



Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE TECNOLOGÍA MÉDICA

**DOSIS EN ÓRGANOS EN RIESGO EN LA IRRADIACIÓN 2D Y 3D DEL
CÁNCER DE MAMA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN TECNOLOGÍA
MÉDICA ESPECIALIDAD DE RADIOLOGÍA**

AUTORA

PÉREZ GÓMEZ, CARMEN ELIZABETH

ASESORA

VIZCARRA ORTIZ, SILVIA ROSA

JURADOS

CHECA CHAVEZ ELENA ERNESTINA

PAREDES CAMPOS, FELIPE JESUS

SALDAÑA JUAREZ, JACOBO EZEQUIEL

Lima – Perú

2019

Dedicatoria

A mis padres, por su amor, dedicación y apoyo constante a lo largo de mi vida.

A mis pacientes, quienes fueron el principal motivo para realizar esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

- *A todo el equipo de trabajo del Centro de Radioterapia de Lima, a los doctores, quienes me abrieron las puertas y me mostraron su apoyo incondicional durante mi tiempo de permanencia y me brindaron las facilidades para el desarrollo de mi investigación, a las tecnólogas, quienes compartieron conmigo sus conocimientos, experiencias y sobre todo me enseñaron la importancia y el impacto positivo que cada uno puede lograr en cada paciente; a las físicas médicas, por su compromiso, entusiasmo y tiempo brindado, sin ellas esta investigación no hubiese sido posible y a todo el personal que labora en el centro, más que compañeros somos una familia.*
- *A mis asesores, por la orientación permanente y paciencia que tuvieron al desarrollar esta investigación.*
- *A mis profesores en mi etapa universitaria, por contribuir en mi formación académica y brindarme herramientas valiosas para mi desenvolvimiento profesional.*
- *A todos los tecnólogos médicos, que formaron parte de mi desarrollo hacia el camino de la excelencia profesional.*
- *A los pacientes, quienes a diario confían en nuestros conocimientos y ponen su bienestar en nuestras manos.*
- *A todos los que colaboraron para el desarrollo de esta investigación.*

Asesores de tesis:

Lic. TM Silvia Rosa Vizcarra Ortiz

*Físicas médicas del Centro de
Radioterapia de Lima*

RESUMEN

En el presente trabajo se comparó el porcentaje de dosis que llega a los órganos en riesgo (pulmón ipsilateral y corazón) en la irradiación 2D y 3D del cáncer de mama previa cirugía conservadora, los datos fueron obtenidos de los Histogramas Dosis Volumen (HDV) realizados por física médica con el software de planificación CAT 3D. Se evaluó 261 planificaciones de pacientes con cáncer de mama tratados en el Centro de Radioterapia de Lima en el período 2016-2017, obteniendo 247 planificaciones en 2D y 14 planificaciones en 3D, siguiendo los criterios de inclusión y exclusión de la investigación, se realizó el estudio con 10 planificaciones 3D, a los cuales se le añadió la planificación 2D. Los resultados fueron: la variación de dosis media en pulmón y corazón para mama derecha de 7.4% (15.2% 2D vs 7.8% 3D) y 0.7% (1.2% 2D vs 0.5% 3D) respectivamente, para mama izquierda la variación fue de 6.8% (14% 2D vs 7.2% 3D) y 4% (5.8% 2D vs 1.8%) respectivamente, obteniendo dos variaciones significativas de 15.5% (26% 2D vs 10.5% 3D) y 15.1% (32.5% 2D vs 17.4% 3D) para pulmón, de 20.8% (25.2% 2D vs 4.4% 3D) y 14.2% (18.5% 2D vs 4.3% 3D) para corazón. Según las restricciones de la RTOG para OAR's se obtuvo: para mama derecha una variación de 1.3% para pulmón (4.1% 2D vs 2.8% 3D) y corazón (2.6% 2D vs 1.3% 3D), y en mama izquierda una variación de 1.7% pulmón (4.8% 2D vs 3.1% 3D) y 3.8% en corazón (7.1% en 2D vs 3.3% en 3D); encontrando dos casos en donde en la planificación 2D se sobrepasaba el constrains ($V_{25Gy} < 10\%$), de tal manera que, el 10% de volumen cardiaco recibe 50Gy. Se concluye que la irradiación 3D CRT de mama con cirugía conservadora reduce el porcentaje de dosis que llega a los OAR's, minimizando la probabilidad de complicaciones de tejido a largo plazo.

Palabras clave: Radioterapia 2D vs 3D-CRT, Dosis en órganos en riesgo, radioterapia conformacional, TAC simulador en mama.

ABSTRACT

In the research, the percentage of doses in organs at risk (ipsilateral lung and heart) was compared in 2D and 3D irradiation of breast cancer after conservative surgery, the data were obtained from the Dose Volume Histograms (DVH) performed by medical physics with the software of planning CAT 3D. We evaluated 261 plans of patients with breast cancer treated in the Radiotherapy Center of Lima in the period 2016-2017, finding 247 patients with 2D planning, 14 patients with 3D planning, following the research restrictions, the study was conducted with 10 patients, to whom a 2D planning was added. The results that were obtained: for right breast, the variation of average doses in lung and heart were 7.4% (15.2% 2D vs 7.8% 3D) and 0.7% (1.2% 2D vs 0.5% 3D) respectively, for left breast the variation was of 6.8% (14% 2D vs 7.2% 3D) and 4% (5.8% 2D vs 1.8%) respectively, finding two variations significant of 15.5% (26% 2D vs 10.5% 3D) and 15.1% (32.5% 2D vs 17.4% 3D) for lung, 20.8% (25.2% 2D vs 4.4% 3D) and 14.2% (18.5% 2D vs 4.3% 3D) for heart.

According to the restrictions of the RTOG for OAR's it was found: for right breast a variation of 1.3% for lung (4.1% 2D vs 2.8% 3D) and heart (2.6% 2D vs 1.3% 3D), and in the left breast a 1.7% for lung (4.8% 2D vs 3.1% 3D) and 3.8% for heart, (7.1% en 2D vs 3.3% en 3D); finding two cases where the 2D planning the constrains are exceded ($V_{25Gy} < 10\%$), so that 10% of the cardiac volumen receives 50Gy.

I conclude that 3D-CRT breast irradiation with conservative surgery reduces the percentage of dose that reaches the OAR's, minimizing the probability y of long term tissue complications.

Key words: Radiotherapy 2D vs 3D-CRT, dose in organs at risk in the breast cancer, radiotherapy conformational, TAC breast simulator.

INDICE

Dedicatoria.....	2
Agradecimientos.....	3
Asesores de tesis.....	4
Resumen.....	5
Abstract.....	6
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 Descripción y formulación del problema.....	11
1.2 Antecedentes.....	14
1.2.1 Estado del arte de la radioterapia.....	14
1.2.2 Revisión bibliográfica.....	16
1.3 Objetivos.....	20
1.3.1 Objetivos generales.....	20
1.3.2 Objetivos específicos.....	21
1.4 Justificación.....	21
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	24
2.1 Base teórica.....	24
2.1.1 Factores etiológicos.....	25
2.1.2 Cuadro clínico.....	26
2.1.3 Tamizaje y diagnóstico.....	27
2.1.4 Estadiaje.....	29
2.1.5 Tratamiento.....	31
2.2 Descripción de la tecnología.....	33
2.2.1 Localización.....	33
2.2.2 Adquisición de datos anatómicos.....	34
2.2.3 Delimitación de volúmenes.....	35
2.2.4 Dosis de tratamiento.....	37
2.2.5 Diseño del plan de tratamiento.....	38
2.2.6 Simulación y verificación del plan de tratamiento.....	40
2.3 Herramientas para la evaluación de los planes.....	42
2.3.1 Distribución de dosis 3D.....	42
2.3.2 Histograma dosis volumen.....	42

2.3.3 Utilización de los histogramas dosis volumen	43
2.4 Órganos en riesgo y valoración de los histograma dosis volumen	44
2.4.1 Pulmón	44
2.4.2 Corazón	44
CAPÍTULO III: MÉTODO	46
3.1 Tipo de investigación	46
3.2 Ámbito espacial y temporal	46
3.3 Variables.....	46
3.4 Población y muestra	47
3.4.1 Población	47
3.4.2 Muestra	47
3.5 Instrumento	47
3.6 Procedimiento	49
3.7 Análisis de datos	52
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	53
Tabla 1. Casos planificados en CAT 3D	53
Tabla 2. Porcentaje de dosis en los OAR´s según cada técnica	54
Tabla 3. Dosis media en OAR´s.....	55
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	56
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	59
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	61
CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS	63
CAPÍTULO IX: ANEXOS.....	66
Anexo I. Planificación 2D - 3D de mama derecha	67
Anexo II Planificación 2D - 3D de mama izquierda	68
Anexo III Histograma dosis volumen 2D - 3D de mama derecha	69
Anexo IV Histograma dosis volumen 2D - 3D de mama izquierda	70

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En un periodo de tiempo que podríamos considerar relativamente corto, el entorno que envuelve al mundo del cáncer, sobre todo el cáncer de mama, ha sufrido una enorme evolución, los cambios que se han ido produciendo tanto en el diagnóstico, como el tratamiento, fruto de los avances científicos y del mayor conocimiento de la biología del tumor, han permitido una mayor tasa de curación del cáncer y supervivencia global.

El cáncer de mama detectado en estadios tempranos permite realizar nuevas modalidades de tratamiento en radioterapia, como 3D conformacional (3D-CRT), IMRT e IGRT, dando así una mejor conformación de las dosis en el blanco y reduciendo el riesgo en los órganos aledaños, sin embargo, la posibilidad de recibir tratamiento con cualquiera de las dos últimas modalidades mencionadas, dependerá de la tecnología instalada en su centro de atención (se necesitan equipos especializados para tal fin) y la accesibilidad económica.

El Centro de Radioterapia de Lima, cuenta con un acelerador lineal Varian 600 desde 1995, en el cual podemos realizar tratamientos 3D-CRT, gracias a la adquisición de un software para planificación 3D de física médica y la implementación del TAC Simulador en el país; los tratamiento 3D realizados por años, generalmente fueron enfocados hacia cáncer de próstata, cabeza y cuello, sin embargo, en el 2015 se comenzó a realizar planificaciones y tratamientos 3D en cáncer de mama, siguiendo la corriente a nivel global, cuyos estudios comprobaban la efectividad de esta modalidad de tratamiento y recomendaban la implementación del mismo.

Se asume que la radioterapia conformada basada en la planificación y cálculo tridimensional del tratamiento debe reducir las dosis absorbidas por los órganos en riesgo (mama contralateral, pulmón ipsilateral y corazón), permite aumentar la dosis diaria y reducir el tiempo total de tratamiento con respecto a la radioterapia convencional o 2D, sin embargo, no existen literaturas en el país que lo corroboren.

Mediante esta investigación se pretende cuantificar las variaciones en los órganos de riesgo entre las modalidades de tratamiento, para corroborar las ventajas del mismo y a su vez, para identificar si se encuentra dentro de los rangos hallados en otras investigaciones y las recomendaciones del QUANTEC.

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente el cáncer de mama es el segundo cáncer con mayor incidencia presentando 1'790,861 nuevos casos, con una mortalidad de 560,407 mujeres en todo el mundo; en el Perú se presentaron 4,314 nuevos casos, con una mortalidad de 1,332 mujeres sólo en el 2015, según los datos epidemiológicos de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, siglas en inglés).

Los avances tecnológicos han permitido detectar con mayor precisión el cáncer de mama, encontrándose en muchos casos en estadios iniciales I y II, permitiendo así mejorar los esquemas de tratamiento. Estos esquemas involucran tres áreas Cirugía, Quimioterapia y Radioterapia, cuya aplicación es específica para cada paciente.

La radioterapia tiene un papel clave en el manejo actual del cáncer de mama en todos los estadios de la enfermedad. Su importancia ha sido confirmada por numerosos ensayos clínicos prospectivos aleatorizados y varios metaanálisis. Así, la irradiación de la mama tras la cirugía conservadora está indicada en todas las ocasiones, los buenos resultados en cuanto a control local de la enfermedad y supervivencia a largo plazo hacen que se planteen nuevos esquemas de tratamiento con el objetivo de reducir la dosis en los órganos en riesgo, mejorando así la calidad de vida de las pacientes. También se ha confirmado el papel de la radioterapia tras la mastectomía y en la afectación ganglionar, incluso en casos con afectación de 1 a 3 ganglios. (A. Ortiz y col. 2015).

En los últimos veinte años el extraordinario auge de la informática ha permitido desarrollos tecnológicos trascendentales al servicio de la precisión en los tratamientos radioterapéuticos: en la obtención de imágenes en tres dimensiones, en los sistemas de planificación y en las unidades de irradiación. De manera que en menos de dos décadas se ha pasado de la radioterapia en dos dimensiones (RT 2D) a la radioterapia conformada en 3D (3D CRT) y a la modulación de la intensidad de la radiación para la máxima conformación (IMRT). La alta precisión en la entrega de la radiación ajusta la dosis prescrita al volumen blanco preservando mejor los tejidos sanos adyacentes. (Dominguez y col. 2009).

El Perú no ha sido ajeno a la revolución de la tecnología y equipamiento en radioterapia, sobretodo impulsado por el sector privado, tal es así que desde el 2004, ya se mencionaban tratamientos tridimensionales, pero se limitaban a ciertos tipos de cánceres, como lo eran de próstata, cabeza y cuello principalmente, con el pasar de los años y los avances en el diagnóstico y manejo integral del mismo, han permitido que casi todos los cánceres en estadios tempranos, puedan tratarse con esta modalidad, incluso el cáncer de mama.

Sin embargo, en nuestro país, aun son escasos los estudios enfocados en la dosis que reciben los órganos en riesgo en el Cáncer de Mama, sobretodo en la transición de la modalidad 2D y 3D conformacional, en esencia, los estudios se han enfocado en analizar y comparar las distintas técnicas 3D disponibles, cuyo acceso depende de diversos factores, como el equipamiento tecnológico, la accesibilidad económica, entre otros; por tal motivo se buscó evaluar los

beneficios que nos presenta esta técnica, teniendo en cuenta que actualmente un gran porcentaje de mujeres con cáncer de mama son tratadas con radioterapia convencional, la misma que en otros países se ésta dejando para casos muy especiales, volviéndose así, la radioterapia conformacional la elección estándar para la irradiación de mama.

En el 2015, el Centro de Radioterapia de Lima, comenzó a realizar tratamientos 3D con un acelerador lineal Varian 600 adquirido desde 1995, lo cual pone al centro como un excelente ejemplo y referente para evaluar la implementación y beneficios de esta modalidad.

Por lo expuesto anteriormente planteo la siguiente pregunta de investigación:

PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la dosis en órganos en riesgo en la irradiación 2D y 3D del cáncer de mama en el Centro de Radioterapia de Lima en el periodo 2016 - 2017?

PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál es la variación de dosis en el pulmón ipsilateral en la irradiación 2D y 3D del cáncer de mama derecha, en el Centro de Radioterapia de Lima en el periodo 2016 - 2017?
- ¿Cuál es la variación de dosis en el pulmón ipsilateral en la irradiación 2D y 3D del cáncer de mama izquierda, en el Centro de Radioterapia de Lima en el periodo 2016 - 2017?
- ¿Cuál es la variación de dosis en el corazón en la irradiación 2D y 3D del cáncer de mama derecha, en el Centro de Radioterapia de Lima en el periodo 2016 - 2017?

- ¿Cuál es la variación de dosis en el corazón en la irradiación 2D y 3D del cáncer de mama izquierda, en el Centro de Radioterapia de Lima en el periodo 2016 - 2017?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1 ESTADO DEL ARTE DE LA RADIOTERAPIA

Hace más de un siglo, en 1895, Roentgen descubrió los rayos X y un año después, los esposos Curie publicaron el descubrimiento del radium. Los efectos biológicos se dieron a conocer con prontitud, tanto es así que en 1899 se comunicó el primer paciente tratado y curado con radiaciones; desde entonces, la radioterapia ha evolucionado a la par que la tecnología, en sus principios sólo podíamos obtener energías no mayores a 140 kv pero en 1922 llegó a 200 Kv.

A partir de los años 30, el desarrollo científico tecnológico llevó progresivamente al uso de equipos de teleterapia de mayor energía, así como a la utilización de isótopos como el Cobalto 60. Esto permitió una mayor facilidad técnica, mayor factibilidad de reproducción del tratamiento y, por lo tanto, mayor probabilidad de curación de pacientes con cáncer.

En el Perú, la radioterapia inició tempranamente, tal es así que el primer equipo fue instalado en 1925, era un Siemens de 180 Kv en el hospital Loayza, el más moderno de la época y el de mayor energía disponible. En el transcurrir de los años fueron aumentando la adquisición de estos equipos, tal es así que entre 1925 y 1958 se contó en Lima con 29 equipos con energías entre 180 y 400 Kv y 5 equipos de radioterapia superficial.

Durante todo ese periodo la dosimetría pasó de la dosis eritema a la determinación del Roentgen, luego el Rad y lo que conocemos actualmente el Gray. Era fundamental la observación y la acuciosidad clínica, ya que ello determinaba la dosis final, el fraccionamiento era muy conocido como una forma para poder aumentar la dosis y para identificar las puertas de entrada se necesitaba del arte y localización espacial debido a la limitada penetrabilidad de las radiaciones con energías en kilovoltaje. La dosimetría era realizada por los proveedores de los equipos, algunas imágenes planares eran utilizadas en la localización clínica y las reacciones en la piel eran severas.

A partir de 1958 se inicia una nueva época en radioterapia, la del Megavoltaje, siendo el INEN, el primer hospital en instalar un equipo de Cobalto en el país y en América Latina y posteriormente en 1970, instaló el primer acelerador lineal de 4 Mev.

Para 1992, en el país se tenían 7 equipos de radioterapia convencional, 10 equipos de megavoltaje, 9 cobaltos y 1 acelerador lineal.

En esta época, de 1958 a 1992, ya se hablaba de conocimiento radiobiológico, el desarrollo de la física, la planificación manual a través de las curvas de isodosis, aparecen los libros de distribuciones típicas para los distintos campos, se inicia la utilización de homogenizadores de superficie y cavidades con la elaboración de protectores individuales de plomo sólido; aparece la especialidad de Física

Médica, siendo actualmente un elemento indispensable para la planificación de las distintas modalidades de tratamiento.

En los 90's la informática tuvo un gran impacto en el desarrollo de los equipos, tal es así que se instala un sistema de planeamiento computarizado CMS, que permite una mayor sofisticación en los tratamientos, un incremento en la precisión de estos con la consiguiente disminución de la morbilidad y aumento de la durabilidad.

En la actualidad, las nuevas tecnologías en radioterapia, son los aceleradores lineales equipados con colimadores multihojas, sistemas electrónicos de imagen portal con detectores sólidos, sistemas de simulación virtual, cálculo tridimensional de la distribución de dosis, las redes de radioterapia, los sistemas de registro y verificación de los parámetros, sistemas de seguimiento de los órganos en movimiento, los módulos para radioterapia de intensidad modulada, entre otros.

1.2.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En el transcurso de los años, se ha realizado un sin número de investigaciones en el tratamiento de Cáncer de Mama con Radioterapia, en su gran mayoría están orientadas a la recidiva local, sobrevida post-tratamiento, cosmesis o estado emocional de las pacientes; son escasos los estudios enfocados en la comparación de la dosis en órganos en riesgo en la irradiación 2D y 3D en el Cáncer de Mama.

En el ámbito nacional no existe ninguna investigación que determine cuantitativamente las diferencias de dosis en los órganos en riesgo en la planificación de los tratamientos ya mencionados, pero se encontró estudios realizados en otros países, tales como:

Hurkmas CW, Cho et al y col (2002) en su estudio “Reduction of cardiac and lung complication probabilities after breast irradiation using conformal radiotherapy with or without intensity modulation”, realizaron una planificación tridimensional a pacientes con cáncer de mama en el lado izquierdo y compararon tres técnicas de haz tangencial diferentes, (1) cuñas optimizadas sin bloques, (2) cuñas optimizadas con bloques conformacionales y (3) modulación de intensidad. Los planes se evaluaron utilizando histogramas dosis volumen (HDV) y el NTCP (valores de probabilidad de complicación tisular normal inaceptable) para evaluar el corazón y los pulmones. Los resultados de la investigación fueron: el NTCP para neumonitis por radiación fue del 0.3% (SD: 0,1%), del 0.4% (SD: 0.4%) y del 0.5% (SD: 0.6%) para las técnicas de campo IMRT, conformacional y rectangular respectivamente. El NTCP para la mortalidad cardiaca tardía fue del 5,9% (SD: 2,2%) para la técnica de campo rectangular, ese valor se redujo a 4% (SD: 2,3%) con la técnica conformacional y con IMRT se podría lograr una reducción adicional al 2% (SD: 1,1%). Como conclusión final determinaron que el uso de campos tangenciales conformacionales reduce el NTCP para la toxicidad cardiaca tardía en un 30% en promedio, en comparación con el uso de campos rectangulares, y que se puede reducir a un 50% si se utiliza la técnica IMRT.

El National Cancer Institute's Surveillance (2005) en su estudio "Risk of cardiac death after adjuvant radiotherapy for breast cancer", luego de analizar a mujeres tratadas con radiación adyuvante por 28 años, concluyeron que la técnica brinda un menor riesgo de recurrencia local, pero un mayor riesgo de mortalidad por cardiopatía isquémica, siendo las pacientes con tumores en la mama izquierda más propensas, ya que reciben mayor radiación al corazón. Además investigaron que con las nuevas técnicas de radioterapia el riesgo de muerte por cardiopatía isquémica ha disminuido.

Mette S. Thomsen y colaboradores (2009) en su artículo Post-mastectomy radiotherapy in Denmark: From 2D to 3D treatment planning guidelines of The Danish Breast Cancer Cooperative Group, donde se realiza la planificación 2D y 3D a 6 pacientes mastectomizadas, 3 de mama derecha y 3 de mama izquierda, cuyo objetivo fue comparar la dosis que llega a corazón, pulmón ipsilateral y mama contralateral mediante el uso de Histogramas Dosis Volumen (HDV), los resultados de su estudio fueron que la dosis del pulmón ipsilateral se redujo un 24.6 %, la dosis al corazón se redujo en 48.6% y la dosis de la mama contralateral se redujo un 8.2%, demostrando así que hay una significativa reducción de dosis en órganos en riesgo con la planificación 3D.

Z. Falahatpour¹, S.M.R. Aghamiri^{1*}, R. Anbiaee² (Irán, 2011) realizaron un estudio; "External radiotherapy of intact breast: A comparison between 2D (single CT- slice) and 3D (full CT-slices) plans" donde compararon la planificación realizada mediante las tomografías de 20 pacientes que tuvieron cirugía conservadora de mama; se generaron dos planes dosimétricos para cada

paciente, el primer plan se realizó a partir de un corte tomográfico utilizando Eclipse-TPS y el segundo se basó en el volumen de cortes obtenidos por el mismo TPS; esta comparación se realizó mediante HDV, de las planificaciones dadas al 90% 95% y 105% dosis y el volumen de pulmón ipsilateral, dando como resultado que la homogeneidad de la dosis en el 2D fue de 65.4% mejorando a 74.8% en planes 3D, además la dosis recibida dentro del volumen pulmonar se redujo a 6.7% en comparación del 8,9% de los planes 2D. Llegaron a la conclusión que la aplicación de planes 3D puede llevar a una mayor probabilidad de control de tumores y resultados cosméticos, teniendo menos efectos secundarios en la piel y los pulmones en mujeres con cirugía de mama conservadora.

Roberto Lede, Copertari y col (Argentina, 2014), en su revisión, “Efectividad y toxicidad de radioterapia tridimensional versus bidimensional tras cirugía de cáncer de mama temprano”, concluyeron que en pacientes con cáncer de mama localizado tratadas con cirugía conservadora, no se pueden establecer diferencias entre la efectividad de la RT conformada y la convencional, pero que la toxicidad cardíaca y pulmonar es significativamente menor para la conformada, tal es así que se ha disminuido significativamente la exposición incidental del corazón y el pulmón y sus consecuencias, sobretodo la enfermedad cardiovascular.

Urdaneta, Vera y col (Venezuela, 2017), en su artículo “Radioterapia hipofraccionada en el tratamiento preservador del cáncer de mama en estado precoz experiencia de 6 años, evaluaron retrospectivamente 499 pacientes con carcinomas precoz de mama, con ganglios negativos, tratadas con cirugía preservadora y radioterapia hipofraccionada en el periodo 2009-2015. La técnica que utilizaron fue 3D CRT, la dosis a la glándula mamaria fue de 42,6 Gy en 16 fracciones, seguida de 3 dosis adicionales dirigidas al lecho tumoral completando 50, 54 Gy. La sobrevida global a los 5 años fue de 95,6% y la sobrevida libre de enfermedad el 94%. Concluyeron que el tratamiento con radioterapia hipofraccionada en pacientes con diagnóstico precoz de cáncer de mama pos tratamiento preservador demostró ser efectivo y con resultados comparables a los esquemas de fraccionamiento convencional (50Gy en 25 fracciones), además los resultados que obtuvieron en cuanto sobrevida global, sobrevida libre de enfermedad y control locoregional son comparables a los reportados a nivel mundial, por lo cual recomiendan el uso de este esquema.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la variación de dosis en órganos en riesgo en la irradiación 2D y 3D del cáncer de mama en el Centro de Radioterapia de Lima en el periodo 2016 – 2017.

I.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la variación de dosis en el pulmón ipsilateral en la irradiación 2D y 3D del cáncer de mama derecha, en el Centro de Radioterapia de Lima en el período 2016 – 2017.
- Determinar la variación de dosis en el pulmón ipsilateral en la irradiación 2D y 3D del cáncer de mama izquierda, en el Centro de Radioterapia de Lima en el período 2016 – 2017.
- Determinar la variación de dosis en el corazón en la irradiación 2D y 3D del cáncer de mama derecha, en el Centro de Radioterapia de Lima en el período 2016 – 2017.
- Determinar la variación de dosis en el corazón en la irradiación 2D y 3D del cáncer de mama izquierda, en el Centro de Radioterapia de Lima en el período 2016 – 2017.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, con la innovación de los equipos y nuevas tecnologías, se habla de una reducción de dosis en los órganos en riesgo con una mayor dosis conformacional en el blanco u órgano a tratar, por lo que existe un buen control a nivel tumoral a largo plazo, sin embargo, estudios han demostrado que los riesgos post radioterapia en los órganos adyacentes siguen aún latentes.

Por tanto, la radioterapia no sólo exige una tecnología compleja, sino también personal especializado: radioncólogos, físicos médicos y tecnólogos médicos para la aplicación de los procedimientos, además de protocolos orientados a garantizar, no solamente la eficacia del tratamiento antitumoral, sino también la

adecuada protección de los tejidos y órganos adyacentes contra los efectos nocivos de la radiación.

La importancia de dar a conocer las dosis absorbidas en los órganos en riesgo durante la irradiación de mama, recae en un fin específico, poder inferir a largo plazo que afecciones podrían surgir en las pacientes y facilitar así un diagnóstico temprano, por lo que se podría brindar un tratamiento óptimo antes de llegar a una limitación funcional, deteriorando así la calidad de vida del paciente; además nos permite verificar que las dosis que éstos reciben, están dentro de los estándares establecidos por Quantec para cada órgano en riesgo.

En países con altos ingresos la radioterapia tridimensional, se ha convertido en la modalidad estándar de tratamiento en cáncer de mama, reemplazando así a la radioterapia convencional, dejando a ésta última para casos de emergencia o en casos de que la paciente no pueda acceder a una tomografía computarizada.

Es por ello, que se tuvo la inquietud de desarrollar este tema de investigación, el cual será un aporte significativo para la institución, la población en general, y puede ser referente para nuevos estudios sobre el tema.

El estudio es viable porque se cuenta con acceso a la fuente de información primaria, por no afectar a terceras personas y no implica una exposición a radiación adicional para la investigación.

Es trascendente, ya que puede servir de evidencia y dar pie a que se replanteen los esquemas para el tratamiento estándar de radioterapia en el cáncer de mama, además puede tomarse como referencia para la implementación de esta técnica en otros centros del país.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2. BASE TEÓRICA

El cáncer es considerado un desorden multifactorial causado tanto por factores genéticos como no genéticos, es una enfermedad maligna en donde la proliferación acelerada, desordenada y no controlada de células pertenecientes a distintos tejidos de la glándula mamaria da origen a un tumor.

La clasificación histopatológica de los carcinomas mamarios de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) se divide en no invasores (in situ), invasores y otros (enfermedad de PAGET del pezón).

Aproximadamente 75-80% de los cánceres son invasivos o infiltrantes, esta característica le da a las células la capacidad de penetrar alrededor de los canales linfáticos y vasculares dando metástasis. El tipo histológico más frecuente es el carcinoma ductal invasor que representa el 70 al 80%, el segundo más común es el lobulillar invasor (5-10%), difícil de diagnosticar por su diseminación difusa en vez de formar una masa, su tasa de multifocalidad y bilateral es alta.

El carcinoma ductal in situ (CDIS) permanece confinado al sistema ductal de la mama sin penetrar la membrana basal, aproximadamente el 30 al 50% de las pacientes con CDIS desarrollará carcinoma ductal. El carcinoma lobulillar in situ (CLIS) se origina del lobulillo terminal ductal, pudiéndose distribuir de forma difusa por la mama, por lo que existe hasta un 30% de riesgo de desarrollar un

cáncer de mama invasor, presentándose con la misma frecuencia en ambas mamas.

2.1.1 FACTORES ETIOLÓGICOS:

Son aquellos factores asociados a un mayor riesgo de cáncer de mama, si bien es cierto no hay una causa definitiva, estos factores aumentan las probabilidades de padecerla. Estos factores se describieron desde 1985, sin embargo siguen siendo válidos hasta la actualidad, por lo que debemos tenerlos en consideración.

a) Asociación familiar

El antecedente familiar aumenta la predisposición en un 10% de padecerlo. Los estudios epidemiológicos ha demostrado que el cáncer de mama familiar se presenta en dos periodos definidos: pre-menopáusico, caracterizado por la tendencia final a la afectación bilateral, asociado a tumores ováricos, mastopatías; y el otro, post-menopáusico generalmente unilateral asociado frecuentemente a hipertensión, diabetes y obesidad.

b) Embarazo

La edad del primer embarazo es un factor de riesgo, las mujeres que tienen el primer hijo después de los 35 años tienen un mayor riesgo de cáncer que las nulíparas; cuando más precoz es el primer embarazo mayor protección.

c) Estado menstrual

Parece existir un alargamiento del periodo menstrual en pacientes con cáncer de mama. Cuanto más precoz sea la menarquía y más tardía la menopausia mayor es el riesgo.

d) Hormonas

El aumento de hormonas endógenas aumenta el riesgo de cáncer de mama, la alteración cualitativa con aumento de la producción de estríol es un factor de riesgo.

e) Enfermedades previas

La existencia de mastopatía previa predispone al cáncer de mama, a su vez, el haber tenido carcinoma en una mama aumenta el riesgo de presentarlo en la mama contralateral.

f) Nutrición

Dietas ricas en grasas, azúcares y proteínas parecen favorecer el carcinoma de mama; también la obesidad, sobre todo en mujeres postmenopáusicas.

2.1.2 CUADRO CLÍNICO

El cáncer de mama es generalmente asintomático en un principio, pudiendo presentar algunas sensaciones disestésicas como pinchazos, escozor, dolor, etc. En su mayoría las pacientes acuden a la consulta por haberse notado un bulto o dureza en alguna parte de la mama o en toda ella.

A veces uno de los primeros síntomas que suelen causar preocupación en las pacientes es una secreción serosa, hemorrágica o serohemática del pezón, en otros casos, la presencia de una lesión eczematosa o retracción de éste es la causa más común.

En los carcinomas avanzados pueden aparecer otros síntomas o signos como dolores óseos, tos, disnea, nódulos dérmicos, adenopatías, etc.

2.1.3 TAMIZAJE Y DIAGNÓSTICO

- Exploración mamaria:

La autoexploración o autoexamen mamario es una técnica de detección basada en la observación y palpación que hacen las mujeres con sus propias manos, existe un alto porcentaje de detección de alguna alteración mamaria con esta técnica, por lo que la Asociación Estadounidense de Cáncer (ACA) recomienda esta técnica de forma mensual a todas las mujeres a partir de la menarquía, sobre todo mayores de 20 años.

La exploración mamaria realizada por un profesional de la salud debe ser minuciosa y comprende dos partes importantes; la inspección y la palpación. Con la paciente sentada, debe hacerse una detenida inspección de ambas mamas buscando cambios en la forma, tamaño, color de la piel, rugosidades (piel de naranja), retracciones de la piel o pezón, nódulos, etc.

Es importante comprobar la movilidad de la mama al elevar los brazos para valorar la adherencia a los planos profundos. La palpación debe hacerse con la paciente sentada y luego en decúbito supino. Debe hacerse en ambas mamas y es importante anotar los hallazgos; si hay presencia de nódulos describirlos teniendo en cuenta las siguientes consideraciones (únicos o múltiples, tamaño forma, superficie, márgenes, consistencia, movilidad y sensibilidad).

La palpación de ambas mamas debe complementarse con una búsqueda detenida de adenopatías axilares y supraclaviculares.

La exploración clínica tiene una importancia fundamental en cuanto al diagnóstico, cuanto mayor es el tumor; existen limitaciones para detectar un cáncer de mama en su estadio inicial.

- Mamografía

La mamografía es el principal método de imagen para detectar cáncer de mama de forma temprana por su alta sensibilidad y especificidad, aceptable costo-efectividad, reproducibilidad e identificación de las microcalcificaciones.

Estudios de la Organización Mundial de la salud han demostrado que su uso disminuye la mortalidad por cáncer de mama en un 15 a 20%, sin embargo, también son conocidos sus limitaciones y efectos adversos, se estima que conlleva un 30% de sobre-diagnóstico y sobre-tratamiento. Su sensibilidad es del 90%, disminuyendo en mamas densas (30-40% en extremadamente densas), siendo de mucha utilidad aquí la mamografía digital.

La norma técnica oncológica en Perú, indica que, para mujeres mayores de 40 años la realización de la mamografía debe hacerse anual y para toda mujer con 2 o más factores de riesgos asociados, que hayan tenido un familiar (madre o hermana) con cáncer de mama, debe realizarse a partir de los 35 años.

Mediante la mamografía se evalúa alteraciones o alguna anormalidad en el tejido mamario, realizando diversas proyecciones de interés. El cáncer de mama se manifiesta típicamente como una asimetría focal o masa (una masa sospechosa de malignidad tiene una forma irregular con márgenes espiculados), la alteración de la arquitectura o calcificaciones pleomórficas.

- **Ecografía:**

Es un examen complementario en aquellas anomalías que se detectan en la mamografía y es muy confiable en pacientes con mamas densas. La ecografía ha experimentado avances importantes en los últimos años, siendo éste el método más efectivo para el diagnóstico de tumores en mujeres con mamas densas, además es la modalidad primaria para la evaluación de masas palpables en mujeres menores de 30 años.

La ecografía mamaria mejora la especificidad de la mamografía en la caracterización de las masas, sirve de guía para las biopsias percutáneas siendo la imagen de elección para estos procedimientos.

Para establecer un diagnóstico de cáncer de mama certero, es necesario la correlación entre hallazgos clínicos, radiológicos e histopatológicos.

2.1.4 ESTADIAJE

Para el estadiaje del cáncer de mama nos basamos en el sistema ampliamente aceptado del Comité Americano Conjunto sobre el Cáncer (AJCC, por sus siglas en inglés), que utiliza las siglas, T para el tumor, N para los ganglios y M para las metástasis, formando en conjunto el TNM.

Estadificación TNM según AJCC:

Tumor primario (T)	
T0	No hay evidencia de tumor primario
Tis	Carcinoma in situ
T1	Tumor de 2.0 cm o menos en su mayor dimensión
	T1mic: micro invasión <0.1 cm en su mayor dimensión
	T1a: Tumor mayor a 0.1 cm pero menor de 0.5 cm en su mayor dimensión
	T1b: Tumor mayor a 0.5 cm pero menor de 1 cm en su mayor dimensión
	T1c: Tumor mayor 1 cm pero menor de 2 cm en su mayor dimensión
T2	Tumor mayor a 2 cm pero menor de 5 cm en su mayor dimensión
T3	Tumor mayor a 5 cm en su mayor dimensión
T4	Tumor de cualquier tamaño con extensión directa a la pared torácica o piel
Ganglios linfáticos regionales (N)	
N0	No hay metástasis regional de los ganglios linfáticos
N1	Metástasis a ganglio o ganglios linfáticos axilares ipsilaterales móviles
N2	Metástasis a ganglio o ganglios linfáticos axilares ipsilaterales fijos (N2a) Mamarios internos en ausencia de ganglios axilares metastásicos (N2b)
N3	Metástasis a ganglios infraclaviculares ipsilaterales y axilares (N3a) o Mamarios internos ipsilaterales y axilares (N3b) o supraclaviculares (N3c)
Metástasis a distancia (M)	
M0	No hay metástasis distantes
M1	Presencia de metástasis distantes

A su vez, la AJCC los clasificó por estadio, desde el estadio temprano (estadio I) hasta el tardío con enfermedad metastásica (estadio IV).

Estadio	Categoría
I	T1N0M0
II	IIA: T0N1M0 T1N1M0 T2N0M0
	IIB: T2N1M0 T3N0M0
III	IIIA: T3N1M0 T1-3N2M0
	IIIB: T4N0-2M0
	IIIC: T1-4,N3M0
IV	Cualquier T y N, M1

Es importante tener en cuenta estas clasificaciones, ya que el esquema de tratamiento realizado en cáncer de mama varía según estadios.

2.1.5 TRATAMIENTO

El tratamiento del cáncer de mama es complejo y requiere la participación de un equipo multidisciplinario para poder ofrecer a las pacientes un tratamiento óptimo, tanto los cirujanos como los oncólogos médicos, los radioncólogos y los especialistas, precisan que desde el inicio se establezca una valoración global donde las diferentes modalidades de tratamiento (cirugía, radioterapia y quimioterapia) sean tenidas en cuenta.

La selección del enfoque terapéutico adecuado va a depender de la estadificación del tumor (TNM), de la patología, análisis de laboratorio, pruebas de imagen realizadas, del tamaño de la mama, del estado general de la paciente, entre otros.

La radioterapia cumple un papel muy importante durante el tratamiento, cuyo principal objetivo es disminuir la tasa de recurrencia loco-regional, siendo un tratamiento eficaz, de baja morbilidad y bien tolerado en la mayoría de los casos; por lo que está indicada en las siguientes situaciones:

- Como terapia neoadyuvante facilitando la cirugía conservadora en tumores operables, pero de gran tamaño.
- Como terapia adyuvante, post mastectomía cuando existe riesgo elevado de recidiva loco-regional (tumores >5 cm, extensión histológica a piel y músculo) o post cirugía conservadora y cuando los ganglios axilares están comprometidos.

El manejo quirúrgico en estadios tempranos I y II se puede presentar de dos maneras:

- Tratamiento conservador; el cual implica resección tridimensional del tumor y tejido sano circundante, con márgenes libres y tratamiento de la región axial correspondiente (si es necesario). Tiene como objetivo el control local del tumor primario preservando la estética de la mama.
- Tratamiento radical, en el cual se realiza una mastectomía radical; en algunos casos con posibilidades de reconstrucción mamaria.

Las pacientes tratadas con cirugía conservadora de mama en estadio temprano (tumor T1-T2 N0) con márgenes negativos, tienen la posibilidad de acceder a técnicas de tratamiento más avanzadas, ya no sólo hablamos de radioterapia 2D, sino de radioterapia 3D CRT o radioterapia de intensidad modulada (IMRT).

El acceso a estas nuevas modalidades de tratamiento depende de diversos factores tales como; económico, disponibilidad de la tecnología, capacitación del personal que participa en el proceso, entre otros.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

Para poder analizar en detalle las características y uso de los diferentes sistemas de planificación y cálculo del tratamiento, es necesario definir todos los procesos que intervienen en las distintas etapas para la planificación y tratamiento en radioterapia.

2.2.1 LOCALIZACIÓN

En esta etapa inicial, la paciente llega al servicio de radioterapia previo marcaje de la zona a tratar realizada por el médico radioncólogo. En el bunker de tratamiento, se le indica a la paciente retirarse toda la ropa de la cintura para arriba para visualizar mejor el área que se va a tratar, posteriormente se le ubica en una posición cómoda sobre un plano inclinado de 15°, para disminuir el volumen pulmonar en el campo de irradiación. La paciente se coloca en decúbito supino, con los brazos en abducción, por encima de la cabeza agarrándose firmemente de un manubrio; mientras que sus piernas reposan encima de un soporte.

Se alinea a la paciente con el sistema de láseres ubicados en el plano longitudinal y transversal, y se marcan tres puntos en el plano del isocentro transversal, uno en la línea media esternal y los otros dos a nivel de la línea media axilar.

2.2.2 ADQUISICIÓN DE DATOS ANATÓMICOS

En la planificación 2D hay dos formas de obtener los datos anatómicos:

1.1 Mediante un contorno de mama, se busca la reproducibilidad de la fisonomía de la paciente, ya que las planificaciones son específicas para cada una, para ello debemos tomar datos en el eje que hemos marcado en nuestra localización como: el SSD (distancia foco-piel), la distancia de la horquilla esternal al punto medio, medida anteroposterior y transversal del tórax. Luego de tener todos los datos y ser transcritos en una hoja, se procede a hacer el contorno con el alambre de plomo, éste debería plasmar todas las curvaturas de la paciente (si las tuviese), en él se pintaran los tres puntos de localización en cada eje respectivo y posteriormente se plasman en la hoja. Finalmente se le hace tres tatuajes a la paciente correspondiente a cada eje de localización para la reproducibilidad diaria y el contorno es enviado a física médica para su posterior planificación.

2.1 La otra opción, menos usada pero sin embargo igual aceptada, es la planificación mediante la imagen tomográfica (3D) obtenida en un TAC Simulador a nivel del isocentro, cabe recalcar que esta obtención de datos es la que utilizaremos para la aplicación del presente estudio.

La obtención de datos anatómicos para realizar una planificación 3D se caracteriza por la utilización de un TAC Simulador; cuyas características principales son la similitud con los equipos de tratamiento. Estos equipos disponen de una mesa plana y sistema de posicionamiento externo (juego de

láseres), los cuales nos ayudaran a reproducir la posición establecida en la localización dada en el bunker de tratamiento.

El TAC Simulador, permite obtener información anatómica de la paciente, proporcionando una medida precisa del contorno externo y de los contornos internos de los órganos, fundamentales ambos para una planificación y cálculo del tratamiento, teniendo en cuenta la distribución de dosis sobre el paciente, volúmenes de tratamiento y los órganos en riesgo implicados.

En el estudio de TAC se debe abarcar toda la zona de tratamiento, incluyendo la región supraclavicular en caso se requiera tratamiento sobre cadenas ganglionares y toda la cavidad torácica. Se pondrán marcas plomadas en los puntos de referencia determinados en la localización en el equipo de tratamiento (billas), a su vez se marcara la cicatriz de tumorectomía. Debe conseguirse que un corte de TAC pase por la línea del isocentro, se recomienda cortes cada 5mm.

2.2.3 DELIMITACIÓN DE VOLÚMENES

Utilizando un software para la planificación 3D, el médico radioncólogo junto al físico médico, procederán a la delimitación de los volúmenes de interés sobre las imágenes axiales y las reconstrucciones coronales y sagitales obtenidas del TAC Simulador.

Estos volúmenes son delimitados según el informe ICRU N° 50 y 62, los cuales hacen mención a los siguientes volúmenes: el volumen tumoral macroscópico (Gross Tumor Volume, GTV), el volumen blanco clínico (Clinical Target Volume, CTV), el volumen blanco planificado (Planning Target Volume, PTV) y los órganos en riesgo (Organs at risk, OAR).

En la cirugía conservadora de mama, el tumor macroscópico se ha extirpado, por lo que no hay GTV, por consiguiente debemos diferenciar en la mama, el CTV1 (la glándula mamaria) y el CTV2 (lecho tumoral).

Para definir el CTV1 se usan referencias anatómicas y las marcas colocadas en la piel, el límite superior del campo se sitúa por debajo de la cabeza de la clavícula, el límite inferior se sitúa a 1 cm del surco submamario, el límite superficial se coloca a 5mm por debajo de la piel y el límite profundo debe incluir la cara anterior de la fascia pectoral y al menos 0.5 cm del músculo pectoral y se debe incluir toda la glándula mamaria visible en los cortes tomográficos.

Si en el esquema de tratamiento se realizará una sobreimpresión en el lecho tumoral (boost), se definirá el CTV2, basándose en los clips metálicos que se dejan en el momento de la cirugía.

Para compensar los errores de posicionamiento, movimientos involuntarios (respiratorios), se definirá el PTV, el cual es un margen del CTV. Para el PTV1 el margen del CTV1 será de 1 a 1,5 cm en la dirección craneocaudal, 1 cm en el límite superficial (aire) y en profundidad el margen debe tener en cuenta que la distancia máxima pulmonar en el corte central no debe sobrepasar los 2.5 cm, además se debe evitar la mama contralateral.

Para el PTV2, el margen del CTV2 está entre 1 a 3 cm, en el 90% de los casos, se realiza en el lecho tumoral o a 1 cm de distancia.

La mama debe irradiarse lo más homogénea posible, de acuerdo con los criterios de calidad definidos en el ICRU 62, de forma que el 95% del CTV debe recibir el 95% de la dosis prescrita (95%-107%).

Los órganos en riesgo son valorados de la siguiente manera:

El pulmón, es el órgano de riesgo más importante, para su valoración se debe contornear los dos pulmones y valorarlos como un solo órgano, el contorno se realiza en cada corte tomográfico y se deben excluir los hilos pulmonares y la tráquea.

El corazón, su límite superior incluye el infundíbulo del ventrículo derecho, la aurícula izquierda y derecha y se debe excluir el tronco de la arteria pulmonar, la arteria aorta ascendente y la vena cava superior; el límite inferior es el borde caudal del miocardio. Se debe contornear si es posible la arteria coronaria descendente anterior izquierda.

2.2.4 DOSIS DE TRATAMIENTO

La dosis que recibirá cada paciente, es determinada por el médico radioncólogo, existen dos esquemas que se están aplicando: el fraccionamiento convencional y el hipofraccionamiento.

El esquema convencional utilizado en radioterapia para el tratamiento en el cáncer de mama con cirugía conservadora, es la administración de una dosis total de 50 Gy a toda la glándula mamaria, con fracciones diarias de 2 Gy (en algunos casos 1,8 Gy), en un periodo de 5 a 6 semanas, con o sin dosis adicional (boost) al lecho tumoral de 10 Gy – 16 Gy.

El esquema hipofraccionado, que en las últimas dos décadas, se ha evaluado de manera extensiva y se ha comparado con las técnicas convencionales. En sus inicios en la década de los 60's, no tuvo buenos resultados y se produjo un aumento en las complicaciones tardías en las pacientes, ya que no redujo adecuadamente la dosis total administrada, posteriormente aparecieron ensayos clínicos que demostraron su utilidad en el cáncer de mama, ya que se realizó un ajuste en la dosis total, logrando así un equivalente biológico de la dosis al fraccionamiento convencional.

En el hipofraccionamiento, se aumenta la dosis diaria por fracción con una disminución de la dosis total de radiación, con lo cual podemos abreviar el tiempo total de tratamiento entre 3-4 semanas; estudios realizados en Canadá y Reino Unido han concluido que los resultados dados con hipofraccionamiento son comparables en cuanto a control tumoral, sobrevida libre de enfermedad, sobrevida global y efectos cosméticos y toxicidad, con el fraccionamiento convencional.

El hipofraccionamiento se ha podido llevar a cabo gracias a las nuevas tecnologías en radioterapia como 3D conformacional o la modulación de dosis que nos han permitido aumentar la dosis al tumor.

2.2.5 DISEÑO DEL PLAN DE TRATAMIENTO

Luego de determinar los volúmenes de tratamiento, se determina la disposición de los haces de irradiación en diferentes ángulos y con diferentes pesos para conseguir finalmente una alta conformidad y homogeneidad de la dosis sobre el volumen tumoral sin dañar los tejidos sanos.

La capacidad de los sistemas de planificación y cálculo 3D de representar matrices de imágenes tridimensionales completas visualizando volúmenes desde cualquier dirección, permite la observación con perspectiva de haz (BEV) del volumen blanco. Este tipo de perspectiva nos permite una vista desde la fuente de radiación a lo largo de la dirección del haz, una forma muy efectiva de visualizar las posiciones relativas del volumen blanco y las estructuras sanas. Esta herramienta permite ver claramente la cobertura geométrica del haz sobre el volumen blanco y determinar fácilmente las zonas que requieren ser apantalladas.

En los tratamientos 2D, se utiliza dos campos tangenciales rectangulares amplios con suficiente margen sobre el tumor, mientras que en el 3D con la conformación de haces podemos contornear la forma del campo que deseemos, esto lo podemos lograr usando bloques de aleación termo-moldeable (bloques de cerrobend) o multiláminas.

Los bloques de cerrobend son utilizados en radioterapia conformacional 3D o 3D-CRT, estos son fabricados por los físicos médicos y se colocan en la bandeja del equipo como un accesorio adicional al tratamiento, cada ángulo de irradiación tiene su propio bloque, mientras que los colimadores multihojas o también llamados multiláminas vienen incorporados en los nuevos aceleradores lineales y se utilizan para técnicas 3D más avanzadas como IMRT o IGRT.

Como paso final del proceso de planificación, se obtiene los histogramas dosis-volumen, los cuales nos representan valores de las distribuciones de dosis en volúmenes de tejido tumoral y sano. Cada punto del diagrama indica la cantidad

de volumen de tejido de la estructura considerada que recibe un valor de dosis determinado.

2.2.6 SIMULACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL PLAN DE TRATAMIENTO

Al terminar el área de física médica con la planificación, remite a los tecnólogos médicos, el plan de tratamiento con sus respectivos bloques a utilizar, previa verificación en el bunker de tratamiento, cabe recalcar que la verificación realizada por física médica se da sin el paciente.

En el plan de tratamiento se encuentran todas las indicaciones y accesorios que se utilizaran para dar efectivamente el tratamiento, tales como: movimientos en los ejes de localización (x,y,z), ángulos del gantry, cuñas, unidades monitor, dosis diaria, entre otros.

Al llegar la paciente, se le da las mismas indicaciones que al realizarle la localización previa al TAC Simulador, una vez sobre el plano inclinado y en posición de tratamiento, se localiza el eje de referencia (tatuajes) y se procede a realizar los movimientos indicados en el plan para trasladarnos del ISOTAC al ISOCENTRO, se ubica el gantry en el ángulo correspondiente al tangencial interno (depende de la mama a tratar), se coloca el bloque conformacional respectivo al ángulo indicado y verificamos en piel que la entrada del haz de radiación sea consistente con la imagen brindada y procedemos a tomarle una placa de verificación; para el tangencial externo solo debemos ubicar el gantry en la angulación dada con su respectivo bloque y volvemos a tomar otra placa verificadora.

En el caso de un tratamiento 2D, se localiza a la paciente en los tatuajes y procedemos a los movimientos previamente calculados por los tecnólogos médicos (eje x,z), se gira el gantry en la angulación correspondiente al tangencial interno, se verifica en piel que la entrada del haz de radiación no sobrepase la línea media y sea paralela a ésta, colocamos una marca de referencia y procedemos a ubicarnos en el tangencial externo; es ahí donde se toma la placa verificadora.

Las placas verificadoras se realizan mediante dos disparos perpendiculares al haz de radiación, el primer disparo se da a campo de tratamiento y el siguiente a campo abierto retirando todos los accesorios, de esta manera podemos ver la relación entre los órganos que irradiamos y las estructuras circundantes.

Una vez adquirida la imagen, el médico radioncólogo verifica la correlación de la planificación por física médica y la realización de la misma, la radiografía permite observar detalles como profundidad (z), tamaño de campo (y), si los campos de tratamiento son paralelos y opuestos en el caso de la técnica 2D y en el caso de 3D-CRT permite verificar la posición y forma de los bloques conformacionales, es aquí donde se hace alguna modificación si es que se requiere, de lo contrario se procede al inicio del tratamiento.

A todas las pacientes incluidas en la investigación, se les realizó una placa verificadora de su plan de tratamiento 3D, como parte rutinaria del proceso a seguir, en el caso de la planificación adicional 2D se tomó en cuenta la imagen correspondiente al ISOCENTRO para realizar la planificación, no se tomó placa verificadora al respecto para evitar la sobre-exposición a la radiación.

2.3 HERRAMIENTAS PARA LA EVALUACIÓN DE LOS PLANES

2.3.1 DISTRIBUCIÓN DE DOSIS 3D

La distribución de dosis 3D dentro de una estructura se refiere al conjunto de valores que toma la dosis dentro del volumen de dicha estructura. Esta distribución puede ser visualizada en pantalla como curvas de isodosis en varios planos transversales, sagitales y coronales. La gran cantidad de datos que deben ser analizados a la hora de evaluar una planificación 3D ha llevado a desarrollar nuevos métodos para condensar y presentar dichos datos en un formato más fácilmente interpretable. Una de estas herramientas es el histograma dosis volumen o HDV.

2.3.2 HISTOGRAMAS DOSIS VOLUMEN

El histograma dosis volumen, es una representación gráfica de la dosis absorbida por unidad de volumen de las estructuras delimitadas en el diseño del tratamiento. Existen dos tipos de histogramas, el diferencial y el acumulativo, este último es el más utilizado.

Histogramas dosis volumen diferencial

Un HDV diferencial es un histograma que indica la cantidad de volumen que recibió un determinado valor de dosis, para su construcción, primero se divide el volumen en pequeños elementos (voxels), luego se traza un eje horizontal de dosis y se divide en cierta cantidad de intervalos iguales; a cada uno de estos intervalos de dosis se les denomina *bin*. Por último se va computando la dosis dentro de cada voxel y se van sumando aquellos voxels cuyo valor cae dentro de un mismo *bin*, así podemos conocer la cantidad de voxels que recibieron una valor de dosis en particular.

Histogramas dosis volumen acumulativo

Para generar un HDV acumulativo partimos del HDV diferencial, ya no solo tomamos en cuenta la cantidad de voxels por cada bin, sino sumaremos la cantidad de voxels que se encuentran a la derecha del bin que se está considerando. De esta manera se puede representar el volumen que recibe una dosis mayor o igual que la dosis indicada.

2.3.3 UTILIZACIÓN DEL HISTOGRAMA DOSIS VOLUMEN

Los HDVs se utilizan durante el proceso de planificación para determinar si existe subdosaje y si la dosis es uniforme en el volumen blanco, así como también si existe sobredosaje en los órganos en riesgo. Además sirve como método de comparación entre diferentes planes.

Un HDV nos muestra una dosis uniformemente alta a través del volumen para un PTV, mientras que en el caso de los OARs, a quienes debemos proteger, el volumen debería caer a 0 en una dosis menor a la dosis de tolerancia del órgano en cuestión.

La forma más simple de determinar la dosis en una estructura, tanto del volumen blanco como de los OARs, consiste en elegir un punto significativo que represente la distribución de dosis dentro de la estructura. Este enfoque fue elegido por ICRU para contar con un método unificado para reportar dosis. Los estadísticos de dosis que se muestran en la tabla adjunta al plan de tratamiento, nos brindan una vista simplificada de la dosis en una estructura específica para poder comparar entre los planes de tratamiento.

2.4 ÓRGANOS EN RIESGO Y VALORACIÓN DE HISTOGRAMAS DOSIS-VOLUMEN

2.4.1 PULMÓN

La guía proporcionada por QUANTEC (Análisis cuantitativo de los efectos normales del tejido en la clínica) establece que, el volumen pulmonar que reciba dosis superiores a 20 Gy, debe ser inferior al 30% ($V_{20\text{ Gy}} < 30\%$)

La toxicidad pulmonar más frecuente es la neumonitis por radiación, que se puede presentar entre el 0-20%, según las técnicas de irradiación utilizadas. La probabilidad y gravedad de los cambios pulmonares precoces y tardíos, se relacionan fundamentalmente con la dosis total administrada, la dosis por fracciones (superior a 2,5 Gy) y el volumen pulmonar irradiado.

2.4.2 CORAZÓN

El volumen cardíaco (pericardio), que reciba dosis superiores a los 30 Gy, debe ser inferior al 46% ($V_{30\text{ Gy}} < 46\%$) y el 10% de volumen cardíaco total no debe recibir dosis superiores a 25 Gy ($V_{25\text{ Gy}} < 10\%$). Para valorar de forma rápida el volumen cardíaco irradiado, se define la máxima distancia cardíaca como la distancia entre el límite de campo y el borde anterior cardíaco en la DRR. Si esta distancia es inferior a 1cm, la mortalidad por causa cardíaca es inferior al 1%.

La toxicidad cardíaca es de aparición tardía, al cabo de 10 a 15 años finalizado la irradiación, se considera que la radioterapia produce un 8% de mortalidad cardíaca, las secuelas más importantes son la pericarditis y la isquemia coronaria.

QUANTEC – CONVENCIONAL FRACCIONAMIENTO 3D-CRT

Órgano Crítico	Volumen	Dosis/ Volumen	Tasa de toxicidad	Efecto
Pulmón	V20	$\leq 30\%$	$< 20\%$	Neumonitis sintomática
Corazón (pericardio)	V30	$< 46\%$	$< 15\%$	Pericarditis
Corazón	V25	$< 10\%$	$< 1\%$	Mortalidad cardiaca a largo plazo

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo, es un estudio descriptivo, cuantitativo, retrospectivo, de corte transversal.

3.2 ÁMBITO ESPACIAL Y TEMPORAL

Fue realizado en Centro de Radioterapia de Lima, Servicio de Radioterapia, desde enero del 2016 hasta diciembre del 2017.

3.3 VARIABLES

- Estadio de la enfermedad
- Dosis en OARs

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Se incluyeron en la investigación a las pacientes que cumplían con los siguientes criterios:

- Mujeres con cáncer de mama tratadas con radioterapia 3D-CRT.
- Mujeres que se realizaron una tomografía en el TAC Simulador, previa localización en el equipo de tratamiento.
- Mujeres con cirugía conservadora de mama.
- Mujeres que tenían una placa verificadora de su tratamiento.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

Se excluyeron de la investigación, a aquellos pacientes que tenían alguna de estas características:

- Mujeres con cáncer de mama tratadas con radioterapia convencional.
- Mujeres con cirugía radical o mastectomizadas.
- Mujeres con reconstrucción mamaria posterior a una cirugía radical.
- Mujeres que no contaban con una placa verificadora de su tratamiento.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 POBLACIÓN

El universo poblacional, estuvo constituido por mujeres con cáncer de mama que acuden al Centro de Radioterapia de Lima, para su tratamiento de radioterapia en el periodo enero 2016 - diciembre 2017.

3.4.2 MUESTRA

Muestra no probabilística por conveniencia, se optó por todas las pacientes con cáncer de mama con cirugía conservadora, tratadas con radioterapia 3D-CRT, en el Centro de Radioterapia de Lima en el periodo enero 2016 - diciembre 2017.

3.5 INSTRUMENTOS:

Para el logro de los objetivos planteados en la investigación, se realizó una tabla de Excel, en el cual se recopiló datos de interés para el estudio, tales como: mama a tratar, dosis total, dosis diaria, índice de conformidad, índice de

homogeneidad, volumen y dosis de cada órgano en riesgo, estos valores fueron hallados para cada modalidad de tratamiento.

El instrumento requerido para el llenado de los valores de la tabla, fue el Histograma Dosis Volumen, el cual fue procesado por el software de física médica (CAT3D for WIN32 ver 7.06) utilizado en el Centro de Radioterapia de Lima.

Se realizaron Histogramas Dosis Volumen para la comparación de las modalidades de tratamiento, fue así que, cada paciente contó con dos histogramas; el HDV-3D, realizado con el volumen de imágenes obtenidas del TAC simulador y el HDV-2D, realizado con la imagen de un corte tomográfico ubicado en el nivel del ISOCENTRO. Cabe recalcar que el HDV-3D fue utilizado para el tratamiento de las pacientes, mientras que el HDV-2D fue la planificación adicional.

El instrumento utilizado para la obtención del volumen de imágenes, fue un SENSATION CARDIC de 16 filas de detectores, el examen fue realizado por tecnólogos médicos de RESOMASA, en compañía de un físico médico del Centro de Radioterapia de Lima para asegurar la reproducibilidad de la posición establecida en el bunker de tratamiento.

Los instrumentos utilizados para su posicionamiento en el bunker de tratamiento fueron: Acelerador lineal Varian 600, plano inclinado de acrílico con 15° de angulación, el cual posee un manubrio en la parte superior para la colocación de las manos y un rodillo en la parte inferior para la regulación según el tamaño de la paciente, una base para rodillas marrón de acrílico, una base para cabeza y

cuello (base A), la cual facilita la extensión del cuello evitando la superposición del mentón dentro del área de tratamiento, juego de láseres ubicados en el plano longitudinal y transversal y villas metálicas.

3.6 PROCEDIMIENTO:

Como se mencionó al principio de la investigación, el Centro de Radioterapia de Lima recientemente está realizando tratamientos 3D en cáncer de mama, por lo que detallaremos todo el proceso que se realizó con cada paciente para la obtención de los datos requeridos, con el fin de ilustrar y corroborar las semejanzas con la literatura encontrada.

Para comenzar, se coordinó previamente con el Gerente General del Centro de Radioterapia de Lima, el Dr. Oscar Barriga, la autorización para el inicio de la investigación y posterior uso de la información de los pacientes tratados en el período de tiempo requerido, a su vez se coordinó con el área de física médica para la factibilidad de realizar una planificación adicional a aquellos pacientes que cumplieran con los criterios de inclusión.

Una vez obtenido el permiso, se procedió a la documentación de los pasos para la realización de la planificación tridimensional indicada en cada paciente.

1. La localización previo al examen de tomografía se realizó en el bunker, se posicionaba a cada paciente en decúbito supino, sobre el plano inclinado angulado a 15° , con un soporte de rodillas y una base de cabeza y cuello (base A), sus brazos por encima de la cabeza en abducción (distancia entre codos 65 cm) colocando sus manos en un manubrio para la estabilización; una vez ubicada se llamaba al médico radioncólogo para el marcaje de la

zona, indicando el área a irradiar (dibujaba toda la mama) y el área a proteger en piel, se corroboraba la alineación en la línea media longitudinal y la línea media axilar con la ayuda del juego de láseres, para realizar los tatuajes correspondientes, luego se colocaban villas en los tatuajes. Por último el físico médico venía por los accesorios utilizados para llevárselos al examen en el TAC simulador.

2. En el Tac Simulador se pusieron los mismos accesorios usados en el bunker de tratamiento y se le indicaba a la paciente colocarse en la misma posición, se medía la distancia entre los codos (65 cm), para asegurar que no haya interferencia o movimiento durante el examen al realizar el barrido. Se alineaba a la paciente, haciendo coincidir las villas con el juego de láseres ubicados en la sala. El barrido se realizaba como un tórax sin contraste, ventana de mediastino, cortes axiales de 2mm (a comparación de la literatura que indica 5mm), respiración libre y FOV abierto. No se adquirieron volúmenes.

Las imágenes se graban en un CD y se entregan al físico médico para la planificación.

3. Una vez en física médica, las imágenes son procesadas por el software CAT3D for WIN32 ver 7.06, en el cual se delimitaron los volúmenes de interés en compañía del médico radioncólogo. A cada órgano de riesgo se le asocia un color para su diferenciación en el HDV. En el caso del pulmón se contorneó el correspondiente a la mama a tratar (en comparación de la literatura encontrada que mencionaba contornear ambos pulmones y

valorarlos como uno solo), la mama contralateral no es considerada dentro del contorno habitual, ya que al poner un ROI, indicaba que no le llegaba ninguna dosis.

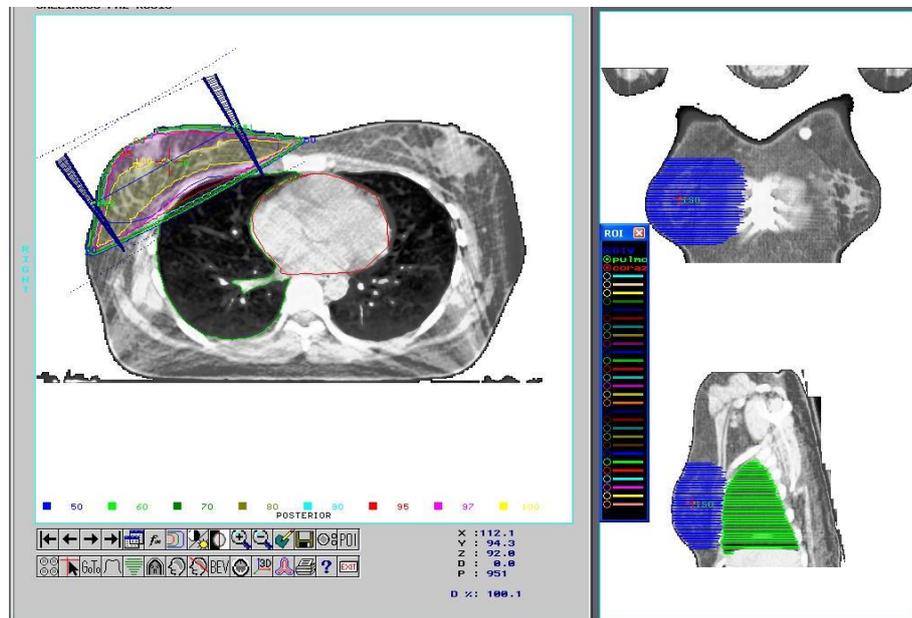


Figura 1. Planificación 3D de mama derecha. Contorneo de estructuras de interés. Software CAT 3D, Centro de Radioterapia de Lima

4. Para la obtención de los HDV's, el software realiza el cálculo, para el cual se detalló ciertas características como: dosis total, dosis por fracción, accesorios (cuñas, bloques), entre otros; y, finalmente se muestra el diagrama.

Para el HDV-2D, se quitaron los bloques conformacionales (característica principal de la radioterapia 3D) dentro de la planificación, con lo cual las curvas del diagrama variaron.

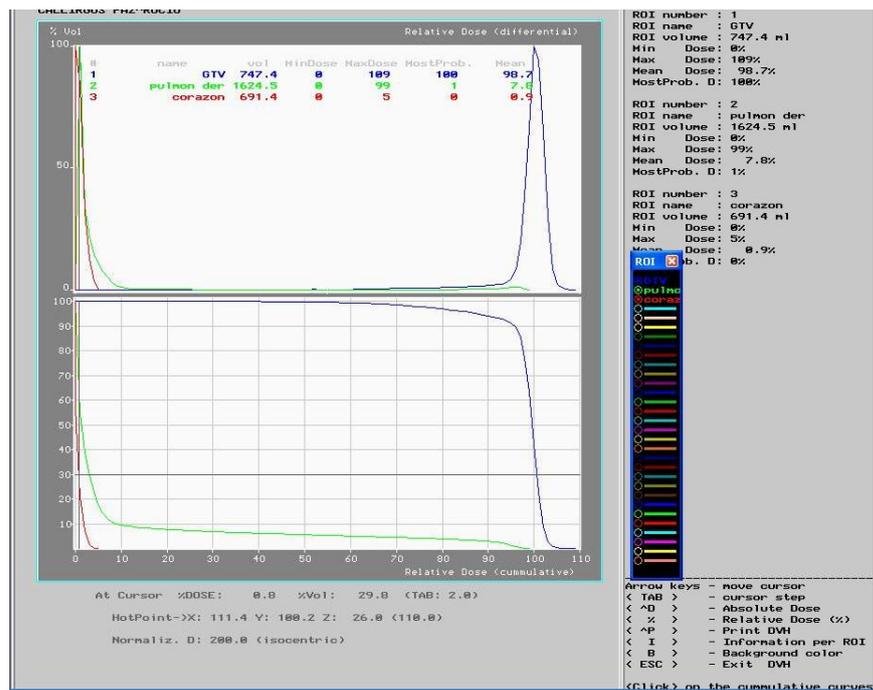


Figura 2. Histograma Dosis Volumen 3D, pulmón (verde), corazón (rojo), Centro de Radioterapia de Lima.

5. Finalmente se procedió al llenado de la tabla de Excel, que se elaboró a fin de desarrollar el tema de investigación.

El proceso posterior a la planificación, como verificación de bloques, verificación del plan de tratamiento e inicio del mismo se realizó conforme se detalló anteriormente. La planificación adicional 2D, se realizó con fines académicos de la investigación y en ningún momento se hizo efectiva.

3.7 ANÁLISIS DE DATOS

- Para la obtención del Histograma Dosis Volumen correspondiente a cada modalidad de tratamiento, se utilizó el software de planificación CAT3D for WIN32 ver 7.06.
- Los datos obtenidos fueron transcritos, procesados y comparados en Excel

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Los resultados presentados en la tabla 2,3 fueron obtenidos del software de planificación CAT 3D; la dosis diaria y dosis total (cGy) son las que se prescribieron para el tratamiento respectivo, la dosis media fue calculada en base al HDV, el porcentaje de dosis a los órganos en riesgo fueron evaluadas en relación a los parámetros dosimétricos según las restricciones RTOG para cada OAR's,

TABLA 1.- Casos planificados en CAT 3D

Caso	Edad	Estadio	CANCER DE MAMA	
			Derecha	Izquierda
1	41	In situ	X	
2	38	IV	X	
3	49	In situ	X	
4	39	In situ	X	
5	77	IIIA		X
6	52	IIIB		X
7	71	IIA		X
8	56	IIB		X
9	40	In situ		X
10	56	I		X

Los casos de la tabla 1, han sido planificados en las dos técnicas de tratamiento 2D y 3D-CRT, utilizando dos haces tangenciales con cuñas (2D) y bloques conformacionales (3D) por cada campo de irradiación.

TABLA 2.- Porcentaje de dosis en los OAR's según cada técnica

	N°	Dosis Planificada (cGY)	Dosis Diaria (cGY)	Volumen RTOG					
				Pulmón derecho V20Gy (D30%)		Pulmón izquierdo V20Gy (D30%)		Corazón V25Gy (D10%)	
				2D	3D	2D	3D	2D	3D
D E R E C H A	1	4005	267	5	2.9	-	-	2.8	1.2
	2	5000	200	4.1	3.1	-	-	3	1.8
	3	4005	267	2.5	1.9	-	-	1.5	0.9
	4	4005	267	5	3.1	-	-	2.9	1.4
I Z Q U I E R D A	5	5000	200	-	-	9	3	100	4.8
	6	5000	200	-	-	3.5	2.1	9	4
	7	5000	200	-	-	7.9	5.5	5.5	3.8
	8	5040	180	-	-	20	4.3	100	6
	9	5000	200	-	-	4	2.8	4	2.9
	10	5000	200	-	-	3.6	2.1	10	2.6

TABLA 3.- Dosis media en OAR's

Mama OAR		N	Dosis Media %		Dosis Media cGy	
			2D	3D	2D	3D
D E R E C H A	P U L M O N	1	20.4	10.7	817.02	428.54
		2	13.4	7.8	670	390
		3	8.5	4.2	340.43	168.21
		4	17	8.6	672.84	344.43
	C O R A Z O N	1	1.2	0.5	48.06	20.03
		2	1.5	0.9	75	45
		3	0.9	0.5	36.05	20.03
		4	1.4	0.6	56.07	24.03
I Z Q U I E R D A	P U L M O N	5	26	10.5	1300	525
		6	12.7	4.6	635	230
		7	21.4	14.7	1070	735
		8	32.5	17.4	1638	876.96
		9	12.8	7.6	640	380
		10	9.1	2	455	100
	C O R A Z O N	5	25.2	4.4	1260	220
		6	7.4	2.2	370	110
		7	4.5	2.3	225	115
		8	18.5	4.3	932.4	216.72
		9	2.6	1.5	130	75
		10	8.6	1.3	430	65

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De la **Tabla 2 y 3**, de los cuadros correspondientes, comparamos las planificaciones 2D y 3D en base a dosis media y dosis en OAR'S; la dosis total y dosis por fracción fueron los datos prescritos en el plan de tratamiento, de lo antes mencionado se observa que;

✓ Mama Derecha:

- 3 de los 4 casos estudiados se realizaron con el esquema de hipofraccionamiento, aplicando una dosis diaria de 2,67 Gy y una dosis total de 40,05 Gy, éste esquema fue dado a las pacientes 1, 3 y 4 cuyo cáncer se encontró in situ, mientras que la paciente 2 (estadio IV), se trató con esquema convencional.

- Pulmón derecho:
 - En el esquema de hipofraccionamiento, la dosis media en el pulmón en la planificación 3D es de 7.8% (313.73 cGy) en comparación al 15.2% (610.10 cGy) en planificación 2D, hallando una variación de 7.4% entre técnicas.

 - En el esquema convencional, la dosis media en el pulmón en la planificación 3D es de 7.8% (390 cGy) en comparación al 13.4% (670 cGy) en planificación 2D, hallando una variación de 5.6% entre técnicas.

 - Para restricciones de la RTOG en pulmón evaluamos para ambas técnicas el nivel de tolerancia de 200cGy al 30% del pulmón, siendo para la planificación 2D un 4.1% (rango 2.5- 5%) y para 3D de 2.8% (rango 1.9- 3.1%); existiendo una variación de 1.3%.

- Corazón:

La dosis media que recibe el corazón en la irradiación de la mama derecha es mínima, sin embargo es importante considerarla dentro de nuestro análisis.

- En el esquema de hipofraccionamiento, la dosis media fue de 0.5% (21.36 cGy) en la planificación 3D en comparación del 1.2% (46.73 cGy) en 2D.
- En el esquema convencional, la dosis media fue de 0.9% (45 cGy) en la planificación 3D versus el 1.5% (75 cGy) en la planificación 2D.
- Para restricciones de la RTOG en corazón evaluamos para ambas técnicas el nivel de tolerancia de 250 cGy al 10% del corazón, siendo 1.3% en 3D en contraste del 2.6% en 2D, con una variación del 1.3%.

✓ Mama izquierda:

- Todas las mamas fueron tratadas con esquemas convencionales, 5 de 6 pacientes con dosis diarias de 20 Gy completando una dosis de 50Gy.

- Pulmón izquierdo:

- La dosis media es menor en 3D con 7.2% (361 cGy) frente al 2D con 14% (700 Gy); la variación promedio entre técnicas es de 6.8%.
- Observamos que las pacientes 5 y 8 tienen una dosis media de 10.5% y 17.4% en 3D frente al 26% y 32.5% en 2D, siendo su variación de 15.5% y 15.1% respectivamente.
- Para restricciones de la RTOG en pulmón evaluamos para ambas técnicas el nivel de tolerancia de 200 cGy al 30% del pulmón, siendo para la planificación 2D un 4.8% (rango 3.5- 7.9%) y para 3D de 3.1% (rango 2.1- 5.5%); existiendo una variación de 1.7%.

- En el caso de las pacientes 5 y 8, la variación es mayor al promedio encontrado, 6% y 15.7%, siendo la dosis de 3% y 4.3% en 3D y de 9% y 20% en 2D respectivamente.
 - Las variaciones fuera del promedio que se encontró, están dadas en relación al volumen mamario, anatomía de la cavidad pulmonar y localización del tumor.
- Corazón:
- La dosis media que recibe el corazón es de 1.8% (91.25 cGy) en 3D frente al 5.8% (288.75 cGy) del 2D, teniendo una variación del 4%.
 - Las pacientes 5 y 8 reciben una dosis media en el corazón correspondiente a 4.4% y 4.3% en 3D frente al 25.2% y 18.5% del 2D, con una variación del 20.8% y 14.2% respectivamente.
 - Según las restricciones de la RTOG evaluamos el corazón para ambas técnicas, siendo 3.3% en 3D en contraste del 7.1% en 2D, teniendo una variación del 3.8%.
 - En el caso de las pacientes 5 y 8; el 10% del volumen cardiaco recibiría 100% de la dosis total para una planificación 2D, en comparación del 4.8% y 6% en 3D, respectivamente. Se observa que en estos dos casos la planificación 3D aporta un beneficio significativo hacia las pacientes reduciendo considerablemente el riesgo de problemas cardiacos a largo plazo.

Al contar con dos esquemas de tratamiento dentro de la investigación, el esquema convencional (mama izquierda) y el hipofraccionamiento (mama derecha), observamos que las dosis media que reciben el pulmón, es mucho menor en la planificación 3D con hipofraccionamiento 7.8% (313.7 cGy) frente al 7.2% (361 cGy) del convencional.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- Los datos encontrados en la investigación son congruentes con los hallados en la revisión bibliográfica previa, existiendo variaciones significativas entre las diferentes planificaciones, siendo de mayor relevancia la que se logra en el corazón cuando irradiamos la mama izquierda; a su vez, corroboramos que existe una reducción adicional de la dosis media en OAR's con esquemas de hipofraccionamiento.
- Las restricciones según la RTOG para pulmón en ambas mamas, se ha cumplido en las dos planificaciones, la planificación 3D obtuvo menor volumen de pulmón irradiado, reduciendo así la probabilidad de neumonitis sintomática.
- Las restricciones según la RTOG para corazón en mama derecha, se ha cumplido en las dos planificaciones, siendo la planificación 3D la que obtuvo menor volumen de corazón irradiado (1.3%).
- Las restricciones según la RTOG para corazón en mama izquierda, se ha cumplido en todas las pacientes en la planificación 3D, al evaluar la planificación 2D, encontramos 2 pacientes que exceden la restricción de la RTOG para un volumen cardiaco del 10%. En una planificación convencional 2D no podríamos tener esas valoraciones y aumentaríamos considerablemente la mortalidad cardiaca a largo plazo (isquemia).
- La dosis media en pulmón se logra reducir aproximadamente un 50% entre las distintas técnicas, reduciendo así la probabilidad de neumonitis sintomática.

- La dosis media en corazón en la mama derecha se reduce un 50% en la planificación 3D.
- La dosis media en corazón en la mama izquierda se reduce un 300% en la planificación 3D. El promedio de dosis media en la planificación 3D es 2.7%, por otro lado en la planificación 2D encontramos picos de 25.2% y 18.5%.
- Por tanto, finalmente se concluye que la aplicación de planificaciones 3D con esquemas de hipofraccionamiento, ayudan a reducir la probabilidad de efectos secundarios a largo plazo, sobretudo en la irradiación de la mama izquierda. A su vez, observamos que las planificaciones 3D, se pueden aplicar en distintos estadios de la lesión (in situ – IV).

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- Las planificaciones 3D cumplen con los protocolos y restricciones de la RTOG, por lo que se debe considerar realizar tratamientos 3D en mayor cantidad de pacientes con cirugía de mama conservadora.
- Los esquemas de fraccionamiento deben ser implementados en la irradiación de mama 3D para seguir optimizando y reduciendo dosis en OAR's.
- En mamas de gran volumen mamario, se recomienda realizar planificaciones 3D, ya que la variación de dosis que recibe los OAR's es considerablemente menor, o en su defecto utilizar fijadores de mama (brasiers) que ayudará a colocar la mama más anterior, reduciendo el volumen de pulmón y corazón irradiado.
- La verificación de todo plan de tratamiento es importante, valorando parámetros externos tales como límite de campo interno (no sobrepase la línea media), el volumen mamario total esté dentro del campo de radiación, e internos (placa verificadora), como el volumen pulmonar que se irradia, la tangencialidad de los campos y protección de los OAR's con los bloques conformacionales.
- Hacer un seguimiento a largo plazo de las pacientes tratadas con radioterapia 3D consideradas en la investigación, para corroborar los resultados encontrados versus las complicaciones que pudiesen experimentar a los 5 o 10 años de sobrevida.

- Reducir paulatinamente la aplicación de radioterapia convencional e ir implementando la radioterapia 3D, con el fin de reducir los efectos a largo plazo y el tiempo de tratamiento.
- Se debe profundizar la investigación con datos físicos, tales como índice de conformidad, índice de homogeneidad, dosis al PTV en las distintas planificaciones.
- Se recomienda valorar en futuros estudios las dosis en piel y dosis en vías aéreas (tráquea).
- Se recomienda realizar estudios sobre la variación de dosis en pacientes con mastectomía radical y reconstrucción de mama que reciben radioterapia 3D, para valorar los beneficios existentes para estos grupos de pacientes.
- Se recomienda realizar un estudio a mayor escala a nivel de hospitales y/o clínicas que cuenten con la disponibilidad de esta tecnología, para valorar y reestructurar los protocolos establecidos por los programas oncológicos del gobierno y/o coberturas de seguros de salud, a fin de acceder a tratamientos 3D en cáncer de mama detectados en estadios tempranos.
- Es importante seguir impulsando campañas para prevención, como el autoexamen mamario y el tamizaje del cáncer de mama; el 50% de pacientes incluidas en la investigación son menores de 50 años, encontrando un caso (38 años) en estadio avanzado con metástasis en hígado, siendo correlativo con las estadísticas brindadas por la Liga contra el cáncer, donde se menciona que los porcentajes de mujeres entre los 25 a 30 años que tienen cáncer va en aumento.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS

American Joint Committee on Cancer Staging System for Breast Cancer. (2002). *Clasificación TNM*. (Disponible en <http://mastologia.cl/images/consenso03/2.pdf>. Consultado el 20 julio del 2018).

Bront. F (2011). *Valoración radiobiológica de tratamientos radiantes mediante el programa Albireo Target*. (Disponible en <http://ricabib.cab.cnea.gov.ar/309/1/1Bront.pdf>. Consultado el 20 de agosto 2018).

Cardenas, J (2017). *Consenso Mexicano sobre diagnóstico y tratamiento del cáncer mamario*. (Séptima edición).(Disponible en <http://juntoscontraelcancer.mx/jcc/wp-content/uploads/2017/06/152-GPC-Interinstitucional-CancerMama-Consenso-Mexicano sobreDiagnosticoTratamiento2017.pdf>. Consultado el 20 julio del 2018).

Castellanos, María. (2006). *Las nuevas tecnologías: necesidades y retos en radioterapia en América Latina*. (Disponible en https://www.scielo.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/rpsp/v20n2-3/11.pdf Consultado el 3 de octubre del 2018).

De la Paz León, A. (2013). *Asimetrías de la glandula mamaria por mastografía y su asociacion con cáncer de mama en mujeres de 35 a 75 años, en el centro "Lic. Adolfo López Mateos"*. (Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/14636/413556.pdf?sequence=1>. Consultado el 7 de julio del 2018).

Fonfach Carlos, M. G. (2008). *Cáncer de mama, modalidades terapéuticas y marcadores tumorales*. (Disponible en <http://mingaonline.uach.cl/pdf/cuadcir/v22n1/art09.pdf>. Consultado el 23 julio del 2018).

Garavito José. (2015). *Estudio de los parámetros de cálculo de dosis en el sistema de planeación Monaco para VMAT en pulmón*. (Disponible en <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/20623/GaravitoCastellanosJoseEsau2016.pdf?sequence=1>. Consultado el 3 de octubre del 2018).

García Fernando, G. K. (2012). *Carcinoma ductal infiltrante, el tipo de cáncer de mama más común*. (Disponible en: <http://www.archivosdemedicina.com/medicina-de-familia/carcinoma-ductal-infiltrante-el-tipo-de-cancer-de-mama-ms-comn.pdf>. Consultado el 3 julio del 2018).

Gutiérrez-Ibarluzea I, Gutiérrez-Iglesias A, Galnares-Cordero L, ShengueliaShapiro L, Boveda Carro E, Celeiro González J, Bilbao Zulaica P, Bayon Yusta JC. (2014) *Evaluación de radioterapia conformada con haces de intensidad modulada. IMRT.* (Disponible en: https://www.osakidetza.euskadi.eus/contenidos/informacion/2014_osteba_publicacion/es_def/adjuntos/radioterapiaIMRT.pdf. Consultado el 20 de setiembre del 2018)

Lago, I. (2003). *Planificadores 3D y simulacion virtual del tratamiento. Situación en España.* (Disponible en: <https://www.sergas.es/cas/Servicios/docs/AvaliacionTecnoloXias/Planificadores-3D-IA2003-01.pdf>. Consultado el 20 de agosto del 2018).

Loría R, Lengua R, Palacion E y Fondevilla A. (2013). *Toxicidad cutánea a corto plazo de pacientes con cáncer de mama tratados con radioterapia hipofraccionada.* (Disponible en: <http://www.scielo.sa.cr/pdf/amc/v55n4/art04v55n4.pdf> Consultado el 28 de setiembre del 2018).

Mejía, L. (2012). *Análisis dosimétrico de las distribuciones de dosis para técnicas de tratamiento (campos tangenciales con cuñas, campos complementarios eIMRT) en radioterapia de cáncer de mama.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/12966/1/luisalfonso%20mejia.2012.pdf>. Consultado el 21 de agosto del 2018

Pinillos, Luis. (2005). *Evolución de la Radioterapia en el Perú, del siglo XX al XXI.* (Disponible en http://www.acadnacmedicina.org.pe/publicaciones/Anales_2005/17Evolucion_Pinillos.pdf. Consultado el 20 de setiembre del 2018.

Plan nacional para el fortalecimiento de la prevención y control del cáncer en el Perú. (2008). *Norma técnico oncológica para la prevención, detección y diagnóstico temprano del cáncer de mama a nivel nacional.* (Disponible en http://www.irennorte.gob.pe/pdf/normatividad/documentos_normativos/INEN/NORMAS/2008-RJ-120-NORMA-TECNICO-ONCOLOGICA-PARA-PREVENCION,DETECCION-Y-DIAGNOSTICO-TEMPRANO-DE-CANCER-DE-MAMA-A-NIVEL-NACIONAL.pdf. Consultado el 15 de julio del 2018

Puebla, M. d. (2008). *Radioterapia.* (Disponible en https://books.google.com.pe/books?id=_5gVP85dW9kC&pg=PT73&lpg=PT73&dq=actual+icru+en+radioterapia+para+planificacion&source=bl&ots=c0Z2jQTq1c&sig=j6okIy3rzKN4vJB9mz_7Wy2hDNE&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjA9Or9nd7cAhWR6lMKHWlsATE4ChDoATAEegQIBhAB#v=onepage&q=actual%20icru%20en%20radioterapia%20para%20planificacion&f=false. Consultado el 18 de agosto del 2018

Radiation Therapy Oncology Group. (2010). *Volumenes blanco en radioterapia conformada 3D*. Disponible en: https://drive.google.com/drive/u/0/folders/19NDeSmfhy2XqtsdWstC_HM22XQHVeWdp. Consultado el 24 de agosto del 2018)

Santos, C. y col. (1985). *Oncología Básica*. (Disponible en: https://drive.google.com/drive/u/0/folders/19NDeSmfhy2XqtsdWstC_HM22XQHVeWdp. Consultado el 10 de julio del 2018)

Sociedad Española de Oncología Radioterápica. (2010). *Volumenes blanco en radioterapia conformada 3D*. Disponible en: https://drive.google.com/drive/u/0/folders/19NDeSmfhy2XqtsdWstC_HM22XQHVeWdp. Consultado el 24 de agosto del 2018)

Sola Antonio. (2006). *Radioterapia en el cáncer de mama temprano*. (Disponible en: http://www.mastologia.cl/pto_docente/012_rt_ca_tmp.pdf . Consultado el 25 de setiembre del 2018)

Urbina G, García B. (2015). *Comparación dosimétrica de las técnicas de tratamiento IMRT Y VMAT, para cáncer de mama*. Disponible en: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/47/032/47032300.pdf. Consultado el 5 de octubre del 2018)

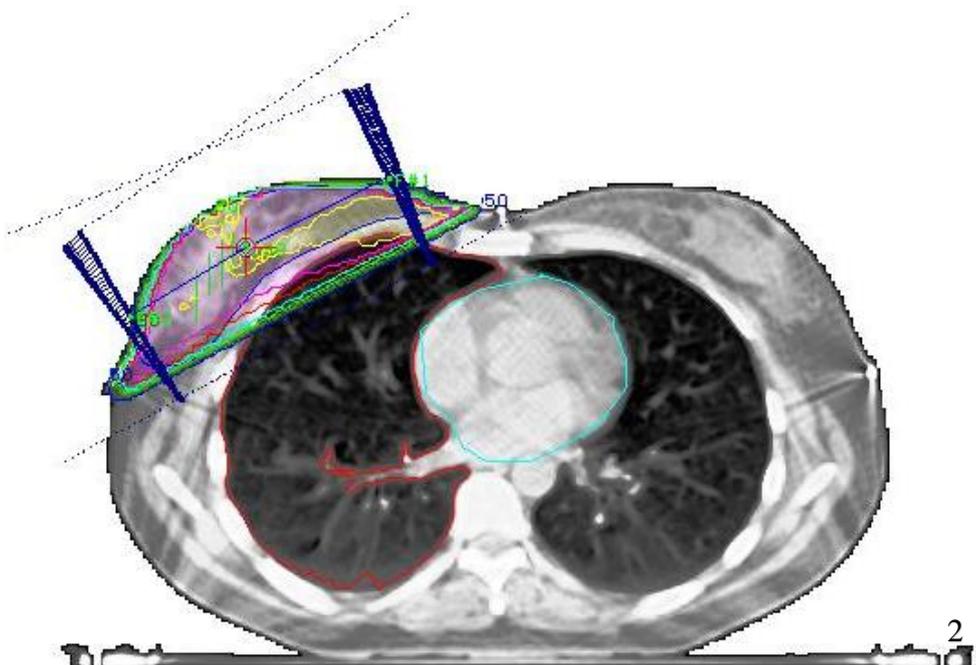
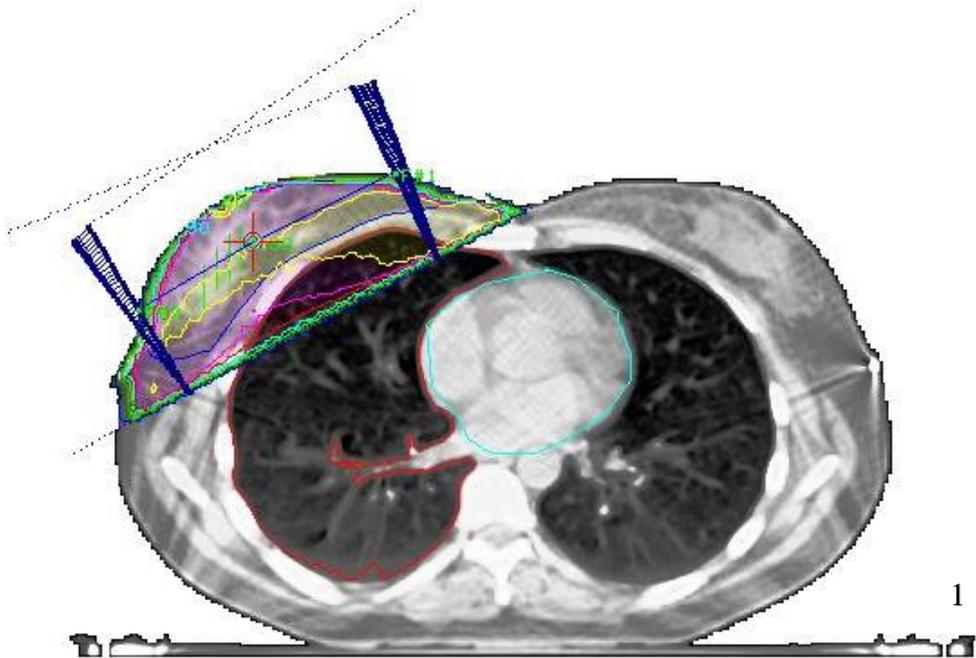
Yolanda, B. M. (2006). Detección del cáncer de mama: Estado de la mamografía en México. *Cancerología*. Disponible en: <http://incan-mexico.org/revistainvestiga/elementos/documentos/Portada/1172289111.pdf>. Consultado el 10 de julio del 2018).

CAPÍTULO IX

ANEXOS

ANEXO I

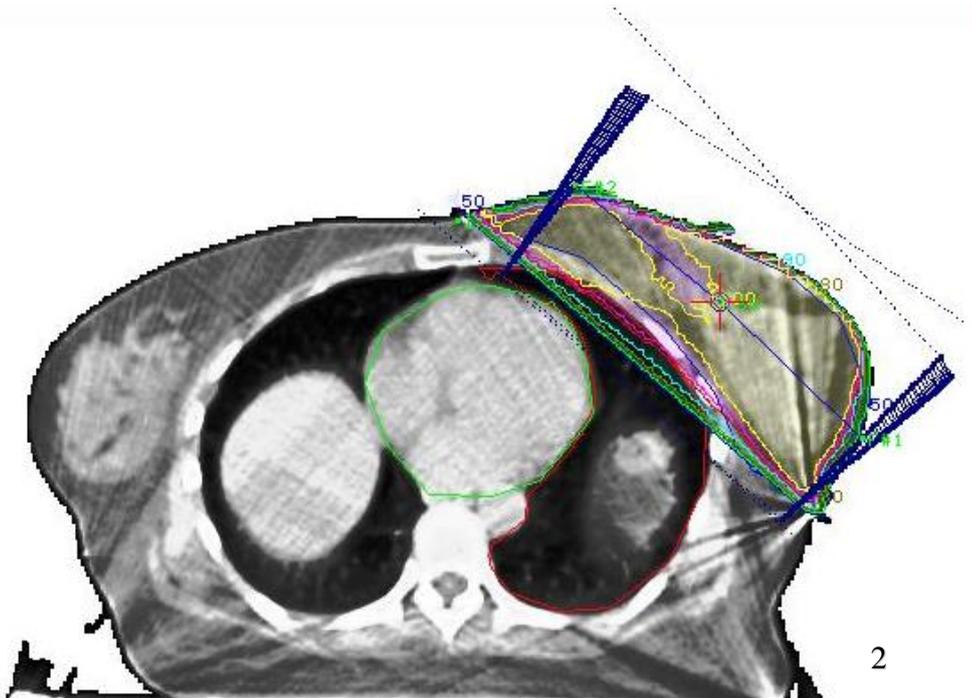
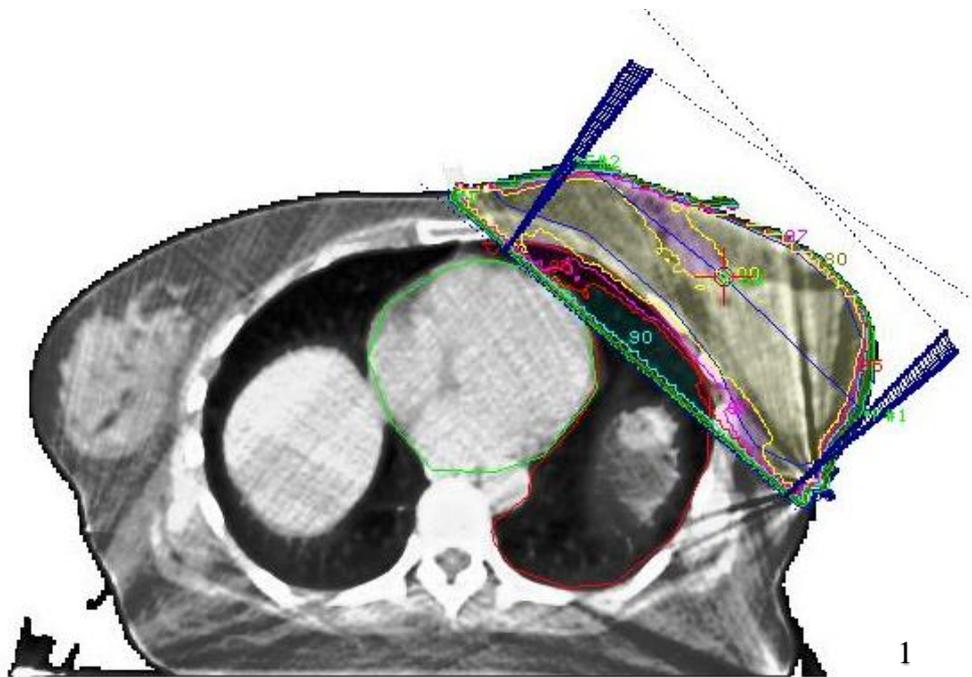
PLANIFICACIÓN 2D – 3D DE MAMA DERECHA



Paciente N° 1. Planificación 2D (1) y planificación 3D-CRT (2) de mama derecha. Obtenida del planificador CAT 3D. Centro de Radioterapia de Lima 2016-2017.

ANEXO II

PLANIFICACIÓN 2D – 3D DE MAMA IZQUIERDA

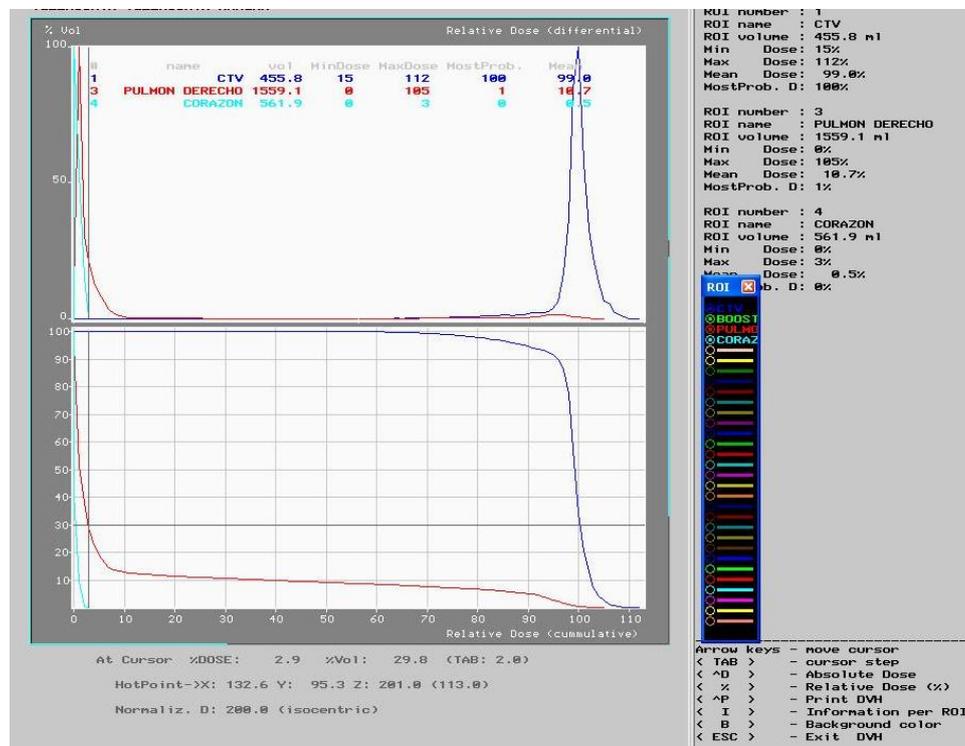
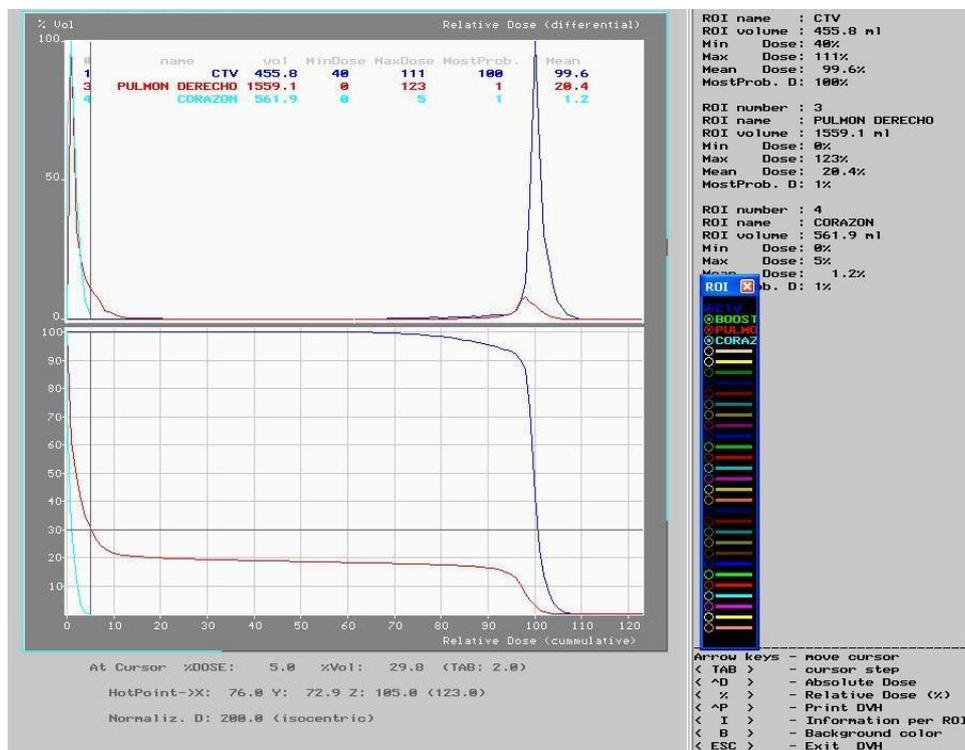


Paciente N° 7. Planificación 2D (1) y planificación 3D-CRT (2) de mama izquierda.

Obtenida del planificador CAT 3D. Centro de Radioterapia de Lima
2016-2017.

ANEXO III

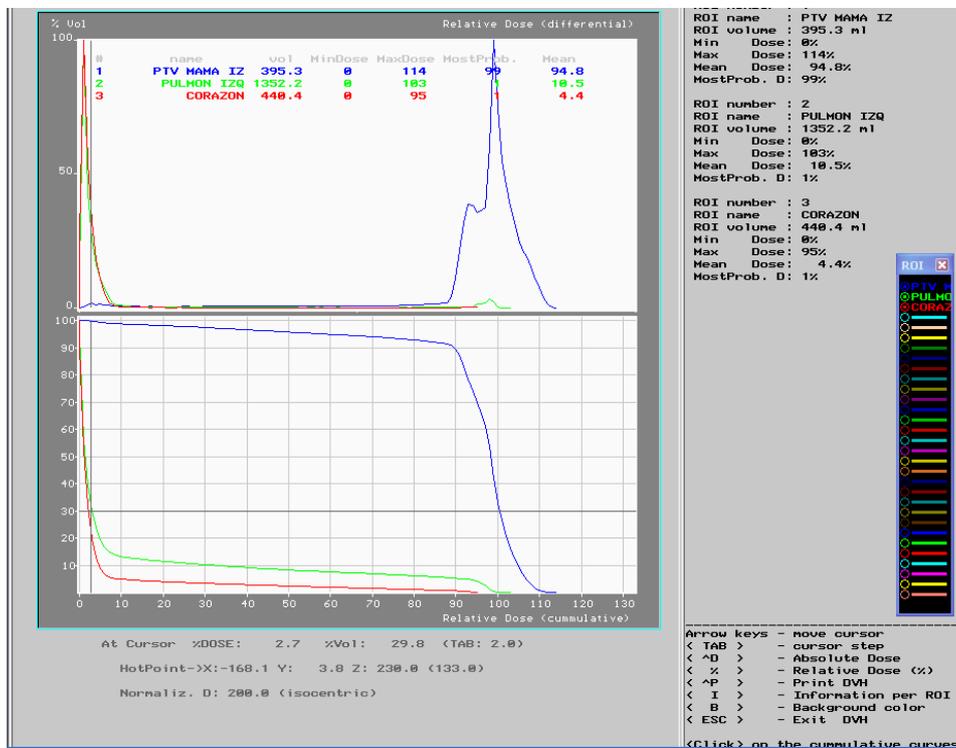
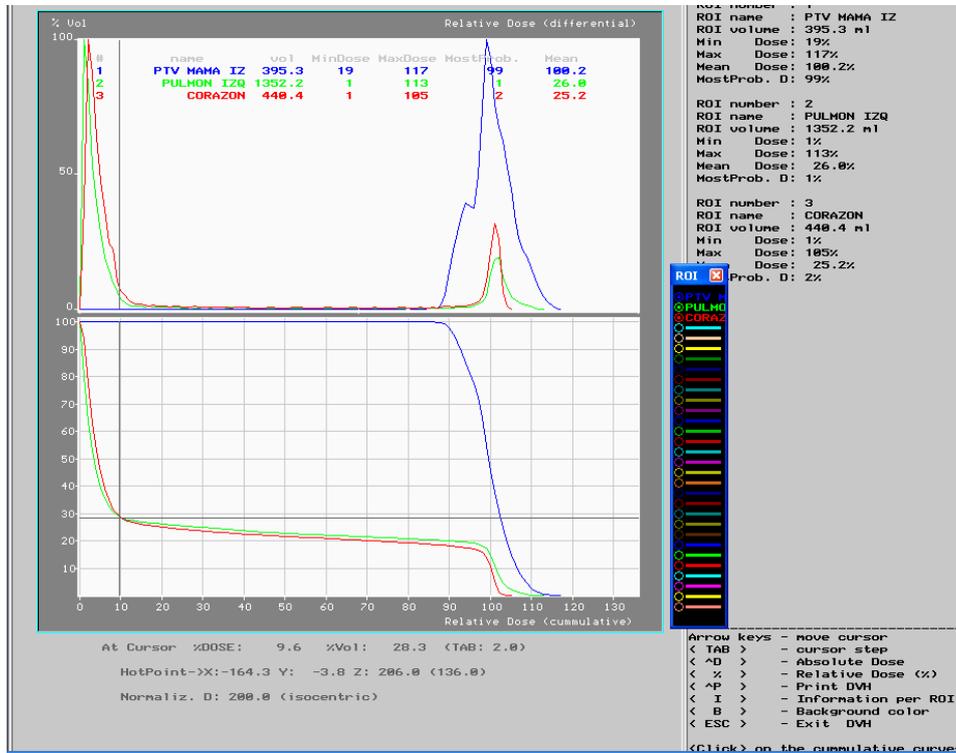
HISTOGRAMA DOSIS VOLUMEN 2D – 3D MAMA DERECHA



Paciente N° 1. HDV 2D (imagen superior) y HDV 3D-CRT (imagen inferior) de mama derecha, existe una variación mayor en pulmón (rojo).

ANEXO IV

HISTOGRAMA DOSIS VOLUMEN 2D – 3D MAMA IZQUIERDA



Paciente N° 5. HDV 2D (imagen superior) y HDV 3D-CRT (imagen inferior) de mama izquierda, se observa una considerable variación entre las planificaciones.