izquierdo, evitar posibles accidentes); se comprobó que la cartilla, la cual es el documento escrito por el médico al inicio del tratamiento, estuviera con la información correcta. Además, se procedió a llenar con el nombre y la cédula las hojas correspondientes a los inmovilizadores empleados (Anexo 2 y 3). Una vez verificados los datos de cada usuaria, se le tomó una fotografía del rostro, para guardarla en el expediente de la misma y esto permitiría identificarla cada día a la hora del tratamiento en el acelerador lineal, con el fin de evitar confusiones.

Se le solicitó a la usuaria que se desvistiera de la cintura para arriba, con el fin de que ningún artefacto metálico presente en la vestimenta distorsionara la imagen radiológica. Luego, se le pidió que se acostara decúbito supino en el dispositivo de inmovilización correspondiente a la rampa de mama de plano inclinado (ver Anexo 2 y 3); los brazos quedaron arriba de la cabeza en abducción, la cabeza girada hacia lado contralateral, dicha posición ayuda a elevar la mama cranealmente, brinda simetría en el tejido y reduce la dosis a corazón.



La idea consistía en conseguir la comodidad de la persona, para lograr la reproducibilidad diaria del posicionamiento en los equipos LINAC, y así disminuir movimientos intra e interfacción. Una vez acostada la usuaria, se alineó la misma con los láser transversal y longitudinal, se marcaron 5 puntos, dos a nivel del esternón y tres debajo de las costillas, todos a la misma altura; y luego se ubicó el material radiopaco (BBs) sobre esas marcas.

Se instaló el tomógrafo en el corte 0 (en 499.5 cm respecto al cabezal), se introdujo a la persona dentro del gantry. En la computadora del TC, el programa solicitaba los siguientes datos de la persona: nombre y apellidos, número de identificación, edad, peso, altura, zona anatómica, nombre del operador del TC, nombre de la persona médica tratante, historial, descripción del examen, número de examen. Posteriormente, en el lado de derecho de la pantalla, se seleccionó el sector anatómico, en este caso sería la casilla llamada: "5.1 MAMA RT \*\*\*\*". A la hora de elegir el protocolo, se desplegó una pantalla, la cual mostraba la referencia anatómica, la orientación del paciente (cabeza primero), posición del paciente (supino), número de examen.

También, el sistema enseñaba el *scout* recomendado en dicha anatomía. En el protocolo para mama, el escanograma se realiza en Anteroposterior ( $AP=0^\circ$ ), con una posición inicial (conocida con la letra S) de cortes en S400 y una posición final (conocida con la letra I) en I100, dichos números se eligen dependiendo de dónde se coloque el punto cero en la usuaria, para efectos de tratamiento de cáncer mamario se ubicó aproximadamente dos dedos por debajo del borde inframamario y en la mitad del grosor del tórax.

El kilovoltaje y el miliamperaje con los que trabajaba el tomógrafo son de 120 kV y 15 mAs para la fisiología mamaria. Una vez hecho el *scout*, se mostró un corte anatómico coronal con un cuadro de color celeste llamado localizador, el cual se modificaba al tamaño necesitado y era ubicado en la zona del cuerpo de interés. La ventana de campo de irradiación se extendió a 65 cm.

Cuando se ajustó el localizador manualmente, apareció una nueva pantalla con la posición inicial y final de los cortes configurados para proceder a desarrollar el TC helicoidal. Se trabajó con una posición inicial S múltiplo de 5. Igualmente, al lado del

ordenador surgió información escogida automáticamente por el TC, aspectos como: cantidad de imágenes, espesor de la imagen, angulación de gantry, tiempo de exposición total, entre otros. Listos los puntos anteriores se confirmó el inicio del estudio. Los cortes del TC se ejecutaron cada 5mm.

En consola emergió una luz verde, la cual indicaba el desplazamiento de la mesa a lo largo del gantry hasta ubicar la franja anatómica de interés en la persona usuaria, la cual abarcó desde el ángulo de la mandíbula hasta la apófisis xifoides, incluyendo todo el hígado. Terminada la adquisición de la tomografía, se inspeccionó que las imágenes estuvieran completas, sin movimiento y el cero de referencia del TC coincidiera con las marcas radiopacas colocadas al principio en la usuaria.

Por último, se envía la serie de cortes tomográficos a la red DICOM (Almacenamiento y Comunicación de Imágenes Médicas, por sus siglas en inglés) del Servicio de Radioterapia, para ser utilizadas en el siguiente procedimiento de radioterapia externa de cáncer de mama.

En las computadoras de dosimetría, se ingresó a la aplicación denominada *Aria Citrix*. Una vez dentro del programa, se buscó la pestaña de Contorneo. Después, en el borde de arriba, en el botón de Archivos, se importó desde el servidor DICOM, las reconstrucciones. En el lado izquierdo de la pantalla, aparecieron, en una columna, las cédulas y los nombres de todos los usuarios a lo que se les elaboró la Simulación Virtual, sea cual sea la zona anatómica con afección tumoral. Se eligió a la persona de interés, se verificó que el número de estudio y la zona del cuerpo coincidieran con lo escrito en la cartilla.

En el caso descargado se seleccionaron las estructuras de interés desde la plantilla aprobada existente, las cuales consistían en las siguientes: corazón, esófago, mama derecha, médula, PRV médula, pulmones, pulmón izquierdo, pulmón derecho.

El monitor se dividió en cuatro recuadros, los cuales respondían: al corte axial o transversal, al corte coronal, al corte sagital y a la vista en 3D. Al lado derecho de la pantalla se encontraban todas las herramientas utilizadas para el contorneo de los OARs.

Cuando los órganos de riesgo estaban listos, se verificó que el origen del usuario y el cero del TC coincidieran de forma exacta. Se revisó la información correcta en la red de cada persona; asimismo, se confirmó la foto del usuario en el sistema. También, se examinó: la adecuada asignación del especialista de Oncología para cada caso, el apropiado y claro llenado de hojas de simulación e inmovilizadores y que el estudio estuviera completo. Igualmente, se evaluó el buen posicionamiento de la usuaria en el TC y que los inmovilizadores estuvieran bien colocados.

El siguiente paso consistió en el contorneo de los volúmenes de tratamiento por parte de la persona especialista en Oncología Radioterápica. Inicialmente, el profesional revisó los órganos sanos aledaños al tumor de forma detenida y los aprobó; si todas las estructuras estaban en orden, la persona especialista procedió a pintar el Volumen Tumoral Macroscópico, el Volumen Clínico Blanco y el Volumen Blanco de Planificación. La actividad anterior no le correspondió a la practicante, sin embargo, igual se explica con el fin de darle continuidad a todo el proceso de la práctica.

La segunda fase de la práctica inició cuando la persona especialista en Medicina devuelve el caso listo con el volumen tumoral delimitado. La practicante volvió a revisar los OARs y analizó el GTV, el CTV y el PTV, los cuales fueron definidos fielmente bajo la anatomía y fisiología de cada usuaria, de forma muy personalizada.

A la hora de tener todas las estructuras listas, se ingresó en la pestaña de planificación del haz externo y se seleccionó el set de estructuras con la fecha y el número de estudio correspondiente perteneciente al caso con el que se va a trabajar. Se inspeccionó que todas las figuras estuvieran aprobadas por la persona profesional en Oncología. Nuevamente, se examinó la correcta asignación del cero del TC. Igualmente, se vigiló que la hoja de simulación se llenara en su totalidad y que la orientación de la usuaria fuera correcta. Fue importante una última revisión de las imágenes tomográficas, con el fin de evitar estudios incompletos.

Se creó el curso, en donde se escogió la intención del tratamiento, el cual es curativo en estos procesos. El nombre del curso se eligió con la técnica de planificación con la que se trabajó más la anatomía afectada. Dentro del mismo curso, se introdujo el plan nuevo. Se empezó eligiendo el volumen de interés, en cual se prescribió la dosis. Sobre dicho blanco se creó un punto de referencia; el sitio de referencia primario es

una zona virtual sin coordenadas utilizada para el conteo de suma de dosis. Para la existencia de dicho punto, se volvió a seleccionar el volumen crítico de la persona y la dosis total y el límite de dosis diaria.

A continuación, se eligió la posición de la usuaria en el equipo, la cual correspondió a decúbito supino- céfalo caudal. En las propiedades del plan, se colocó el nombre del plan, el cual generalmente se consigue con el nombre del PTV, más la dosis de prescripción en Gray (Gy).

Reiteradamente, en la pantalla de geometría del nuevo plan se seleccionó el volumen blanco, el punto de referencia primario, el número de fracciones, las dosis prescritas por fracción y la dosis total.

Finalizados los pasos anteriores, se optó por el LINAC de tratamiento. Para efectos de esta práctica, se trabajó sólo en los aceleradores lineales 3 o 4 del Servicio, ya que son los dos equipos que tienen la posibilidad de llevar a cabo las técnicas especiales de IMRT y VMAT.

Hasta este paso, todas las gestiones anteriores se hicieron de la misma forma para los cursos de 3DCRT, IMRT y VMAT de las usuarias trabajadas. Luego, cada curso y cada plan se individualizan para cada técnica dosimétrica.

#### **4.1.1 Planificación de la técnica dosimétrica 3D Conformacional**

Se inició con la planificación en 3D Conformacional. En la pestaña de insertar, se seleccionó un nuevo curso, la nomenclatura del curso de tratamiento obedeció a: "3DCRT\_MAMA Izquierda" y se colocó la intención curativa. Se creó un plan de tratamiento; la nomenclatura del mismo corresponde al nombre del PTV y la dosis de prescripción (Gy), para efectos de la práctica se nombró: "PTV 40.05".

Se establecieron los dos campos principales: tangencial interno y externo. La nomenclatura de los campos, se escogió de acuerdo a la posición del gantry (angulación) en relación a la persona acostada, si surgían campos modulados (subcampos) del campo principal, se le colocó una M y una secuencia numérica ordenada de menor a mayor. Un ejemplo, si el cabezal se colocó a 310° de angulación, el nombre del campo sería G310°, si el mismo campo tenía uno o varios

subcampos modulados, se llamaron: G310M1, G310M2, y así sucesivamente. En relación a la energía de la radiación, la misma se mencionó al lado de la nomenclatura, (energía de 6 MV o 10 MV).

La configuración geométrica de los campos de tratamiento variaba dependiendo de la ubicación del tumor en relación a los órganos de riesgo y de la evaluación clínica de la enfermedad, por lo tanto no fue posible determinar una misma disposición de campos de tratamiento para todos los casos.

En la mayoría de usuarias se trabajó con campos tangenciales internos que rondaron entre 290° y 310° grados aproximadamente. Las angulaciones de los campos tangenciales externos estuvieron entre 120° y 140° grados.

Para la conformación de los campos en 3DCRT, es decir el arreglo del colimador multiláminas alrededor del PTV o del tumor, se dejó un margen de 8 mm entre el MLC y el PTV en todos los campos de tratamiento principales. En los campos modulados, se asignó el mismo margen, excepto en aquellas zonas donde el MLC debía abarcar regiones del PTV, para disminuir zonas de altas de dosis, o para cubrir OARs importantes.

Al colimador secundario Y (Y1 y Y2) se le dejó un margen de 2 mm del MLC, mientras que el colimador secundario X (X1 y X2) presentó un margen de 9 mm aproximadamente al MLC. Si en un campo de tratamiento, la región donde se moduló la dosis, abarcó todo el sector de algún colimador secundario, a este colimador se le cambió su posición para respetar el margen del MLC, indicado previamente.

A continuación se mencionan algunos aspectos importantes, considerados a la hora de la elaboración de los casos con la técnica 3DCRT:

- A ningún campo se le dejó menos de 6 Unidades Monitor.
- La planificación del tratamiento se basó en la estructura del PTV, contorneada por el profesional de Oncología Radioterápica, como volumen objetivo.
- A cada campo se le colocó una tolerancia de mesa de T1.
- En relación a la normalización (correlación impuesta por el dosimetrista, donde señala cuánto porcentaje de dosis quiere instaurar en tanto porcentaje de volumen tumoral), se tuvo como punto de partida, un valor del 95% de la dosis

prescrita cubriera el 98% del volumen del PTV del tratamiento, tal y como lo demandan los Físicos Médicos del Servicio de Radioterapia del Hospital México. Estudios revisados señalan el normalizar de la siguiente forma: el 95% de la dosis se entregue en el 95% del volumen (73), el 95% del blanco recibe el 95 % de dosis prescrita (74), 95% de la dosis se entregue en el 98% del volumen (73), se 95% de la dosis se otorgue en el 95% del volumen (75).

- Se aceptaron máximos volumétricos puntuales, pero la curva del 2% del volumen PTV debió mostrar porcentajes entre el 105%-107% de la dosis prescrita. El máximo puntual fluctuó entre un 107%-110%.
- Se giró el colimador cuando fue necesario, con el fin de utilizar cuñas dinámicas (en vez de cuñas físicas) para proteger algún órgano de riesgo. Si no fue posible, se colocan cuñas físicas, aunque se prefieren evadir para ahorrar tiempo en máquina, es decir, se busca evitar que los tecnólogos entren muchas veces al bunker donde se encuentra el acelerador, a cambiar las cuñas en todos los campos.
- No se aceptaron campos modulados que cubrieran más del 70% del área del campo principal.
- Se procuró llevar a cabo las planificaciones con la menor cantidad de campos modulados posibles. En caso de necesitar de un exceso de campos modulados, se disminuyó la cobertura de la dosis con la finalidad de reducir zonas calientes y lograr cumplir las restricciones planteadas, es decir, cambiar la normalización, estrechando el porcentaje de dosis o cobertura de volumen.
- En aquellos casos donde el corazón y/o pulmón izquierdo no cumplieron las restricciones del Protocolo Danés, ya sea por la anatomía particular de la persona o por un contorno peculiar del PTV, la conformación de las MLC alrededor del PTV en esa zona, se modificó a 0.5 mm. Antes de hacer dicha acción, se le preguntó al médico tratante si estaba de acuerdo, en caso de que no lo deseara así, dependiendo de razones clínicas de peso que lo impidieran.
- El isocentro del tratamiento se colocó en el centro geométrico de la estructura del PTV. Las coordenadas se redondearon para evitar unidades decimales.
- En el set de estructuras se incluyó la estructura de la camilla delgada, llamada en el sistema: Camilla IGRT Exacta, delgada.

- Se trabajó con un punto de referencia primario sin coordenadas ligado al volumen del PTV, con la finalidad de que sobre este sitio se realizara el conteo diario de dosis en la red.
- A la hora de terminar el plan de tratamiento, se elaboraron campos de referencia, con dirección anteroposterior (AP) y lateral izquierdo (LI), los cuales se titularon “REF.AP” y “REF.LI”. Los campos mencionados tienen la finalidad de permitir tomar placas de megavoltaje y kilovoltaje, cuando sea necesario, en el equipo de tratamiento LINAC.

#### **4.1.2 Planificación de la técnica dosimétrica Intensidad Modulada**

Se empezó creando el curso de tratamiento, obedeciendo la secuencia “IMRT\_Patología”, es decir, IMRT\_MAMA I (I de Izquierda). La nomenclatura para el plan de tratamiento, consistió en el nombre del PTV y la dosis de prescripción elegida (en Gy), por ejemplo PTV\_40.05.

Inicialmente, se insertó un campo de tratamiento. A partir de este paso, se trabajó en el arreglo geométrico de los haces de radiación para cada plan. Se implantaron de 6 a 7 campos por cada tratamiento; la separación de ángulos para la colocación del gantry dependió de cada caso individual, pero siempre siguió una lógica que permitiera una buena cobertura del PTV y una disminución de dosis en los OARs. Es importante recordar el no colocar campos paralelos u opuestos entre sí, ya que se anulan el uno al otro.

Los siguientes son factores importantes considerados en el momento de llevar a cabo una planificación dosimétrica de Intensidad Modulada:

- El caso mostraba el PTV contorneado por el especialista en Oncología, como estructura objetivo de la planificación.
- Se prefirió manejar fotones con energía de 6 MV, pero si era inevitable, se recurrió a la energía de 10 MV.
- Todas las planificaciones se ejecutaron con la camilla en 0° para todos los campos de tratamiento.

- En cuanto al ángulo del colimador, se varió dependiendo de la forma del PTV, buscando siempre excluir la mayor parte posible de pulmón izquierdo y corazón del campo. Sin embargo, algunas ocasiones se fijó en 0°.
- A cada campo se le precisó una tolerancia de mesa de T1.
- Todos los objetivos determinados buscaron alcanzar una cobertura del PTV localizada dentro de los parámetros concretados por el ICRU en sus reportes 50, 62 y 83.

En la ventana de optimización, primero se establecieron los valores para obtener la cobertura del PTV, por lo que se situaron cuatro restricciones primarias para PTV:

*Tabla 9. Objetivos para Volumen de Planificación IMRT.*

<b>Tipo de restricción</b>	<b>Volumen</b>	<b>Dosis</b>	<b>Prioridad</b>
Superior	0%	104%	100
Superior	2%	103%	100
Inferior	98%	102%	100
Inferior	100%	100%	100

Fuente: Elaboración propia

- Para la planificación los casos con la técnica dosimétrica IMRT de esta práctica, las estructuras consideradas como volúmenes blanco fueron:
  - El PTV\_MI\_40.05 OPT se realizó cuando el volumen blanco se traslapaba con el corazón y/o el pulmón izquierdo. Se cortó dicho PTV en las regiones que contactaban con los OARs; el propósito radicaba en proteger el tejido para que no recibiera toda la dosis de tratamiento.
  - El ANILLO IMRT 1 CM, consistió en una estructura que abarcaba todo el cuerpo, a la cual se le restó el PTV con una distancia de 1 cm. Su fin era restringir las dosis bajas alrededor del PTV, y para que las dosis máximas se posicionaran dentro del volumen de interés. Se trabajó este elemento con una restricción inferior del 0% del volumen y dosis entre 2500-2800 cGy (aproximadamente la mitad de la dosis prescrita).



- El control medial radicó en una franja contorneada en la zona anterior y central el cuerpo, dibujada aproximadamente en dirección al esternón; inicia exactamente donde comienza el PTV y termina donde termina el volumen blanco. La estructura control fue creada para reducir las dosis en la mama contralateral.
- El CONTROL LATER se contorneó en la zona postero lateral de la usuaria, junto a los músculos latísimo dorsi y serrato anterior; su fin era restringir parte de la dosis en esa zona, ya que las curvas de isodosis tienden a desviarse debido a la protección elevada de radiación en pulmones, corazón, mama contralateral.
- A la hora de contornear las estructuras para cada caso, se les debió colocar exactamente el mismo nombre a cada una, con el objetivo de utilizar las plantillas creadas por la practicante y así agilizar el proceso de optimización. Si uno de los nombres no lleva las mismas letras o signos de puntuación, el optimizador no reconoce esa figura y no la inserta dentro de la optimización.
- Una vez obtenida una cobertura correcta del PTV, se empezaron a asignar las restricciones de los OARs y de las estructuras modificadas. Dichas limitaciones correspondieron, generalmente, a valores menores a la dosis de prescripción. Si la dosis de prescripción del PTV era inferior a la dosis de tolerancia de un órgano, se trabajó en reducir al máximo las curvas de dosis en esos tejidos aledaños.  
Si las numeraciones establecidas (flechas) al principio quedaron por encima de los valores que el optimizador logró alcanzar, se corrieron manualmente, de forma horizontal, hasta alcanzar una posición de dosis inferior a la curva de la estructura. El objetivo de lo mencionado consistía en aprovechar el potencial del optimizador. Se trabajaron prioridades altas en pulmón ipsilateral, corazón y mama contralateral, con respecto a los otros órganos de riesgo.
- En las ocasiones donde no se cumplía la tolerancia de los órganos de riesgo, ya que los mismos se traslapaban con el PTV o eran adyacentes a él, se debía solicitar el criterio clínico del médico tratante. El profesional en Oncología debió decidir si excluía los OARs del PTV, cuando deseaba que todo el tejido

cumpliera las restricciones o si prefería una cobertura alta al tumor, sin importar las dosis altas en tejidos sanos.

- En relación al Objetivo de Tejido Normal (NTO, por sus siglas en inglés), siempre se aprovechó en modo manual. Se colocó una prioridad del NTO mayor a 25% con respecto a la prioridad de las restricciones inferiores del PTV. La distancia del borde del PTV en donde el NTO empezaba a aplicarse, correspondió a 0.1 cm, con una dosis inicial de 101%. Se seleccionó un rango para la dosis final entre 55%-65% y la caída de la curva quedó entre 0.09 y 0.15. El NTO se varió en cada caso, dependiendo de la necesidad en ese momento.

Es decir, si se aumentaba el valor de la caída de la curva del NTO, o si se reducía el número de la dosis final, aumentaba el máximo global de la dosis y las regiones calientes, sin embargo las dosis en OARs disminuían. Asimismo, conforme se estrechaba el valor de la caída de la curva del NTO o se acrecentaba el valor de la dosis final de la misma, los máximos de dosis tendían a decaer, pero la dosis en tejido aledaño subía.

- Para la resolución de la matriz de optimización se empleó la normal (2.5mm).
- Luego del cálculo de dosis, el equipo puede entregar la fluencia (cantidad de dosis) de dos formas: con el Colimador Multiláminas Dinámico (DMLC, por sus siglas en inglés) o con el Colimador Multiláminas Estático (MSF-MLC, por sus siglas en inglés). Para efectos de esta práctica, se utilizó la opción de dosis dinámica. No se marcaron las casillas de fijación de las mandíbulas durante el tratamiento. Posteriormente se calculó el plan.

Con los campos listos, se prosiguió a crear la fuga o el espacio de seguridad que se debe dejar anterior de la mama. La acción previa es posible gracias a la opción de la fluencia y a la herramienta de Fuga (*"Skin Flash"*). Se trabajó con el pincel de tamaño de 20 a 30 mm, el cual ayudó a extender las áreas de fluencia alrededor de la mama.

Apenas se realizó el proceso anterior, se volvió a calcular los movimientos de las láminas.

- Al trabajar con volúmenes de planificación no muy grandes (sólo mama), fue relativamente fácil conseguir los objetivos de la planificación, tanto para el PTV

como para los OARs, entonces no existió mucho problema, por ejemplo, con los máximos puntuales depositados dentro del PTV.

Sin embargo, cuando se labora con volúmenes blanco complicados o muy grandes (anatomía de mama más zona axilosupraclavicular), muchas veces resultan máximos muy altos, los cuales pueden ser mejorados con la herramienta de edición de fluencia. Dicho instrumento permite aplicar modificaciones en los valores de trasmisión, mediante la visualización de líneas de isodosis y colores. Para modificarlo se acude a la fluencia de dosis de cada campo y en seguida se selecciona la edición de fluencia.

Se gestiona con la herramienta medidora de trasmisión (regla con una cruz), la cual mide la fluencia de donde se coloque. Si se instala el cursor sobre un punto caliente, es posible conocer el factor de trasmisión en dicho lugar y es así como se logra modificar el valor del factor a un número más bajo.

- Cuando el campo era muy grande el sistema dividió dicho campo en subcampos de diámetros menores, lo que buscaba era que las láminas pertenecientes a los colimadores X no viajaran mucho por dicho campo y conformaran mejor.
- Una vez que el TPS se salía de la ventana de optimización, colocaba el modo de normalización en “no normalización”, es decir este valor numérico quedaba en 100%, ya que es la solución más adecuada y sencilla para el optimizador. Entonces, se colocó una normalización distinta, siempre y cuando ese valor de normalización se encontrara entre un rango de 100%-103%, es decir una variación de 2%-3, no más de 5% según las recomendaciones del manual de Eclipse.
- El porcentaje prescrito siempre obedeció a 100%.

En el histograma se revisaron que los valores del D95, tuviera un mínimo de 95% de la dosis prescrita (ideal D95, tuviera un mínimo de 98% de la dosis prescrita el D2 se encontrara en el rango entre 107%. También, se esperó que el D50 se mantuviera alrededor del 102%-103%. Con el máximo puntual ondeaba alrededor de 108% y 110%.

Para establecer el valor de normalización en planes con la técnica IMRT, se basó en las investigaciones consultadas, donde recomiendan normalizar con: el 95% de la

dosis se entregue en el 95% del volumen (76), el 95% de la dosis se entregue en el 98% del volumen (73), el 95% de la dosis se entregue en el 95% del volumen (77), el 95% del volumen cubierto por el 95% de la dosis de prescripción (78). Es importante recalcar que el documento de la RTOG1005 solicita coberturas del 95% de dosis en el 95% del PTV.

En el Servicio de Radioterapia del Hospital México, en la mayoría de ocasiones, se solicita conseguir una cobertura de aproximadamente 95% de dosis en el 98% del PTV, por lo que se intentó a toda costa conseguir esos valores, sin embargo, dicha cobertura varió dependiendo de la planificación y sus condiciones.

#### **4.1.3 Planificación de la técnica dosimétrica Arcoterapia Volumétrica**

Para el tratamiento de mama con Arcoterapia Modulada Volumétricamente, se inició con la creación del curso de tratamiento, "VMAT\_Patología", entonces para efectos de la práctica, VMAT\_MAMAI. Para el plan del caso, se colocó el nombre del PTV y la dosis de prescripción, la cual fue PTV\_40.05.

Primero se colocó el campo de tratamiento. En la pestaña de creación de arco, dentro de la opción de geometría del arco, en la sección creación del arco, se seleccionó la estructura del PTV como objetivo y se dejó un margen de 5 mm del MLC a este blanco. Luego, se escogió la opción de "1 isocentro-2 rotaciones completas".

El isocentro se eligió, en la misma ventana de geometría del arco, pero en la pestaña de arreglo fino de campos, en donde se ajustó los colimadores en las tres direcciones (X, Y, Z) y después se redondearon las coordenadas del isocentro evitando unidades en los decimales. Una vez redondeados dichos números, se volvió a reajustar la abertura de los colimadores.

En esa misma ventana de configuración de arco, se escogió el giro de colimador, el cual podía variar en un rango de 10° a 30°, mientras el arco contrario se giró entre 350° y 330°. La angulación del colimador dependió de la ubicación del tumor con respecto al tejido sano circundante.

El tamaño del campo en el colimador X, debía ser menor de 15 cm por recomendación, para permitirle a las MLC viajar en el carrusel del tamaño del campo.

La nomenclatura de los arcos se adoptó obedeciendo a la dirección de giro del gantry en relación a la usuaria. Las siglas CW demostraron el giro a favor de las manecillas del reloj, y las CCW señalaron el giro en contra de las manecillas del reloj. El orden de ejecución de los arcos comenzó siempre con aquel que girara en sentido de las manecillas del reloj. Para el nombre del arco se colocó el número del mismo, con la secuencia numérica ordenada, de menor a mayor. Entonces si se elaboraron 3 arcos por ejemplo, se llamaron: CW, CCW, CW1 y así sucesivamente.

Lista la geometría de los arcos, se agregó en la pestaña de insertar, la nueva estructura del bolus. Se trabajó con la densidad del material en Unidades Hounsfield (UH). Posteriormente, se seleccionó el grosor del bolus, en este caso 2 cm y mediante un cuadro azul que apareció en los distintos cortes del TC, se delimitaron los sectores del cuerpo donde se buscaba que el bolus cubriera. Para culminar el proceso de esta estructura, se ligó el bolus a cada arco.

Un bolus con una densidad de 0 UH simula de forma más real el tejido de piel (agua), entonces, idealmente se debería usar ese material, sin embargo, a la hora de copiar el plan y eliminarle el bolus, el máximo total de dosis aumentaba demasiado y se acrecentaban los puntos calientes dentro del volumen blanco. Por lo que se eligió un bolus de una densidad de -500 UH, ya que producía menos variación en los máximos del plan nuevo sin bolus.

Algunos puntos básicos tomados en cuenta para la conformación de arcos y la planificación en general con la técnica dosimétrica VMAT fueron:

- La planificación contempló el PTV contorneado por el profesional radioterápico, como la estructura objetivo de la planificación.
- El tratamiento se resumió en tres o cuatro semi arcos con direcciones de movimiento contrarias.
- En la medida de lo posible se trató de aprovechar fotones con energía de 6 MV, aunque si era necesario, se empleó energía de 10 MV.
- Todas las planificaciones se realizaron con la camilla en 0°.
- A cada arco se le estableció una tolerancia de mesa de T1.

- Para llevar a cabo la optimización, fue necesario el contorno de estructuras extras, distintas a las elaboradas cuando se contornearon los OARs cercanos.

Entre ellas se encuentran:

- El PTV\_MI\_40.05 EXT consistió en la estructura del PTV elaborada por el especialista en Oncología, más una extensión de 2 cm hacia fuera del cuerpo solamente, es decir no se extendió el PTV en la zona interna del cuerpo, donde están los pulmones y corazón. Es importante recordar que el volumen de planificación original se crea a 0.5 cm del borde del cuerpo, por lo que esta estructura externa abarcó 0.5 cm hasta llegar al borde de la piel y 1.5 cm más de fuga (espacio agregado anterior a la piel). La idea de esta región era fabricar la fuga, con el fin de abarcar todo el PTV, aunque la paciente presentara movimientos por el ciclo respiratorio y cambios geométricos durante todo el tratamiento.
- El PTV\_MI\_40.05 OPT se formalizó cuando el volumen blanco se traslapaba con el corazón y/o el pulmón izquierdo. Entonces se cortó dicho PTV en las regiones que contactaban con los OARs, con el objetivo de rescatar el tejido de recibir toda la dosis de tratamiento.
- El PTV-EXT se consigue con la resta del PTV\_MI\_40.05 EXT menos el PTV\_MI\_40.05 OPT; la idea era impedir el depósito de dosis altas en esa franja, fuera del PTV original.
- El corazón modificado (CORAZON MOD), residió en el corazón cortado a 1 cm del PTV, con la finalidad de disminuir consistentemente la dosis a ese órgano como tal a la hora de optimizar, sin perder mucha cobertura en el volumen de planificación.
- El pulmón izquierdo modificado (PULMON I MOD), se basó en el mismo fundamento de la estructura pasada, es decir en cortar el pulmón izquierdo a 1 cm del PTV si lo llegaba a contactar.
- El ANILLO VMAT 1 CM, radicaba en una estructura que abarcó todo el cuerpo, a la cual se le restó el PTV con una distancia de 1 cm. El propósito del anillo era controlar las dosis bajas alrededor del PTV, con la necesidad de eliminar curvas de isodosis muy irregulares.

- El control Med Vmat consistió una franja dibujada en el medio de la paciente, en la zona anterior y central el cuerpo, aproximadamente en donde se encuentra ubicado el esternón; inicia exactamente donde comienza el PTV y termina de la misma forma, donde termina el volumen blanco. La estructura control fue hecha para reducir las dosis que llegan a la mama contralateral.
- El CONTROL LAT VMAT se contorneó en la zona postero lateral de la usuaria, cerca de los músculos latísimo dorsi y serrato anterior; su fin era restringir parte de la dosis de radiación en esa zona.
- En el momento en que se pasó a la ventana negra de optimización, primero se fijaron los valores para conseguir la cobertura del PTV, como partida se situaron cuatro restricciones para PTV:

*Tabla 10. Objetivos para Volumen de Planificación VMAT.*

<b>Tipo de restricción</b>	<b>Volumen</b>	<b>Dosis</b>	<b>Prioridad</b>
Superior	0%	104%	100
Superior	2%	103%	100
Inferior	98%	102%	100
Inferior	100%	100%	100

Fuente: Elaboración propia.

- Para la planificación de los casos con la técnica dosimétrica VMAT de esta práctica dirigida, las estructuras de interés fueron: PTV\_MI\_40.05 EXT, PTV\_MI\_40.05 OPT y PTV-EXT.
- Una vez lograda la cobertura ideal del PTV, se colocaron las restricciones de los órganos de riesgo y las estructuras de los OARs modificados. Si la dosis de prescripción del PTV era inferior a la dosis de tolerancia de un órgano, se trabajó en reducir al máximo las curvas de dosis en los OARs. Si las numeraciones establecidas al principio quedaron sobre los valores que el optimizador logró alcanzar, se ajustaron manualmente las flechas de restricción apreciadas en el histograma, hasta conseguir una caída de la curva inferior.

- El optimizador reveló cinco niveles de resolución, correspondientes al aumento de puntos de control trabajando. Los ajustes se elaboraron en los pasos uno y dos de los cinco pasos totales.
- Se afirmó que la optimización del VMAT demoró más minutos que la de IMRT, debido a ésto, se opta por optimizar máximo dos veces por usuaria para afinar detalles no conseguidos en la primera optimización.

En las ocasiones, donde no se cumplieran las tolerancias de los órganos de riesgo, el especialista en Medicina resolvió si excluir los OARs del PTV cuando deseaba el cumplimiento de las restricciones o si optaba por una cobertura total al tumor.

- El apartado del NTO, se manejó en modo manual. Se trabajó la prioridad del NTO con un valor de 125%, la prioridad del NTO fue 25% mayor al de la prioridad del PTV inicial. La distancia del borde del PTV en donde el NTO empezó a aplicarse, correspondió a 0.2-1 cm, con una dosis inicial de 101%-102%. Se seleccionó un rango para la dosis final entre 55%-60% y la caída de la curva estuvo entre 0.1-0.15 cm. El NTO se varió para cada caso dependiendo a la necesidad del usuario.
- Para la resolución de la matriz de optimización se empleó la rejilla normal (2.5mm). Además, se mantuvieron seleccionadas las opciones de: Modo Automático de Optimización y Dosis Intermedia Automática.
- Al finalizar la optimización, el sistema de forma automática, presentó el modo de “no normalización”. Entonces, se modificó la normalización, velando que ese valor de normalización se encontrara entre el rango 100%-103%, es decir una variación de 2%-3%.
- El porcentaje prescrito fue del 100% de la dosis.
- Listo el tratamiento con el bolus enlazado, se procedió a crear una copia del mismo plan. Inmediatamente, a cada arco se le se le desanexó el bolus, y se volvió a calcular el plan; sólo fue preciso calcularlo, no era necesario optimizar nuevamente el caso.

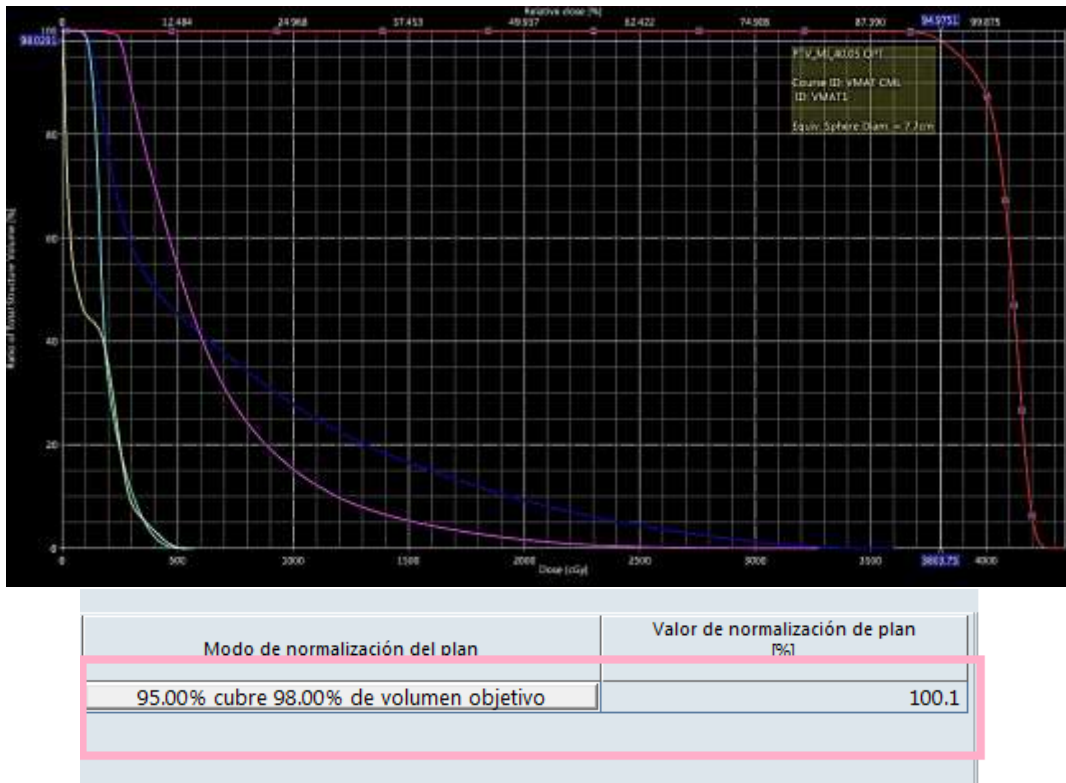
En el momento en que se quitó el bolus y se recalculó el plan, la dosis en el PTV incrementó. Al final, se normalizó el plan con la dosis media igual al 100% de la dosis prescrita.



El RTOG1005, estudio de Fase III de Irradiación de la mama con el método hipofraccionado para cáncer de mama en estadios temprano, llevado a cabo por Grupo Oncológico de Terapia con Radiación (48) solicita coberturas del 95%-95%, es decir que el 95% de la dosis prescrita se encuentre en el 95% del volumen. El D2 se debe encontrar en el rango entre 107%. También, se vigiló que el D50 se mantuviera alrededor del 102%-103%. Con el máximo puntual se fue más permisible, ya que el plan sin bolus tendía a aumentar las zonas calientes de dosis por el motivo de modificación de tejido (sustracción de bolus y variación en el depósito de dosis en el volumen blanco).

A continuación, se explica un poco el tema de la normalización utilizando un caso de ejemplo. Cuando se terminó la optimización del VMAT de la usuaria #10 con el bolus y se calcula la dosis, el plan se mostró sin normalización definida, luego se le colocó el valor de normalización deseado, buscando que dicho dato de normalización variara mucho. En la figura 7, se observa que se optó por normalizar al 95% de dosis cubriera el 98% del volumen. El valor de normalización del primer plan (con bolus) varió un 0.1% (100.1%).

Figura 7. Normalización 95% de dosis cubre el 98% del volumen.

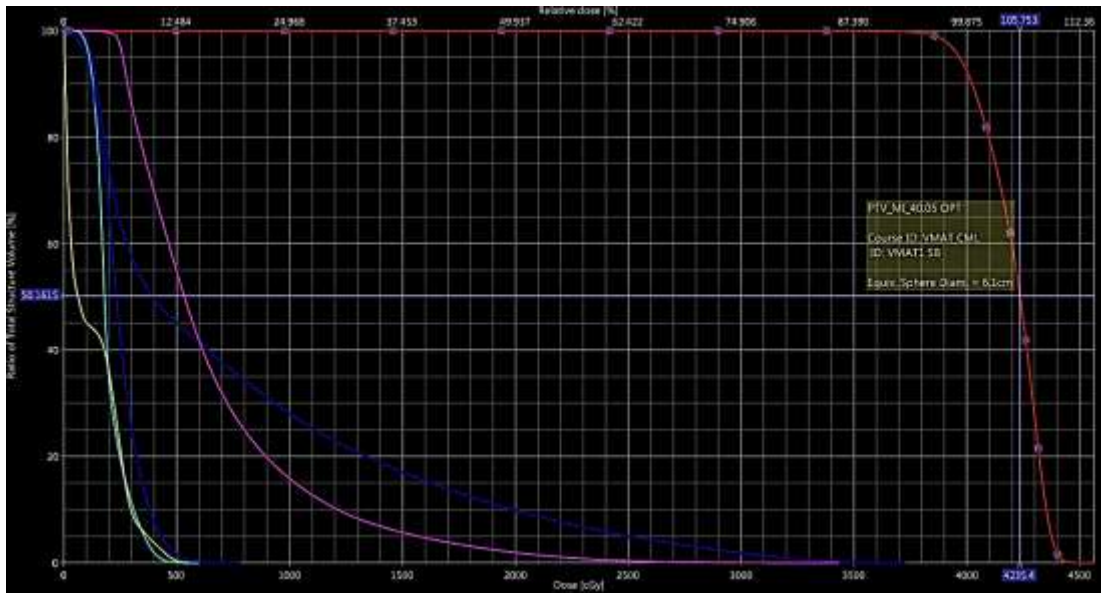


Fuente: Eclipse 13.6

Se removió el bolus de los campos, para obtener un plan final con el cual se trataría a la usuaria, pues la simulación ue realizada sin bolus. Al eliminar el tejido virtual, los máximos y mínimos de dosis presentes en el primer plan cambiaron, por ejemplo la dosis máxima y media en el histograma es tan alta que podría representar la entrega de una fracción de tratamiento más para la persona, es decir, se le estaría dando 16 fracciones de radioterapia, en vez de 15 fracciones.

Sin normalización, el 50% del volumen del PTV representaba casi un 105.7% de la dosis, es decir 4233 cGy, lo que representaría casi una fracción más para la paciente.

Figura 8. Sin normalización.

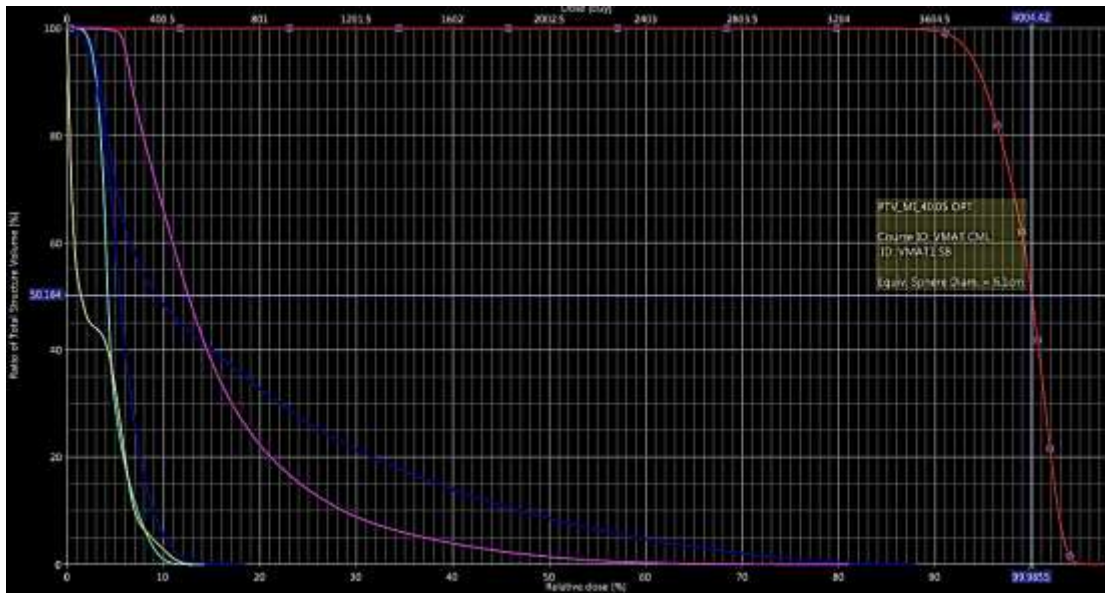


Fuente: Eclipse 13.6

Debido a lo anterior se optó, por seguir la recomendación de varios estudios bibliográficos: (63), (79), (80), (81), (82), los cuales sugerían, para los casos de VMAT elaborados con el método de bolus virtual, normalizar con la opción del 100% de la dosis cubra el 50% del volumen, cuidando siempre que la dosis media del PTV obedeciera al 100% de la dosis de prescripción. Si se dejaba el plan normalizado exactamente con el 100% de dosis cubriendo el 50% del volumen, la dosis media en el histograma resultaba con valores de entre 99.0% y 99.5%, lo que representa una subdosificación del PTV, en otras palabras, al volumen de planificación no le llegaría el 100% de la dosis solicitada por el profesional en Medicina. Por lo que se optó por aumentar un poco ese 50%.

Con los porcentajes 100%-50% exactos, el valor de normalización se reflejaba en más de 105% de la dosis de prescripción; lo cual no es recomendado por la guía de elaboración de planes con técnicas de Intensidad Modulada de Eclipse (55). El documento establece que si el valor de normalización del plan es modificado más de un 5%, posterior al cálculo inicial de desplazamiento de láminas, dicho movimiento y la distribución final de dosis debe de recalcularse con el fin de renovar el patrón de secuencia de las MLC, empleando nuevas unidades monitor.

Figura 9. Normalización 100% de dosis cubre el 50% del volumen.



Dosis media [%]	99.4
Modo de normalización del plan	Valor de normalización de plan
100.00% cubre 50.00% de volumen objetivo	105.8

Fuente: Eclipse 13.6

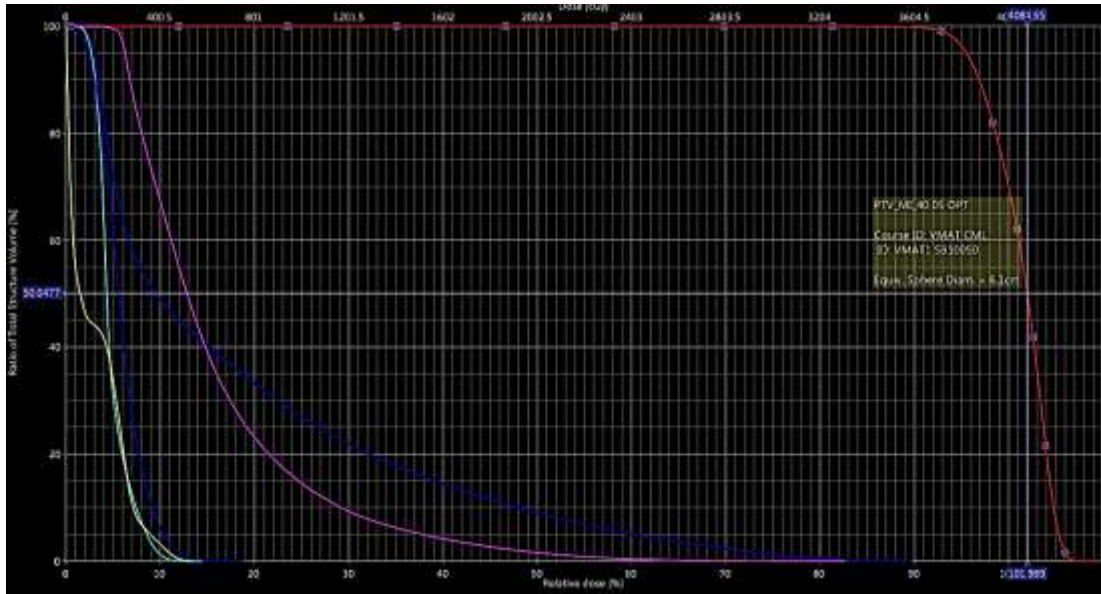
No es correcto forzar el caso a un porcentaje lejano al prescrito, pues no se estaría representando lo arrojado en la primera optimización, y se subvaloraría aún más el índice de conformidad y cobertura del sitio tumoral.

Para mejorar los aspectos anteriores, se jugó un poco con ese porcentaje del 100% de dosis cubriendo el 50% del volumen, entonces se aumentó ese porcentaje recibido por el PTV y se varió entre 65% y 78%. Igualmente, se vigiló que el 50% del volumen no recibiera más del 102% en la curva del PTV, lo cual es lo aceptado por Física Médica en las planificaciones llevadas a cabo cotidianamente en este Servicio de Radioterapia. Ver figura 10.

Asimismo, se cumplió que el 95% de la dosis cubriera el 95% del Volumen Blanco en la mayoría de ocasiones y se verificó que el 2% de volumen no recibiera más del 107% de la dosis, tal y como lo pide el ICRU 83 (49) y el RTOG 1005 (48).

En general, las planificaciones dosimétricas con la técnica VMAT presentaron una cobertura del PTV más baja y los Índices de Conformidad no fueron tan óptimos, pero se aseguró que la mama no recibirá más de la dosis requerida. La idea es buscar un equilibrio entre todos los valores solicitados.

Figura 10. Normalización 100% de dosis cubre el 70% del volumen.



Modo de normalización del plan	Valor de normalización de plan [%]
100.00% cubre 70.00% de volumen objetivo	103.7

Fuente: Eclipse 13.6

## 4.2 Descripción de los casos atendidos

En esta sección, se mencionan los casos trabajados durante los meses de la práctica. Asimismo, se describen a profundidad ciertos aspectos con algún tipo de relevancia o alguna peculiaridad.

En la etapa de la Simulación Virtual no existió ninguna diferencia en la forma de llevar a cabo las imágenes tomográficas entre una usuaria y otra; lo mismo sucede a la hora del contorno de los órganos de riesgo, pues son procesos ya estandarizados y formalizados, los cuales no deberían de variar mucho entre persona y otra.

También, se empleó una rampa de mama idéntica para todas las personas usuarias y se les tomó el estudio imagenológico en la misma zona anatómica. Al final, se les marcó los puntos o tatuajes de forma similar. Por lo que, como se indicó anteriormente, la fase de Simulación es un acto muy repetitivo y generalizado. Igualmente, el contorno de órganos en el TC, es un acto protocolizado, el cual habitualmente no va a variar, a menos de que la anatomía de interés presente alguna fisiopatología importante.

Entonces, este apartado es exclusivo para la etapa de la Planificación de las tres técnicas dosimétricas, las cuales despliegan múltiples variaciones entre ellas dependiendo de la anatomía de cada usuaria, sobre todo en la zona de la glándula mamaria, porque las mamas varían mucho en tamaño y forma, incluso en la misma persona pueden ser asimétricas; lo que las convierte en uno de los órganos más complicados para tratar con radiaciones ionizantes en radioterapia. Son estructuras que requieren tratamientos sumamente personalizados y no tan generalizados como otros órganos (como próstata, cerebro, ginecológicos, entre otros), lo que demanda más tiempo y dedicación.

A continuación se enumeran las usuarias trabajadas y algunas singularidades importantes de resaltar, separadas de acuerdo a la técnica dosimétrica empleada. Asimismo, se comenta un poco si se creó algún proceso de comparación en especial y el por qué se realizó; también, se describe el mejor método considerado para aplicar en el momento.

#### 4.2.1 3D Conformacional:

- La usuaria #8 se intentó realizar con la técnica 3D conformacional campo en campo (FiF, por sus siglas en inglés), pero no es posible, porque se forman numerosas zonas con dosis muy altas dentro del PTV, por lo que se optó utilizar cuñas físicas.
- Para la usuaria #10 se decidió elaborar dos planes de 3DCRT: uno FiF y otro con cuñas físicas. Se logró apreciar que con la técnica campo en campo las dosis en órganos de riesgo ipsilaterales disminuyen en gran manera (corazón, pulmón izquierdo), incluso en órganos contralaterales, pues sin las cuñas, las dosis no fueron desplazadas hacia adentro del cuerpo (más profundo).
- La planificación de la usuaria #15 se construyó con cuñas físicas. Se probó con el método FiF, sin embargo a la hora de valorar la curva del PTV en el histograma, el D50% se mostró mayor a 103%. El efecto anterior suele aparecer en algunos planes donde no se emplea cuñas, las cuales ayudan a homogeneizar la dosis en el Volumen Blanco.
- En la usuaria #17 se prefirió trabajar con cuñas físicas, porque si se intentaba hacer con las cuñas dinámicas, se debía girar el colimador a 90 grados, con el fin de que la dirección del peso de la cuña dinámica fuera funcional, y así transportar la dosis hacia lo profundo del Volumen Blanco para cubrir las zonas internas al PTV.  
Pero, en este caso en particular, si se giraba el colimador a 90 grados y se conformaba a 0.8 cm las MLC al PTV, quedaba mucho espacio sin cubrir por las láminas, sobre todo en pulmones y corazón, por la misma disposición mecánica de las láminas. Lo anterior produjo mayor irradiación de dichos OARs de forma innecesaria. Entonces se prefirió confeccionar el plan con el colimador en 0 grados y emplear cuñas físicas para conseguir el objetivo.
- La usuaria #21 no cumplió con la restricción del corazón ( $V17Gy < 10\%$ ) por 1% ( $V17Gy < 11\%$ ), por lo que el médico radioterápico debió decidir el proceso a seguir dependiendo de las comorbilidades de la persona, como por ejemplo: modificar el fraccionamiento del tratamiento o cambiar la técnica de tratamiento de Radioterapia, por IMRT o VMAT, las disponibles para tratar cáncer de mama en el Servicio.

- Con la usuaria #23 se optó por utilizar dos diferentes angulaciones en el tangencial externo (conocido como tratamiento en abanico), ésto ayudó a rebajar un poco el caliente de dosis en la zona de la axila, donde tiende a aparecer cuando las mujeres tratadas son obesas. La disposición de los haces descrita anteriormente debió ser empleado con cuidado, pues la colocación de los campos externos de esta manera tiende a incrementar la dosis a corazón y pulmón ipsilateral. Se recomienda ir vigilando el histograma y las dosis bajas en los OARs y así escoger el mejor arreglo de angulaciones para disminuir dosis en esa zona. También, se manejó dicha disposición con la usuaria #34.
- En la usuaria #29, sí fue posible orientar el colimador en 90 grados y situar cuñas dinámicas, para evitar los accesorios físicos y así agilizar la entrega del tratamiento para cada paciente, ya que el tecnólogo presente en el LINAC, no debe ingresar al cuarto a colocar los implementos en cada campo.  
A la hora de aplicar este arreglo de las MLC se logró conformar correctamente al PTV, evitando espacios grandes entre las láminas y el volumen de interés; lo anterior se debió a la forma del contorno del PTV de cada radiooncólogo, que permitía o no la variación del colimador.
- La usuaria #30 no cumplió con las restricciones hipofraccionadas de corazón. Es en ese momento, donde el medico valoró si aceptaba ese plan así dependiendo de la clínica de la persona, o si decidía aplicar una de las otras dos técnicas especiales de Planificación disponibles para carcinoma mamario (IMRT o VMAT); condicionado de que si quería otro plan de tratamiento, la usuaria se atrasará un poco más mientras se confecciona la otra posibilidad.
- En el caso de la usuaria #45, se optó por girar un poco el colimador, se colocó a 5° para el tangencial interno y a 355° grados para el tangencial externo, la idea era excluir el brazo en el campo de tratamiento.



#### 4.2.2 Intensidad Modulada

- El plan IMRT de la usuaria # 5 presentó dosis con zonas más calientes que la planificación en 3D, debido a que se colocó un anillo con prioridad alta (la estructura denominada en la plantilla como ANILLO IMRT 1 CM), con el fin de controlar la curva de dosis del 50% y buscar proximidad de la dosis al PTV. Al colocar dicha estructura se logró disminuir bastante las restricciones de los OARs, sin embargo las dosis altas aumentaron.
- En el plan de la usuaria #7 fue difícil cumplir con las restricciones de pulmón izquierdo, al forzar y proteger este órgano la cobertura del PTV disminuía. Asimismo, la curva de dosis bajas (dosis del 50%) se presentó lejos del volumen blanco al principio, por lo que optó por aumentar la prioridad del anillo, lo que provocó un aumento de dosis máximas. Para evitarlo, se incrementó la prioridad a la estructura del cuerpo para disminuir el máximo puntal de dosis, pero la cobertura del PTV bajó.

Es importante conocer la optimización como un proceso de equilibrios entre prioridades de las estructuras. En los planes IMRT de mama, se procuró que la curva del 50% no apareciera muy distante del PTV, por lo tanto se colocaron estos anillos mencionados con prioridades bastantes restrictivas, siempre y cuando la cobertura del PTV cumpliera con el 95% de la dosis cubriendo el 95%-98% del Volumen Blanco.

- El Volumen de Planificación de la usuaria #8 fue contorneado muy junto al corazón por parte del especialista en Oncología, por lo que fue difícil conseguir las restricciones del corazón con una normalización, en donde el 95% de la dosis cubriera el 98% del Volumen Blanco. Se optimizó tres veces.

Para dicha usuaria se aplicó la edición de la fluencia, con la herramienta especial con la que cuenta el software de Eclipse, la cual ayuda a bajar las dosis con zonas calientes; ya que para el cumplimiento de las restricciones de RTOG 1005 se forzó un poco el caso. La acción forzar en estos casos radicó en digitar prioridades altas para los objetivos de los OARs, con el objetivo de bajar dosis en ellos, pero también se trabajó con prioridades altas en los PTVs para no perder cobertura en los mismos.

No se alcanzaron las restricciones del corazón solicitadas en el Protocolo Danés, a la hora de proceder con la planificación en 3DCRT; debido a la anatomía particular de la usuaria, pues en los cortes tomográficos se apreciaba una gran parte del corazón dentro del haz de tratamiento. Cuando se desarrolló esta usuaria con IMRT, sí se cumplieron las restricciones del corazón establecidas en el documento del RTOG 1005.

- A la usuaria #9 se le editó la fluencia para disminuir el máximo de dosis por debajo de un 110%. En algunos planes de Intensidad Modulada, los máximos de dosis son altos, pero son sitios puntuales, ya que si se analiza en el histograma el 2% de las curvas del PTV, en su mayoría se encuentran entre 104% y 105%, más bajo de lo requerido por las guías.
- La mayoría de los casos planificados en 3DCRT desplegaron dosis más bajas en la mama contralateral, obedeciendo la teoría que los estudios bibliográficos analizados. Sin embargo, con la técnica IMRT en la usuaria #12, se aprecia una disminución de la dosis en la mama contralateral, mayor a la lograda con el plan de 3D conformacional.

Una explicación de este comportamiento contrario a lo esperado, concierne al uso de cuñas, con las cuales se le obliga a la dosis viajar en dirección interna de la mama, lo que sube la radiación a órganos aledaños a estas zonas, en este caso la mama derecha.

- La usuaria #14 poseía afección en ambas mamas: Ella recibió radioterapia previa en el seno derecho; pero para efectos de esta práctica se trabajó sólo con la mama izquierda. Como es cáncer bilateral, se usó el seno derecho como el órgano de riesgo de mama contralateral para la planificación.
- La usuaria #18 permaneció con una dosis máxima alta en la mama contralateral, pero este hecho correspondió a la anatomía propia de la persona, pues se le colocó una prioridad bastante alta al objetivo de este OAR, a costa de pérdida de cobertura del PTV.
- Conforme se avanzó en la cantidad de casos ejecutados en IMRT, se agregó un objetivo superior más en el corazón y en el pulmón izquierdo. Dicho objetivo se colocó antes del porcentaje de volumen del 50% en pulmón izquierdo y en el corazón antes del volumen del 35%. El acto anterior permitió bajar la curva

de dosis bajas de dichos OARs, igualmente ayudó a disminuir la dosis media en esos órganos.

- Cuando el PTV presentaba un volumen mayor de 1000 cm<sup>3</sup>, no fueron suficientes seis campos para obtener una cobertura del PTV elevada, por lo que al agregarle un campo más (siete) ayudó a mejorar y aumentar la distribución de dosis en el Volumen Blanco. En la usuaria #20, a pesar de que el PTV no es mayor a 1000 cm<sup>3</sup>, se situaron siete campos, con el fin de cumplir la cobertura del Volumen de Planificación sin dificultad, pues la usuaria tenía un volumen extenso en la zona de la axila, el cual complicaba conseguir los objetivos.
- En usuaria #21 se editó la fluencia de dosis, porque el máximo de dosis no se logró bajar en la optimización, mediante una prioridad alta a la estructura de cuerpo (forzando el cuerpo). No se desea editar de la fluencia desde un principio en todos los casos, ya que con la manipulación del cuerpo, en teoría, se consigue bajar el máximo global de la dosis. Lo que se pretende es agilizar el proceso, evitando realizar muchos pasos en la planificación. Es importante saber que si se compromete la estructura del cuerpo, la cobertura del PTV disminuye un poco.
- Debido al tamaño pequeño del PTV contorneado en la usuaria #22, se le logró bajar bastante las dosis de radiación en el corazón y el pulmón izquierdo, conservando una buena cobertura del Volumen de Planificación. Gracias a que el tamaño del PTV contorneado es pequeño, este se ajustó dentro la mordaza del colimador X=15 cm, entonces a la hora de elaborar el plan IMRT, el planificador no seccionó el campo en dos subcampos, como pasa en la mayoría de pacientes con Volúmenes Blanco grandes.  
También, en la usuaria #23 se observó este suceso. Lo anterior es beneficioso en el LINAC, a la hora de aplicar el tratamiento, pues se presentan menos campos conformando el plan.
- En la usuaria #27, aunque el máximo dosis se presentó en un 110%, el mismo correspondió a un máximo de dosis puntual, ya que en el histograma, el 2% de la curva PTV recibía el 105% de la dosis, por lo que no es de alarmarse. Se llevó a cabo la edición fluencia, y ese máximo de dosis descendió a 108%.

Se recalca que no se deseó aplicar la edición de la fluencia en todas las usuarias, pues se alarga el proceso y ocasiona pérdida de cobertura del PTV innecesariamente.

- La usuaria #37 presentaba mastectomía en la mama derecha. Dicha usuaria se tomó en cuenta dentro de la práctica, pues también poseía afectación de la mama izquierda. Como ya sufrió enfermedad en mama derecha y fue previamente irradiada en esa zona, se enfatizó mucho en la prioridad de la estructura de la mama contralateral, con el fin de evitar el cáncer secundario inducido por radiación.
- Conforme se adquirió más experiencia, se cambió un poco la dosis detallada en la primera plantilla elaborada de cada objetivo superior. Es decir, con el puntero se desplazó cada flecha hacia la izquierda, con el fin de ir disminuyendo poco a poco las dosis de radiación en cada órgano y tejido sano circundante. La idea consistió en pedirle al sistema optimizador trabajar aún más cada estructura, aunque ya alcanzara el objetivo propuesto en los manuales, por lo que a la hora de optimizar los OARs, las flechas de cada objetivo debieron permanecer al lado izquierdo de las curvas en el histograma. Un ejemplo del tema mencionado en el párrafo previo, radicó en la optimización de la usuaria #39 con la técnica IMRT. Los objetivos superiores del pulmón izquierdo variaron bastante de cómo estaban colocados al inicio en la plantilla creada.

Se provocó una caída más exponencial de la curva dosis-volumen en el histograma. Al conseguir esa caída en el gráfico, se produjo una disminución en las dosis bajas (dosis del 50%) en la estructura de interés.

- La usuaria #42 es una excepción a lo mencionado en la mayoría de las investigaciones aludidas y a lo que sucede en la generalidad de casos planificados en esta práctica, pues las dosis son mayores en órganos contralaterales en las técnicas especiales de IMRT y VMAT y menores en los planes de 3DCRT.
- En la usuaria #45, se modificó un poco la forma del anillo (ANILLO IMRT 1 CM), debido al contorno del PTV; su forma de herradura en la parte superior del Volumen Blanco obligó a recortar de manera distinta dicho anillo, para no

forzar tanto la curva de isodosis y así no disminuir la cobertura del PTV en esa zona. El proceso descrito previamente se cometió, generalmente, en Volúmenes de Planificación contorneados más arriba de la cabeza de la clavícula.

- En la usuaria #48, al tratar de controlar la dosis del 50% con la estructura del anillo, se originó mucha pérdida de cobertura del PTV; entonces, se decidió colocar una prioridad baja al anillo, a expensas de que la curva de isodosis del 50% no recorriera justo en el borde del PTV como se deseaba en todos los planes.
- En la usuaria #50 la cobertura del Volumen Blanco se presentó baja, pues se dificultó conseguir la restricción impuesta por el RTOG 1005 del corazón ( $V_{20Gy} < 5\%$ ).
- En la usuaria #57, se coloca un campo totalmente anterior a la mama, es decir un campo directo, debido a la anatomía de la paciente. Se consideró la mejor opción para conseguir una mayor cobertura del PTV en este caso, pero no es lo más recomendado, porque corresponde un campo directo al pulmón, lo que provoca el aumento de dosis en el órgano, aunque muchas veces mejora la distribución de dosis en el plan, como en este caso.

#### **4.2.3 Arcoterapia Volumétrica**

- La usuaria #1 se normalizó, buscando que el 100% de la dosis cubriera el 77% (100%-77%) del Volumen Blanco para que la dosis media del PTV llegue a 100.1%, pues si se deja 100%-50%, la dosis media del PTV quedaba en 99.3%. Se eliminó la prioridad de la estructura del anillo (ANILLO VMAT 1 CM), para conseguir una ampliación de la cobertura del Volumen de Planificación. Al descartar el anillo, se trabajaron las dosis bajas con un NTO manual más restrictivo, para equiparar la función de la estructura del anillo. Al llevar a cabo la acción anterior, la distribución de dosis aumentó ligeramente los calientes de dosis en el PTV y las dosis bajas no sufrieron mucho cambio. Al final sí se conservó la estructura de control lateral en la optimización.

- La usuaria #2 se normalizó con el 100% de la dosis cubriendo el 75% (100%-75%) del Volumen Blanco para que la dosis media del PTV consiga un 100.1%, pues si se resigna a 100%-50%, la dosis media queda en 99.3%.  
Las primeros planes de las usuarias #1 y #2 se trabajaron con el bolus de 0 UH, sin embargo a la hora de copiar el plan y eliminar el bolus el máximo de la dosis se elevó mucho. Varios estudios bibliográficos analizados previo al inicio de la práctica, recomiendan trabajar con un bolus de -500 UH, ya que al momento de sustraerlo, arroja máximos de dosis más pequeños e igualmente la cobertura del PTV se mantiene bajo un rango aceptable, no tan alta como la que se espera, pero sí bastante buena.
- La usuaria #3 se normalizó D100%-V75%, pues de lo contrario la dosis media se presentaba en 99.3%.
- La usuaria #4 se normalizó D100%-V73%, pues de lo contrario la dosis media se presentaba en 99.3%.
- La usuaria #5 se normalizó D100%-V75%, pues de lo contrario la dosis media se presentaba en 99.3%.
- La usuaria #6 se normalizó D100%-V75%, pues de lo contrario la dosis media se presentaba en 99.5%.
- La usuaria #7 fue normalizada a D100%-V75%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.5%.
- La usuaria #8 fue normalizada a D100%-V70%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 98.9%. En el plan de 3DCRT de esta usuaria no se logró cumplir con las restricciones del corazón establecidas en el protocolo danés; cuando se realizó el plan con VMAT costó mantener una buena cobertura tratando de cumplir con las restricciones del tejido sano.
- La usuaria #9 fue normalizada a D100%-V70%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3%.
- La usuaria #10 fue normalizada a D100%-V75%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3%.
- La usuaria #11 fue normalizada a D100%-V75%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.2%.

- La usuaria #12 fue normalizada a D100%-V75%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.4%.
- La usuaria #13 fue normalizada a D100%-V78%, pues con D100%-V50% la dosis media se mostraba en 99.3%. El caso se ejecutó primero con arcos, los cuales iniciaban en 300° y terminaban en 180°, pero los órganos de riesgo no cumplían con las restricciones del RTOG 1005. Posteriormente, se prueba otro plan con arcos iniciales en 300° hasta 165°, lo que subió cobertura en PTV y disminuyó dosis en los OARs. También, ayudó a reducir las dosis en la zona posterior y lateral, cerca del músculo latísimo dorsi y serrato anterior.
- La usuaria #14 fue normalizada a D100%-V77%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3%.
- La usuaria #15 fue normalizada a D100%-V75%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.4%.
- La usuaria #16 fue normalizada a D100%-V73%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3%.
- La usuaria #17 fue normalizada a D100%-V74%, pues con D100%-V50% la dosis media se demostraba en 99.5%. En la primera planificación de VMAT elaborada, la cobertura del Volumen Blanco se mostró por debajo de la deseada; de la misma manera las dosis en el pulmón izquierdo y derecho se desplegaron elevadas. Consecutivamente, se intentó armar un plan conformado con tres arcos (con angulación de inicio en 300° hasta 180°), y luego otro plan con cuatro arcos (con angulación de inicio en 320° hasta 170°) con el fin de mejorar la geometría, lo cual se logra, pues al aumentar el número de arcos, incrementa la cantidad de puntos de control y se conforma mejor la dosis en los tejidos.
- La usuaria #18 fue normalizada a D100%-V76%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.4%.
- La usuaria #19 fue normalizada a D100%-V77%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.4%.
- La usuaria #20 fue normalizada a D100%-V76%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3%.

- La usuaria #21 fue normalizada a D100%-V70%, pues con D100%-V50% la dosis media se enseñaba en 99.2%.
- La usuaria #22 fue normalizada a D100%-V71%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3%.
- La usuaria #23 fue normalizada a D100%-V71%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3%.
- La usuaria #24 fue normalizada a D100%-V73%, pues con D100%-V50% la dosis media se exhibía en 99.2%. Primeramente, se optimizó con angulaciones iniciales de 315° hasta 180°. Inmediatamente, se decidió cambiar al arreglo de angulación inicial de 320° hasta 170°, con el objetivo de considerar un aumento en la cobertura del PTV y un encogimiento de la dosis de radiación presente en la zona lateral, cerca de la axila (por el área del músculo latísimo dorsi y serrato anterior).
- La usuaria #25 fue normalizada a D100%-V71%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.4%. La curva de dosis del 50% se desplazó hacia la franja de la axila, debido a que al objetivo del anillo (ANILLO VMAT 1 CM) se le asignó poca prioridad y se trabajó con un NTO no tan restrictivo para conseguir una cobertura del PTV ideal. En estos casos es importante obtener el criterio médico, pues el profesional debe indicar su preferencia, es decir si escoge el plan con las dosis bajas controladas y cercanas al PTV, o si opta por una cobertura del PTV alta.
- La usuaria #26 fue normalizada a D100%-V72%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.2%.
- La usuaria #27 fue normalizada a D100%-V72%, pues con D100%-V50% la dosis media se mostraba en 99.2%.
- La usuaria #28 fue normalizada a D100%-V69%, pues con D100%-V50% la dosis media se demostraba en 99.4%.
- La usuaria #29 fue normalizada a D100%-V74%, pues con D100%-V50% la dosis media se exhibía en 99.1%.
- La usuaria #30 fue normalizada a D100%-V73%, pues con D100%-V50% la dosis media se exteriorizaba en 99.2%.



- La usuaria #31 fue normalizada a D100%-V74%, pues con D100%-V50% la dosis media se enseñaba en 99.2%.
- La usuaria #32 fue normalizada a D100%-V76%, pues con D100%-V50% la dosis media se mostraba en 99.3%.
- La usuaria #33 fue normalizada a D100%-V76%, pues con D100%-V50% la dosis media se desplegaba en 99.2%.
- La usuaria #34 fue normalizada a D100%-V73%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3%.
- La usuaria #35 fue normalizada a D100%-V77%, pues con D100%-V50% la dosis media se exteriorizaba en 99.4%.
- La usuaria #36 fue normalizada a D100%-V73%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3%.
- La usuaria #37 fue normalizada a D100%-V75%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentó en 99.3%. Este caso es un ejemplo de una anatomía la cual favoreció a la obtención de una buena cobertura del PTV y un excelente control de las dosis bajas en los OARs, sin tener que forzar tanto los objetivos de las estructuras, con prioridades muy altas para cumplir con las restricciones establecidas.
- La usuaria #38 fue normalizada a D100%-V78%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.4%.
- La usuaria #39 fue normalizada a D100%-V76%, pues con D100%-V50% la dosis media se exhibía en 99.3%.
- La usuaria #40 fue normalizada a D100%-V75%, pues con D100%-V50% la dosis media se ostentaba en 99.2%.
- La usuaria #41 fue normalizada a D100%-V76%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3%.
- La usuaria #42 fue normalizada a D100%-V74%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3%. La persona usuaria posee una anatomía mamaria sin forma péndula, es decir una mama bastante firme, permitiendo el contorno del PTV muy anterior con respecto al tronco. Esta peculiaridad autorizó situar arcos con una conformación diferente al resto de casos hechos; primero se hizo un plan con la conformación habitual de arcos y luego se

realizó una planificación donde se decide acortar el ángulo de inicio y de final. No existieron diferencias significativas entre coberturas del Volumen Blanco, en el histograma, entre ambos planes. Al acortar el arco, se reflejaron: menos puntos de control, la carencia de zonas para entregar dosis y una conformación más pobre de la dosis, lo que tendió a subir las dosis en el OAR del pulmón izquierdo.

- La usuaria #43 fue normalizada a D100%-V75%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3%. Debido a la anatomía, el pulmón derecho tiende a recibir mucha radiación, incluso la dosis media entra por dicho órgano. Al colocarle prioridades altas a los objetivos superiores del pulmón contralateral, se restringió la entrada de dosis por esta zona y se redujo la fluencia de dosis, al suceder lo anterior, el optimizador buscó por dónde entregar y aumentar la fluencia, entonces optó por ingresar por el área latero inferior de la mama, donde se encuentran ubicados los músculo latísimo dorsi y el serrato anterior.
- La usuaria #44 fue normalizada a D100%-V75%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3%.
- La usuaria #45 fue normalizada a D100%-V71%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3%. Se restringió la llegada de dosis a la mama contralateral, para evitar radiación alta en ella, pero sucedió lo mismo del punto descrito anteriormente, en donde la dosis ingresó por la zona de los músculos latísimo dorsi y el serrato anterior. La curva de dosis del 50% se desplazó hacia el posterior del cuerpo.

En dicha planificación se debió forzar los objetivos de optimización, para cumplir con una cobertura aceptable del Volumen Blanco y con las restricciones en los órganos aledaños. Al copiar, pegar el nuevo plan y eliminar el bolus, el máximo de dosis tendió a subir en la planificación.

Esta usuaria es un ejemplo de un máximo global alto de dosis, pero es puntual. Es decir, esa cantidad de dosis no es significativo en el volumen total irradiado, pues ese máximo preciso es de 114%, sin embargo en la curva del PTV corresponde a un 0.002%; por lo que no hay que alarmarse. En el 2% de la

curva del PTV, se muestra una dosis mucho más baja y cumple con lo solicitado en el ICRU 83.

- La usuaria #46 fue normalizada a D100%-V73%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.2%. En la primera optimización, la cobertura del Volumen Blanco resultó muy baja, se optó por eliminar la estructura del anillo (ANILLO VMAT 1 CM), lo que conllevó a sacrificar la conformación de dosis bajas alrededor del PTV para aumentar un poco la cobertura del mismo.
- La usuaria #47 fue normalizada a D100%-V78%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.4%. Se decidió hacer dos planes dosimétricos, uno con la estructura del anillo (ANILLO VMAT 1 CM) y otro sin dicho anillo. En la pantalla de evaluación del plan, en donde se puede comparar dos casos en los mismos cortes y al mismo tiempo, se notó como esta estructura, aunque con prioridades bajas (para no rebajar mucho la cobertura), ayudó a contener las dosis del 50%. Si se comparan las curvas de los PTVs en el HDV, el PTV del plan sin anillo presenta una cobertura más alta y una caída más uniforme. Las inhomogeneidades de las curvas del PTV del plan con anillo, correspondieron precisamente la presencia de dicha figura.
- La usuaria #48 fue normalizada a D100%-V78%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3 %.
- La usuaria #49 fue normalizada a D100%-V75%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.2 %.
- La usuaria #50 fue normalizada a D100%-V76%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3 %. Se formó un arreglo distinto en la geometría de los arcos, el cual radicó en agregarle un campo más (4 arcos en total) al plan y el colimador se giró un poco más de la angulación habitual para aumentar la cobertura del Volumen Blanco. A la hora de agregar más arcos, se logró conformar mejor las dosis en el PTV, como ya se ha descrito anteriormente.
- La usuaria #51 fue normalizada a D100%-V78%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.4 %.
- La usuaria #52 fue normalizada a D100%-V73%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.2 %.

- La usuaria #53 fue normalizada a D100%-V77%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.4 %.
- La usuaria #54 fue a D100%-V78%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3 %.
- La usuaria #55 fue normalizada a D100%-V76%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3 %.
- La usuaria #56 fue normalizada a D100%-V74%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3 %.

Con varias de las usuarias no se logró incrementar la cobertura del Volumen de Planificación, a pesar de los múltiples arreglos geométricos que se llevaron, como es el caso de la usuaria #56. Muchas de estas personas obtuvieron coberturas del PTV rebajadas, donde el 95% del volumen no alcanza el 95% de la dosis. Los porcentajes mencionados previamente, no son la meta ideal, pero son aceptados dentro de las condiciones propuestas para PTV en el documento de la RTOG 1005.

- La usuaria #57 fue normalizada a D100%-V74%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3 %.
- La usuaria #58 fue normalizada a D100%-V75%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.4 %.
- La usuaria #59 fue normalizada a D100%-V74%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.3 %.
- La usuaria #60 fue normalizada a D100%-V74%, pues con D100%-V50% la dosis media se presentaba en 99.2 %.

### 4.3 Aspectos adicionales de interés

De la revisión bibliográfica llevada a cabo al principio de la práctica, se seleccionó un método “base” para planificar a las usuarias (considerado como el más efectivo, dependiendo de la anatomía y comorbilidad de la persona atendida); se trabajó en base a los pasos descritos en los apartados anteriores. Si en un momento, se determinó que uno de los aspectos “base” no beneficiaba a la persona tratada, se optó por buscar otra manera más ventajosa de realizar el caso. Entonces, en este apartado se mencionan ciertas acciones que se modificaron para la mejora de los planes de tratamiento para beneficio de cada persona usuaria, con el fin de personalizar cada planificación de acuerdo a la necesidad.

En las planificaciones dosimétricas realizadas con las técnicas especiales de intensidad modulada (IMRT y VMAT) se recalcan dichos puntos:

- En las plantillas de optimización creadas, se decidió no incluir las prioridades para los objetivos de los órganos de riesgos. La idea era que al comienzo, al abrir la página nueva y empezar la optimización, la misma se efectuara sólo con prioridades en los objetivos del PTV. Una vez lograda la cobertura solicitada; se colocaron poco a poco prioridades a cada OAR y se aumentaban o disminuían, conforme fuera requerido.
- Se pulió el caso lo mejor posible, repitiendo el proceso de optimización de dos a tres veces máximo, y si un órgano cercano no cumplía con alguna restricción se debió valorar dicha situación con el especialista en Oncología, con el fin de que el mismo escogiera si bajar cobertura del PTV, con la intención de forzar el optimizador y hacer que los OARs cumplan la restricciones, o conservar una distribución alta de la dosis en el Volumen Blanco, sin darle mucho énfasis a los tejidos aledaños.

Se enfatiza en la cantidad máxima de optimizaciones desarrolladas por usuaria, con la idea de que los casos fueran comparables, por lo que no se debió trabajar y/o forzar demasiado cada uno. Sin embargo, si se ameritaba personalizar y detallar la planificación, es bastante justificable realizarlo, pues la mama posee una anatomía muy cambiante de una usuaria a otra en

comparación con otras estructuras del cuerpo humano, por lo que el proceso se debe realizar con cuidado y detenimiento.

- En ciertas optimizaciones se eliminaron varios objetivos superiores de los OARs presentes en la lista de optimización, pues la dosis en esas zonas eran tan bajas (cerca de cero o nulas) que no fue necesario trabajarlas.
- La restricción de la mama contralateral del RTOG 1005, en la mayoría de ocasiones no se cumplió. La variación de las dosis máximas en este OAR dependió mucho del contorno del PTV por parte de cada oncólogo radioterápico, es decir qué tan extenso forjó este volumen respecto línea media del cuerpo (hacia el esternón de la usuaria).

Asimismo, hablando con especialistas en Física Médica pertenecientes al Servicio de Radioterapia del Hospital Madre Dios, en Brasil, se conoció la disconformidad con esta restricción de la mama contralateral (dosis máxima: 2.64 Gy), pues es un número muy limitado y difícil de lograr.

- Los valores de las tablas se mostraron un poco distintos a los planteados inicialmente en las plantillas propuestas. Cada ajuste manual de los objetivos superiores de las estructuras incluidas en la optimización, dependió mucho de la diferencia anatómica tan marcada de las glándulas mamarias entre una persona y otra; de esta manera se definió qué tan fácil se le iba a hacer al optimizador conseguir las metas propuestas.
- En muchas ocasiones, en los casos de IMRT, la restricción de pulmón contralateral fue tan baja que se trabajó con dosis máximas recibidas por dicho órgano, y no con la restricción estipulada en el documento del RTOG 1005 ( $V4Gy < 15\%$ ), pues dicho OAR ni siquiera alcanzó los 400 cGy.
- Para los casos planificados con el método VMAT, se decidió forzar los objetivos inferiores del PTV, ya que se optó por utilizar un bolus con densidades de Unidades Hounsfield más bajas que el agua (-500), con la idea de que el planificador captara el bolus como tejido, para elaborar la fuga; igualmente, se consideró importante cuidar la zona irradiada fuera del cuerpo (para conformar la fuga), pues no es lo mejor el depósito de altas dosis de radiación en esa franja, para evitar los máximos de dosis a la hora de remover el bolus. Si se empleara el bolus de 0 UH la cobertura sería mayor, pues se

trabajaría con un tejido muy equivalente al tejido blando, pero al eliminar ese bolus (con más UH) en el nuevo plan, los máximos de dosis serían mucho mayores.

- En la Planificación de Intensidad Modulada, en muchas ocasiones, se emplearon las energías de 6 y 10 MV, así se requiriera. En cambio en los planes VMAT con recurrir a la energía de 6 MV bastó, no fue necesario la de 10 MV, porque al aprovechar tres medios arcos (en veces cuatro), existieron muchos más puntos de control de dosis, lo cual permitió una óptima conformación del haz.

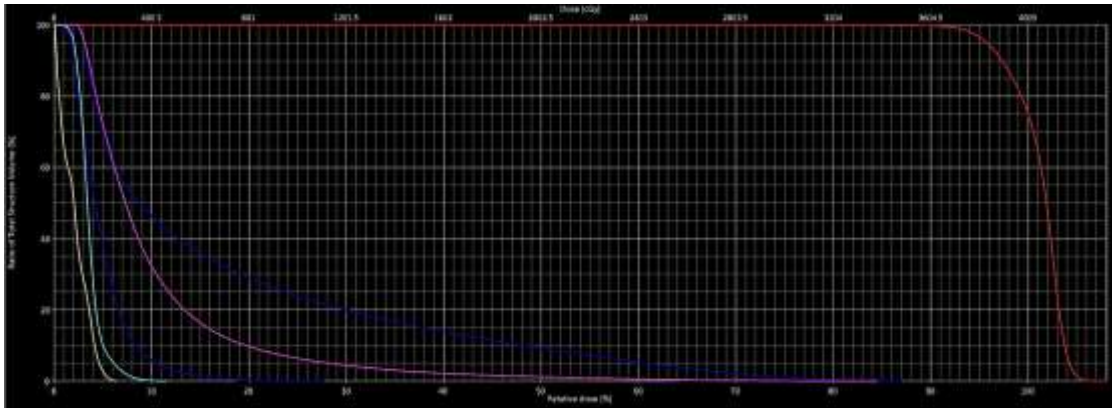
De hecho, cada arco, usualmente se conformó con más de 180 grados, pues se optó por agregar, aproximadamente, 30 grados más a cada uno. La mayoría de los arcos de las planificaciones con el método VMAT tenían angulaciones iniciales entre 290 y 320 grados y terminaban entre 160 y 180 grados.

- En cualquiera de las técnicas de planificación trabajadas, se pudo aprovechar cualquier tipo de normalización, siempre y cuando permitiera la caída de la curva del PTV en el histograma de forma correcta y cumpliendo con los parámetros solicitados por los diferentes estudios bibliográficos y protocolos.

A continuación se dará una muestra de lo mencionado anteriormente.

El siguiente caso corresponde a la planificación elaborada con el método VMAT de la usuaria #10. En esta imagen se muestra cómo se vería un el PTV de un plan normalizado al 100% de la dosis cubriendo el 75% del Volumen Blanco.

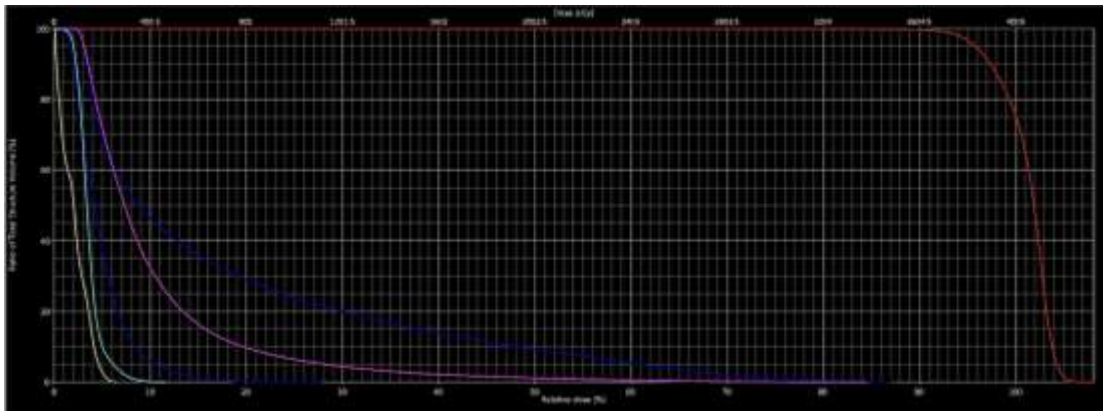
Figura 11. Normalización al 100% de la dosis cubra el 75% del volumen blanco.



Fuente: Eclipse 13.6

En el siguiente plan se optó por normalizar el PTV al 95% de la dosis cubriendo el 96.7% del volumen blanco.

Figura 12. Normalización al 95% de la dosis cubra el 96.7% del volumen blanco.



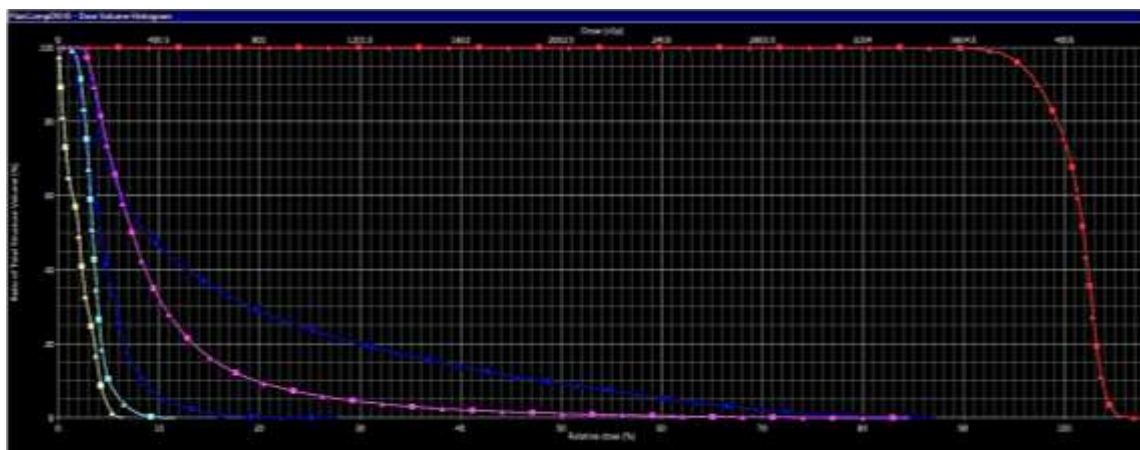
Fuente: Eclipse 13.6

Ahora, se muestra una comparación de los histogramas uno sobre otro, con el fin de demostrar que las dos maneras de normalizar son correctas y brindan exactamente el mismo resultado. La línea de triángulos corresponde al plan normalizado al 100% de dosis cubriendo el 75% del volumen, y perfil de cuadros es el normalizado al 95% de dosis cubriendo el 96.7% del volumen. Se observan las líneas una sobre la otra, tanto para los PTVs, como para los OARs; asimismo, para poner un ejemplo, es posible observar como los valores numéricos encerrados en el cuadro verde (dosis



mínima, dosis máxima, dosis media, Índice de Conformidad, entre otros) del volumen blanco son casi iguales.

Figura 13. Comparación de histogramas.



Show CMI	Structure	Approval Status	Plan	Course	Volume (cm <sup>3</sup> )	Dose Cover (%)	Sampling Cover (%)
	PTV_ML_40.85_OPT	No aprobado	VMAT100-0	VMAT CML		70.9	100.0
	PTV_ML_40.85_OPT	No aprobado	VMAT100-0	VMAT CML		70.9	100.0

Min Dose (%)	Max Dose (%)	Mean Dose (%)	Conformity Index
76.2	108.1	101.2	0.77
76.1	108.1	101.2	0.77

Fuente: Eclipse 13.6

## 4.4 Discusión

Por mes, el número de pacientes con cáncer de seno izquierdo no se mantiene estático, pues se debe tomar en cuenta que pueden llegar tanto afecciones de mama derecha como de mama izquierda; asimismo, acuden enfermedades en estadio temprano, las cuales sólo requieren tratamiento de la glándula mamaria, también concurren padecimientos mamarios con afección en ganglios linfáticos supraclaviculares y axilares, situación en la cual se necesita un tratamiento diferente y más extendido (42). Entonces, el número de usuarios que asistieron por mes simplemente tendió a variar sin poder asignar causa alguna.

Se lograron efectuar las tres planificaciones dosimétricas (3DCRT, IMRT, VMAT) a sesenta casos de usuarias, trabajadas en posición supino, con la rampa de mama indicada y con las energías disponibles. Existen condiciones presentes en la mujer las cuales permitieron o impidieron trabajar con los factores indicados anteriormente y por lo tanto, en algunas ocasiones fue imposible desarrollar las técnicas dosimétricas de interés.

Para esta práctica se tomaron en consideración dos aspectos para poder planificar la glándula mamaria izquierda con las tres técnicas de planificación: el volumen del seno y la separación en centímetros entre el esternón (línea media) y el límite más lateral de la mama. Con las mamas de volúmenes menores a 1000 cm<sup>3</sup> y una separación menor a 23 cm, generalmente se lograron coberturas más altas en el PTV de una forma más sencilla. Los senos con un volumen mayor a 1000cm<sup>3</sup> y una separación menor a 23 cm, la cobertura del PTV tiende a ser menor y se dificulta un poco más alcanzar las restricciones en los OARs.

En algunas instituciones, las féminas con mama grandes son tratadas con fotones de alta energía para lograr una buena distribución de dosis (83). Cuando la separación es mayor a 23 cm se aconseja utilizar energía de 18 MV o energías combinadas (6-18 MV) (84). La utilización de fotones con energías mayores a 10 MV se ejerce para disminuir los puntos calientes en mamas grandes y las dosis mayores al 100% de la dosis prescrita, con la desventaja el subdosaje en el tejido subcutáneo cercano a la superficie, en la región de build up (85).

El estudio de Kirby et al (86), señala que las mujeres con mamas de volúmenes mayores a 1000 cm<sup>3</sup>, reciben menos dosis a corazón si se realiza con otro tipo de método, como por ejemplo la técnica en posición prono. Estudios recomiendan la posición prono en pacientes con mamas péndulas, pues se reduce la dosis en pulmón contralateral y el ipsilateral y además, mejora la homogeneidad de la dosis a pesar del tamaño de la mama. La desventaja de la técnica prono consiste en que no se puede irradiar nódulos regionales con un campo adicional por la dificultad de machear los campos. Por lo tanto, la posición prono beneficia a mujeres con mamas grandes las cuales poseen enfermedad pulmonar o cardíaca (87).

Esta práctica se trabajó en los aceleradores lineales con energías de 6 MV y máximo 10 MV, pues son aquellos los cuales permiten crear los tratamientos de Intensidad Modulada. Entonces, las usuarias con mamas muy grandes fueron enviadas a los otros LINAC, equipados con haces de energías de 18 MV.

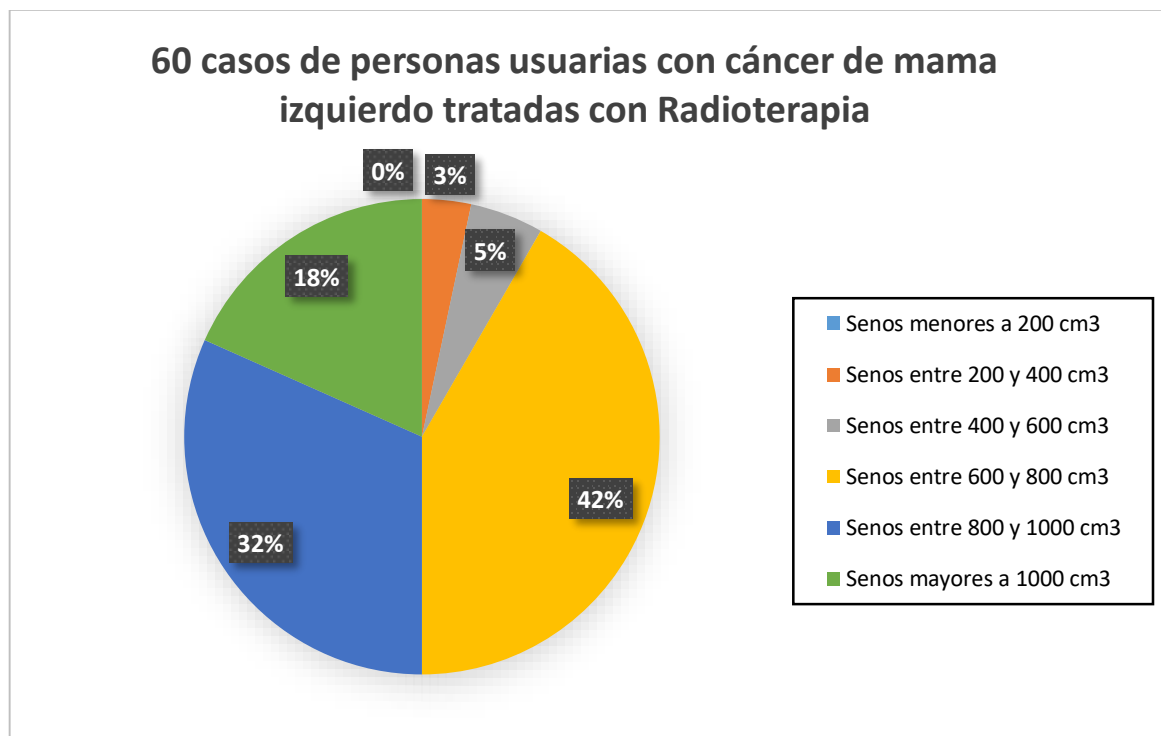
A la hora de realizar cada caso con las tres técnicas de planificación dosimétrica, se logra observar los beneficios y perjuicios de cada una de ellas, dependiendo de la anatomía de la persona tratada y de la forma de contorno del Volumen de Planificación por parte del especialista en Medicina.

Se ha observado que la técnica IMRT favorece aún más en disminuir dosis en órganos de riesgo y en mejorar cobertura del PTV, en personas con tratamiento de paredes costales (mastectomizadas). Igualmente, la IMRT se maneja para disminuir dosis en el pulmón ipsilateral o corazón cuando los nódulos mamarios internos se incluyen en el tratamiento. El beneficio no es tan notorio en personas usuarias con procedimientos de mamas completas o con operaciones muy pequeñas.

En la tabla donde se impregnaron los resultados de la sistematización de experiencias de Planificación Dosimétrica: parámetros dosimétricos de evaluación para PTV (ejemplificado en el anexo 8), una de las columnas muestra el volumen en centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>) de la mama izquierda a tratar; lo anterior se logra gracias a la herramienta del TPS, en donde en la opción de propiedades despliega el tamaño de las estructuras contorneadas. Se elaboró una figura de estadística descriptiva, la cual ayudó a describir fácilmente la población de los casos de las usuarias trabajadas. Se enfatiza en las características volumétricas de las mamas en estas mujeres, con la

intención dar un panorama aproximado del tamaño promedio de los senos de las usuarias que acuden al Centro Radioterápico público del país. Lo anterior brinda una idea de cuales son los tamaños de mamas más comunes y entonces cuáles serían las técnicas dosimétricas idóneas para tratar cada usuaria.

*Figura 14. Porcentaje de casos de usuarias trabajados en relación a su volumen mamario en centímetros cúbicos.*



Fuente: Elaboración Propia

Del gráfico anterior, es posible apreciar que existe una mayor cantidad de usuarias con glándulas mamarias entre tamaños de 600 y 800 centímetros cúbicos, parámetro seguido por las mujeres con mamas entre 800 y 1000 cm<sup>3</sup>; demostrando que la disposición del seno de la mujer costarricense a tiende a ser mediano- grande. En cambio, se nota la llegada casi nula de personas usuarias con mamas muy pequeñas al Servicio. La evidencia representada señala la importancia de la existencia de las técnicas dosimétricas especiales, las cuales permiten distribuir las dosis de

tratamiento en zonas profundas y de difícil acceso, como se nombra en los párrafos previos.

Respecto a lo trabajado en la Planificación de las tres técnicas dosimétricas en relación a lo indicado en la bibliografía consultada se logra resaltar lo siguiente:

Gursel et al. (74) mencionan sistemas de experiencias similares a las obtenidas en esta práctica con la planificación de 3D Conformacional; indican que las dosis máximas alcanzadas se encontraban entre el 105% y el 110% de la dosis de prescripción, porcentajes parecidos a los obtenidos en la mayoría de planes elaborados en este trabajo. También señalan las reducciones de dosis bajas y medias en pulmón derecho (contralateral) con la técnica 3DCRT, efectivamente sucedió lo mismo en la práctica, salvo en unas muy pocas excepciones.

Entonces, fue posible observar que la técnica 3DCRT brinda dosis confinadas en el campo de radiación y menos regiones de dosis bajas en el cuerpo, así como lo detallan Tsai et al. (79) en su trabajo.

Para las planificaciones conformacionales, la distribución de dosis empeoró si se incrementaba el tamaño de la mama y la separación de la misma, como lo indica el estudio mencionado anteriormente (79). Es ahí donde entran las técnicas de Intensidad Modulada o el tratamiento en posición prono, las cuales brindan mucho mejores resultados dosimétricos tanto en el Volumen de Planificación como en órganos de riesgo.

Incluso, el artículo de Das et al (83) menciona múltiples investigaciones donde aseguran que la técnica de Intensidad Modulada con baja energías logra cubrir dichos Volúmenes Blanco de gran tamaño, de forma adecuada. Asimismo, indican los beneficios de la técnica de Protonterapia para tratamiento de mamas, sin embargo no se cuenta con esa tecnología en el país.

En la técnica IMRT se alcanzaron zonas de dosis máximas y mínimas menores, así como sucedió en la evaluación de Liu et al. (88). En la práctica supervisada fue posible lograr una buena distribución de la dosis de radiación y uniformidad en el PTV. De igual forma, este método de Intensidad Modulada permitió que la dosis media del Volumen Blanco se encontrara cerca de la prescripción médica.

En este trabajo dirigido, se utilizaron aproximadamente seis campos para la construcción de las planificaciones de IMRT. El estudio de Popescu et al. (89) recomienda entre siete y once campos, para una mayor conformación de dosis en el PTV, sin embargo, se sabe que entre más campos incidentes, mayores dosis bajas en tejido sano.

Con el procedimiento de Arcoterapia Volumétrica se muestra una cobertura suficiente del tumor, además se observan mejoras en la dosimetría y la disminución de puntos calientes fuera del PTV; lo mismo acontece en la lectura de Tsai et al. (79)

Liu et al. (88) señalan:” la técnica VMAT reduce el tiempo de tratamiento y la cantidad de unidades monitor en comparación del IMRT, sin reducir la distribución de dosis, lo que mejora los efectos biológicos en la entrega de tratamiento. Pues un número de UM reducido, mediante la disminución del número de líneas dispersas del colimador de la cabeza del acelerador, evita el riesgo de cáncer secundario”.

En la publicación de Tyran et al. (81) se comparan planes VMAT elaborados con bolus y aquellos hechos sin bolus y recalcan un mejor Índice de Conformidad y de Homogeneidad con los casos desarrollados con bolus.

Tanto con la técnica de IMRT como con la VMAT, se logra reducir las dosis máximas en el pulmón izquierdo, igual acontece en artículo de Liu et al (88). En cambio, con los casos de 3DCRT las dosis a órganos ipsilaterales se presentaron mayores, justo como menciona Bogue et al. (90).

Existe gran cantidad de estudios bibliográficos los cuales respaldan la disminución de dosis con VMAT más que con IMRT. Lo mencionado previamente se cumple dependiendo de la anatomía y fisiología de la paciente y del contorno del Volumen Blanco, lo que contribuye o no a condiciones las cuales permitan una buena cobertura de PTV y dosis bajas en OARs.

Tal y como lo menciona el artículo de Marquez et al. (91), con las técnicas especiales de VMAT e IMRT los órganos contralaterales reciben más dosis. Los siguientes documentos exponen la presencia de dosis medias altas en tejido contralateral: (75), (80), (82), (88), (89), (90), (92). Pero si se desea disminuir dosis a la mama contralateral, por ejemplo, es posible colocar objetivos adicionales y prioridades altas

para lograr dicho fin, aunque se disminuya cobertura en el blanco o aumente zonas de calientes de dosis en los planes (93). Es decir, en la optimización es posible enfocarse en una estructura en específica, la cual sea la de mayor interés.

El ICRU 83 señala una mejor homogeneidad de la dosis en el blanco con IMRT que con terapia 3D convencional, pequeñas regiones de dosis heterogéneas pueden desarrollarse dentro del Volumen Blanco con Intensidad Modulada. El ICRU previo recomendaba que la dosis absorbida por el PTV debía estar confinada entre el 95% y el 107% de la dosis prescrita; con las técnicas de Intensidad de Modulada, dichas restricciones no se logran cumplir, cuando se le da prioridad al tejido sano sobre la homogeneidad en el Volumen Blanco. Es decir, en el momento en que se tratan de evitar ciertos OARs se convierte más importante el tejido sano que la homogeneidad y la conformidad de la dosis en el PTV.

En los histogramas se aprecia que el Índice de Homogeneidad en todas las planificaciones se presentó cercano o muy próximo a cero, tal y como lo sugiere el ICRU 83 (49), lo que demostró la distribución de la dosis absorbida es casi homogénea.

En la columna del Índice de Conformidad, se debe valorar cifras numéricas cercanas a uno, lo cual demuestra un Volumen de Planificación contenido perfectamente en el Volumen Tratado. En todos los casos, el IC se mantuvo muy cercano a uno. En algunas planificaciones de IMRT se conservó más cercano a uno, que en otros planes de 3DCRT.

Como se indica en el párrafo anterior, el Índice Conformidad y de Homogeneidad pueden presentarse peores en planes de Intensidad Modulada, en donde se supondría que deberían resultar mejores; como es el caso donde se fuerza la planificación para el cumplimiento de las restricciones por parte de los órganos de riesgo o se exigen curvas de dosis del 50% cercanas al PTV, mediante estructuras accesorias como los anillos.

En el estudio de Fogliata et al (93), señalan la variación en la homogeneidad y las diferencias en la conformación de las dosis, así como en los baños de dosis, dependiendo de las planificaciones

#### 4.4.1 Facilidades

- Muchos de los profesionales estuvieron anuentes a ayudar en todo el proceso de la Práctica Dirigida, si en algún momento surgieron dudas o necesidades en la practicante. Especialistas en Imagenología, en Física Médica y en Medicina, con vasta experiencia en procesos de Radioterapia, contribuyeron al fortalecimiento de los conocimientos y habilidades adquiridas durante esta etapa, con el fin de que la estudiante adquiriera las bases suficientes y el criterio necesario para realizar los procesos de Simulación Virtual y Planificación Dosimétrica de manera efectiva, segura y oportuna.
- Para efectos de esta práctica se planificaron sólo pacientes con afección de mama izquierda en estadio temprano, por lo que el tratamiento radioterápico consistía en irradiación del seno, sin campos supraclaviculares o con ganglios linfáticos de la mamaria interna. Es considerable señalar que la realización de los casos para este trabajo fueron un poco más sencillos al irradiar únicamente la mama, pues sería más complicados con la construcción de planificaciones de campos más grandes, los cuales abarcaban más órganos de riesgo.

#### 4.4.2 Dificultades

- Posterior a la Simulación de cada usuaria, se le contorneaban los OARs y el profesional Oncológico procedía a realizarle el PTV. Una vez lista dicha estructura, fue posible conocer el volumen de la mama a tratar, entonces dependiendo de dicho volumen mamario se conoció si era posible incluir la usuaria dentro de las pacientes planificadas con las tres técnicas de interés en esta práctica.
- En el Servicio de Radioterapia del Hospital México, la aplicación de la técnica dosimétrica VMAT en mama es muy reciente; la cantidad de usuarias desarrolladas ha sido poca. Apenas se está explorando las diferentes formas de llevar a cabo dicho método de tratamiento. Por lo tanto, el personal conector de los procedimientos para elaborar este tratamiento eran sólo dos físicos médicos. Además, cabe mencionar que ningún profesional Dosimétrico del Servicio tiene nociones del proceso del VMAT en cáncer de seno.



Entonces se efectúa una indagación exhaustiva en artículos científicos, libros, páginas web de hospitales internacionales donde han practicado la Arcoterapia Volumétrica por más tiempo. Asimismo, se contactó a especialistas brasileños en Física Médica (pertenecientes al Servicio de Radioterapia del Hospital Madre de Dios, en Brasil), los cuales son expertos en elaboración de esta técnica dosimétrica en sus países. Una vez obtenidos los datos importantes, se probaron distintas formas de llevar a cabo esta técnica dosimétrica, dependiendo del tipo de anatomía de cada persona y del software con el que cuenta el Servicio de este nosocomio.

- Todo el procedimiento en sí para construir un VMAT es más complejo y conlleva más cantidad de etapas en comparación a los otros dos métodos dosimétricos; se puede afirmar que la optimización del VMAT demora más tiempo que la de IMRT, debido a esto, se opta por optimizar de dos a tres veces (la menor cantidad de veces posible) por usuario para afinar detalles no conseguidos en las primeras optimizaciones.

## **CAPÍTULO V. GUÍA DE PLANIFICACIÓN DE TRATAMIENTOS CON TÉCNICAS ESPECIALES PARA EL CÁNCER DE MAMA**

### **5.1 Prólogo**

El presente documento es una guía práctica que puede ser utilizado por un Servicio de Radioterapia para planificar tratamientos con técnicas dosimétricas de Intensidad Modulada.

Está basada en un exhaustivo análisis bibliográfico sobre las diversas metodologías que se utilizan internacionalmente para elaborar planes dosimétricos con el fin de tratar el cáncer de mama. Los estudios se hallaron gracias a indagaciones por vía de internet, se buscó propiamente en páginas de editoriales y publicaciones inequívocos. También, se consultó en las bibliotecas de la Universidad de Costa Rica, de la Sede Rodrigo Facio, las cuales brindaron gran cantidad de textos que enriquecieron la práctica. Se les solicitó a algunos profesionales pertenecientes al Servicio de Radioterapia del Hospital México, escritos y notas que con datos importantes adquiridos a través del tiempo.

Fueron facilitados los documentos impresos, almacenados en los estantes del Servicio de Radioterapia del Hospital México, los cuales contemplaban protocolos antiguos y vigentes del mismo Servicio, publicaciones de investigaciones internacionales bibliográficas, libros de textos afines al tratamiento con radiaciones ionizantes (aspectos físicos, radiobiológicos, clínicos, entre otros).

A partir de dicho análisis, se extrajo ideas para elegir la geometría de irradiación más adecuada para la construcción del plan de cada usuaria. Asimismo, se consultó con especialistas en física médica los cuales laboran en el Centro de Radioterapia del Hospital Madre de Dios, en Brasil: dichos profesionales poseen una basta experiencia en la aplicación de IMRT y VMAT en sus usuarios, por lo que se consideró de utilidad sus recomendaciones.

La guía consta de cinco capítulos. El capítulo I consta del fundamento teórico del documento donde se describe las diferentes metodologías que se pueden emplear en

un servicio para elaborar planificaciones dosimétricas de Intensidad Modulada para tratamiento de cáncer de mama; el capítulo II refiere el objetivo, alcance y responsabilidades. El capítulo III, se cuenta los procedimientos e instrucciones de la guía. El capítulo IV, muestra las plantillas elaboradas para la optimización con las técnicas dosimétricas IMRT y VMAT, para el tratamiento de cáncer de mama izquierda. El último capítulo, da una breve reseña de las diapositivas que componen el *Powerpoint* construido con la revisión bibliográfica exhaustiva llevada a cabo durante todo el proceso de la práctica dirigida.

## 5.2 Glosario de siglas

3D: 3 Dimensiones.

DBCG: *Danish Breast Cancer Cooperative Group* (Grupo Cooperativo Danés Contra el Cáncer de Mama).

ICRU: *International Commission on Radiation Units and Measurements* (Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación).

IGRT: Radioterapia Guiada por Imagen.

IMRT: Radioterapia de Intensidad Modulada.

LINAC: Acelerador Lineal.

NTO: *Normal Tissue Optimizacion* (Objetivo Normal de Optimización)

OARs: Órganos de Riesgo.

PTV: Volumen Blanco de Planificación.

QUANTEC: *Quantitative Analysis of Normal Tissue Effects in the Clinic* (Análisis Cuantitativo de los Efectos Clínicos en Tejido Normal).

RTOG: *Radiation Therapy Oncology Group* (Grupo de Oncología de Radioterapia).

TPS: *Treatment Planning System* (Sistema de Planificación de Tratamiento).

VMAT: Arcoterapia Volumétrica.

### 5.3 Capítulo I

La radioterapia constituye a una de las modalidades de tratamiento médico más utilizadas en los padecimientos oncológicos, pues busca un buen control de la enfermedad y también pretende reducir las recurrencias locales del carcinoma (36). Por lo que se puede decir que en la lucha con el cáncer de mama, la radiación ha tenido un rol importante.

Con el paso del tiempo la radioterapia ha evolucionado rápidamente, pues han surgido equipos tecnológicos como los aceleradores lineales (LINAC) (39). Asimismo, se han incorporado sistemas de obtención de imágenes radiológicas, las cuales permiten el correcto posicionamiento de la persona usuaria durante todas las sesiones de tratamiento. Gracias a la invención de mecanismos tan precisos de IGRT, han surgido técnicas modernas de Planificación Dosimétrica, como son las de Intensidad Modulada (IMRT) y Arcoterapia Volumétrica (VMAT) (40).

En un centro radioterápico es fundamental conocer cómo se desarrolla el flujo de trabajo, para garantizar eficiencia y seguridad en los tratamientos (36). Primeramente, la usuaria es valorada por el profesional en Medicina, el mismo decide si es de utilidad o no el procedimiento con radiaciones ionizantes (66). El proceso de radioterapia inicia con la etapa de Simulación Virtual, la cual consiste en adquirir imágenes clínicas de la persona para elaborar y trabajar sobre ellas el tratamiento. Generalmente se adquieren mediante tomógrafos computarizados, resonancia magnética, tomografía por emisión de positrones, entre otros (67).

Una vez que el estudio imagenológico es adquirido, se envía a la red y en el área de Dosimetría Clínica, se procede a contornear los órganos de riesgo aledaños a la zona tumoral. Posteriormente, se transfiere la información al especialista en Oncología, para que delimite el tumor grueso. El mismo funcionario establece la prescripción dosimétrica (66).

El caso vuelve a Dosimetría Clínica, donde se desarrolla la planificación dosimétrica. Se selecciona la técnica, las angulaciones del LINAC, energía de irradiación y otros aspectos geométricos. Seguidamente, el profesional de Física Médica vela por la

calidad del plan elaborado, con el fin de mostrarle al especialista oncológico el caso terminado y así lo valore y brinde su criterio (5).

El tratamiento se lleva a cabo en los aceleradores lineales, en donde los tecnólogos constantemente deben tomar radiografías para verificar la reproducibilidad diaria del procedimiento (5). Es fundamental, la presencia de profesionales en Imagenología, Medicina, Física Médica, Enfermería, entre otros, durante la evolución de tratamiento, con el fin de evaluar la respuesta clínica de cada persona a las radiaciones ionizantes (67).

En el paso de la Planificación Dosimétrica, es de suma importancia irradiar la tumoración con la dosis indicada, resguardando los órganos de riesgo (OARs) (5). La selección de la técnica de radiación depende, entonces, de la anatomía de la persona y las características de la tumoración.

La planificación en 3 Dimensiones (3DCRT), es una táctica directa, pues el dosimetrista elige los parámetros (número de haces, ángulo de incidencia del gantry, energía, entre otros) previo al cálculo de dosis (52). Se trabaja con dos haces tangenciales opuestos con una angulación de entrada del haz colocada de manera tal que se irradie lo menos posible los órganos ipsilaterales y contralaterales (5).

Las técnicas dosimétricas más recientes poseen gran cantidad de ventajas sobre los métodos de 3DCRT, en lo cuanto a la distribución de dosis en la zona tumoral (94). La radioterapia de Intensidad Modulada corresponde a un proceso de planificación inversa, pues los objetivos son especificados en el optimizador y el sistema realiza la mejor solución matemática para lograr los resultados óptimos. La IMRT trabaja con múltiples campos pequeños, los cuales generan gradientes de dosis no homogéneos dentro de un mismo volumen, lo que permite crear distribuciones de dosis muy conformadas al sitio blanco (49). La investigación de Jin et al (56), señala la IMRT como una tecnología capaz de reducir dosis en tejidos circundantes, manteniendo una buena cobertura en el PTV y un buen Índice de Homogeneidad en el mismo.

La Arcoterapia Volumétrica, trabaja con el mismo principio que la IMRT. El VMAT distribuye la dosis de forma precisa mediante la rotación 360 grados realizada por el

LINAC (22). Dicho arco posee gran cantidad de puntos de control, lo cual permite una entrega constante de dosis, una conformación mayor al Volumen de Planificación y una delimitación adecuada de radiación en los tejidos sanos aledaños (57).

La información obtenida de cada plan se sustrae del histograma, ofrecido por el Sistema de Planificación (TPS), el cual consiste en un gráfico donde se compara la dosis en función al porcentaje del volumen (65). Se deben de revisar valores como: dosis máxima, dosis del 2% del volumen, dosis mediana, dosis media, dosis mínima, dosis del 98% del volumen, Índice de Homogeneidad, Índice de Conformidad, dosis en órganos de riesgo, entre otros datos.

Según ASTRO (Sociedad Americana para Radiación Oncológica), 2018 (21) se recomienda para la planificación del tratamiento del usuario con tumoración de mama (sin irradiación de nódulos regionales), la técnica de radioterapia 3D Conformada, campo en campo, para lograr la homogeneidad de dosis y cobertura total de pared de mama.

Según Muralidhar et al, 2015 (25), la técnica VMAT ocasiona una exposición larga a la radiación al pulmón, corazón y medula respecto a IMRT. Por tanto, se decide hacer énfasis en técnica especial IMRT para el usuario con cáncer de mama de anatomía atípica o cuando las restricciones de los órganos adyacentes no son satisfactorias.

## **5.4 Capítulo II**

### **5.4.1 Objetivo**

Estandarizar los procedimientos de Planificación de los tratamientos en Radioterapia, para la atención al usuario con cáncer de mama.

### **5.4.2 Alcance**

La guía será aprovechada por el personal de Dosimetría Clínica y Física Médica del Servicio de Radioterapia del Hospital México.

### **5.4.3 Responsabilidades**

El documento establece los lineamientos para la Planificación de casos de cáncer de mama izquierda; contiene información relevante de algunos aspectos físicos asociados con la Planificación Dosimétrica y el tratamiento.

Se hace referencia a protocolos internacionales importantes de conocer por el personal de Dosimetría y Física, como lo son: QUANTEC (*The Quantitative Analysis of Normal Tissue Effects in the Clinic*, por sus siglas en inglés) (95), RTOG (*Radiation Therapy Oncology Group*, por sus siglas en inglés) 1005 (48), ICRU (*International Commission on Radiation Units and Measurements*, por sus siglas en inglés) 62 (44), ICRU 83 (49), DBCG (*Danish Breast Cancer Cooperative Group*, por sus siglas en inglés) (51), TPS (*Treatment Planning System*, por sus siglas en inglés) Eclipse (55), entre muchos otros.



## **5.5 Capítulo III**

### **5.5.1 Procedimientos e instrucciones de la Guía**

La siguiente es una guía para la elaboración de la Planificación Dosimétrica VMAT de los usuarios con cáncer de mama, cuando no se cumplen las restricciones del esquema hipofraccionado, dispuesto por el Grupo Cooperativo Danés contra el Cáncer de Mama y las limitaciones del esquema normofraccionado del estudio del QUANTEC, ambos estudios obedecen a planificaciones en 3D Conformacional. Entonces, para la elaboración de planificaciones con métodos especiales de Intensidad Modulada se toma como referencia el protocolo clínico hipofraccionado del Grupo Oncológico de Radiación Terapéutica RTOG 1005.

Se establece en este documento la metodología para: la Simulación Virtual, la Planificación Dosimétrica (la optimización, la normalización y verificación de tratamiento) para usuarios con cáncer de mama.

#### **5.5.1.1 Simulación Virtual**

El principal objetivo de esta etapa es suministrar referencias (marcas, tatuajes) que sirvan como guías para conseguir una perfecta reproducibilidad, a la hora de la colocación de la persona en la camilla, todos los días (5).

Dentro del proceso de Simulación se deben utilizar dispositivos de inmovilización adecuados para conseguir el menor movimiento posible por parte de la usuaria. Los inmovilizadores buscan reproducir la colocación de la persona lo más parecido posible desde la Simulación hasta el final del tratamiento. En el caso de lesiones mamarias, se usa una rampa de plano inclinado. El objetivo de este aparato es ubicar la superficie del tórax lo más paralela posible a la camilla, dicha posición ayuda a elevar la mama cranealmente, mejora la simetría y puede disminuir la dosis a corazón (5).

Se coloca a la persona en posición supina con los brazos arriba de la cabeza. La cabeza se acomoda girándola al lado contrario de la mama a tratar, para evitar la

afectación del esófago y mandíbula. Posteriormente, se lleva a cabo el escáner, luego se traslada la información del tomógrafo computarizado al Sistema de Planificación del tratamiento. A la hora de posicionar adecuadamente a la usuaria, se deben llenar: la hoja de configuración de la rampa de mama; asimismo, la hoja de datos de simulación por TC.

*Figura 15. Rampa de mama del Servicio de Radioterapia del Hospital México.*



Fuente: elaboración propia.

Se recomiendan emplear los parámetros señalados en la tabla en el TC Simulador

*Tabla 11. Parámetros geométricos establecidos en el TC para Simulación Virtual.*

<b>Topograma</b>	S350-I400 Cuello y tórax, desde la base de cráneo hasta el borde mamario inferior (abarcando toda la mama) más un margen de 5 cm
<b>kV</b>	120
<b>mAs</b>	300
<b>Pitch</b>	1.2
<b>Field of View (FOV)</b>	65
<b>Medio de contraste</b>	No
<b>Espesor de corte</b>	5 mm

<b>Espacio entre cortes</b>	5mm
<b>Límites de estudio de TC (barrido)</b>	Límite superior: 4 cm por encima del hueso hioides. Limite inferior: 10 cm caudal del borde inferior de la mama o 10 cm caudal del borde caudal de la apófisis xifoides.

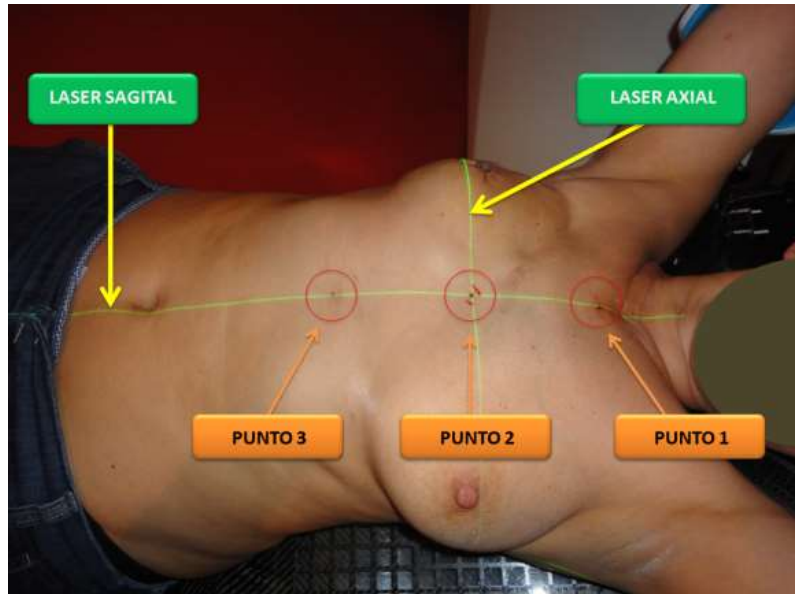
Fuente: Servicio de Radioterapia, Hospital México.

La señalización del sistema de coordenadas y los puntos de referencia (bbs) del usuario sobre su anatomía se realizará de la siguiente forma:

- Determinación del corte cero en la persona usuaria.
- Se coloca el láser cefálico sagital sobre la línea media sagital corporal.
- Se busca la escotadura supraesternal y se coloca el bb N°1 en ese punto.
- Se desplaza la camilla verticalmente hasta ubicar laser coronal en línea media axilar.
- Se restablece el sistema de coordenadas en el equipo.
- Se desplaza longitudinalmente la mesa hasta 2 cm por debajo del límite inframamario, donde se coloca el bb N°3, el CT da una distancia en cm entre el punto 1 y 3, la mitad de esta distancia es donde se coloca el bb N°2 sobre el esternón. Y lateralmente los bbs de los puntos N° 4 y 5 sobre la intersección coronal-axial.
- El punto No 6 se coloca en zona discreta sobre región temporal.
- Los puntos N° 2, 4 y 5, definen axialmente el punto cero del CT, a partir del cual se realizan los desplazamientos en el equipo de tratamiento.

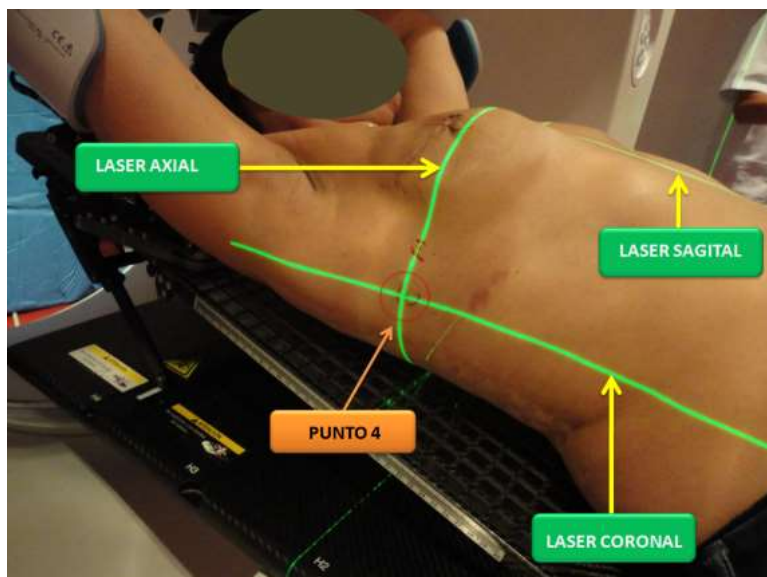
El proceso anterior se ilustra con las siguientes fotos:

Figura 16. Puntos 1, 2, 3.



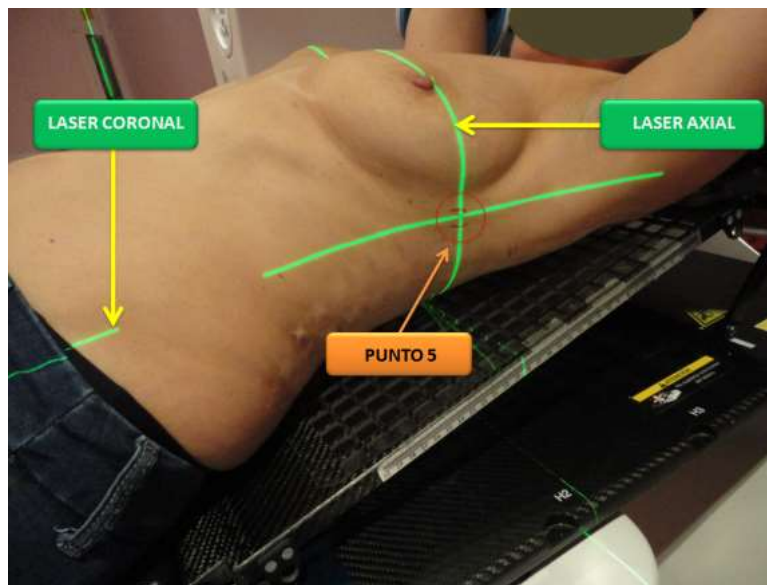
Fuente: Creación propia.

Figura 17. Punto 4.



Fuente: Creación propia.

Figura 18. Punto 5.



Fuente: Creación propia.

#### 5.5.1.2 Prescripción de planificación y fraccionamiento

Se emplea el modelo hipofraccionado donde el usuario recibe 15 fracciones de 2,67 Gy. Si se le contornea un boost adicional, el cual se realiza de forma integrada, el PTV de mama recibiría 15 fracciones de 2.67 Gy y el PTV boost recibiría 15 fracciones de 0.38 Gy; ambos al mismo tiempo.

#### 5.5.1.3 Prescripción de dosis al PTV

El porcentaje de prescripción de dosis deberá ser el 100%, correspondiente a la dosis establecida por el especialista en Medicina, siguiendo los protocolos clínicos.

#### 5.5.1.4 Volumen objetivo

Corresponde al Volumen de Planificación aprobado por el profesional en Oncología. Para casos de Planificación de mama, que incluyen tratamiento en la zona axilo supraclavicular, se debe crear una estructura denominada PTV Total, el cual será la

suma del PTV de mama más el PTV axilo clavicular. Entonces este nuevo volumen será el objetivo en la Planificación de tratamiento.

#### 5.5.1.5 Contorneo de OARs y Volúmenes de Optimización

Los órganos de riesgo contorneados son: corazón, pulmón izquierdo, pulmón derecho, pulmones, esófago, medula, PRV de médula y mama contralateral. Para el contorneo de los OARs se emplea el Atlas de Anatomía para cáncer de mama del RTOG (48). También, en el hospital se cuenta con una Guía de Contorneo de los órganos de riesgo para la mayoría de enfermedades, creada por diferentes dosimetristas. Todos los OARs, así como PTVs serán aprobados por la persona médica.

Tabla 12. Guía existente de contorneo de órganos para tratamiento de cáncer de mama en el Servicio de Radioterapia del Hospital México.

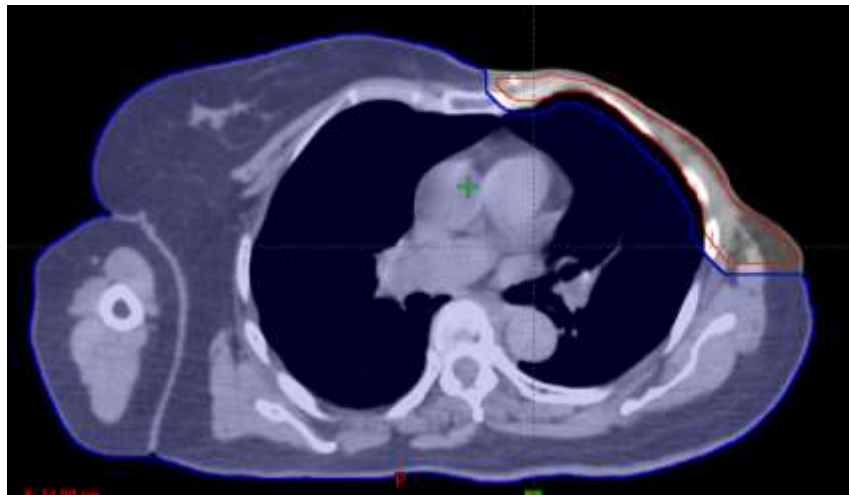
Estructura	Abreviatura	Color	Guía de contorneo
<b>Médula Espinal</b>	Médula PRV médula	Amarillo	<i>Sup:</i> se contornea desde el borde superior de la apófisis odontoides. <i>Inf:</i> se contornea hasta 2 cm por debajo del PTV más inferior o hasta el final de la misma en el límite inferior de L2. <i>Lat:</i> se contornea todo el ancho de la medula delimitada por el líquido cefalorraquídeo contenido en el canal medular. Se debe realizar un PRV de 5 mm en todos los ejes de la estructura.
<b>PRV de Médula Espinal</b>			
<b>Esófago</b>	Esófago	Naranja	Se debe contornear utilizando la ventana para tejido blando de mediastino. <i>Sup:</i> desde su inicio justo por debajo del cartílago cricoides (6ta vértebra cervical). <i>Inf:</i> unión gastroesofágica, inmediatamente por debajo del hemidiafragma izquierdo. <i>Lat:</i> se contornea todo el perímetro esofágico incluyendo aire.
<b>Pulmones</b>	Pulmones	Blanco	Se deben contornear ambos pulmones por separado, utilizando la ventana de tejido pulmonar. Se segmentan desde el ápice hasta la base.
<b>Pulmón izquierdo</b>	Pulmón I	Azul	No se deben incluir: GTV, los hilios, la tráquea, ni los bronquios primarios, tampoco se debe incluir líquido, ni atelectasias visibles.
<b>Pulmón derecho</b>	Pulmón D		Se contornean por separado, pero posteriormente se debe hacer un solo volumen con ambos pulmones.
<b>Corazón</b>	Corazón	Púrpura	Debe contornearse en conjunto con el pericardio, superiormente se incluyen grandes vasos, se contornea desde la parte inferior de la arteria pulmonar y se continúa inferiormente hasta el pericardio que recubre el ápex del ventrículo izquierdo caudalmente. Se debe incluir el tejido adiposo pericárdico, parte de los grandes vasos, recesos normales y cámaras cardiacas. La vena cava inferior se excluye del contorneo.
<b>Mama izquierda</b>	Mama I	Cian	<i>Sup:</i> por debajo de la cabeza de la clavícula. <i>Inf:</i> hasta el pliegue mamario inferior. <i>Interno:</i> hasta el borde externo más lateral.
<b>Mama derecha</b>	Mama D		<i>Lateral:</i> hasta el musculo dorsal ancho. <i>Profundo:</i> superiormente el musculo pectoral mayor, inferiormente la parrilla costal y músculos intercostales. <i>Superficial:</i> hasta la piel incluyéndola; se debe contornear todo el tejido mamario aparente, aunque se encuentre fuera de los límites establecidos. Se contornean por separado.

Fuente: Servicio de Radioterapia del Hospital México

Además, se recomienda realizar las estructuras accesorias:

- **ANILLO VMAT 1 CM:** es una figura, la cual se consigue duplicando el cuerpo, y restándole el PTV, con una distancia de 1 cm. El propósito del anillo es controlar las dosis bajas alrededor del PTV, con la necesidad de eliminar curvas de isodosis muy irregulares. Corresponde a la estructura color azul en la figura mostrada.

Figura 19. Estructura de ANILLO.



Fuente: Eclipse 13.6

- **EI PTV\_MI\_40.05 EXT,** a la estructura del PTV elaborada por el médico, se le suma una extensión de 2 cm hacia fuera del cuerpo solamente, es decir no se amplía el PTV en la zona interna (donde están los pulmones y corazón). Es importante recordar que el Volumen de Planificación original se crea a 0.5 cm hacia dentro del cuerpo, por lo que esta estructura abarca 0.5 cm hasta llegar al borde de la piel, más 1.5 cm de fuga (espacio agregado anterior a la piel). La idea de esta región es elaborar la optimización con ella y así el TPS forme el espacio entre la piel y las multiláminas. Sería la estructura de color celeste en la siguiente imagen.



Figura 20. PTV\_MI\_40.05 EXT.



Fuente: Eclipse 13.6

- **EI PTV\_MI\_40.05 OPT** se efectúa cuando el Volumen Blanco se traslapa con el corazón y/o el pulmón izquierdo. Entonces, se corta dicho PTV en las regiones que tenga contacto con los OARs, con el fin de rescatar el tejido de recibir toda la dosis de tratamiento. Se enseña de color rojo en la imagen.

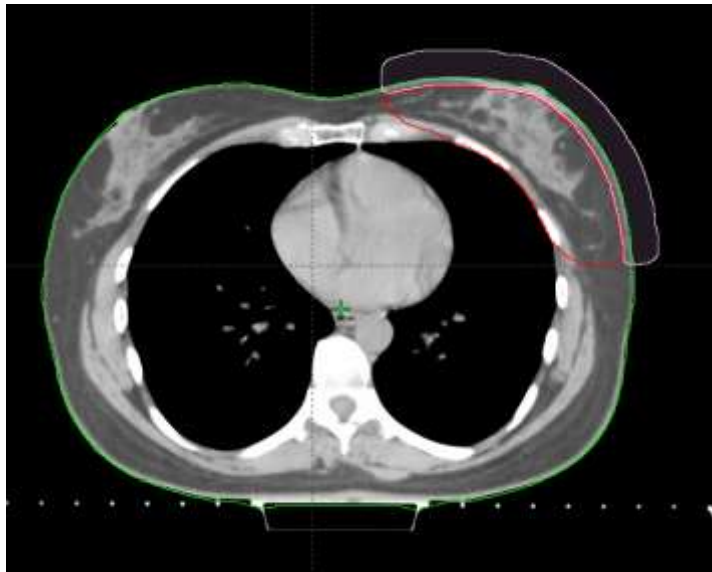
Figura 21. PTV\_MI\_40.05 OPT.



Fuente: Eclipse 13.6

- **EI PTV-EXT** consiste en la resta del PTV\_MI\_40.05 EXT menos el PTV\_MI\_40.05 OPT; la idea es impedir el depósito de dosis altas en esa franja, fuera del PTV original. Aparece de color rosado en la figura 21.

Figura 22. PTV-EXT.



Fuente: Eclipse 13.6

- **El corazón modificado (CORAZON MOD)** radica en el corazón cortado a 1 cm del PTV, con la finalidad de disminuir paulatinamente la dosis al corazón, sin perder mucha cobertura en el Volumen de Planificación. La estructura mencionada aparece de color amarillo.

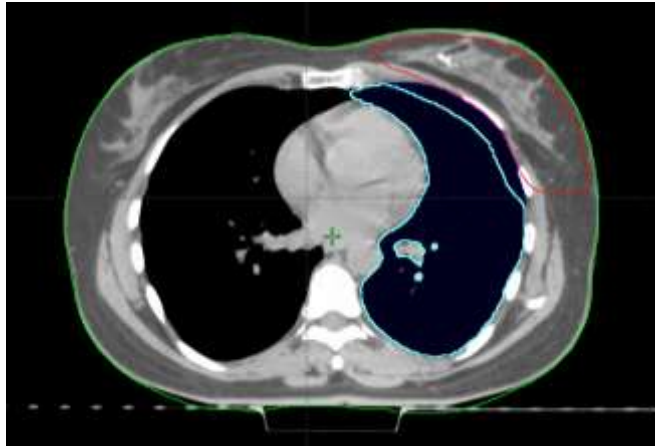
Figura 23. CORAZON MOD.



Fuente: Eclipse 13.6

- **El pulmón izquierdo modificado (PULMON I MOD)**, se basa en el mismo fundamento de la estructura pasada, es decir en cortar el pulmón izquierdo a 1 cm del PTV si lo llegase a contactar o estuviera cercano. Aparece con el tono celeste en la figura posterior.

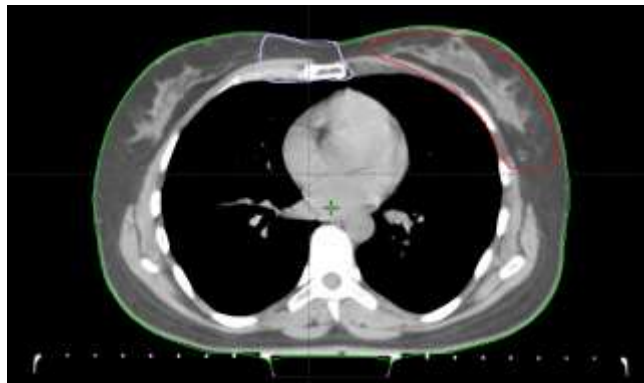
*Figura 24. PULMON I MOD.*



Fuente: Eclipse 13.6

- **El control med vmat:** es una franja dibujada en el medio del paciente en la zona anterior y central el cuerpo, aproximadamente en donde se encuentra ubicado el esternón; inicia exactamente donde comienza el PTV y termina de la misma forma, donde termina el Volumen Blanco. La figura control ayuda a reducir las dosis altas que llegan a la mama contralateral. La estructura de tonalidad púrpura corresponde al control medial.

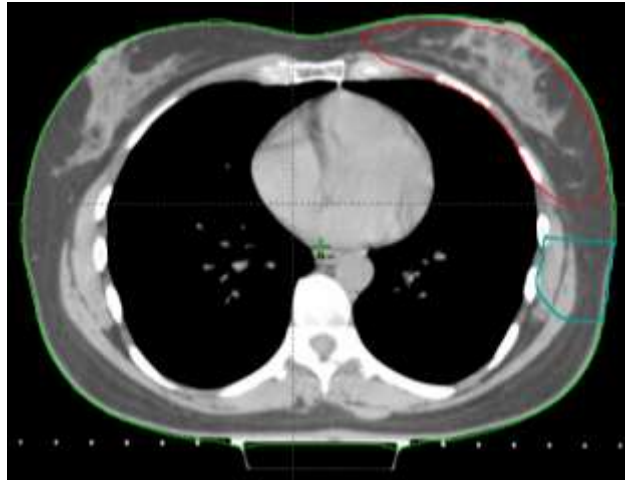
*Figura 25. Control med vmat.*



Fuente: Eclipse 13.6

- **EI CONTROL LAT VMAT** se contornea en la zona postero lateral de la usuaria, cerca de los músculos latísimo dorsi y serrato anterior; su fin es restringir parte de la dosis en esa zona. La estructura de color turqueza concierne al control lateral en la siguiente imagen.

Figura 26. CONTROL LAT VMAT.

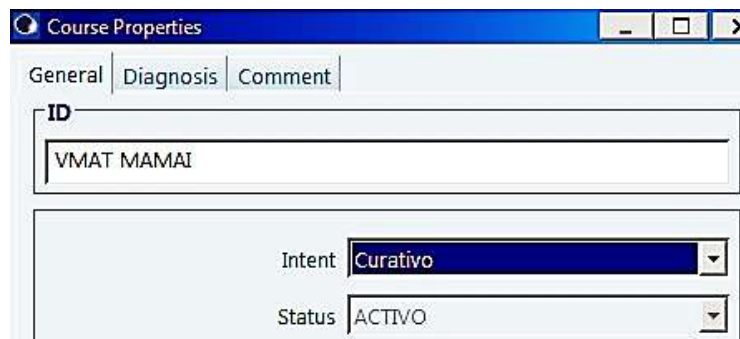


Fuente: Eclipse 13.6

#### 5.5.1.6 Planificación de tratamiento.

La nomenclatura de los cursos de tratamiento será la siguiente: “VMAT-MAMA.SIGLAS INDICATIVAS DE MAMA A IRRADIAR” (MAMAD: Mama derecha / MAMAI: Mama izquierda.).

Figura 27. Nuevo Curso de tratamiento.

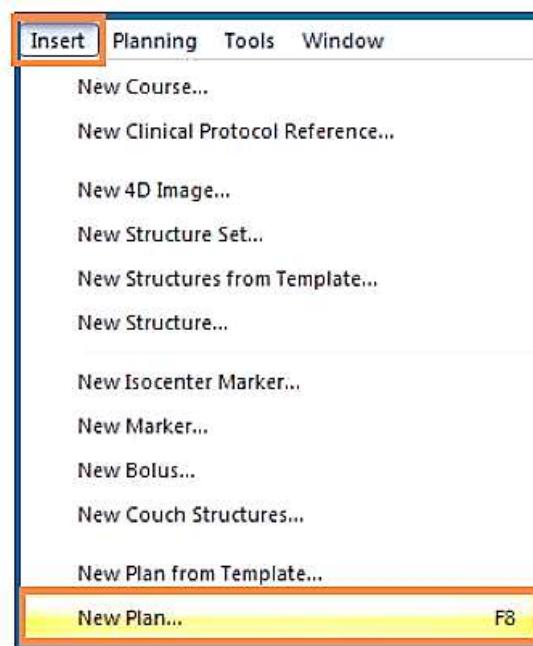


Fuente: Eclipse 13.6

Por ejemplo, si el caso lleva zona supraclavicular la sigla utilizada será SUPRA, y entonces se redefine el nombre del plan de la siguiente manera: “VMAT-SUPRAMAMAD/ MAMAI”. Si lleva boost integrado, la nomenclatura de los planes de tratamiento será la siguiente: “SIB VMAT MAMAD/ MAMAI”. En el caso de boost secuencial, la nomenclatura de los campos de tratamiento será la siguiente: “VMAT-MAMAI+BOOST”

El nombre de los planes de tratamiento será de igual manera que como el especialista tratante llame al PTV en la cartilla con la prescripción.

*Figura 28. Nuevo plan de tratamiento.*

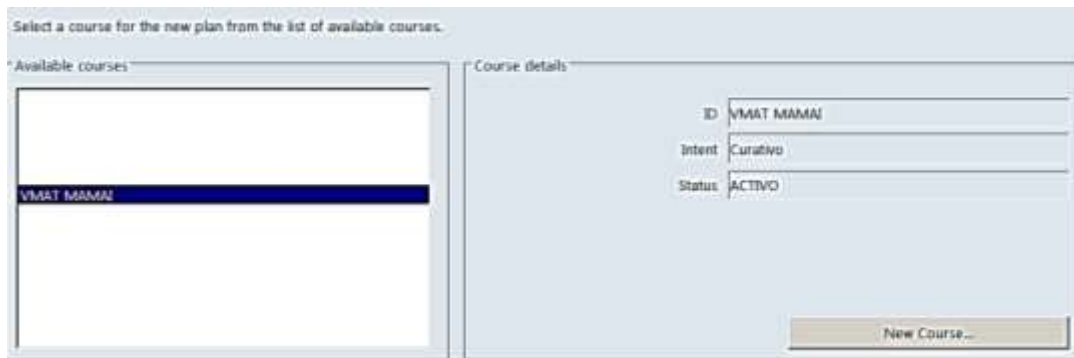


Fuente: Eclipse 13.6

A continuación se siguen los siguientes pasos:

Se selecciona el curso.

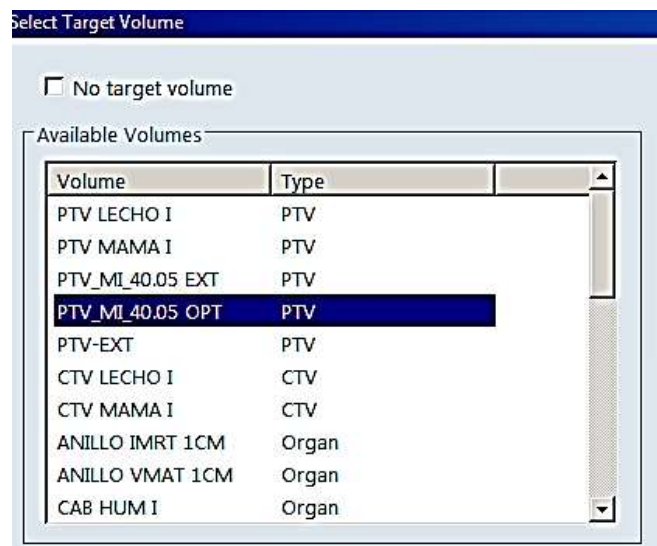
Figura 29. Selección del curso.



Fuente: Eclipse 13.6

Se escoge la estructura que se empleará como el Volumen Blanco.

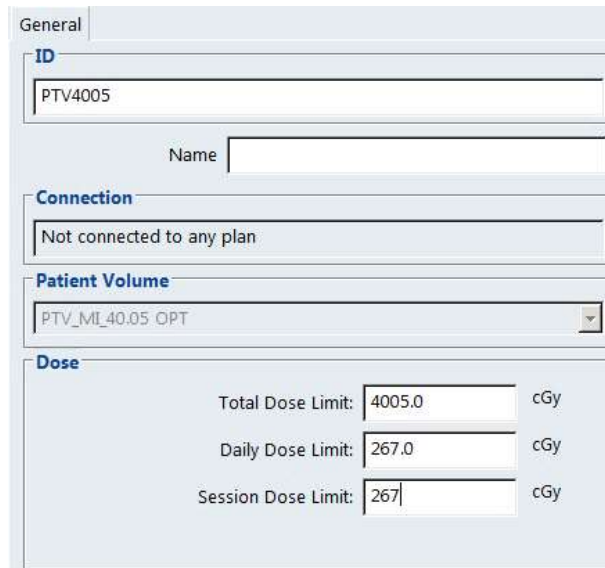
Figura 30. Selección del volumen blanco.



Fuente: Eclipse 13.6

Se debe crear un nuevo punto de referencia, el cual es un sitio virtual sin coordenadas utilizado para el conteo de suma de dosis; el mismo llevará el nombre del PTV más la dosis prescrita, es decir: "PTV4005".

Figura 31. Punto de referencia.



General

**ID**  
PTV4005

Name

**Connection**  
Not connected to any plan

**Patient Volume**  
PTV\_MI\_40.05 OPT

**Dose**

Total Dose Limit: 4005.0 cGy

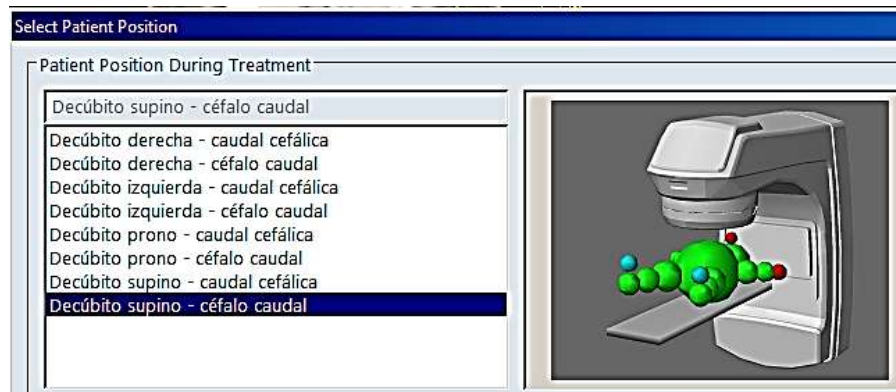
Daily Dose Limit: 267.0 cGy

Session Dose Limit: 267 cGy

Fuente: Eclipse 13.6

Se elige la posición del usuario con respecto al Gantry.

Figura 32. Posición del usuario.



Select Patient Position

Patient Position During Treatment

- Decúbito supino - céfalo caudal
- Decúbito derecha - caudal cefálica
- Decúbito derecha - céfalo caudal
- Decúbito izquierda - caudal cefálica
- Decúbito izquierda - céfalo caudal
- Decúbito prono - caudal cefálica
- Decúbito prono - céfalo caudal
- Decúbito supino - caudal cefálica
- Decúbito supino - céfalo caudal

3D diagram of a patient in a supine position with a Gantry.

Fuente: Eclipse 13.6

Se escribe el nombre del plan de tratamiento y se revisa que la información del recuadro sea correcta.

Figura 33. Propiedades del plan.

Comment	Equipment	Calculation Models	
General	Dose	RT Prescription	Technical
<b>ID</b>			
PTV_40.05			
Name			
Plan Intent			
Curativo			
Protocol plan			
Structure set ID			
1294 / Contouring / CT_26-09-20 cml			
Target volume			
PTV_ML_40.05 OPT			
Primary Reference Point [Volume]			
PTV4005 [PTV_ML_40.05 OPT]			
<input type="checkbox"/> Use Gated			
<b>Patient Position</b>			
Decúbito supino - céfalo caudal			

Fuente: Eclipse 13.6

En el siguiente recuadro se determina la dosis a manipular.

Figura 34. Dosis del plan de tratamiento.

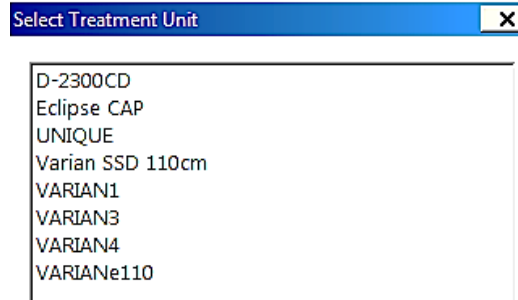
- Fractionation	
Number of Fractions	15
Prescribed Dose Per Fraction	267 cGy
Total Prescribed Dose	4005.0 cGy
Dose Per Fraction at Ref Point	cGy
Total Dose at Ref Point	cGy

Fuente: Eclipse 13.6

Se opta por el equipo (LINAC) donde se tratará la persona, dependiendo de la energía que se vaya a necesitar.



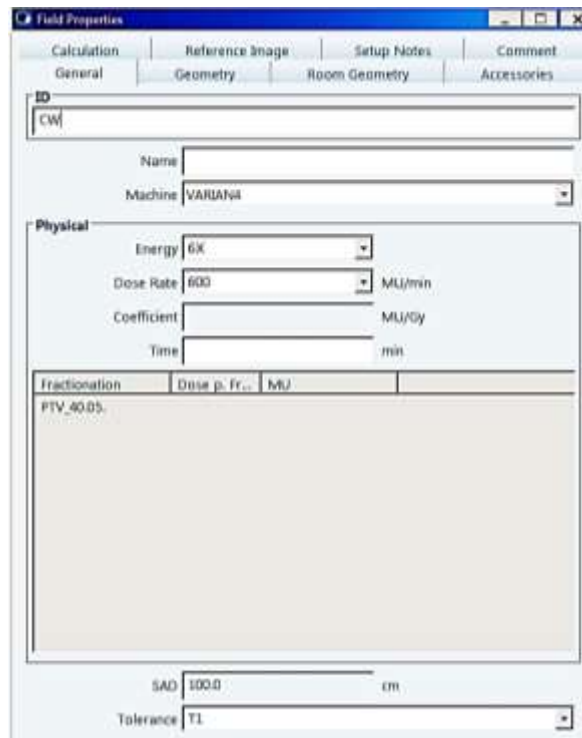
Figura 35. Equipo de tratamiento.



Fuente: Eclipse 13.6

Se coloca el nombre del arco, la energía, la tasa de dosis y la tabla de tolerancia de la mesa. En este servicio se maneja tolerancia de "T1".

Figura 36. Propiedades del campo de tratamiento.

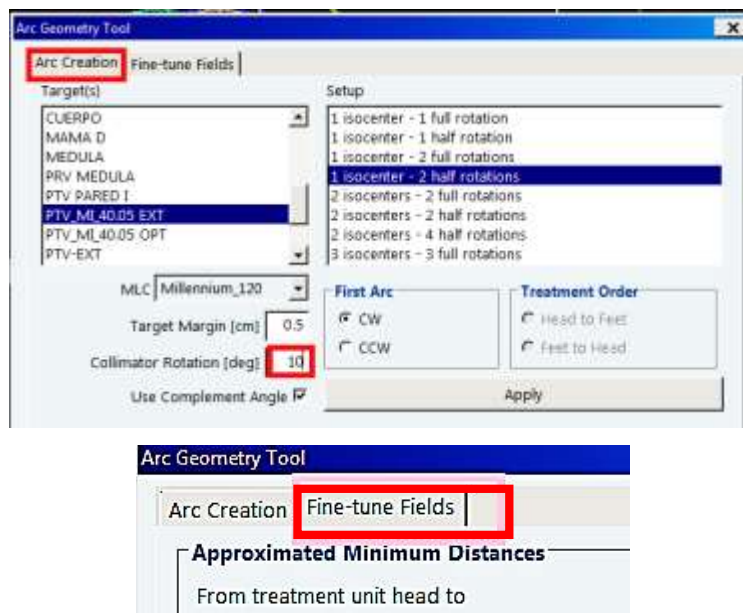


Fuente: Eclipse 13.6

#### 5.5.1.6.1 Geometría de haz de radiación para la planificación de tratamiento.

Antes de realizar la optimización de la Planificación, se debe poseer un arreglo geométrico de haces de radiación, donde esté configurados: isocentro, los ángulos del gantry, ángulo de colimador y de camilla, así como la energía y la tolerancia asociada a cada arco. Se deberá mantener el ángulo de camilla en 0° para todos los campos. La energía debe ser 6-10MV, se recomienda en la medida de lo posible emplear 6 MV.

Figura 37. Geometría del arco.



Fuente: Eclipse 13.6

Primero se coloca el campo de tratamiento. En la pestaña de Planificación, en la opción de geometría del arco, en la sección creación del arco, se selecciona la estructura del PTV como volumen objetivo.

El isocentro se elige, en la misma ventana de geometría del arco, pero en la pestaña de detalles de campos, en donde se ajusta los colimadores en las tres direcciones (X, Y, Z).

El isocentro se coloca cerca de la pared costal, en un punto medio, de manera simétrica dentro del PTV. Este punto no puede quedar en regiones irregulares del usuario, ni en una zona superficial. Además, por razones de marcado en la persona, se exhorta a no ubicar el isocentro en el pezón. Éste a su vez, debe estar compuesto de números enteros de ser posible.

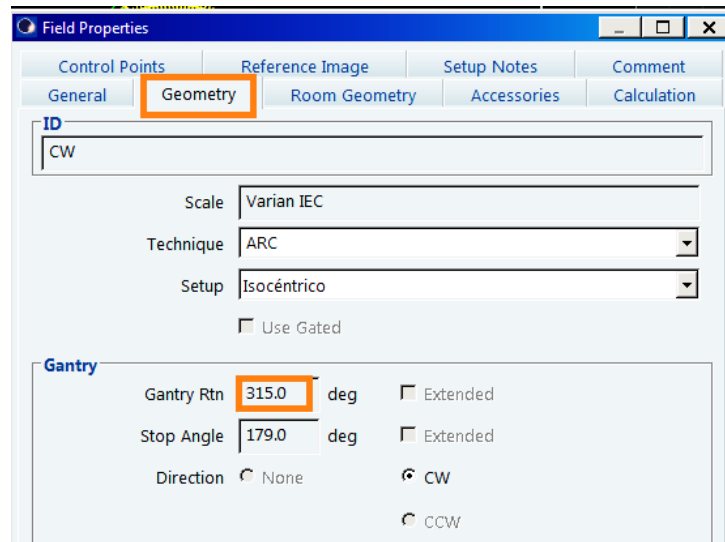
En la columna de creación del arco, se selecciona la forma de los arcos, el margen de las láminas al Volumen Blanco, la angulación del colimador, la dirección del arco. En esa misma ventana de configuración de arco, se escoge el giro de colimador, el cual puede variar en un rango de  $10^\circ$  a  $30^\circ$ , mientras el arco contrario estará girado entre  $350^\circ$  y  $330^\circ$ . La angulación del colimador depende de la ubicación del tumor con respecto al tejido sano circundante. Se opta por la opción de “1 isocentro- 2 semi rotaciones”.

En la opción cobertura del blanco se visualiza en escala de colores (del celeste al amarillo), la cantidad de puntos de control existentes en los arcos configurados. El color no refleja menos dosis o subdosaje, sino menos capacidad de modulación. En las zonas de menor modulación existe mayor posibilidad de puntos calientes de dosis en el PTV. El color celeste refleja menos puntos de control presentes en la optimización y el color amarillo muestra más puntos de control en la optimización.

Se recomienda crear de 2 a 4 medios arcos de tratamiento, con ángulo de inicio y final óptimos, los cuales representen una lógica que permita lograr una optimización adecuada del PTV, y a su vez colaboren a disminuir la dosis en órganos de riesgo. Otros estudios bibliográficos, incluso recomiendan utilizar más arcos (hasta 6) o zonas de evitación de radiación si es necesario.

Si se desea cambiar manualmente la angulación de cada arco, ya sea para aumentar el número de grados o disminuirlo, se le da click derecho al campo, en propiedades y posteriormente en geometría del arco.

Figura 38. Modificar ángulo de arcos.



Fuente: Eclipse 13.6

El tamaño del campo limitado en el colimador X, debe ser igual o menor a 15 cm por recomendación del manual de Eclipse, para permitirle a las láminas multihojas viajar en el carrusel del tamaño del campo.

Figura 39. Nombre de arcos, energía, tamaño del campo X.

Field X [cm]	X1 [cm]	X2 [cm]	Field Y [cm]	Y1 [cm]	Y2 [cm]	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]	Calculated SSD [cm]
15.0	+7.5	+7.5	21.2	+10.6	+10.6	9.00	11.00	7.00	94.6
15.0	+7.5	+7.5	21.4	+10.9	+10.5	9.00	11.00	7.00	83.3

Fuente: Eclipse 13.6

La nomenclatura de los arcos se adopta, de acuerdo a la dirección de giro del gantry en relación a la usuaria. Las siglas CW indican el giro a favor de las manecillas del reloj, y las CCW señalan el giro en contra de las manecillas del reloj. Al nombre del arco se colocó el número del mismo, con una secuencia numérica ordenada, de menor a mayor. Entonces si se elaboraron 3 arcos, por ejemplo, se llamaron: CW, CCW, CW1 y así sucesivamente.

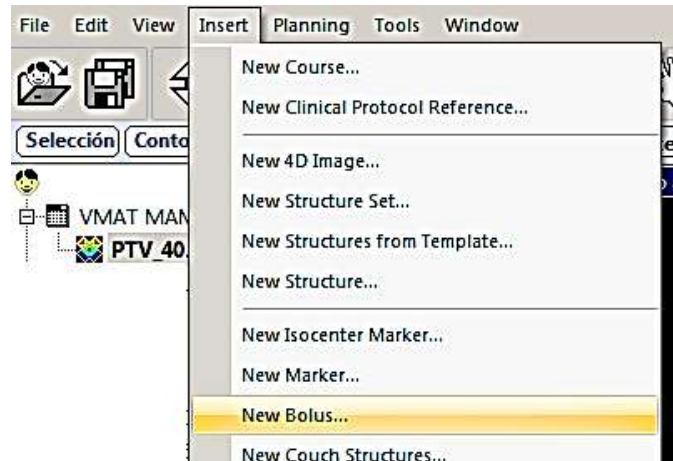
Figura 40. CW- CCW.

<input checked="" type="checkbox"/>	CW	ARC-I	VARIAN4 - 6X	VMAT
<input checked="" type="checkbox"/>	CCW	ARC-I	VARIAN4 - 6X	VMAT

Fuente: Eclipse 13.6

En la pestaña de insertar, se agrega la nueva estructura de bolus, el cual consiste en un tejido virtual similar al agua y el cual permite crear la fuga (espacio anterior a la mama) en las planificaciones VMAT.

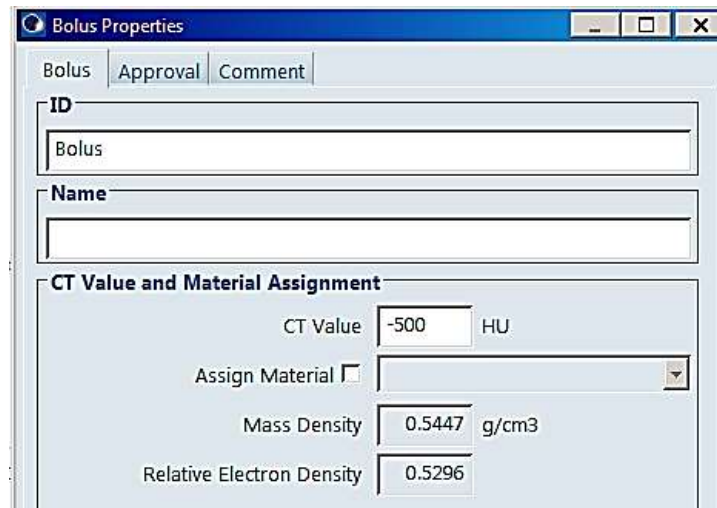
Figura 41. Insertar bolus.



Fuente: Eclipse 13.6

Se escoge la densidad del material UH, en el espacio del valor CT.

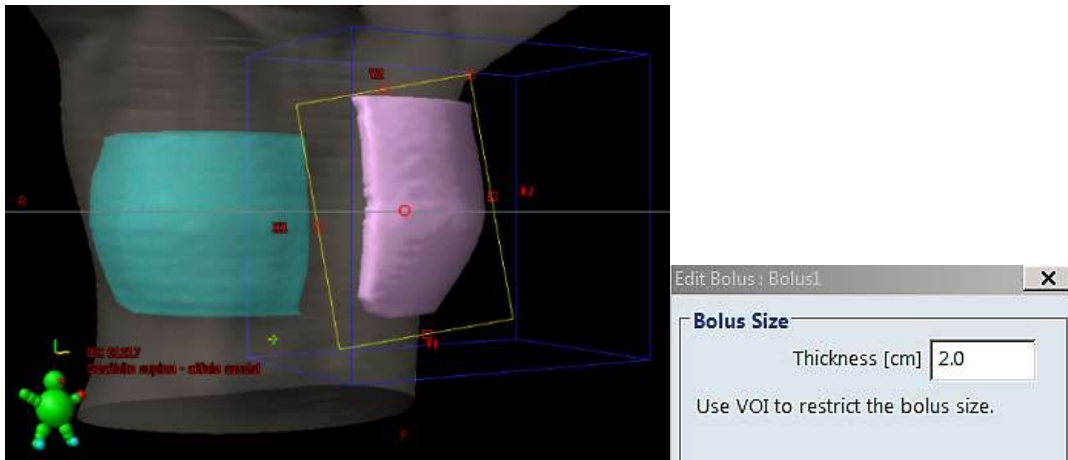
Figura 42. Elegir densidad del bolus.



Fuente: Eclipse 13.6

Posteriormente, se selecciona el grosor del bolus, en este caso de 2cm; mediante un cuadro azul que aparece en los distintos cortes del TC, se delimita los sectores del cuerpo donde se buscaba cubrir.

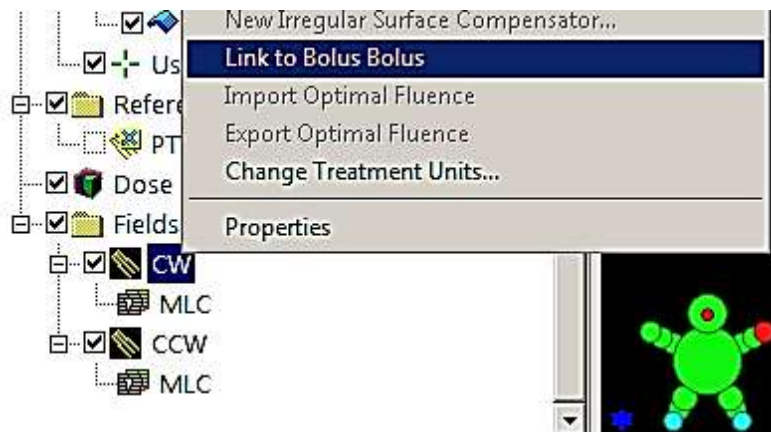
Figura 43. Tamaño y grosor de bolus.



Fuente: Eclipse 13.6

Para culminar el proceso de esta estructura, se debe pulsar el botón derecho del dispositivo apuntador en cada arco, con el fin de seleccionar la opción de ligar el bolus con el arco.

Figura 44. Ligar bolus al arco.



Fuente: Eclipse 13.6

Para la creación de las placas:

- Dos campos de set up rotulados MV en 0 y 90 grados
- Dos campos de set up rotulados KV en 0 y 270 grados
- Un campo set up rotulado CBCT (Tomografía Computadorizada con haz de cono, por sus siglas en inglés) en 0 grados
- Todos con tamaño de campos geométricos de 20cm x 20cm.

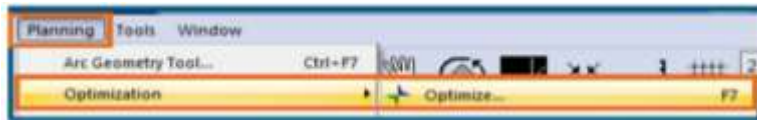
Figura 45. Placas de verificación de tratamiento.

Field ID	Technique	Machine/Energy	MLC	Field Weight	Scale	Gantry Rtn [deg]	Coll Rtn [deg]	Cauch Rtn [deg]
CW	ARC-I	VARISAN4 - 6X	VMAT	1.455	Varian IEC	181.0 CW 179.0	10.0	0.0
CCW	ARC-I	VARISAN4 - 6X	VMAT	1.694	Varian IEC	179.0 CCW 181.0	350.0	0.0
REF MV AP	STATIC-I	VARISAN4 - 6X		0.000	Varian IEC	0.0	0.0	0.0
REF MV LI	STATIC-I	VARISAN4 - 6X		0.000	Varian IEC	90.0	0.0	0.0
REF KV AP	STATIC-I	VARISAN4 - 6X		0.000	Varian IEC	0.0	0.0	0.0
REF KV LD	STATIC-I	VARISAN4 - 6X		0.000	Varian IEC	270.0	0.0	0.0
CBCT	STATIC-I	VARISAN4 - 6X		0.000	Varian IEC	0.0	0.0	0.0

Fuente: Eclipse 13.6

Todos los parámetros definidos buscan obtener una cobertura del PTV, que se encuentre dentro de los parámetros determinados por el ICRU en sus reportes 50, 62 y 83. Cada objetivo es estudiado en el histograma de la ventana de optimización para evitar realizar muchas optimizaciones.

Figura 46. Ventana de optimización.



Fuente: Eclipse 13.6

Herramientas básicas en la optimización:

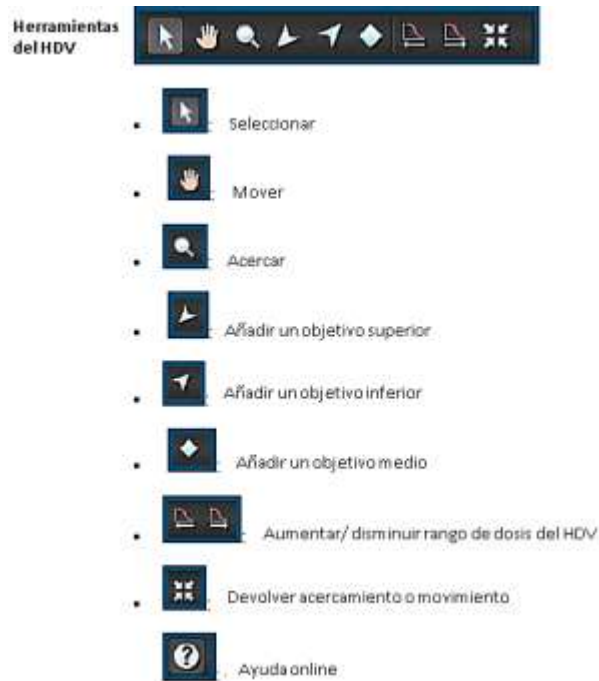
Figura 47. Herramientas del lado izquierdo de la pantalla.



Fuente: creación propia



Figura 48. Herramientas del lado derecho de la pantalla.



Fuente: creación propia

Figura 49. Herramientas para la manipulación de la imagen 3D.



Fuente: creación propia

Si se desea usar la plantilla creada durante esta práctica, se selecciona la opción de “Cargar plantillas de objetivos”, mencionada anteriormente en las herramientas, y se escribe el nombre de: “VMAT MAMA I 4005”. Automáticamente aparecerá cada estructura con sus objetivos correspondientes. Es importante recalcar que las estructuras deben llevar el mismo nombre que el señalado la sección anterior, pues de lo contrario no servirá la plantilla facilitada.

Se optimiza cada PTV, si es un caso con axilo supraclavicular se debe optimizar PTV Axilo, PTV Pared y PTV Total.

*Tabla 13. Valores referencia para objetivos superiores e inferiores de cada PTV.*

<b>Tipo de restricción</b>	<b>Volumen</b>	<b>Dosis</b>	<b>Prioridad</b>
<b>Superior</b>	0%	104%	100
<b>Superior</b>	2%	103%	100
<b>Inferior</b>	98%	102%	100
<b>Inferior</b>	100%	100%	100

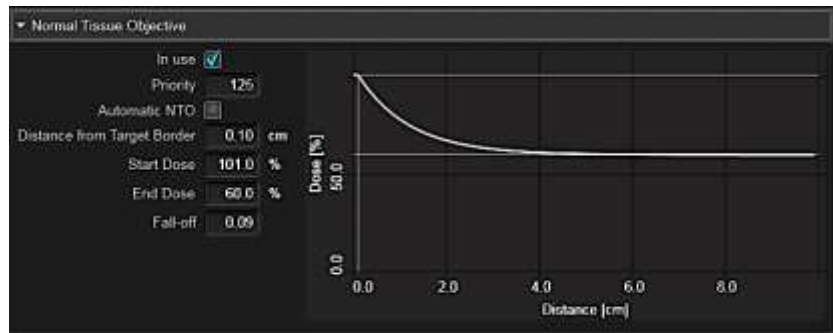
Fuente: creación propia

Los valores de prioridad pueden variar entre 0 y 2000, pero se ejecutan valores de 100 como referencia. Es significativo resaltar que los números de prioridad de cada OAR no deben ser superiores a la prioridad del PTV (96).

Se deberá establecer los valores del NTO (Objetivo Normal de Optimización) de forma manual. Se trabajó la prioridad del NTO con un valor de 125%; la prioridad del NTO debe ser 25% mayor al de la prioridad del PTV inicial. Se recomienda utilizar los siguientes valores NTO:

- *Distance from target Border* (Distancia del Borde el Blanco): 0.2- 1 cm
- *Start dose* (Dosis inicial): 101-102%
- *End Dose* (Dosis Final): 55-60%
- *Fall-off* (Caída de dosis): 0.09-0.15.

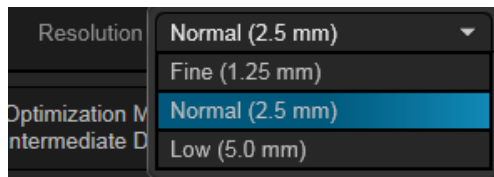
Figura 50. NTO.



Fuente: Eclipse 13.6

La resolución de la matriz de optimización manejada será la normal de 2.5 mm.

Figura 51. Resolución de rejilla.



Fuente: Eclipse 13.6

Una vez que se logra la cobertura ideal del PTV, se aborda a colocar las restricciones de los órganos de riesgo y de las estructuras de los OARs modificados. Si la dosis de prescripción del PTV es inferior a la dosis de tolerancia de un órgano, se trabaja en reducir al máximo las curvas de dosis en los OARs.

Figura 52. Optimización de PTV.

Upper	0.0	0.0	4165	100
Upper	14.1	2.0	4125	100
Lower	686.9	98.0	4095	100
Lower	702.9	100.0	4095	100
<input checked="" type="checkbox"/> PTV-EXT	644.8			
Upper	0.0	0.0	4090	100
Upper	12.9	2.0	4090	100
Lower	631.9	98.0	3995	100
Lower	644.8	100.0	3995	100

Fuente: Eclipse 13.6

Con el fin de lograr que las dosis máximas queden dentro del PTV y controlar dosis bajas alrededor del Volumen Blanco, se recomienda trabajar la estructura ANILLO VMAT 1CM; se recurre a un objetivo superior de ~0% del volumen con una dosis aproxima de 3000 cGy y otro objetivo superior de 15% con una dosis de 1200 cGy, con una prioridades relativamente altas.

Se recomienda dar una prioridad mayor al pulmón ipsilateral, corazón y mama contralateral respecto los otros órganos de riesgo.

Si las numeraciones establecidas al principio quedan sobre los valores que el optimizador logra alcanzar, se ajustan manualmente las flechas de restricción apreciadas en el histograma, hasta conseguir dosis inferiores a la curva de la estructura.

El optimizador posee cinco niveles de resolución, que corresponden al aumento de puntos de control por nivel. Es importante, hacer los ajustes mientras el proceso se encuentra en el paso uno o dos de los cinco pasos totales.

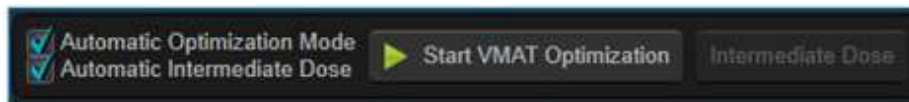
*Figura 53. Niveles de optimización.*



Fuente: Eclipse 13.6

En la ventana de optimización se seleccionan los recuadros de: Modo de Optimización Automática y la Dosis Automática Intermedia.

*Figura 54. Modo Automático de Optimización y Dosis Intermedia Automática.*

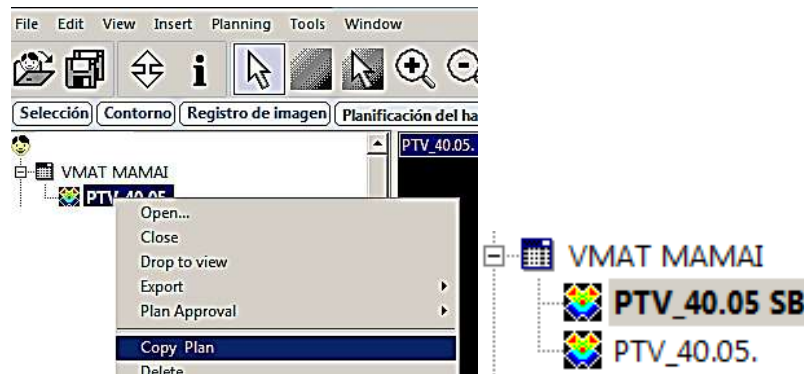


Fuente: Eclipse 13.6

En ocasiones, la dosis prescrita ocasiona el incumplimiento de la tolerancia de los órganos de riesgo, por lo que el profesional médico debe resolver si excluir los OARs del PTV cuando desea el cumplimiento de las restricciones o si opta por una cobertura total al tumor.

Listo el plan de tratamiento con la técnica dosimétrica VMAT y con el bolus enlazado, se procede a hacer una copia del mismo plan.

Figura 55. Copia del plan de tratamiento.



Fuente: Eclipse 13.6

Inmediatamente, a cada arco se le se le desanexa el bolus.

Figura 56. Desligar el bolus del arco.



Fuente: Eclipse 13.6

Se vuelve a calcular el plan; sólo es necesario calcularlo, no hay que optimizar nuevamente el caso, dicho plan es el que se brindará a la persona usuaria.

Figura 57. Calcular nuevamente.



Fuente: Eclipse 13.6

### 5.5.1.7 Normalización.

En el momento en que se elimina el bolus y se recalcula el plan, incrementará la dosis en el PTV. El plan se presenta originalmente sin normalización.

Figura 58. Sin normalización.

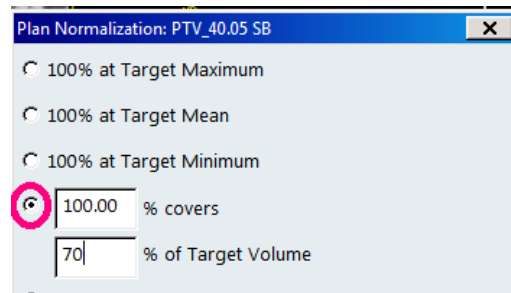
Plan Normalization Mode	Plan Normalization Value [%]
No plan normalization	100.0

Fuente: Eclipse 13.6

Muchos estudios consultados recomiendan normalizar con la dosis media originada igual al 100% de la dosis prescrita, como los siguientes: (63), (79), (80), (81), (82).

En ocasiones es posible notar que si se normaliza exactamente con el 100% de dosis cubriendo el 50% del volumen, la dosis media puede presentarse en el histograma con valores entre 99.0% y 99.5%, lo que representa una subdosificación del PTV, en otras palabras, al volumen de planificación no le llegaría el 100% de la dosis solicitada por el oncólogo. Por lo que se recomienda aumentar el valor del 50%.

Figura 59. Normalizado.



Fuente: Eclipse 13.6

El manual de Eclipse establece que si el valor de normalización del plan es modificado en más de un 5%, posterior al cálculo inicial del desplazamiento de las láminas, dicho movimiento y la distribución final de dosis debe de recalcularse, con el objetivo de renovar el patrón de secuencia de las multiláminas, empleando nuevas unidades monitor (96).

#### 5.5.1.8 Verificación del plan optimizado.

Verificar en el Histograma Dosis Volumen final los valores correspondientes: dosis máxima ( $D_{max}$ ), dosis del 2% del volumen ( $D_2$ ), dosis mediana ( $D_{mediana}$ ), dosis media ( $D_{media}$ ), dosis mínima ( $D_{min}$ ), dosis del 98% del volumen ( $D_{98}$ ) para el PTV. Igualmente, se deben verificar  $D_{max}$  o  $D_{media}$  para los OARs de acuerdo con los límites ya establecidos ya sea en el histograma o en la ventana de “Estadísticas de dosis” en el TPS.

Se debe comprobar, corte a corte, en los planos axial, sagital y coronal las curvas de isodosis.

Volumen que está definido por la curva isodosis de 50% ( $V_{50}$ ), no debe abarcar distancias muy lejanas del PTV. Las curvas no deben quedar de forma estrellada, pues sería un indicativo de una optimización muy forzada, a no ser que así se deseara o fuera el objetivo.

Figura 60. Curvas de isodosis en porcentaje.

Relative Dose Isolevel Editor				
Level Set:				
2D	3D	Relative Dose [%]	Color and Style	Line width
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-	-	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	110.0	Red	1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	105.0	Pink	1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	100.0	Blue	1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	95.0	Yellow	1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	90.0	White	1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	80.0	Green	1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	50.0	Cyan	1

Fuente: Eclipse 13.6

El RTOG1005 solicita coberturas del 95% de la dosis prescrita se encuentre en el 95% del volumen. El D2 se encuentre en un 107%. También, se vigila que el D50 se mantenga alrededor del 102%. Con el máximo puntual varía, pues el plan sin bolus tiende a aumentar las zonas calientes de dosis por el motivo de modificación de tejido (sustracción de bolus y variación en el depósito de dosis en el Volumen Blanco).







Los órganos de riesgo tienen que cumplir las restricciones establecidas en protocolo clínico hipofraccionado del Grupo Oncológico de Radiación Terapéutica RTOG 1005.



## 5.6 Capítulo IV

### 5.6.1 Plantillas para la optimización con las técnicas dosimétricas IMRT para el tratamiento de cáncer de mama izquierda.

Figura 61. Plantilla para el optimizador de IMRT.

	PTV_MI_40.05 OPT	702.9						
	Upper	0.0	0.0	4165	4330	100		x
	Upper	14.1	2.0	4125	4208	100		x
	Lower	688.9	98.0	4085	3845	100		x
	Lower	702.9	100.0	4005	3013	100		x
	ANILLO IMRT 1CM	13269.8						
	Upper	1327.0	10.0	500	741	0		x
	Upper	0.0	0.0	2800	3164	0		x
	CONTROL LATER	499.6						
	Upper	74.9	15.0	1328	1315	0		x
	Upper	0.0	0.0	2016	2818	0		x
	control medial	141.9						
	Upper	0.0	0.0	1800	1728	0		x
	CORAZON	489.0						
	Upper	171.2	35.0	800	347	0		x
	Upper	24.5	5.0	2000	1381	0		x
	Upper	260.2	53.2	465	234	0		x
	Mean			400	396	0		x
	CUERPO	22597.7						
	Upper	0.0	0.0	4200	4333	0		x

<input checked="" type="checkbox"/>	MAMA D	682.4						
	Upper	34.1	5.0	100	238	0		x
	Upper	0.0	0.0	300	469	0		x
<input checked="" type="checkbox"/>	PRV MEDULA	177.6						
	Upper	8.9	5.0	188	43	0		x
	Upper	0.0	0.0	325	58	0		x
<input checked="" type="checkbox"/>	PULMON D	1892.2						
	Upper	283.8	15.0	400	127	0		x
	Upper	0.0	0.0	200	572	0		x
<input checked="" type="checkbox"/>	PULMON I	1704.8						
	Upper	852.4	50.0	400	426	0		x
	Upper	681.9	40.0	800	633	0		x
	Upper	341.0	20.0	1600	1382	0		x
	Upper	0.0	0.0	2463	3865	0		x
	Upper	1032.2	60.5	157	269	0		x
<input checked="" type="checkbox"/>	PULMONES	3597.3						
	Upper	359.7	10.0	1365	1299	0		x
	Upper	0.0	0.0	2821	3865	0		x

Normal Tissue Objective

In use

Priority

Automatic NTO

Distance from Target Border  cm

Start Dose  %

End Dose  %

Fall-off

Base Dose Plan None

Settings 1000/720s/Normal (2.5 mm)

Automatic Optimization Mode
  Automatic Intermediate Dose

Fuente: Eclipse 13.6

## 5.6.2 Plantillas para la optimización con las técnicas dosimétricas VMAT para el tratamiento de cáncer de mama izquierda.

Figura 62. Plantilla para el optimizador de VMAT.

	PTV_MI_40.05 EXT	1383.5						
	Upper	0.0	0.0	4182	4331	0		x
	Upper	27.7	2.0	4125	4183	0		x
	Lower	1355.8	98.0	4085	0	0		x
	Lower	1383.5	100.0	4005	0	0		x
	PTV_MI_40.05 OPT	702.9						
	Upper	0.0	0.0	4165	4331	100		x
	Upper	14.1	2.0	4125	4198	100		x
	Lower	688.9	98.0	4085	3769	100		x
	Lower	702.9	100.0	4005	3051	100		x
	PTV-EXT	644.8						
	Upper	0.0	0.0	4080	4005	100		x
	Upper	12.9	2.0	4000	3679	100		x
	Lower	631.9	98.0	3805	0	100		x
	Lower	644.8	100.0	3600	0	100		x
	ANILLO VMAT 1CM	13253.4						
	Upper	0.0	0.0	2800	3333	0		x
	Upper	1060.3	8.0	1666	1071	0		x
	CONTROL LAT VM/	463.9						
	Upper	64.9	14.0	1751	2309	0		x
	Upper	0.0	0.0	2236	2904	0		x
	control med vmat	304.7						
	Upper	0.0	0.0	1800	1578	0		x
	CORAZON	489.0						
	Upper	244.5	50.0	500	294	0		x
	Upper	171.2	35.0	800	379	0		x
	Upper	24.5	5.0	2000	1130	0		x
	Mean			400	408	0		x
	CORAZON MOD	486.1						
	Upper	243.0	50.0	500	292	0		x
	Upper	170.1	35.0	800	376	0		x
	Upper	24.3	5.0	2000	1071	0		x
	Mean			400	395	0		x
	MAMA D	682.4						
	Upper	34.1	5.0	200	245	0		x
	Upper	0.0	0.0	500	466	0		x

<input checked="" type="checkbox"/>	PRV MEDULA	177.6						
	Upper	0.0	0.0	400	258	0		x
	Upper	12.4	7.0	200	176	0		x
<input checked="" type="checkbox"/>	PULMON D	1892.2						
	Upper	283.8	15.0	400	292	0		x
	Upper	0.0	0.0	600	1112	0		x
<input checked="" type="checkbox"/>	PULMON I	1704.8						
	Upper	1022.9	60.0	124	251	0		x
	Upper	852.4	50.0	400	351	0		x
	Upper	681.9	40.0	800	511	0		x
	Upper	341.0	20.0	1600	1197	0		x
	Upper	0.0	0.0	2445	3489	0		x
<input checked="" type="checkbox"/>	PULMON I MOD	1595.1						
	Upper	957.1	60.0	100	233	0		x
	Upper	797.6	50.0	300	313	0		x
	Upper	638.1	40.0	600	440	0		x
	Upper	319.0	20.0	1300	941	0		x
	Upper	0.0	0.0	2100	2622	0		x

<input checked="" type="checkbox"/>	PULMONES	3597.3						
	Upper	381.2	10.6	1700	1070	0		x
	Upper	0.0	0.0	3000	3489	0		x

▼ Normal Tissue Objective

In use

Priority

Automatic NTO

Distance from Target Border  cm

Start Dose  %

End Dose  %

Fall-off

► MU Objective

► Base Dose Plan None

► Settings Normal (2.5 mm)

Automatic Optimization Mode

Automatic Intermediate Dose

Fuente: Eclipse 13.6

## 5.7 Capítulo V

### 5.7.1 Instrumento creado con la revisión bibliográfica exhaustiva del trabajo.

Figura 63. Presentación Powerpoint con la Revisión Bibliográfica analizada.



Fuente: Elaboración propia

Figura 64. Presentación Powerpoint con la Revisión Bibliográfica analizada.



Fuente: Elaboración propia

Figura 65. Ejemplo de diapositiva de Presentación Powerpoint con la Revisión Bibliográfica analizada.

**\*\*Recomiendan un bolus con un espesor igual al margen CTV-PTV más 5mm y un bolus virtual con valor LH -500-400, dependiendo del espesor del bolus (15-10mm respectivamente). Estos valores maximizan la eficacia del plan y minimizan la necesidad de re-normalización, cuando el plan se optimiza con bolus virtual se recalcula en el CT original.**

**▶ Angulación de arcos: desde 220° a 140° pasando por 0° ( 2 CW y 1 CCW).**

Barbero A, Salazar-Rueda J, Carrasco F, Espinoza R, Cruz LA, Lorente R. Physical Medical Research. 2017;1(1):15-21. Epub 2017/05/01. PMID: 28745022. Disponible en: <https://doi.org/10.1515/pm-2017-0005>

Fuente: Elaboración propia

Figura 66. Ejemplo de diapositiva de Presentación Powerpoint con la Revisión Bibliográfica analizada.

**Páginas Web.**

- ▶ 02 Eclipse TPS Live webinar - RapidArc Best Plan - Saad Aldelajjan, Radiation knowledge ([https://www.youtube.com/watch?v=4OEUz\\_fdWFU](https://www.youtube.com/watch?v=4OEUz_fdWFU)).
- ▶ 03 Eclipse TPS Live webinar - Vanessa & Anthony Magliary IMRT, Radiation knowledge (<https://www.youtube.com/watch?v=ff6btu0xl1k>).
- ▶ Material didáctico de Varian Medical System (<https://www.varian.com/es>)

Fuente: Elaboración propia

## 5.8 Referencias de la Guía.

- ASTRO. (2018). *Radiation therapy for the Whole Breast: An American Society for Radiation Oncology (ASTRO) Evidence-Based Guideline*. ASTRO's clinical practice journal.
- Bellon, J.R.; Wong, J.S.; MacDonald, S.M.; Ho, A.L. (2016). *Radiation Therapy Techniques and Treatment Planning for Breast Cancer*. Switzerland. Springer International Publishing.
- Varian Medical System. (2014). Eclipse 13 Inversing Treatment Planning Operations EC 13.6-CEM-02-B. Palo Alto, USA.
- Dean J, *et al* (2016). Tangential intensity modulated radiation therapy (IMRT) to the intact breast. *J Med Radiat Sci*. 6. 217–223.
- Cozzi, L. ; Flogiata A.; Nicolini G.; Bernier J. (2005). Clinical experience in breast irradiation with intensity modulated photon beams. *Acta Oncologica*.
- Muralidhar, KR.; Soubhagya, B.; Ahmed, S. (2015). Intensity modulated radiotherapy versus volumetric modulated arc therapy in breast cancer: A comparative dosimetric analysis. *International Journal of Cancer Therapy and Oncology*, 3(2).
- Nguyen *et al*. (2013). Template-based breast IMRT planning for increased workload efficiency. *Radiation Oncology*, 8 (67).
- Teh BS, Lu HH, Sobremonte S, *et al* (2001). The potential use of intensity modulated radiotherapy (IMRT) in women with pectum excavatdesiring breast-conserving therapy. *Breast J*. 7(4):233–239.
- Zheng *et al*. (2017). A comparative dosimetric study of seven radiation techniques for breast cancer after mastectomy and immediate breast reconstruction. *Transl Cancer Res*. 6 (4):788-797.

- National Clinical Trials Network (NCTN); The Alliance for Clinical Trial in Oncology; ECOG-ACRIN Cancer Research Group; SWOG. (2014). A phase III trial of accelerated whole breast irradiation with hypofractionation plus concurrent boost versus standard whole breast irradiation plus sequential boost for early-stage breast cancer. RTOG -1005.
- The SKAGEN Trial 1.(2015).ClinicalTrials.gov.Recuperado el 02 de Mar de 2017, de moderately hypofractionated loco-regional adjuvant radiation therapy of early breast cancer combined with a simultaneous integrated boost in patients with an indication for boost :dbcg hypo ii, a randomized clinically controlled trial:  
[http://www.dbcg.dk/PDF%20Filer/SKAGEN%20Trial%201\\_%20protoko.pdf](http://www.dbcg.dk/PDF%20Filer/SKAGEN%20Trial%201_%20protoko.pdf).
- Ozyigit G. (2014). Current role of modern radiotherapy techniques in the management of breast cancer. *World J Clin Oncol.* 5(3):425–439.
- Burges, A (2015). Intensity Modulated Radiation Therapy for the Breast Cancer. AAPM meeting presentation.
- ICRU (2010). Journal of the ICRU. Vol 10 No 1. Report 83.
- Hanley J et al. (1999). Deep Inspiration breath-hold technique for lung tumors: The potential value of target immobilization and reduced lung density in dose escalation. *International journal of radiation oncology, biology, physics.*45 (3):603-611.
- RTOG.10005. (2014).ECOG-ACRIN Cancer Research Group.



## **CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 Conclusiones**

La revisión bibliográfica llevada a cabo no tuvo mayor problema, pues existe una gran cantidad de información relacionada a radioterapia. Fue posible encontrar muchas investigaciones donde comparaban las tres técnicas dosimétricas de interés, e incluso incluían otros métodos de planificación, los cuales no se encuentran disponibles en el país. Se consultó por estos escritos bibliográficos por vía de internet y por vía física, se buscó propiamente en páginas de editoriales y publicaciones fidedignas, Asimismo, se localizaron artículos originales, gracias a la ayuda del Sistema de Bibliotecas Documentación e Información de la Universidad de Costa Rica.

Fueron facilitados los documentos impresos, almacenados en los estantes del Servicio de Radioterapia del Hospital Méxcio, los cuales guardaban protocolos antiguos y vigentes del mismo Servicio, publicaciones de investigaciones internacionales bibliográficas, libros de textos afines al tratamiento con radiaciones ionizantes (aspectos físicos, radiobiológicos, clínicos, entre otros). Para finalizar, se tuvo contacto con expertos en Física Médica, referentes del Centro de Radioterapia del Hospital Madre de Dios, en Brasil, dichos profesionales cuentan con suficiente experiencia en la aplicación de IMRT y VMAT en sus personas tratadas, por lo que se consideró de provecho sus recomendaciones.

Los tratamientos radioterápicos deben ser individualizados para cada persona, luego de considerar muchos factores como: características del tumor, anatomía de la usuaria y comorbilidades. Por lo que la escogencia de la técnica radioterápica a efectuar no siempre es la misma. Cuando no se logra cumplir con las restricciones de los órganos de riesgo con 3DCRT o se pierde mucha cobertura del PTV, se opta por tratar a las personas con IMRT o VMAT.

En esta práctica, se observó que la aplicación de la técnica radioterápica de IMRT en usuarios con cáncer de mama temprano, ayudó a obtener una distribución de dosis más homogénea en el volumen blanco. Asimismo, disminuyó dosis en los órganos de

riesgo, sobretodo en el tejido ipsilateral, tal y como se menciona en el estudio de Jin et al (73).

En la técnica VMAT, la modulación se produce gracias al resultado combinado de la modificación de la intensidad de la radiación, la velocidad de rotación del haz y la conformación continua del mismo, lo anterior es reafirmado por Sistema Médico de Varian (55) . La arcoterapia se emplea en muchas situaciones clínicas gracias a la intensidad alta de fotones, arcos parciales y arreglos especiales. Con la Arcoterapia, también, se consiguió exactitud en la entrega los haces de radiación, lo que permite conformar lo suficiente las dosis alrededor del tumor, y disminuir efectos secundarios en órganos ipsilaterales. Los resultados obtenidos obedecen a lo decrito por Sistema Médico de Varian (57)

El VMAT de mama izquierda se utiliza en muchos centros hospitalarios a nivel mundial. Al no existir aparatos controladores de la respiración (*gating*) se opta por realizarlo con respiración libre, la situación previa corresponde a la realidad costarricense. También con el software de Eclipse se debe realizar la fuga con el método manual, es decir, se trabaja con un bolus virtual para el ejecutar la optimización, lo que vuelve el proceso más largo y complejo.

A pesar de los inconvenientes mencionados, este trabajo ayudó a resaltar esta técnica dosimétrica, pues redujo dosis máximas en pulmón y corazón (ipsilaterales); asimismo, favoreció a distribuir la dosis de forma óptima dentro el PTV, a expensas del aumento de dosis bajas y medias en los órganos de riesgo contralaterales. El VMAT es recomendado pues reducir el tiempo de tratamiento en maquina, por lo que el usuario tratante estará menos minutos acostado en la rampa y será más eficaz el tratamiento.

Todos los planes fueron diseñados por el mismo planificador TPS Eclipse. Para la técnica de Planificación Inversa el flujo de trabajo se dividió en tres pasos secuenciales: la optimización del PTV hasta la obtención del histograma, en términos de cobertura y la homogeneidad, la optimización de los OARs con el fin de cumplir con los objetivos de dosis-volumen informados, y una mayor optimización del Volumen Blanco si se veía comprometido, sin violar los objetivos de dosis-volumen de los OAR.

Debido a la anatomía diferente de cada persona usuaria, se deben hacer ajustes en los objetivos de la optimización de los planes VMAT e IMRT, con el fin de dar solución a cada sujeto. Si es necesario se reoptimizó el plan usando parámetros ajustados.

El flujo de trabajo en un Servicio de Radioterapia involucra la participación de personas profesionales en Física Médica, Imagenología, Enfermería, Oncología Radioterápica, entre otros. El acuerdo y la colaboración de todos los profesionales que intervienen en el proceso son vitales, donde una buena comunicación es muy importante en la aplicación de los protocolos.

Aunque los datos resultantes y documentos de esta práctica estén orientados a la zona anatómica de la mama izquierda, la base de los mismos se puede aplicar en otras partes del cuerpo con afección, por ejemplo, la creación de los planes dosimétricos y el principio de la optimización, siempre va a ser la misma, sólo se debe ir modificando ciertos parámetros en específico dependiendo del volumen a tratar. Entonces, se espera que este escrito brinde las bases teóricas y prácticas suficientes para que el lector pueda aplicarlas, incluso las pueda extender a otras zonas anatómicas de tratamiento, permitiendo ofrecer una terapia segura. Asimismo, se quiere solventar la necesidad de los especialistas en cuanto a la homogeneización de los métodos dosimétricos de tratamiento mediante la creación de guías de peso para cada técnica dosimétrica.

La práctica fue avalada por la jefatura del Servicio de Radioterapia del Hospital México y por el jefe de Área Operativa del mismo servicio, pues cumple con los requisitos que solicitaban. La implementación de la información de la práctica estuvo a cargo de la practicante.

En las últimas semanas de la práctica, se les brindó exposiciones a los dosimetristas y demás personal interesado en el tema, con el objetivo de explicar un poco el proceso de esta Práctica Dirigida y extender los documentos obtenidos para su uso en este Servicio. Se elaboró una presentación extensa de *Powerpoint* (con 135 diapositivas) con la revisión bibliográfica exhaustiva realizada durante la práctica, se incluyen varias investigaciones comparativas de las técnicas dosimétricas radioterápicas para el tratamiento de cáncer de mama. Igualmente, se introducen documentos y protocolos internacionales estipulados y se mencionan páginas Web, las cuales son

elaboradas por especialistas en Dosimetría y Física Médica, donde brindan recomendaciones de cómo llevar a cabo de forma fácil y sencilla algún proceso de Simulación o Planificación Dosimétrica.

Con lo anterior se logra cumplir con el objetivo externo de este trabajo, pues se logra homogeneizar e incluso aumentar conocimientos modernos en cuanto a nuevas tecnologías radioterápicas del personal. Es sabido que muchos trabajadores no se mantienen a la vanguardia del cambio, ni actualizan sus estudios con el paso de los años, entonces con estas actividades por parte de la practicante, se les exhortan a aprender detalles fundamentales para un buen desempeño laboral.

Además, se ha implementado sugerencias relacionadas al tema de la protocolización y el uso de elementos estándares para agilizar el flujo de trabajo, como lo son las plantillas creadas; se busca la creación de consciencia en la importancia de aplicar dichas herramientas y se desea incentivar una nueva generación de profesionales, sobretodo profesionales en Imagenología con ideas a favor de mejorar y actualizar los protocolos y guías ya existentes e ir ampliando su rango de acción. Es sumamente necesario protocolizar todos los tratamientos de radioterapia desde la Simulación, Contorneo de OARs, Planificación hasta el tratamiento en el LINAC.

## 6.2 Recomendaciones

A continuación, se emiten las siguientes recomendaciones, luego de cumplir con los objetivos propuestos de la Práctica Dirigida:

En la reunión de la Sociedad Americana de Radiación Oncológica del año 2018, se señaló que la técnica dosimétrica estándar para el tratamiento de la glándula mamaria corresponde al método radioterápico en 3D conformacional. Si no se logra cumplir con alguna de las restricciones solicitadas por el protocolo Danés o si la cobertura del PTV no es óptima, se recomienda enseñarle la panorámica a la persona especialista en Oncología Radioterápica y a un grupo de profesionales multidisciplinario, para que entre todos tomen una decisión y valoren si se debe elaborar una planificación con otra técnica dosimétrica más conformada.

Deben estimar las decisiones anteriores dependiendo del estado clínico en el que se encuentre la persona usuaria, pues si la misma necesita un tratamiento veloz, se exhorta a brindarle un plan 3D conformacional, pues conlleva menos tiempo de elaboración; en cambio el IMRT o VMAT, se tarda un poco más realizándolos. Asimismo, mientras se elige la nueva técnica, se vuelve a planificar y lo revisan múltiples profesionales, se pierde tiempo valioso, probablemente, muy necesario en ese momento para la persona enferma.

Es necesaria la constante actualización de los protocolos, pues variarán dependiendo de los requerimientos de cada Servicio. En el ámbito de la terapia con radiaciones ionizantes, existe un constante desarrollo tecnológico, tanto en el software como en los aceleradores lineales. Igualmente, surgen muchas variaciones de las enfermedades cancerígenas, lo que incita al cambio en el fraccionamiento, en la cantidad de dosis, en el contorno de los PTVs, en la forma de brindar el tratamiento, entre otros, lo que obliga a los profesionales a adaptarse a dichos cambios continuamente.

Conforme se trabaja gran cantidad de casos, se afinan aún más los detalles y surgen recomendaciones las cuales nacen de prueba y error, por lo que se sugiere a la persona aprendiz efectuar muchos casos de Planificación por un buen tiempo, con el

fin de adquirir bastante experiencia e ir perfeccionando cada vez más rápido los planes, sin devolverse al inicio por errores de principiante.

Se aconseja a los trabajadores del Servicio de Radioterapia del Hospital México a emplear las plantillas creadas para cada una de las técnicas dosimétricas, así se evita la tediosa tarea de colocar todas las cifras numéricas para los objetivos de las estructuras en la optimización; también, se exhorta a ahorrar la introducción de cantidades altas de campos o arcos en cada plan. Una mejora importante en el flujo de trabajo de Planificación Inversa sería el automatizar la identificación de las regiones donde deberían aplicarse herramientas sofisticadas.

Se debe capacitar a todo el personal del Servicio de Radioterapia por igual y de manera constante, pues es notorio el desbalance de conocimiento existente en este lugar; es decir, fue posible observar como sólo ciertos dosimetristas o físicos médicos gozaban de la noción para desarrollar alguna técnica dosimétrica en específico. Se considera de suma importancia un conocimiento base igualitario para todo el trabajador de este servicio. En algún momento puede existir alguna emergencia o el ausentamiento de la persona conocedora de los pasos para elaborar una planificación.

Se alienta al Servicio de Radioterapia del Hospital México a fomentar las diferentes formas con las cuales se construyen las técnicas de Planificación de Intensidad Modulada. Gran cantidad de estudios bibliográficos dan a conocer la manera en que efectuaron los casos con la técnica VMAT, por ejemplo Fogliata et al. (97) sugieren: “un plan con sectores de evitación. Dichas zonas deben obedecer una angulación mayor a 15 grados; para carcinomas mamarios izquierdos proponen el inicio del ángulo del gantry desde  $0^\circ$  ( $345\text{-}20^\circ$ ) a  $105^\circ$  ( $90\text{-}110^\circ$ ). El sector inicial  $0^\circ$  porque es donde el volumen del corazón en el campo incrementa, y final  $105^\circ$ , pues corresponde a la franja donde la mama derecha y el pulmón izquierdo se alinean en la cara anterior”.

Igualmente, Jeulink et al (77). recomiendan emplear seis arcos parciales pequeños, con angulaciones aproximadas de:  $305\text{-}355^\circ$ ,  $355\text{-}45^\circ$ ,  $80\text{-}130^\circ$ ,  $130\text{-}80^\circ$ ,  $80^\circ\text{-}30^\circ$  y  $355\text{-}305^\circ$ . Para cada arco la mandíbula se abre cerca de la pared torácica para minimizar la exposición del pulmón izquierdo y la mama derecha. En el escrito de Tsai

et al. (79), se ilustran seis arcos parciales, cada uno con 50°, los arcos del 1 al 3 se manejan con dirección CW y los arcos del 4 al 6 se trabajan con CCW.

Muchos centros radioterápicos utilizan dispositivos correctores de variaciones posicionales originadas por movimientos como la respiración. El *gating* es una alternativa la cual trata de ligar la radiación al ciclo respiratorio, es decir sincroniza el tratamiento a la forma de respirar de la persona. Sin embargo en el Servicio de Radioterapia del Hospital México no se cuenta con dicho dispositivo, por lo que el tema del área de fuga o el volumen de aire ubicado anterior a la mama, es fundamental. Como recomendación para la Caja Costarricense del Seguro Social, se incentiva la compra de equipo como el anterior, el cual mejoraría mucho la Dosiimetría y la aplicación de cada tratamiento en nuestro país.

Otras compañías creadoras de aceleradores lineales cuentan con herramientas como el *autoflash* en la técnica de Arcoterapia Volumétrica (98), lo que facilitaría el proceso de la creación del tratamiento, sin la preocupación de agregar bolus y la variación de dosis entre planes creados, pues como ya se ha mencionado, no existe la opción de fuga para el software de Eclipse (79). Entonces, se exhorta al Seguro Social, comprar productos de marcas de LINAC las cuales cuenten con utensilios cada vez más innovadores, a la hora de la instalación de futuros Centros Radioterápicos a nivel nacional.

Una vez incluidos los documentos propuestos en esta práctica en los manuales y protocolos oficiales del Servicio de Radioterapia del Hospital México, se aconseja difundir dichos instrumentos a todo el personal perteneciente al Servicio, pero también divulgar la información al Departamento de Radioterapia del Hospital San Juan de Dios, e incluso que esta práctica sirva de herramienta de apoyo para los futuros Servicios de terapia con radiaciones, los cuales se construirán en un futuro en otros centros nacionales.

Se le propone a la Universidad de Costa Rica implementar la modalidad de Práctica Dirigida como opción frecuente de Trabajo Final de Graduación en la carrera de Imagenología, pues es una elección muy útil que ayuda a la generación de conocimientos teóricos y habilidades técnicas en un área específica, en este caso en Radioterapia. Para ser ágil en las áreas de Simulación y Dosimetría Clínica del

Servicio de Radioterapia es necesario un tiempo de experiencia prolongado llevando a cabo destrezas con bastantes casos para familiarizarse con los procesos. Sería muy beneficioso para los estudiantes recién graduados de esta Universidad pública optar por Prácticas Dirigidas para formarse profesionalmente, en un área de interés y tener un acercamiento al ambiente laboral y abrirse puertas mediante su desempeño.

Al rotar un tiempo extenso en este Servicio se nota la necesidad de dar un poco más de énfasis, en plan de estudios de la carrera de Imagenología, al tema de terapia con radiaciones ionizantes. Se propone un acuerdo entre la Universidad de Costa Rica y el Servicio de Radioterapia del Hospital México, con el cual los estudiantes tengan acceso a protocolos clínicos, investigaciones bibliográficas, casos de tratamientos reales elaborados y demás documentos manejados en este nosocomio. La idea consiste en enriquezcan los conocimientos de los estudiantes para que salgan de la Universidad mucho mejor preparados. Del mismo modo, implementar talleres, conferencias o charlas sobre temas relacionados, por parte de profesionales en Imagenología con más experiencia, profesionales en Física Médica y Oncología, para los estudiantes de Imagenología.

Las recomendaciones anteriores se basaron en observaciones realizadas durante el segundo ciclo del 2019, y se facilitaron a la jefatura de Dosimetría Clínica, a la Jefatura de todo el Servicio de Radioterapia, al Jefe de Área Operativa, con el fin de actualizar protocolos, establecer nuevos protocolos estandarizados y brindar tablas, resultados, documentos y plantillas creadas, por si se desean tomar en cuenta para el desarrollo idóneo del trabajo en el Área de Simulación Virtual y Dosimetría Clínica.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Organización Mundial de la Salud. Cáncer [Internet]. 2018 [citado 10 de enero de 2019]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cancer>
2. Rodríguez I. Cáncer le arrebató la vida a 5000 costarricenses cada año. La Nación [Internet]. 2018; Disponible en: <https://www.nacion.com/ciencia/salud/cancer-le-arrebata-la-vida-a-5000-costarricenses/RSYDT6XFR5DYHGQRTFH2U662LM/story/>
3. Mairena J. Impacto del cáncer de mama [Internet]. Caja Costarricense del Seguro Social. 2013 [citado 7 de febrero de 2019]. Disponible en: <https://www.ccss.sa.cr/noticia?impacto-del-cancer-de-mama>
4. Baycan D, Karacetin D, Balkanay AY, Barut Y. Field-in-field IMRT versus 3D-CRT of the breast. Cardiac vessels, ipsilateral lung, and contralateral breast absorbed doses in patients with left-sided lumpectomy: A dosimetric comparison. *Jpn J Radiol.* 2012;30(10):819-23.
5. Nuñez L. Elementos de Radiofísica para técnicos superiores en radioterapia y dosimetría. Barcelona, España: Elsevier España; 2016. 318 p.
6. Mejía L. Análisis dosimétrico de las distribuciones de dosis para las técnicas de tratamiento (campos tangenciales con cuñas, campos complementarios e IMRT) en radioterapia de cáncer de mama [Internet]. Universidad de Colombia; 2012 [citado 7 de enero de 2019]. Disponible en: [http://www.bdigital.unal.edu.co/12966/1/luisalfonso mejia.2012.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/12966/1/luisalfonso%20mejia.2012.pdf)
7. Universidad de Costa Rica. Bachillerato y Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica [Internet]. Programas de estudio. 2017 [citado 4 de noviembre de 2018]. Disponible en: [http://www.tecsalud.ucr.ac.cr/carrera\\_3/](http://www.tecsalud.ucr.ac.cr/carrera_3/)
8. Artavia E. Informe 2016 Servicio de Radioterapia, Hospital México. San José, Costa Rica; 2017.
9. Fernández C. Apuntes de radioterapia: dosimetría. Séptima ed. Servicio de

Radiofísica y Protección Radiológica. Centro Oncológico de Galicia. Galicia; 2016. 280 p.

10. Schubert LK, Gondi V, Sengbusch E, Westerly DC, Soisson ET, Paliwal BR, et al. Dosimetric comparison of left-sided whole breast irradiation with 3DCRT, forward-planned IMRT, inverse-planned IMRT, helical tomotherapy, and tophoterapy. *Radiother Oncol* [Internet]. 2011;100(2):241-6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.radonc.2011.01.004>
11. Cox J, Kian Ang K. *Radiation Oncology: Rationale. Technique. Results*. Ninth edit. Philadelphia: Mosby Elsevier; 2010.
12. Cordero M. CCSS detecta cada hora un nuevo paciente con cáncer. *Semin Univ* [Internet]. 2019; Disponible en: <https://semanariouniversidad.com/ultima-hora/ccss-detecta-cada-hora-un-nuevo-paciente-con-cancer/>
13. Blanco A, Loría R. Situación actual de la radioterapia en Costa Rica [Internet]. Grupo Neuro-Oncológico y Base de Cráneo. 2018 [citado 9 de febrero de 2019]. Disponible en: <http://gruponeuro-oncologico.com/situacion-actual-de-la-radioterapia-en-costa-rica/>
14. Lee J, Hua KL, Hsu SM, Lin J Bin, Lee CH, Lu KW, et al. Development of delineation for the left anterior descending coronary artery region in left breast cancer radiotherapy: An optimized organ at risk. *Radiother Oncol*. 2017;122(3):423-30.
15. Varian Medical Systems. On-Board Imaging [Internet]. Overview. 2017 [citado 18 de noviembre de 2018]. Disponible en: <https://www.varian.com/oncology/products/imaging/on-board-imager-obi>
16. Gobierno de Costa Rica. *La Gaceta* No. 95. D Of. 2014;156.
17. Artavia E. Especificaciones Técnicas de los Aceleradores Lineales de la CCSS y Equipo en Proceso de Instalación. San José, Costa Rica; 2018.
18. Sakas G. Trends in medical imaging: From 2D to 3D. *Comput Graph*. 2002;26(4):577-87.

19. Mondal D, Sharma DN. External beam radiation techniques for breast cancer in the new millennium: New challenging perspectives. *J Egypt Natl Canc Inst* [Internet]. 2016;28(4):211-8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnci.2016.08.001>
20. Aref A, Thornton D, Youssef E, He T, Tekyi-Mensah S, Denton L, et al. Dosimetric improvements following 3D planning of tangential breast irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2000;48(5):1569-74.
21. ASTRO TARGETING CANCER CARE. ASTRO issues clinical guideline for whole breast radiation therapy [Internet]. 2018. Disponible en: <https://www.astro.org/News-and-Publications/News-and-Media-Center/News-Releases/2018/ASTRO-issues-clinical-guideline-for-whole-breast-r>
22. Liu H, Chen X, He Z, Li J. Evaluation of 3D-CRT, IMRT and VMAT radiotherapy plans for left breast cancer based on clinical dosimetric study. *Comput Med Imaging Graph* [Internet]. 2016;54:1-5. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compmedimag.2016.10.001>
23. Mayles, Philip; Nahum, Allan; Rosenwald JC. *Handbook of radiotherapy physics: theory and practice*. Boca Rton, Fl.: Taylor and Francis Group; 2007. 1393 p.
24. Mexico G, Urbina G, García B. Comparación dosimétrica de las técnicas de tratamiento IMRT y VMAT, para cáncer en Mama. 2015 [citado 31 de agosto de 2017]; Disponible en: [http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/47/032/47032300.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/47/032/47032300.pdf)
25. Muralidhar K, Kulkarni S, Ahamed S. Intensity modulated radiotherapy versus volumetric modulated arc therapy in Intensity modulated radiotherapy versus volumetric modulated arc therapy in breast cancer : A comparative dosimetric analysis. 2015;(March).
26. Caja Costarricense del Seguro Social. Hospital México [Internet]. Hospitales. 2019 [citado 6 de febrero de 2019]. Disponible en: <https://www.ccss.sa.cr/hospitales?v=18>

27. Ávalos Á. Costa Rica extremó controles para evitar otra tragedia radiactiva como la de hace 20 años. La Nación [Internet]. 2016; Disponible en: <https://www.nacion.com/el-pais/salud/costa-rica-extremo-controles-para-evitar-otra-tragedia-radiactiva-como-la-de-hace-20-anos/OH7OIFGAPNF73NVSJOQNBRAHVM/story/>
28. Mairena J. CCSS inaugura obra de infraestructura más grande para la atención del cáncer de su historia [Internet]. Caja Costarricense del Seguro Social. 2013. Disponible en: <https://www.ccss.sa.cr/noticia?ccss-inaugura-obra-de-infraestructura-mas-grande-para-la-atencion-del-cancer-de-su-historia>
29. Varian Medical Systems. Eclipse Version 13.6 IHE Integration Statement. California; 2015. p. 1-6.
30. Drake, Richard L., A. Wayne Vogl, Mitchell AWM. Gray anatomía para estudiantes. Segunda ed. Barcelona, España: Elsevier España; 2010. 1103 p.
31. Rizzo D. Fundamentals of Anatomy and Physiology. cuarta edi. Boston: CENGAGE LEARNING; 2016. 515 p.
32. Badve SS, Beitsch PD, Shikha Bose F, Byrd DR, Vivien Chen FW, Connolly JL, et al. Breast Cancer Staging System: AJCC Cancer Staging Manual [Internet]. Eighth edi. Chicago; 2018. Disponible en: <https://cancerstaging.org/references-tools/deskreferences/Documents/AJCC Breast Cancer Staging System.pdf>
33. Steward WP. Oxford Handbook of Oncology. Br J Cancer. 2007;96(8):1312.
34. Murat Beyzadeoglu, Gokhan Ozyigit CE. Basic Radiation Oncology. Berlin: Springer Heidelberg; 2010. 575 p.
35. Kirby I. Bland EMC. The Breast. Comprehensive Management of Benign and Malignant Diseases. fourth edi. Kirby I. Bland EMC, editor. Philadelphia: SAUNDERS Elsevier; 2009. 1597 p.
36. American Cancer Society. Radiation for Breast Cancer [Internet]. 2016 [citado 1 de febrero de 2019]. Disponible en:

<http://www.cancer.org/cancer/breastcancer/detailedguide/breastcancer-%0Atreating-radiation>.

37. Hansen E, Roach M. Handbook of Evidence-Based Radiation Oncology. 3rd Editio. Switzerland: Springer; 2018.
38. Bruce A. Chabner, Thomas J. Lynch DLL. Harrison. Manual de Oncología. México DF.: McGRAW-HILL INTERAMERICANA; 2009. 626 p.
39. Consejo de Seguridad Nuclear. Las radiaciones ionizantes en un servicio de radioterapia equipamiento utilizado en radioterapia externa [Internet]. Material Docente de los Cursos de obtención de licencias y acreditaciones para la operación en instalaciones radiactivas y de radiodiagnóstico. 2010 [citado 3 de junio de 2019]. p. 1-19. Disponible en: <http://csn.ciemat.es/MDCSN/portal.do?>
40. Lizuain M, Capuz A, Crispín V, García S, Juan X, Jurado D, et al. La radioterapia guiada por imagen. Rev Física Médica. 2008;113-26.
41. Larco M. Proyecto Final Integrador: Placa de Tórax en Pediatría. Universidad Nacional General San Martín; 2002.
42. Cabrera D, Muñoz J, Montero A, Arenas M, Algara M. Tecnología y técnicas recomendadas en la irradiación externa del cáncer de mama. Rev Senol y Patol Mamar. 2013;26(4):138-45.
43. Ang K, Garden A. Radiotherapy for head and neck cancer. Indications and techniques. Tercera Ed. Editorial Lippincott Williams & Wilkins, editor. EEUU; 2006.
44. ICRU 62. Elaboración de informes en la terapia con haces de fotones (suplemento a ICRU). BETEHESDA, MARILAND, USA; 1999.
45. Lee Riaz, Nadeem, Lu, Jiade J. NY. Target Volume Delineation for Conformal and Intensity-Modulated Radiation Therapy. Switzerland: Springer International Publishing; 2014. 541 p.
46. Prabhakar R, Rath G. A simple plan evaluation index based on the dose to

- critical structures in radiotherapy. J Med Physics/Association Med Phys. 2011;192-7.
47. White J, Tai A, Arthur D, Buchholz T, Macdonald S, Marks L, et al. Breast Cancer Atlas for Radiation Therapy Planning : Consensus Definitions Collaborators. :1-71.
  48. Joseph S, Oakland M, Arbor A, Freedman GM, Hall H. NRG Oncology RTOG 1005 a phase III trial of accelerated whole breast irradiation with hypofractionation plus concurrent boost versus standard whole breast irradiation plus sequential boost for early-stage breast cancer. This trial is part of the National . RTOG. 2014;
  49. ICRU 83. The international commission on radiation units and measurements. Report 83. J ICRU. 2010;10(2):1-35.
  50. Haviland JS, Owen JR, Dewar JA, Agrawal RK, Barrett J, Barrett-Lee PJ, et al. The UK Standardisation of Breast Radiotherapy (START) trials of radiotherapy hypofractionation for treatment of early breast cancer: 10-year follow-up results of two randomised controlled trials. Lancet Oncol [Internet]. 2013;14(11):1086-94. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045\(13\)70386-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045(13)70386-3)
  51. DBCG. The SKAGEN Trial 1 Moderately hypofractionated loco-regional adjuvant radiation therapy of early breast cancer combined with a simultaneous integrated boost in patients with an indication for boost: DBCG HYPO II, a randomised clinically controlled trial. 2015;1-33. Disponible en: [www.dbcg.dk/](http://www.dbcg.dk/)
  52. Pellejero S, Lozares S. Descripción de equipos de última generación en radioterapia externa. Vol. 32. Pamplona; 2009.
  53. Ramos A. Avances tecnológicos en los tratamientos con radioterapia. Oncol. 2010;28(8):11-4.
  54. Ann Barrett, Jane Dobbs SM and TR. Practical Radiotherapy Planning. London: Hodder Education; 2009. 468 p.

55. Varian Medical Systems. Eclipse Inverse Planning Operations, Version 13. Palo Alto, U.S.A; 2014.
56. Jin G-H, Chen L-X, Deng X-W, Liu X-W, Huang Y, Huang X-B. A comparative dosimetric study for treating left-sided breast cancer for small breast size using five different radiotherapy techniques: conventional tangential field, filed-in-filed, Tangential-IMRT, Multi-beam IMRT and VMAT. *Radiat Oncol* [Internet]. 2013;8(1):89. Disponible en: <http://ro-journal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1748-717X-8-89>
57. Varian Medical Systems. Volumetric Arc Therapy [Internet]. 2018. Disponible en: <https://www.varian.com/oncology/treatment-techniques/external-beam-radiation/vmat>
58. Yu Cedric X. Intensity-modulated arc therapy with dynamic multileaf collimation: an alternative to tomotherapy. *Phys Med Biol*. 1995;1435-49.
59. Otto K. Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc. *Med Phys*. 2008;35(1):310-7.
60. Radiation Knowledge. Webinars [Internet]. Competition. 2017 [citado 7 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://radiationknowledge.org/webinars-2/co>
61. Medical Physics Institute of Radiooncology KHV. RapidArc Optimization [Internet]. The Name of the Game. 2009 [citado 9 de julio de 2019]. Disponible en: <https://www.wienkav.at/kav/kfj/91033454/physik/irohome.htm><https://www.wienkav.at/kav/kfj/91033454/physik/irohome.htm>
62. Nicolini G, Fogliata A, Clivio A, Vanetti E, Cozzi L. Planning strategies in volumetric modulated arc therapy for breast. 2011;38(April):4025-31.
63. Lizondo M, Latorre-musoll A, Carrasco P, Espinosa N, Coral A, Jornet N. Physica Medica Pseudo skin flash on VMAT in breast radiotherapy : Optimization of virtual bolus thickness and HU values. *Phys Medica* [Internet]. 2019;63(May):56-62. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2019.05.010>

64. Teh B, Lu H, Sobremonte S. The potential use of intensity modulated radiotherapy (IMRT) in women with pectum excavatum desiring breast-conserving therapy. *Breast J.* 2011. p. 233-9.
65. Urbina G, Garcia B. Comparación dosimétrica de las técnicas de tratamiento IMRT y VMAT, para cáncer en Mama. 2015 [citado 20 de agosto de 2011]; Disponible en:  
[http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/47/032/47032300.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/47/032/47032300.pdf)
66. Castellanos ME. Las nuevas tecnologías : necesidades y retos en radioterapia en América Latina. *Rev Panam Salud Pública [Internet].* 2006;20(2/3):143-50. Disponible en: <http://www.scielo.org/>
67. Rizo D, Alberto P, López N, Arenas M. Conocimientos básicos de oncología radioterápica para la enseñanza. Universida. Cuenca; 2016. 92 p.
68. De la Hera M, Córdoba S, Puebla F. Manuales prácticos. Radioterapia. ARAN, editor. Hospital Clínico San Carlos, Madrid; 2008.
69. Artavia E. Entrevista. San Jose; 2017.
70. Riesgos. I de PRI en P de. ¿Qué es el Dosímetro Personal? [Internet]. Dosímetro Personal de Radiaciones. 2019 [citado 1 de abril de 2019]. Disponible en: <http://www.iprltda.cl/noticias/que-es-el-dosimetro-personal/>
71. Universidad de Costa Rica. Reglamento ético científico de la universidad de costa rica para las investigaciones en las que participan seres humanos. *Gac Univ* 6-2000. 2000;
72. Varian Medical Systems. Planificación de tratamientos con BrachyVision [Internet]. VARIAN BRACHYTHERAPY. 2009. Disponible en:  
[http://www.equiphos.com/wp-content/uploads/2015/05/BrachyVision\\_85\\_Brochure\\_SP1.pdf](http://www.equiphos.com/wp-content/uploads/2015/05/BrachyVision_85_Brochure_SP1.pdf)
73. Jin G-H, Chen L-X, Deng X-W, Liu X-W, Huang Y, Huang X-B. A comparative dosimetric study for treating left-sided breast cancer for small breast size using five different radiotherapy techniques: conventional tangential field, filed-



- in-filed, Tangential-IMRT, Multi-beam IMRT and VMAT. *Radiat Oncol.* 2013;8(1):89.
74. Gursel B, Meydan D, Ozbek N, Ofluoglu T. Dosimetric comparison of three different external beam whole breast irradiation techniques. *Adv Ther.* 2011;28(12):1114-25.
75. Andre C, María A, Roa A, Johansen M, Lund J-Å. *Physica Medica* Robustness of VMAT and 3DCRT plans toward setup errors in radiation therapy of locally advanced left-sided breast cancer with DIBH. 2018;45(July 2017):12-8.
76. Zhao H, He M, Cheng G, Han D, Wu N, Shi D, et al. A comparative dosimetric study of left sided breast cancer after breast-conserving surgery treated with VMAT and IMRT. *Radiat Oncol [Internet]*. 2015;1-10. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/s13014-015-0531-4>
77. Jeulink M, Dahele M, Meijnen P, Slotman BJ, Verbakel WFAR. Is there a preferred IMRT technique for left-breast irradiation ? 2015;16(3):197-205.
78. Kim S, Nguyen A, Cao F, Ramaseshan R, Kristensen S, Kunczewicz K, et al. Template-based breast IMRT planning for increased workload efficiency. 2013;1-6.
79. Tsai P, Lin S, Lee S, Yeh C, Huang Y, Lee C, et al. The feasibility study of using multiple partial volumetric-modulated arcs therapy in early stage left-sided breast cancer patients. 2012;13(5):62-73.
80. Rossi M, Boman E, Skyttä T, Haltamo M, Laaksomaa M, Kapanen M. Dosimetric effects of anatomical deformations and positioning errors in VMAT breast radiotherapy. 2018;(April):1-11.
81. Tyran M, Tallet A, Resbeut M, Ferre M, Favrel V, Fau P, et al. Safety and benefit of using a virtual bolus during treatment planning for breast cancer treated with arc therapy. 2018;(January):1-10.
82. Boman E, Rossi M, Haltamo M, Skyttä T, Kapanen M. *Physica Medica* Original paper A new split arc VMAT technique for lymph node positive breast

- cancer. *Phys Medica* [Internet]. 2016; Disponible en:  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejmp.2016.10.012>
83. Das INJD, Shikama NAS, Cheng CHEEAIC, Solin LAJS. CHOICE OF BEAM ENERGY AND DOSIMETRIC IMPLICATIONS FOR RADIATION TREATMENT IN A SUBPOPULATION OF WOMEN WITH LARGE BREASTS IN THE UNITED STATES AND JAPAN. 2006;31(3):216-23.
  84. Kestin L, Sharpe M, Frazier R, Vicini F, Yan P, Matter R, et al. INTENSITY MODULATION TO IMPROVE DOSE UNIFORMITY WITH TANGENTIAL BREAST RADIOTHERAPY : INITIAL CLINICAL EXPERIENCE. *Radiat Oncol Biol Phys*. 2000;48(5):1559-68.
  85. Birgani MT, Fatahiasi J, Mohammad S, Bagheri A, Behrooz MA, Zabiehzadeh M, et al. Breast Radiotherapy with Mixed Energy Photons ; a Model for Optimal Beam Weighting. 2015;16:7785-8.
  86. Kirby AM, Evans PM, Donovan EM, Convery HM, Haviland JS, Yarnold JR. Prone versus supine positioning for whole and partial-breast radiotherapy : A comparison of non-target tissue dosimetry. *Radiother Oncol* [Internet]. 2010;96(2):178-84. Disponible en:  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.radonc.2010.05.014>
  87. Griem KL, Fetherston PAMF, Kuznetsova MAK, Foster GRSF, Shott SUS, Chu JAC. THREE-DIMENSIONAL PHOTON DOSIMETRY : A COMPARISON OF TREATMENT OF THE INTACT BREAST IN THE SUPINE AND PRONE POSITION. *Radiat Oncol Biol Phys*. 2003;57(3):891-9.
  88. Liu H, Chen X, He Z, Li J. Evaluation of 3D-CRT, IMRT and VMAT radiotherapy plans for left breast cancer based on clinical dosimetric study. *Comput Med Imaging Graph*. 2016;54:1-5.
  89. Opescu CACP, Livotto IVOO, Atenaude VEP, Ai ELW, Eckham WAAB. RADIATION THERAPY ( IMRT ): A PROMISING TECHNIQUE WHEN TARGET VOLUME IS THE LEFT BREAST AND INTERNAL MAMMARY LYMPH NODES. 2006;31(4):283-91.

90. Bogue J, Wan J, Lavey RS, Parsai EI. Dosimetric comparison of VMAT with integrated skin flash to 3D field - in - field tangents for left breast irradiation. 2019;(October 2018):24-9.
91. Gerardo J, Márquez G, López A, Oscar V, Nava R, Gonzalez AC, et al. Diseño e implementación de una técnica de radioterapia rotacional para tratamiento de cáncer de mama y su comparación contra la técnica 3DCRT de irradiación . 2015;257-65.
92. Pasler M, Georg D, Bartelt S, Lutterbach J. breast cancer : does VMAT improve treatment plan quality with respect to IMRT ? 2013;(August 2012):380-6.
93. Fogliata A, Nicolini G, Alber M, Asell M, Dobler B, El-haddad M, et al. Breast irradiation IMRT for breast . A planning study. 2005;76:300-10.
94. Liu H, Chen X, He Z, Li J. Computerized Medical Imaging and Graphics Evaluation of 3D-CRT , IMRT and VMAT radiotherapy plans for left breast cancer based on clinical dosimetric study. Comput Med Imaging Graph [Internet]. 2016;54:1-5. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compmedimag.2016.10.001>
95. Marks L, Yorke E, Jackson A, Ten R, Constone L, Eisbruch A, et al. The Quantitative Analysis of Normal Tissue Effects in the Clinic (QUANTEC). Radiat Oncol Biol Phys. 2010;76(3):3-9.
96. Varian Medical systems. Eclipse Inverse Planning Operations, Version 13. Palo Alto, U.S.A; 2014.
97. Fogliata A, Seppälä J, Reggiori G, Lobefalo F, Palumbo V, Rose F De, et al. Dosimetric trade-offs in breast treatment with VMAT technique. 2016;
98. Virén T, Heikkilä J, Myllyoja K, Koskela K, Lahtinen T, Seppälä J. Tangential volumetric modulated arc therapy technique for left-sided breast cancer radiotherapy. 2015;1-8. Disponible en: ???

## 8. ANEXOS

### Anexo 1. Aceptación formal de la Jefatura de Servicio de Radioterapia, Hospital México.



CAJA COSTARRICENSE DE SEGURO SOCIAL  
**HOSPITAL MEXICO**  
Servicio de Radioterapia  
Tel: 2242-67-98- Fax: 2242-6775



SRT-HM-0268-2019  
08 de abril del 2019

Bachiller  
Carolina Matamoros Lobo  
Servicio de Radioterapia  
Hospital México

**Asunto: Respuesta a nota recibida**

Estimada Bach. Carolina:

Reciba un cordial saludo. De acuerdo a nota recibida se le informa que esta Jefatura le concede permiso para realizar su trabajo Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica en modalidad de práctica Dirigida denominada: "Fortalecimiento de los procedimientos de Simulación Virtual y Planificación Dosimétrica para el tratamiento de cáncer de mama con radioterapia externa, en estadio temprano, en el Servicio de Radioterapia del Hospital México, durante el año 2019".

Agradeciendo su atención,

**Servicio Radioterapia**

Dra. Kattia Montero Fernández  
Jefe a.i.



KMF/FSF

Cc: Archivo.

**Anexo 2. Hoja de Simulación Virtual para afecciones de tórax y abdomen.**



Caja Costarricense del Seguro Social  
Servicio de Radioterapia H.M.



**HOJA DE DATOS DE SIMULACIÓN PORTC**

**DATOS DEL PACIENTE**

Paciente: \_\_\_\_\_ Cédula: \_\_\_\_\_  
 Domicilio: \_\_\_\_\_ F.N: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_  
 Diagnóstico: \_\_\_\_\_ Sitio Anatómico: \_\_\_\_\_  
 Teléfonos: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ Fecha de Simulación: \_\_\_\_\_

**POSICIÓN DEL PACIENTE**

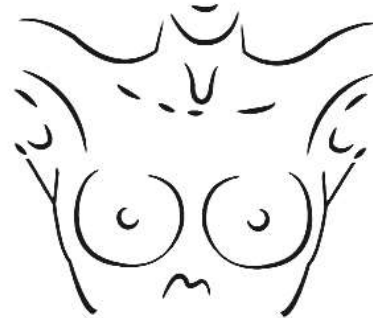
\_\_\_\_\_ Decúbito Supino  
 \_\_\_\_\_ Decúbito Prono  
 \_\_\_\_\_ Decúbito Lateral \_\_\_\_\_

**ORIENTACIÓN DEL PACIENTE**

\_\_\_\_\_ Cabeza al Gantry \_\_\_\_\_ Pies al Gantry

**ELEMENTOS DE FIJACIÓN Y POSICIONAMIENTO**

\_\_\_\_\_ Vaclock  
 \_\_\_\_\_ Máscara  
 \_\_\_\_\_ Baja Lenguas  
 \_\_\_\_\_ Tracción de Hombros  
 \_\_\_\_\_ Base Plana  
 \_\_\_\_\_ Base Angulada  
 \_\_\_\_\_ Base de Cabeza Dec. Ventral  
 \_\_\_\_\_ Rampa de Mama  
 \_\_\_\_\_ Braceras para Rampa de Mama  
 \_\_\_\_\_ Malla Termoplástica de Mama  
 \_\_\_\_\_ Rampa para Piernas Combifix  
 \_\_\_\_\_ Piernas en Posición de Rana  
 \_\_\_\_\_ Bolus de cm \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ Liga en Pies  
 \_\_\_\_\_ Vejiga Llena  
 Brazos: \_\_\_\_\_



**ZÓCALOS ACRÍLICOS**

A \_\_\_\_\_  
 B \_\_\_\_\_  
 C \_\_\_\_\_  
 D \_\_\_\_\_  
 E \_\_\_\_\_  
 F \_\_\_\_\_  
 G \_\_\_\_\_  
 Almohada Estándar \_\_\_\_\_

**TATUAJES Y OBSERVACIONES**

Médico: \_\_\_\_\_ Imagenólogo: \_\_\_\_\_

Fuente: Servicio de Radioterapia, Hospital México.

Anexo 3. Hoja de simulación de rampa de mama.

HOJA DE CONFIGURACIÓN RANPA PARA MAMA

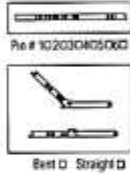
NOMBRE: \_\_\_\_\_  
 EXPEDIENTE: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

INDEXADO DE LA BARRA LOK-BAR:

**RANPA**

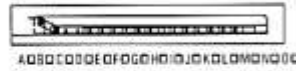
2. Elevation (MT-350-W or -W only)

Post	Bent	Straight
1	5'	X
2	7.5'	12.5'
3	X	15'
4	X	17.5'
5	10'	20'
6	X	25'



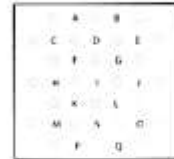
**FRENO DE CADERA**

12. Hip Stop



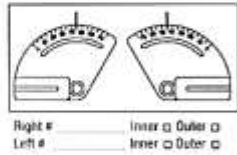
**SOPORTE DE CABEZA**

5. Head Cup

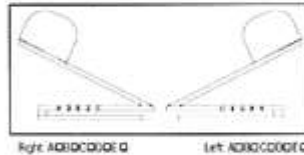


**BRAZOS**

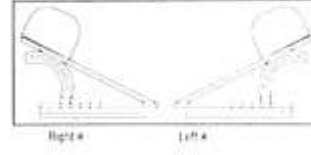
6. Arm Rotation



7. Upper Arm Length



8. Upper Arm Incline

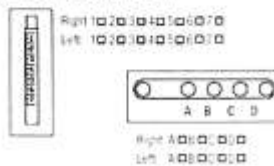


**MUÑECAS**

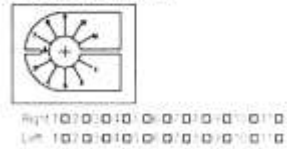
9. Wrist Support Placement



10. Wrist Support Adjustable Post



11. Wrist Support Locking Clamp



**OBSERVACIONES:**

\_\_\_\_\_

## Anexo 4. Consentimiento informado de la Caja Costarricense del Seguro Social.



CAJA COSTARRICENSE DE SEGURO SOCIAL

Centro: \_\_\_\_\_

### **CONSENTIMIENTO INFORMADO**

Este formulario debe ser completado por todo funcionario de la CCSS antes de desarrollar cualquiera de las actividades sujetas de consentimiento informado por parte de los usuarios de los servicios de salud que brinda la Institución, de conformidad con Artículo 75, inciso b) del Reglamento del Seguro de Salud, el Artículo 40 del Reglamento del Expediente de Salud y las demás normas atinentes a la materia.

El suscrito (a), \_\_\_\_\_, en mi condición de  usuario,  padre o madre,  tutor,  apoderado legal de \_\_\_\_\_, doy mi consentimiento informado para que:

#### **I. AUTORIZACION PARA PROCEDIMIENTOS O PROGRAMAS**

1. Se practique por parte del personal autorizado del centro de salud, los procedimientos o programas que a continuación se detallan:

1.1 _____	1.2 _____
1.3 _____	1.4 _____
1.5 _____	1.6 _____
1.7 _____	1.8 _____
1.9 _____	1.10 _____

#### **II. AUTORIZACION PARA PARTICIPACION DE ESTUDIANTES**

2. Los estudiantes cubiertos por el Reglamento para la Actividad Clínica Docente de la CCSS, claramente identificados y en compañía del tutor, puedan participar en los exámenes y procedimientos que le sean realizados al usuario de los servicios de salud institucionales, con excepción de \_\_\_\_\_; todo bajo la supervisión del docente encargado.

Por tanto, hago constar que de previo a la firma de este consentimiento informado, se han cumplido las siguientes condiciones:

### III. CONDICIONES DEL CONSENTIMIENTO

1. Recibí información sencilla y completa por parte de \_\_\_\_\_, quien manifiesta ser funcionario calificado del centro de salud. En ésta, se me proporcionó información suficiente y comprensible sobre los beneficios y riesgos relacionados con las actividades consentidas.
2. Se me ha leído y explicado en forma completa el contenido de este documento, aclarando a la vez, todas mis dudas a satisfacción.

Aclaro, eso sí, que durante mi atención podré cambiar de opinión y cancelar la presente autorización, de lo cual se dejará constancia escrita en el expediente, sin que ello signifique que se me negará los restantes servicios de salud.

### IV. FIRMAS DEL FUNCIONARIO Y DEL USUARIO

_____ Nombre y cargo del funcionario que solicita Consentimiento Informado	_____ Cédula o identificación	_____ Firma
_____ Nombre del usuario o responsable	_____ Cédula o identificación	_____ Firma o huella digital

Si quien otorga el consentimiento informado no pudiese firmar, deberá imprimir su huella digital y aportar dos testigos (as) que no trabajen para la CCSS y hablen su mismo idioma, quienes deben firmar la siguiente declaración:

### V. FIRMA DE LOS TESTIGOS

Nosotros (as) los (as) abajo firmantes, damos fe de que quien otorga este Consentimiento Informado ha impreso su huella digital en señal de aceptación de lo anteriormente indicado, en nuestra presencia.

_____ Nombre completo del testigo 1	_____ Cédula o identificación	_____ Firma	_____ Fecha
_____ Nombre completo del testigo 2	_____ Cédula o identificación	_____ Firma	_____ Fecha

Si se requiriese practicar otros procedimientos no contemplados en este Consentimiento Informado, se deberán de utilizar formularios adicionales e incorporarlos al Expediente de Salud.

Fuente: Servicio de Radioterapia, Hospital México.



**Anexo 5. Ejemplo de resultados de la sistematización de experiencias de Planificación Dosimétrica: parámetros para el diseño del plan 3DCRT.**

<b>Geometría del plan 3DCRT-FiF</b>	<b>Usuaría 10</b>
<b>Energía</b>	6MV
<b># campos</b>	4 campos 1 principal TI 1 subcam TI 1 principal TE 1 subcam TE
<b>Angulación de campos</b>	TI: 308 TE: 131
<b>Angulación de colimador</b>	TI: 0 TE: 0
<b>Angulación de mesa</b>	0
<b>Accesorios adicionales</b>	NA (FiF)
<b>Tamaño de campos</b>	TI: x14.6, y22.4 TE: x14.4, y22.4
<b>Isocentro</b>	X: 10 Y: 12 Z: 8
<b>Conformación de MLC a PTV</b>	0.8 cm del PTV 3 cm fuga
<b>UM</b>	TI: 148 TE: 147
<b>Normalización</b>	D100%-58%

Fuente: Elaboración Propia a partir de la Planificación de pacientes del Servicio de Radioterapia, Hospital México.

**Anexo 6. Ejemplo de resultados de la sistematización de experiencias de Planificación Dosimétrica: parámetros para el diseño del plan IMRT.**

<b>Geometría del plan IMRT</b>	<b>Usuaría 10</b>
<b>Energía</b>	6MV
<b># arcos</b>	6 campos
<b>Angulación de arcos</b>	300,320,350, 100,125,150
<b>Angulación de colimador</b>	1:0 2:5 3:0 4:0 5:0 6:0
<b>Angulación de mesa</b>	0
<b>Tamaño de campos</b>	1:x10.5, y20.5 2:x12.8, y20.5 3:x15.6, y19.3 4:x13.3, y20 5:x10.3, y20.5 6:x13.3, y19.8
<b>Isocentro</b>	X: 10 Y:12 Z:8
<b>Conformación de MLC a PTV</b>	Fuga: 2 cm
<b>NTO</b>	Prioridad:100 NTO manual DFTB: 0.5 Inicio D: 105 Final D: 60 Caída de D: 0.1
<b>Grosor de rejilla</b>	normal
<b>UM</b>	1:180 2:197 3:207 4:203 5:164 6:222
<b>Objetivos Superiores e Inferiores PTV</b>	Sup:4165 Sup: 4125 Inf:4085 Inf: 4005
<b>Objetivos OARs</b>	<i>Corazón:</i> Sup:53.2%-465cGy Sup:35%-800 cGy Sup;5%-2000 cGy Media: 400 cGy <i>Mama D:</i> Sup:4.8%-125 cGy Sup:0%-264 cGy <i>PRV medula:</i> Sup:0%-50 cGy  <i>Pulmón D:</i> Sup:10.4%-104 cGy Sup:0%-295 cGy

	<i>Pulmón I:</i> Sup:60,5%-157 cGy Sup:50%-400 cGy Sup:40%-800 cGy Sup:20%-1600 cGy Sup:0%-2463 cGy <i>Pulmones:</i> Sup:8.2%-1330 cGy Sup:0%-2821 cGy
<b>Prioridades</b>	PTV: 100 Anillo : 200 Control lateral: 75 Control medial: 120 Corazón: 50,80 Cuerpo: 230 Mama D:70,110 PRV medula: 20 Pulmón D:75 Pulmón I:65,80 Pulmones: 60
<b>Normalización</b>	D100%-V58%

Fuente: Elaboración Propia a partir de la Planificación de pacientes del Servicio de Radioterapia, Hospital México.

**Anexo 7. Ejemplo de resultados de la sistematización de experiencias de Planificación Dosimétrica: parámetros para el diseño del plan VMAT.**

<b>Geometría del plan VMAT</b>	<b>Usuaría 10</b>
<b>Energía</b>	6 MV
<b># arcos</b>	3
<b>Angulación de arcos</b>	CW: 305°-179° CCW:179°-305° CW1:305°-179°
<b>Angulación de colimador</b>	CW:10 CCW:350 CW1:10
<b>Angulación de mesa</b>	0
<b>Tamaño de campos</b>	CW:x15,y21.2 CCW:x15,y21.4 CW1:x15,y21.2
<b>Isocentro</b>	X:10 Y:12 Z:8
<b>Conformación de MLC a PTV</b>	Bolus 2cm- Fuga 2 cm
<b>NTO</b>	Prioridad: 135 NTO manual: DFTB:0.1 Inicial D:101 Final D:60 Caída D:0.09
<b>Grosor de rejilla</b>	normal
<b>UM</b>	CW:221 CCW:245 CW1:242
<b>Objetivos superiores e inferiores para PTV</b>	PTV OPT Sup:4165 Sup:4125 Inf:4090 Inf:4005  PTV-EXT Sup:4080 Sup:4000 Inf:3805 Inf:3600
<b>Objetivos superiores OARs</b>	<i>Corazón:</i> Sup:50%- 450cGy Sup: 35%- 362cGy Sup:4.7%- 1188cGy <i>Corazón MOD:</i> Sup:50%- 400cGy Sup: 35%- 410cGy Sup:2.3%-1394 cGy Media: 350cGy <i>Mama D:</i> Sup:5%- 150cGy Sup:0%-250 cGy

	<i>PRV medula:</i> Sup:7%-150 cGy Sup: 0%-300 cGy <i>Pulmon D:</i> Sup:15%-194 cGy Sup:0% -640cGy <i>Pulmon I:</i> Sup:60%- 100cGy Sup:50%-200 cGy Sup:40%- 500cGy Sup:20%- 1305cGy Sup:0%-2593 cGy <i>Pulmon I MOD</i> Sup:60%- 80cGy Sup:49.7%-150 cGy Sup:38.5%-350 cGy Sup:18%-800 cGy Sup:0%-2100 cGy <i>Pulmones:</i> Sup: 4.8%-1605 cGy Sup:0%-3000 cGy
<b>Prioridades</b>	PTV OPT:110 PTV-EXT:100,120 Anillo :70,85 Control lateral:50 Control medial:98 Corazón:30 Corazón MOD:40,60 Mama D: 80,100 PRV medula:70,75 Pulmon D:70,85 Pulmon I:75,80,90 Pulmón I MOD:75,80,90 Pulmones:60
<b>Normalización</b>	D100%-V75%
<b>Valor de normalización del plan</b>	104.2

Fuente: Elaboración Propia a partir de la Planificación de pacientes del Servicio de Radioterapia, Hospital México.

**Anexo 8. Resultados de la sistematización de experiencias de Planificación Dosimétrica: parámetros dosimétricos de evaluación para PTV.**

CASO	Técnica	Dmin (%)	Dmax (%)	Dmedia (%)	IC (1)	IH	D50%	D95%	D98%	D2%	Volumen (cm3)
Usuaría 10	3D	87.5	105.3	100.1	0.75	0.08	100.4	95.8	94.8	103.6	720.6
	IMRT	74	106.3	100.5	0.60	0.08	100.3	96.4	94.3	103.2	720.6
	VMAT	75.6	107.3	100.4	0.69	0.10	103.9	97.7	95.9	106.9	720.6

Fuente: Elaboración Propia a partir de la Planificación de pacientes del Servicio de Radioterapia, Hospital México.

**Anexo 9. Resultados de la sistematización de experiencias de Planificación Dosimétrica: parámetros dosimétricos de evaluación para órganos de riesgo.**

Caso	Técnica	Corazón		Pulmón izquierdo			Pulmón derecho	Mama contralateral	PRV medula	
3DCRT-FiF	Danés	V17Gy<10%	V35Gy<5%		V17Gy<35%	Dmedia 16Gy		V3Gy<5%	<38.5 Gy	
IMRT-VMAT	RTOG 1005	V20Gy<5%	V8Gy<35%	Dmedia: 4Gy	V16Gy<20%	V8Gy<40%	V4Gy<50%	V4Gy<15%	Dmax: 2.64 Gy	<20 Gy
Usuaría 10	3D	V17Gy<2.7%	V35Gy<1.3%		V17Gy<15.3%	Dmedia 7 cGy			Dmax: 3 Gy	0.5 cGy
	IMRT	V20Gy<2.7%	V8Gy<9.5%	Dmedia: 3.9Gy	V16Gy<16.3%	V8Gy<33.5%	V4Gy<51.5%	V4Gy<0.3%	Dmax: 4.6 Gy	0.5 cGy
	VMAT	V20Gy<1.1%	V8Gy<9.6%	Dmedia: 4Gy	V16Gy<13.8%	V8Gy<28.8%	V4Gy<46.3%	V4Gy<5.8%	Dmax: 4.6 Gy	<2.5Gy

Fuente: Elaboración Propia a partir de la Planificación de pacientes del Servicio de Radioterapia, Hospital México.

**Anexo 10. Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Observación y Simulación Virtual.**

Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Observación y Simulación Virtual.

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

Nombre de la practicante: Carolina Matamoros Lobo

Fecha: 19 agosto 2019 Firma: 



Criterios a evaluar.	Escala numérica				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo simulador			✓		
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de simulación.		✓			
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona				✓	
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.			✓		
Conoce medidas de protección radiológica para el personal.		✓			
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corrobora información sobre intención, antecedentes clínicos.			✓		
Manipula adecuadamente el equipo.		✓			
Selecciona los parámetros de adquisición y adquiere imágenes adecuadamente.		✓			
Revisa la calidad de la imagen.				✓	
Utiliza correctamente las herramientas para la manipulación de las imágenes.				✓	
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal.				✓	
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).				✓	
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.				✓	
Asistencia y puntualidad.				✓	
Utilización de recursos. Iniciativa y creatividad.			✓		
Capacidad para recibir sugerencias.			✓		
Comportamiento ético.				✓	
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.				✓	

**Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Observación y Simulación Virtual.**

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

Nombre de la practicante: Carolina Matamoros Lobo

Fecha: 2 septiembre 2019 Firma: 



Criterios a evaluar.	Escala nominal				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo simulador.			✓		
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de simulación.			✓		
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona.				✓	
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.			✓		
Conoce medidas de protección radiológica para el personal.			✓		
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corrobora información sobre intención, antecedentes clínicos.			✓		
Manipula adecuadamente el equipo.			✓		
Selecciona los parámetros de adquisición y adquiere imágenes adecuadamente.			✓		
Revisa la calidad de la imagen.				✓	
Utiliza correctamente las herramientas para la manipulación de las imágenes.				✓	
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal.				✓	
Respeto, atención y cordesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).				✓	
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.				✓	
Asistencia y puntualidad.				✓	
Utilización de recursos. Iniciativa y creatividad.			✓		
Capacidad para recibir sugerencias.			✓		
Comportamiento ético.				✓	
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.				✓	



**Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Observación y Simulación Virtual.**

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

**Nombre de la practicante:** Carolina Matamoros Lobo.

**Fecha:** 16 septiembre 2019 **Firma:** 



Criterios a evaluar.	Escala normal				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo simulador			✓		
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de simulación.			✓		
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona				✓	
Tiene ordenes de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.			✓		
Conoce medidas de protección radiológica para el personal.			✓		
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corrobora información sobre intención, antecedentes clínicos.			✓		
Manipula adecuadamente el equipo.			✓		
Selecciona los parámetros de adquisición y adquiere imágenes adecuadamente.			✓		
Revisa la calidad de la imagen.				✓	
Utiliza correctamente las herramientas para la manipulación de las imágenes.				✓	
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal				✓	
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).				✓	
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.				✓	
Asistencia y puntualidad.				✓	
Utilización de recursos, iniciativa y creatividad.				✓	
Capacidad para recibir sugerencias.				✓	
Comportamiento ético.			✓		
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.				✓	


**Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Observación y Simulación Virtual.**

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

Nombre de la practicante: Carolina Matamoros Lobo.

Fecha: 30 septiembre 2019 Firma: 



Criterios a evaluar.	Escala de Evaluación				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo simulador			✓		
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de simulación			✓		
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona				✓	
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes			✓		
Conoce medidas de protección radiológica para el personal			✓		
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corrobora información sobre intención, antecedentes clínicos.			✓		
Manipula adecuadamente el equipo			✓		
Selecciona los parámetros de adquisición y adquiere imágenes adecuadamente.			✓		
Revisa la calidad de la imagen.				✓	
Utiliza correctamente las herramientas para la manipulación de las imágenes.				✓	
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal				✓	
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).				✓	
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.				✓	
Asistencia y puntualidad.				✓	
Utilización de recursos, iniciativa y creatividad.				✓	
Capacidad para recibir sugerencias.			✓		
Comportamiento ético.				✓	
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.				✓	

**Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Observación y Simulación Virtual.**

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

Nombre de la practicante: Carolina Matamoros Lobo

Fecha: 7 octubre 2019 Firma: 



Criterios a evaluar.	Escala ordinal				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo simulador.				✓	
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de simulación			✓		
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona				✓	
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.			✓		
Conoce medidas de protección radiológica para el personal				✓	
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corrobora información sobre intensidad, antecedentes clínicos.			✓		
Mangula adecuadamente el equipo.			✓		
Selecciona los parámetros de adquisición y adquiere imágenes adecuadamente			✓		
Revisa la calidad de la imagen.				✓	
Utiliza correctamente las herramientas para la manipulación de las imágenes.				✓	
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal				✓	
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo)				✓	
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.				✓	
Asistencia y puntualidad.				✓	
Utilización de recursos. Iniciativa y creatividad				✓	
Capacidad para recibir sugerencias.			✓		
Comportamiento ético.				✓	
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.				✓	


**Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Observación y Simulación Virtual.**

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

**Nombre de la practicante:** Carolina Matamoros Lobo,

**Fecha:** 21 octubre 2019 **Firma:** 



Criterios a evaluar.	Escala nominal				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo simulador.				✓	
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de simulación.				✓	
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona.					✓
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.				✓	
Conoce medidas de protección radiológica para el personal.					✓
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corroborar información sobre intención, antecedentes clínicos.				✓	
Manipula adecuadamente el equipo.			✓		
Selecciona los parámetros de adquisición y adquiere imágenes adecuadamente.				✓	
Revisa la calidad de la imagen.				✓	
Utiliza correctamente las herramientas para la manipulación de las imágenes.				✓	
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal.					✓
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).				✓	
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.				✓	
Asistencia y puntualidad.					✓
Utilización de recursos, Iniciativa y creatividad.					✓
Capacidad para recibir sugerencias.				✓	
Comportamiento ético.				✓	
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.				✓	


**Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Observación y Simulación Virtual.**

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

**Nombre de la practicante:** Carolina Matamoros Lobo

**Fecha:** 4 noviembre 2019 **Firma:** 



Criterios a evaluar.	Escala Notral				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo simulador.					✓
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de simulación.				✓	
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona.					✓
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.					✓
Conoce medidas de protección radiológica para el personal.					✓
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corrobora información sobre intención, antecedentes clínicos.				✓	
Manipula adecuadamente el equipo.				✓	
Selecciona los parámetros de adquisición y adquiere imágenes adecuadamente.				✓	
Revisa la calidad de la imagen.				✓	
Utiliza correctamente las herramientas para la manipulación de las imágenes.				✓	
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal.					✓
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).					✓
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.				✓	
Asistencia y puntualidad.					✓
Utilización de recursos, Iniciativa y creatividad.					✓
Capacidad para recibir sugerencias.				✓	
Comportamiento ético.					✓
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.					✓

**Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Observación y Simulación Virtual.**

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

**Nombre de la practicante:** Carolina Matamoros Lobo

**Fecha:** 18 noviembre 2019 **Firma:** 



Criterios a evaluar.	Escala Normal				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo simulador.					✓
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de simulación.					✓
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona.					✓
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.					✓
Conoce medidas de protección radiológica para el personal.					✓
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corrobora información sobre intención, antecedentes clínicos.					✓
Manipula adecuadamente el equipo.				✓	
Selecciona los parámetros de adquisición y adquiere imágenes adecuadamente.					✓
Revisa la calidad de la imagen.					✓
Utiliza correctamente las herramientas para la manipulación de las imágenes.					✓
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal.					✓
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).					✓
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.					✓
Asistencia y puntualidad.					✓
Utilización de recursos, iniciativa y creatividad.					✓
Capacidad para recibir sugerencias.				✓	
Comportamiento ético.					✓
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.					✓

**Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Observación y Simulación Virtual.**

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

Nombre de la practicante: Carolina Matamoros Lobo

Fecha: 2 diciembre 2019 Firma: \_\_\_\_\_



Criterios a evaluar.	Escala notoral				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo simulador.					✓
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de simulación.					✓
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona.					✓
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.					✓
Conoce medidas de protección radiológica para el personal.					✓
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corrobora información sobre intención, antecedentes clínicos.					✓
Manipula adecuadamente el equipo.					✓
Selecciona los parámetros de adquisición y adquiere imágenes adecuadamente.					✓
Revisa la calidad de la imagen.					✓
Utiliza correctamente las herramientas para la manipulación de las imágenes.					✓
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal.					✓
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).					✓
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.					✓
Asistencia y puntualidad.					✓
Utilización de recursos, iniciativa y creatividad.					✓
Capacidad para recibir sugerencias.					✓
Comportamiento ético.					✓
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.					✓

**Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Observación y Simulación Virtual.**

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

**Nombre de la practicante:** Carolina Matamoros Lobo

**Fecha:** 16 diciembre 2019 **Firma:** 



Criterios a evaluar.	Escala nominal				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo simulador.					✓
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de simulación.					✓
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona.					✓
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.					✓
Conoce medidas de protección radiológica para el personal.					✓
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corrobora información sobre intención, antecedentes clínicos.					✓
Manipula adecuadamente el equipo.					✓
Selecciona los parámetros de adquisición y adquiere imágenes adecuadamente.					✓
Revisa la calidad de la imagen.					✓
Utiliza correctamente las herramientas para la manipulación de las imágenes.					✓
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal.					✓
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).					✓
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.					✓
Asistencia y puntualidad.					✓
Utilización de recursos. Iniciativa y creatividad.					✓
Capacidad para recibir sugerencias.					✓
Comportamiento ético.					✓
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.					✓



Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Observación y Simulación Virtual.

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

Nombre de la practicante: Carolina Matamoros Lobo.

Fecha: 30 diciembre 2019 Firma: \_\_\_\_\_



Criterios a evaluar.	Escala nominal				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo simulador.					✓
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de simulación.					✓
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona.					✓
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.					✓
Conoce medidas de protección radiológica para el personal.					✓
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corroborar información sobre intención, antecedentes clínicos.					✓
Manipula adecuadamente el equipo.					✓
Selecciona los parámetros de adquisición y adquiere imágenes adecuadamente.					✓
Revisa la calidad de la imagen.					✓
Utiliza correctamente las herramientas para la manipulación de las imágenes.					✓
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal.					✓
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).					✓
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.					✓
Asistencia y puntualidad.					✓
Utilización de recursos, Iniciativa y creatividad.					✓
Capacidad para recibir sugerencias.					✓
Comportamiento ético.					✓
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.					✓

## Anexo 11. Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase Planificación dosimétrica.


Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Planificación Dosimétrica.

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

Nombre de la practicante: Carolina Matamoros Lobo

Fecha: 19 de octubre 2019 Firma: 



Criterios a evaluar.	Escala normal				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo Dosimetría Clínica del Sistema de Planificación.			✓		
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de planificación.			✓		
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona.				✓	
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.			✓		
Relaciona los datos clínicos del usuario sobre la intención y objetivos de la planificación de tratamiento.			✓		
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corrobora información sobre intención, antecedentes clínicos. Verifica las indicaciones del plan, dadas por el médico.			✓		
Manipula adecuadamente el equipo y herramientas disponibles en el sistema de planificación.			✓		
Selecciona los parámetros de planificación.				✓	
Identifica correctamente los valores de tolerancia de OARs y cobertura de PTVs en los histogramas.			✓		
Evalúa la calidad de planificación.			✓		
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal.				✓	
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).				✓	
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.				✓	
Asistencia y puntualidad.				✓	
Utilización de recursos. Iniciativa y creatividad.			✓		
Capacidad para recibir sugerencias. Comportamiento ético.			✓		
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.				✓	

**Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Planificación Dosimétrica.**

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

**Nombre de la practicante:** Carolina Matamoros Lobo.

**Fecha:** 23 septiembre 2019. **Firma:** 



Criterios a evaluar.	Escala ordinal				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo Dosimetría Clínica del Sistema de Planificación.				✓	
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de planificación.			✓		
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona.				✓	
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.			✓		
Relaciona los datos clínicos del usuario sobre la intención y objetivos de la planificación de tratamiento.				✓	
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corrobora información sobre intención, antecedentes clínicos. Verifica las indicaciones del plan, dadas por el médico.			✓		
Manipula adecuadamente el equipo y herramientas disponible en el sistema de planificación.				✓	
Selecciona los parámetros de planificación.				✓	
Identifica correctamente los valores de tolerancia de OARs y cobertura de PTVs en los histogramas.			✓		
Evalúa la calidad de planificación.				✓	
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal.				✓	
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).				✓	
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.				✓	
Asistencia y puntualidad.				✓	
Utilización de recursos, iniciativa y creatividad.			✓		
Capacidad para recibir sugerencias. Comportamiento ético.			✓		
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.				✓	

**Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Planificación Dosimétrica.**

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

**Nombre de la practicante:** Carolina Matamoros Lobo.

**Fecha:** 16 septiembre 2019 **Firma:** 



Criterios a evaluar.	Escala Numérica				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo Dosimetría Clínica del Sistema de Planificación.				✓	
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de planificación.				✓	
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona.				✓	
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.			✓		
Relaciona los datos clínicos del usuario sobre la intención y objetivos de la planificación de tratamiento.				✓	
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corroborar información sobre intención, antecedentes clínicos. Verifica las indicaciones del plan, dadas por el médico.				✓	
Manipula adecuadamente el equipo y herramientas disponibles en el sistema de planificación.				✓	
Selecciona los parámetros de planificación.				✓	
Identifica correctamente los valores de tolerancia de OARs y cobertura de PTVs en los histogramas.			✓		
Evalúa la calidad de planificación.				✓	
<b>Actitudinal</b>					
<b>Presentación personal.</b>					
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).				✓	
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.				✓	
Asistencia y puntualidad.				✓	
Utilización de recursos. Iniciativa y creatividad.				✓	
Capacidad para recibir sugerencias. Comportamiento ético.			✓		
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.				✓	

**Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Planificación Dosimétrica.**

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

**Nombre de la practicante:** Carolina Matamoros Lobo,

**Fecha:** 30 septiembre 2014 **Firma:** 



Criterios a evaluar.	Escala nominal				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo Dosimetría Clínica del Sistema de Planificación.				✓	
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de planificación.					✓
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona.				✓	
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.				✓	
Relaciona los datos clínicos del usuario sobre la intención y objetivos de la planificación de tratamiento.				✓	
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corrobora información sobre intención, antecedentes clínicos. Verifica las indicaciones del plan, dadas por el médico.				✓	
Manipula adecuadamente el equipo y herramientas disponibles en el sistema de planificación.				✓	
Selecciona los parámetros de planificación.					✓
Identifica correctamente los valores de tolerancia de OARs y cobertura de PTVs en los histogramas.				✓	
Evalúa la calidad de planificación.				✓	
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal.				✓	
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).					✓
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.				✓	
Asistencia y puntualidad.				✓	
Utilización de recursos. Iniciativa y creatividad.					✓
Capacidad para recibir sugerencias. Comportamiento ético.				✓	
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.				✓	

**Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Planificación Dosimétrica.**

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

**Nombre de la practicante:** Carolina Matamoros Lobo.

**Fecha:** 7 octubre 2019 **Firma:** 



Criterios a evaluar.	Escala de calificación				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo Dosimetría Clínica del Sistema de Planificación.					✓
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de planificación.					✓
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona.				✓	
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.					✓
Relaciona los datos clínicos del usuario sobre la intención y objetivos de la planificación de tratamiento.				✓	
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corrobora información sobre intención, antecedentes clínicos. Verifica las indicaciones del plan, dadas por el médico.				✓	
Manipula adecuadamente el equipo y herramientas disponibles en el sistema de planificación.				✓	
Selecciona los parámetros de planificación.					✓
Identifica correctamente los valores de tolerancia de OARs y cobertura de PTUs en los histogramas.					✓
Evalúa la calidad de planificación.					✓
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal.					✓
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).					✓
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.				✓	
Asistencia y puntualidad.					✓
Utilización de recursos, iniciativa y creatividad.					✓
Capacidad para recibir sugerencias. Comportamiento ético.				✓	
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.				✓	

**Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Planificación Dosimétrica.**

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

Nombre de la practicante: Carolina Matamoros Lobo.

Fecha: 21 octubre 2019 Firma: \_\_\_\_\_



Criterios a evaluar.	Escala numérica				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo Dosimetría Clínica del Sistema de Planificación.					✓
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de planificación.					✓
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona.				✓	
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.					✓
Relaciona los datos clínicos del usuario sobre la intención y objetivos de la planificación de tratamiento.					✓
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corroborar información sobre intención, antecedentes clínicos. Verifica las indicaciones del plan, dadas por el médico.				✓	
Manipula adecuadamente el equipo y herramientas disponibles en el sistema de planificación.					✓
Selecciona los parámetros de planificación.					✓
Identifica correctamente los valores de tolerancia de OARs y cobertura de PTVs en los histogramas.					✓
Evalúa la calidad de planificación.					✓
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal.					✓
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).					✓
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.					✓
Asistencia y puntualidad.					✓
Utilización de recursos. Iniciativa y creatividad.					✓
Capacidad para recibir sugerencias. Comportamiento ético.					✓
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.					✓

**Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Planificación Dosimétrica.**

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

**Nombre de la practicante:** Carolina Matamoros Lobo.

**Fecha:** 4 noviembre 2019 **Firma:** 



Criterios a evaluar.	Escala nominal				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo Dosimetría Clínica del Sistema de Planificación.					✓
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de planificación.					✓
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona					✓
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.					✓
Relaciona los datos clínicos del usuario sobre la intención y objetivos de la planificación de tratamiento.					✓
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corrobora información sobre intención, antecedentes clínicos. Verifica las indicaciones del plan, dadas por el médico.					✓
Manipula adecuadamente el equipo y herramientas disponibles en el sistema de planificación.					✓
Selecciona los parámetros de planificación,					✓
Identifica correctamente los valores de tolerancia de OARs y cobertura de PTVs en los histogramas.					✓
Evalúa la calidad de planificación.					✓
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal.					✓
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).					✓
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.					✓
Asistencia y puntualidad.					✓
Utilización de recursos. Iniciativa y creatividad.					✓
Capacidad para recibir sugerencias. Comportamiento ético.					✓
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.					✓



**Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Planificación Dosimétrica.**

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

**Nombre de la practicante:** Carolina Matamoros Lobo.

**Fecha:** 18 noviembre 2019 **Firma:** 



Criterios a evaluar.	Escala normal				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo Dosimetría Clínica del Sistema de Planificación.					✓
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de planificación.					✓
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona.					✓
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.					✓
Relaciona los datos clínicos del usuario sobre la intención y objetivos de la planificación de tratamiento.					✓
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corrobora información sobre intención, antecedentes clínicos. Verifica las indicaciones del plan, dadas por el médico.					✓
Manipula adecuadamente el equipo y herramientas disponibles en el sistema de planificación.					✓
Selecciona los parámetros de planificación.					✓
Identifica correctamente los valores de tolerancia de OARs y cobertura de PTVs en los histogramas.					✓
Evalúa la calidad de planificación.					✓
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal.					✓
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).					✓
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.					✓
Asistencia y puntualidad.					✓
Utilización de recursos, iniciativa y creatividad.					✓
Capacidad para recibir sugerencias. Comportamiento ético.					✓
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.					✓

**Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Planificación Dosimétrica.**

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

Nombre de la practicante: Carolina Matamoros Lobo.

Fecha: 2 diciembre 2019 Firma: \_\_\_\_\_



Criterios a evaluar.	Escala nominal				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo Dosimetría Clínica del Sistema de Planificación.					✓
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de planificación.					✓
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona.					✓
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.					✓
Relaciona los datos clínicos del usuario sobre la intención y objetivos de la planificación de tratamiento.					✓
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corroborar información sobre intención, antecedentes clínicos. Verifica las indicaciones del plan, dadas por el médico.					✓
Manipula adecuadamente el equipo y herramientas disponibles en el sistema de planificación.					✓
Selecciona los parámetros de planificación.					✓
Identifica correctamente los valores de tolerancia de OARs y cobertura de PTVs en los histogramas.					✓
Evalúa la calidad de planificación.					✓
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal.					✓
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).					✓
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.					✓
Asistencia y puntualidad.					✓
Utilización de recursos, iniciativa y creatividad.					✓
Capacidad para recibir sugerencias. Comportamiento ético.					✓
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.					✓

**Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Planificación Dosimétrica.**

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación; Modalidad

Nombre de la practicante: Carolina Maldonado

Fecha: 16 diciembre 2019 Firma:



Criterios a evaluar.	Escala nominal				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo Dosimetría Clínica del Sistema de Planificación.					✓
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de planificación.					✓
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona.					✓
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.					✓
Relaciona los datos clínicos del usuario sobre la intención y objetivos de la planificación de tratamiento.					✓
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corrobora información sobre intención, antecedentes clínicos. Verifica las indicaciones del plan, dadas por el médico.					✓
Manipula adecuadamente el equipo y herramientas disponibles en el sistema de planificación.					✓
Selecciona los parámetros de planificación.					✓
Identifica correctamente los valores de tolerancia de OARs y cobertura de PTVs en los histogramas.					✓
Evalúa la calidad de planificación.					✓
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal.					✓
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).					✓
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.					✓
Asistencia y puntualidad.					✓
Utilización de recursos. Iniciativa y creatividad.					✓
Capacidad para recibir sugerencias. Comportamiento ético.					✓
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.					✓

**Evaluación del desempeño de la practicante en el Área de Dosimetría Clínica del Hospital México en la Fase de Planificación Dosimétrica.**

Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Trabajo Final de Graduación: Modalidad Práctica Dirigida

Nombre de la practicante: Carolina Matamoros

Fecha: 30 diciembre 2019 Firma:



Criterios a evaluar.	Escala nominal				
	1 Malo	2 Regular	3 Bien	4 Muy Bien	5 Excelente
<b>Conceptual</b>					
Conoce las partes y funciones del equipo Dosimetría Clínica del Sistema de Planificación.					✓
Conoce la preparación necesaria para el procedimiento de planificación.					✓
Posee conocimiento de anatomía, fisiología de la persona.					✓
Tiene criterios de posicionamiento, adquisición y verificación de imágenes.					✓
Relaciona los datos clínicos del usuario sobre la intención y objetivos de la planificación de tratamiento.					✓
<b>Procedimental</b>					
Verifica la identificación del usuario y simulación. Corroborar información sobre intención, antecedentes clínicos. Verifica las indicaciones del plan, dadas por el médico.					✓
Manipula adecuadamente el equipo y herramientas disponibles en el sistema de planificación.					✓
Selecciona los parámetros de planificación.					✓
Identifica correctamente los valores de tolerancia de OARs y cobertura de PTVs en los histogramas.					✓
Evalúa la calidad de planificación.					✓
<b>Actitudinal</b>					
Presentación personal.					✓
Respeto, atención y cortesía con el personal (relaciones interpersonales y trabajo en equipo).					✓
Organización y planeación. Capacidad de gestión y toma de decisiones.					✓
Asistencia y puntualidad.					✓
Utilización de recursos. Iniciativa y creatividad.					✓
Capacidad para recibir sugerencias. Comportamiento ético.					✓
Compromiso, responsabilidad y profesionalismo al ejecutar las funciones.					✓