



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

Facultad De Ciencias E Ingenierías

Departamento de Física.

Seminario de Graduación para optar al título de Licenciatura en Física con mención en Física Medica.

Tema: Física Médica

Sub-tema: Estudio comparativo sobre planes dosimétricos aplicados con técnicas de Arcoterapia Volumétrica de Intensidad Modulada (VMAT) y Radioterapia de Intensidad Modulada (IMRT) en pacientes con Cáncer de Próstata del Centro Nacional de Radioterapia durante el III cuatrimestre del año 2020.

Autores:

Br. Yader Antonio Rosales Calero

Br. Estefany del Carmen Quiroz Blanco

Tutor:

Msc. Norma Alejandra Roas Zúñiga.

Asesor:

Msc. Francisco Javier Hernández Flores.

Managua, Nicaragua 2020.

Indice

Dedicatoria	5
Agradecimiento	9
CARTA AVAL	10
Resumen	11
I- Introducción	12
II- Antecedentes	14
Contexto Internacional:	14
Contexto Nacional:	15
III- Planteamiento del Problema.....	16
IV- Justificación	18
V- Objetivos	19
Objetivo General:	19
Objetivos Específicos:.....	19
VI- Marco Teórico.....	20
6.1- Cáncer de Próstata	20
6.2- Anatomía	20
6.3- Estadios del Cáncer de Próstata	21
✓ Estadio I.....	21
✓ Estadio II.....	21
✓ Estadio III	21
✓ Estadio IV	21
6.4- Modalidad de tratamiento para pacientes con cáncer de próstata.	21
• Enfermedad clínicamente localizada.....	21
• Enfermedad metastásica.....	21
6.5- Los principales tratamientos utilizados para el manejo de cáncer de próstata son:	22
Cirugía	22
Quimioterapia	22
Radioterapia.....	22
6.6- ¿Qué es Radioterapia y su uso?	23
6.7- Tipos de técnicas en Radioterapia Externas:.....	23
La técnica Arcoterapia Volumétrica de intensidad Modulada (VMAT).....	23
La Modalidad de Radioterapia por Intensidad Modulada (IMRT)	24
Actualmente existen dos formas de IMRT con entradas predefinidas, según el funcionamiento de los colimadores multilaminas	24
Principales Ventajas.....	25

6.8- Sistema de planificación de tratamiento en Radioterapia	25
Sus funciones principales son las siguientes:	26
6.9- Optimización realizada por el sistema de planificación MONACO en la técnica de VMAT.....	26
6.10- Optimización realizada por el sistema de planificación MONACO en la técnica de IMRT.....	27
6.11- Función de Coste	27
✓ Modelo de dosis equivalente uniforme (EUD) objetivo	27
✓ Penalización objetivo	27
✓ Modelo en serie.....	28
✓ Modelo en paralela.....	28
✓ Sobredosis cuadrática.....	28
✓ Infradosis cuadrática	28
✓ DVH de sobredosis	28
✓ DVH de Infradosis	29
✓ Dosis máxima	29
✓ Conformación	29
6.12- Volúmenes de Tratamiento.....	30
Volumen de grosor tumoral GTV.....	30
Volumen de grosor tumoral CTV	30
Volumen de grosor tumoral PTV.....	30
Órgano de riesgo OR	30
6.13- Mapcheck.....	31
6.14- ArcCHECK.....	32
VII- Marco Conceptual.....	33
7.1- Simulación y dosis prescrita.	33
7.2- A continuación se detalla los criterios empleados para el contorneo de los órganos críticos en las técnicas de planificación VMAT e IMRT para cada uno de los 10 casos que conforman la población de estudio.	33
1- Recto	33
2- Vejiga Urinaria	34
3- Bulbo Peneano	34
4- Cabezas Femorales.....	34
5- Intestino Delgado	35
7.3- Planificación en Radioterapia de Intensidad Modulad IMRT.....	35
7.4- Planificación en Arcoterapia Volumétrica de Intensidad Modulada VMAT.....	36
7.5- DEFINICIONES PARA LA EVALUACIÓN DE LA DOSIS	37
Dosis Media	37

Dosis Máxima.....	37
Dosis Mínima	37
Puntos Fríos	37
Puntos Calientes	38
Línea de Isodosis	38
Histograma Dosis-Volumen	38
7.6- Aprobación del plan de tratamiento	38
VIII- Marco Legal	39
IX- Diseño Metodológico.....	40
✓ ENFOQUE A LA INVESTIGACION	40
✓ NIVEL DE APLICABILIDAD.....	40
✓ NIVEL DE PROFUNDIDAD DEL CONOCIMIENTO.....	40
✓ NIVEL DE AMPLITUD	40
✓ POBLACION Y MUESTRA	40
✓ MUESTREO	41
Criterios de Inclusión.....	41
TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	41
• Entrevista	41
• Grupo Focales	42
• Análisis de Casos	42
Plan de tabulación y análisis de datos	43
X- Análisis y Resultado.....	44
Equipos tecnológicos que posee el centro.....	44
Unidades Monitoras.....	46
Índice de Homogeneidad y Conformidad.....	46
Dosis Mínima, Máxima y Media Normalizada en el PTV.....	47
XI- Conclusiones:.....	52
XII- Recomendaciones:.....	53
Al Centro Nacional de Radioterapia	53
A la comunidad estudiantil.....	53
XIII- Bibliografía	53
XIV- Anexos	55

Índice de tablas

1: Plan de tabulacion y analisis de datos	41
2: Tolerancia para los Organos en Riesgo	43
3: Unidades Monitor por fraccion para los diez casos en estudio con cada tecnica de planificacion IMRT y VMAT	44
4: Indice de Homogeneidad y Conformidad con técnicas IMRT y VMAT.....	45
5: Dosis minimas, maximas y media para los PTV de los 10 casos planificados con ambas tecnicas IMRT y VMAT	46
6: Dosis minimas, maximas y media evaluados en Organo de Riesgo para ambas tecnicas IMRT y VMAT..	47

Indice de figuras

1: Mapcheck	31
2:Equipo Archeck.....	32
3: Contorneo del límite inferior y superior del recto, respectivamente (plano axial)	33
4: Contorneo de la vejiga urinaria en el plano coronal y sagital.....	34
5: Contorneo del límite inferior del bulbo Peneano en el plano axial.....	34
6: Contorneo de las cabezas femorales en el plano coronal.....	34
7: Contorneo del intestino delgado en el plano axial que excluye la vejiga urinaria y estructura adyacente ...	35
8: Software Monaco	44
9: Histograma Dosis Volumen del PTV, los órganos en riesgo y la comparación de la técnica VMAT e IMRT en paciente con cáncer de próstata:	50
10: Línea De Isodosis:	51

Glosario

OARs: Órganos en riesgo.

GTV: Volumen Tumoral Macroscópico.

CTV: Volumen Tumoral Clínico.

PTV: Volumen Tumoral Planificado.

DVH: Histograma Dosis Volumen.

IMRT: Radioterapia de Intensidad Modulada.

VMAT: Arcoterapia Volumétrica de Intensidad Modulada.

RTOG: Glosario de Radioterapia.

Dedicatoria

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Agradecimiento

A Dios padre celestial por haberme regalado la vida, por darme la fuerza, sabiduría, entendimiento todos los días y por haberme permitido alcanzar esta meta y culminar con mis estudios universitarios.

A mis padres, por haberme apoyado incondicionalmente, por la oportunidad de haberme brindado mis estudios, por darme animo de superación, por estar pendiente día a día de mi bienestar y por haberme inculcado buenos valores para ser la persona que soy hoy.

A mis familiares que de una u otra forma apoyaron en mis estudios y permitieron que hoy lo culminara.

A todos mis maestros por haberme enseñado e inculcado con paciencia y esmero todos los conocimientos obtenidos a lo largo de todos mis estudios, de manera especial a Msc Norma Roas Zúñiga tutora de nuestro proyecto de investigación quien ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente, al master Francisco Hernández por habernos apoyado y hacer que el trabajo se realice con éxito y compartir sus conocimientos.

A todos mis compañeros por su apoyo, amistad, honradez, compañerismo, respeto y amabilidad todos los días que hemos compartido durante nuestros estudios.

CARTA AVAL

Managua, Nicaragua
01 de diciembre del 2020

PhD. Noel Zelaya
Director Departamento de Física
Facultad de Ciencias e Ing.

Estimado Dr. Zelaya:

Por este medio estoy haciendo llegar mi valoración como tutora del seminario de graduación realizado por el Br. Yader Antonio Rosales Calero y la Br. Estefany del Carmen Quiroz Blanco, se ha evaluado el informe final y se considera cumple con los requisitos establecidos con el actual reglamento estudiantil vigente. Este trabajo es de mucha relevancia para el Centro Nacional de Radioterapia. El mismo lleva por título **Estudio comparativo sobre planes dosimétricos aplicados con técnicas de Arcoterapia Volumétrica de Intensidad Modulada (VMAT) y Radioterapia de Intensidad Modulada (IMRT) en pacientes con Cáncer de Próstata del Centro Nacional de Radioterapia durante el III cuatrimestre del año 2020.** Los Alumnos han realizado el mismo con dedicación y esfuerzo.

Agradecería su gestión para que la pre-defensa y defensa sea realizada de acuerdo con la reglamentación. Gracias por su gestión y aprovecho la ocasión para saludarlo.

Atentamente,



Msc. Norma Roas Zúñiga
Docente
Dpto. de Física

Resumen

En la presente investigación, se ha realizado un estudio comparativo sobre planes dosimétricos aplicados con técnicas de Arcoterapia Volumétrica de Intensidad Modulada (VMAT) y Radioterapia de Intensidad Modulada (IMRT) en pacientes con Cáncer de Próstata en el Centro Nacional de Radioterapia durante el III cuatrimestre del año 2020; con radiación ionizante (radioterapia) con una dosis de prescripción de 70Gy entregada en 28 fracciones, cada fracción de 2.5Gy diario.

Se ha realizado la planeación física con un sistema de planificación de tratamiento MONACO 5.1, un acelerador lineal Elekta infinity incorporado las multilaminas agility, con una energía de fotones de 6MV.

En el sistema de planificación MONACO 5.1, se ha utilizado dos técnicas físicas de planificación inversa, como la Radioterapia de Intensidad Modulada (IMRT) y Terapia con Arcos Volumétricos Modulados (VMAT).

Se puede afirmar que el estudio tiene un enfoque cuantitativo, de carácter explorativa y de corte transversal, porque se efectúa en el tercer cuatrimestre del año 2020. La población constituida para esta investigación fue: 10 pacientes con cáncer de próstata, la manera de selección se podrá apreciar en el diseño metodológico del trabajo.

La recolección de los datos se realiza a través de instrumentos de Análisis de casos, Entrevista a un médico Radioncólogo y un físico médico, esto ayuda a poder combinar ciertos criterios de clasificación para ordenar, agrupar, sistematizar, analizar e interpretar los datos.

Los resultados obtenidos permiten constatar que la técnica Vmat con unidades monitoras de 1524.6 ofrece una mejor entrega de dosis en casi todos los ángulos y menos dosis en órgano en riesgo en relación a la técnica IMRT de unidades monitoras de 1432.2 ofreciendo esta un mayor confort al paciente.

I- Introducción

En nuestro país, cada año fallecen en promedio 142 personas de cáncer de próstata (según la OPS, 2011). Durante el periodo de 1998 al 2011 se registran un total de 1,988 deceso de los cuales el 98.8% fue un grupo de edad mayor de 50 años o más.

El Cáncer de Próstata puede ser curable en las primeras etapas, sin embargo muchas veces el paciente no presenta sintomatología lo que ocasiona diagnósticos tardíos. El éxito para la detección precoz de esta enfermedad, es mediante exámenes físicos regulares y análisis simples de sangre denominados antígenos prostáticos.

La planificación de tratamiento radioterápico se refiere a todos los procesos que intervienen en la determinación del procedimiento con el que debe ser tratado el paciente el objetivo de un plan de tratamiento es plasmar la intensión del tratamiento, indicando la dosis que deben recibir los volúmenes blanco, incluyendo cobertura y también los valores de dosis que pueden llegar a ser aceptables en los órganos en riesgo. En el Centro Nacional de Radioterapia "Nora Astorga" para llevar a cabo una planificación de tratamiento, se realiza primero una tomografía, con el fin de obtener los datos anatómicos del paciente a tratar (simulación) , una vez finalizado el proceso de simulación, continuamos con el delineamiento de volúmenes (Volúmenes blanco y OARs) , luego se contorneo , y se ingresan los campos de tratamiento de los volúmenes y órganos en riesgo contorneado anteriormente, el medico Radio oncólogo revisa si el 95% del volumen tumoral planificado cumple con la dosis prescrita y que los límites de dosis para OARs se encuentran dentro de los rangos tolerables, para poder ser aprobado el plan e imprimirlo listo a empezar tratamiento.

Se compararon cinco planes físicos con la técnica IMRT y la misma cantidad con la técnica VMAT, en total se analizaron 10 planes de tratamiento, se ha realizado la planeación de dichos planes basándose en la guía de prácticas médicas en Radioterapia (Manual del servicio de Radioterapia) y la ICRU 50 y con el asesoramiento de un físico médico.

La elaboración de dichos planes se lleva a cabo, basándose en la ICRU 83 y los constraints utilizados por el centro nacional de radioterapia que permiten armonizar la prescripción y la comunicación de datos dosimétricos en IMRT, para el Vmat no existe ninguna guía pero ya que esta es una forma de IMRT solo que la dosis de radiación se suministra en una rotación de 360 grados se utiliza la misma guía del IMRT.

II- Antecedentes

A continuación se presentan algunas de las investigaciones que figuraron como base para la realización del presente trabajo enfocado en el estudio comparativo sobre planes dosimétricos aplicados con técnicas de Arcoterapia Volumétrica de Intensidad Modulada (VMAT) y Radioterapia de Intensidad Modulada (IMRT) en pacientes con cáncer de Próstata.

Contexto Internacional:

En los protocolos publicados a nivel internacional las primeras publicaciones que trataron el tema específico fue Swiss Society for Radiobiology and Medical Physic, por J.E. Bayouth y S.M Morrill; en el año 2003.

Donde se evidencia que la técnica IMRT es muy útil para la optimización de la radioterapia en especial para casos complejos en formas de objetivos y para la reducción de la dosis en los órganos en riesgo de la misma forma la técnica VMAT; estas presentan una gran complejidad; por esto se han establecido protocolos por lo cual en la práctica supone un control de calidad individualizado por paciente.

Otro trabajo consultado fue el realizado por Jaider Vásquez y María Cristina dicha investigación llevo por título “Comisionamiento e implementación de la técnica IMRT y VMAT”, en la Universidad Nacional de Colombia en el año 2014.

Para la implementación de técnicas en radioterapia avanzadas (IMRT y VMAT), se deben realizar una serie de procedimientos para las pruebas de aceptación de los aceleradores lineales, estas deben ser llevadas a cabo por los físicos médicos del centro de radioterapia. Las evaluaciones de los sistemas de multihojas son evaluadas también por los físicos médicos de la institución siguiendo protocolos nacionales e internacionales tales como el TG 119 de la Asociación de Físicos Médicos de América.

Otro trabajo considerado fue el de María Gómez Zúñiga y María Serrano Mora cuya investigación fue un “Estudio comparativo de dos técnicas de planificación de Radioterapia para el tratamiento del cáncer prostático, Servicio de Radioterapia, Hospital México, año 2014”

A partir de los resultados recopilados en la fase de validación, se compararon en la etapa final del estudio, el método estándar de IMRT con respecto a Radioterapia en 3D, mediante cuatro campos de tratamiento, donde se tomó en cuenta la totalidad de la población (32 casos). A partir de dicha comparación en sus conclusiones expresan que a partir de la técnica IMRT lograba una mejor conformación de dosis de tratamiento, reduciendo la dosis recibida en la totalidad de los órganos de riesgo considerados.

Contexto Nacional:

En cuanto al uso de la radioterapia en el cáncer de próstata, empleando técnicas en IMRT y VMAT en Nicaragua hasta la fecha no se han realizado publicaciones científicas sobre el abordaje radioterapéutico en el Acelerador Lineal (única tecnología que se dispone hasta la fecha en el país), que nos permita hacer un análisis integral sobre el diagnóstico, tratamiento médico, abordaje radioterapéutico y supervivencia de dichos pacientes, siendo este estudio en su esencia el primero.

III- Planteamiento del Problema

Para Nicaragua la Radioterapia es un pilar fundamental en el tratamiento contra el cáncer pues ha contribuido a que la mortalidad descienda.

El uso de la Radioterapia de Intensidad Modulada (IMRT) y Arcoterapia Volumétrica de Intensidad Modulada (VMAT) es una tecnología muy útil para la optimización de la radioterapia por ejemplo, para mejorar la dosis impartida al volumen blanco y para la reducción de la dosis en los órganos en riesgo.

Actualmente no se encuentran establecidas las técnicas de VMAT e IMRT en el Centro Nacional de Radioterapia para pacientes con cáncer de próstata debido a que se brinda atención a muchos pacientes y se requiere capacitar al personal para afianzar sus conocimientos, destrezas, habilidades respecto a estas técnicas, el establecimiento de estas mismas permitirán aumentar la dosis de irradiación sobre el volumen tumoral con menores efectos secundarios obteniendo una distribución conformada muy precisa protegiendo de modo más eficiente a los órganos de riesgo circundante a la lesión que en muchas ocasiones no se podría conseguir con el tratamiento de Radioterapia Conformada 3D un grado de conformación de la dosis al volumen tumoral y la capacidad de excluir los órganos de riesgo no es la óptima, salvo en casos de tumores pequeños y con formas relativamente sencillas.

La comparación de estas técnicas surge por la necesidad de conocer que tanto la Radioterapia de Intensidad modulada (IMRT) como la Arcoterapia Volumétrica de Intensidad Modulada (VMAT) pueden brindar una atención más segura con los menores riesgos posibles y así produciendo efectos positivos en el paciente derivado de la utilización de tecnología de punta consiguiendo una atención eficaz y eficiente con base al aprovechamiento óptimo de los recursos.

En Nicaragua es necesario implementar estas técnicas porque el centro cuenta con una gran cantidad de pacientes y la disminución de tiempo en maquina por paciente ayuda a tratar más pacientes por días y con una excelente calidad de tratamiento.

Por lo tanto se plantea la siguiente determinante

¿Por qué comparar los planes dosimétricos aplicados con técnicas de Arcoterapia Volumétrica de Intensidad Modulada (VMAT) y Radioterapia de Intensidad Modulada (IMRT) en pacientes con Cáncer de Próstata del Centro Nacional de Radioterapia durante el III cuatrimestre del año 2020?

IV- Justificación

El realizar este tipo de investigación resultara de mucha importancia para el desarrollo e implementación de las técnicas de radioterapia VMAT e IMRT en Nicaragua esto permitiría un mejoramiento en la atención y tratamiento en el Centro Nacional de Radioterapia.

Esta Investigación será de gran aporte para la sociedad porque será la antesala de los mejoramientos tecnológicos de la Radioterapia y la oportunidad que tendrían las generaciones de físico médico de conocer de este tema.

La aplicación de los conocimientos en las técnicas de VMAT e IMRT será un gran antecedente en Nicaragua puesto que no habido ningún trabajo relacionado a estas mismas y es de gran relevancia porque va poner a disposición al centro a cualquier tipo de paciente brindando más atención.

Así mismo con este trabajo se ofrecen alternativas de tratamiento para los pacientes con cáncer de próstata pero también a los centros hospitalarios pues tendrán alternativas en tratamientos a realizar para dicha patología y así van a remitir directamente al Centro Nacional de Radioterapia sin necesidad de realizarse en el extranjero este tipo de procedimientos y será un gran beneficio para aquellos pacientes que no tienen la capacidad económica de adquirir estas técnicas ya que podrán obtenerla gratuitamente en dicho centro.

V- Objetivos

Objetivo General:

- ✓ Comparar los planes dosimétricos aplicados con técnicas de Arcoterapia Volumétrica de Intensidad Modulada (VMAT) y Radioterapia de Intensidad Modulada (IMRT) en pacientes con Cáncer de Próstata del Centro Nacional de Radioterapia durante el III cuatrimestre del año 2020.

Objetivos Específicos:

- ✓ Aplicar las técnicas de VMAT e IMRT en pacientes con cáncer de próstatas del Centro Nacional de Radioterapia para la comparación de planes dosimétricos.
- ✓ Determinar la efectividad de las técnicas aplicadas en pacientes con cáncer de próstata, una con respecto a la otra.
- ✓ Evaluar las restricciones de dosis para los órganos en riesgo y la probabilidad de control tumoral.

VI- Marco Teórico

En el siguiente documento, se explican diversos temas importantes para la comprensión de la patología de cáncer prostático y las modalidades de tratamientos para resaltar la importancia que posee la radioterapia en sus distintas técnicas de tratamientos.

En cuanto se recurrirá a estudios realizados internacionalmente que comparan las técnicas de tratamiento de interés para la investigación en curso, donde se valoraran los resultados y metodologías empleadas para llevarlo a cabo.

6.1- Cáncer de Próstata

El cáncer de próstata en Nicaragua es una patología frecuente, cuyos números, tanto en incidencia como en mortalidad, han ido aumentando en los últimos años. Por esta razón el entendimiento de la enfermedad, las técnicas actualmente utilizadas para dar un oportuno diagnóstico, y ligado a esto, las opciones de tratamientos, resulta de vital importancia para lograr un manejo óptimo y eficaz de la patología. (MINSA, 30 de Agosto 2014)

6.2- Anatomía

Como explica (Sinnatamby, 2003), la próstata es un órgano glandular pero también fibromuscular, ubicado debajo de la vejiga urinaria y por delante del recto. Está formada por una zona central y otra periférica y es en esta última donde se da más comúnmente la aparición del carcinoma de próstata.

Respecto a esta glándula, la Sociedad Americana de cáncer (Society A. C., 2015) describe que, aporta alrededor del 30% del volumen del líquido seminal, ya que la mayor parte de este lo dan las vesículas seminales, ubicada detrás de la glándula prostática. Otra estructura de interés es la uretra, que pasa por el centro de la próstata, con el objetivo de transportar la orina y el semen al exterior del cuerpo, el tamaño de esta glándula es variable según la edad, pero es en la pubertad cuando su aumento es influenciado por la hormonas masculinas como la testosterona.

6.3- Estadios del Cáncer de Próstata.

- ✓ **Estadio I:** El cáncer se encuentra solo en la próstata.
- ✓ **Estadio II:** En el estadio II, el cáncer está más avanzado que en el estadio I, pero no se diseminó fuera de la próstata.
- ✓ **Estadio III:** El tumor se ha extendido más allá de la capa externa de la próstata hacia los tejidos vecinos y puede afectar a las vesículas seminales.
- ✓ **Estadio IV:** El tumor se ha extendido a los ganglios linfáticos cercanos y lejanos a la próstata, a otras partes del cuerpo como la vejiga, el recto, los huesos o los pulmones.

6.4- Modalidad de tratamiento para pacientes con cáncer de próstata.

En la elección del tratamiento contra el cáncer de próstata, se debe tomar en cuenta una serie de factores tales como: la expectativa de vida del paciente, la disponibilidad de tratamiento y las características de la patología así como sus factores de riesgo.

El cáncer de próstata de acuerdo a su alcance, se puede dividir en dos grandes grupos:

- **Enfermedad clínicamente localizada.**
- **Enfermedad metastásica.**

Se considera clínicamente localizado cuando no se ha propagado a otra región del cuerpo, desarrollando metástasis, esto puede ser verificado mediante distintos estudios para determinar el estadio de la enfermedad; el manejo más común de cáncer de próstata clínicamente localizado, según el texto Harrison: Principios de Medicina Interna, es mediante prostatectomía radical o radioterapia.

El cáncer de próstata metastásica se manifiesta más común en huesos, en este caso se suele utilizar el tratamiento hormonal como primera opción para reducir los síntomas, con el fin de aliviar los dolores causado por metástasis ósea, donde puede administrarse radioterapia de haz externo en la región comprometida. (Kasper, 2012)

6.5- Los principales tratamientos utilizados para el manejo de cáncer de próstata son:

Cirugía

La cirugía es la extirpación del tumor y de parte del tejido circundante sano durante una operación. Se usa para tratar de eliminar un tumor antes de que se disemine fuera de la próstata. Un oncólogo cirujano es un médico que se especializa en el tratamiento del cáncer mediante cirugía.

Quimioterapia

La quimioterapia es el uso de fármacos para destruir las células cancerosas, generalmente, al inhibir su capacidad para crecer y dividirse. (Oncology, 2018)

Radioterapia

La radioterapia es el uso de rayos de alta potencia para destruir células cancerosas.

Los tipos de radioterapia usados para el tratamiento del cáncer de próstata incluyen los siguientes:

- ✓ ***Braquiterapia o radiación interna:*** La fuente de radiación se sitúa directamente en el interior o al lado del tumor y posteriormente puede o no ser retirada.
- ✓ ***Radiación externa o Teleterapia:*** Utiliza un haz de radiaciones externo que es dirigido hacia el tumor. Existen diferentes sistemas de radiación externa diseñados para aumentar la potencia de radiación al tumor limitando el daño a los órganos vecinos. Entre estos sistemas se encuentran:
 - **Radioterapia de intensidad modulada (IMRT).**
 - **Arcoterapia Volumétrica de Intensidad Modulada (VMAT).**
 - **Radioterapia estereostática.**
 - **Radioterapia guiada por imágenes.**
 - **Radio nucleótidos y radio inmunoterapia.** (Jinhan Zhu, 2013).

6.6- ¿Qué es Radioterapia y su uso?

La Radioterapia, es la especialidad clínico-terapéutica que utiliza las Radiaciones Ionizantes para el tratamiento de diversas enfermedades Oncológicas, incluyendo el cáncer de Próstata; su enfoque es de control local, en el cual se toma en cuenta el riesgo – beneficio de su uso, al valorar los límites de dosis, órganos de riesgo, efectos radiobiológicos, biología tumoral y complicaciones de tejidos normales, así como las tumorales al ser tratados. (Biete, 2008)

El uso de las Radiaciones Ionizantes, inicio con el descubrimiento de los Rayos X por Roentgen en 1895, el Radio 226 por el matrimonio Curie en 1898 y el exitoso resultado en el año 1899 sobre la primera paciente con cáncer de mama que fue tratado con Radioterapia externa.

Se estima que más del 80% de los pacientes con patologías Oncológicas en algún momento de su evolución, precisarán tratamiento con Radioterapia para su curación, control tumoral o como terapia paliativa; es por ello que el uso de la Radioterapia se ha convertido indiscutiblemente en una de las principales herramientas terapéuticas en el tratamiento de las diferentes neoplasias Oncológicas y en especial el cáncer de Próstata. (Vaughan, 2013)

En este contexto y con los avances científicos de la Física, de la Oncología y de los ordenadores, han logrado en la especialidad de Radioterapia Externa una evolución acelerada en el mejoramiento de los equipos de Radioterapia, en la precisión, la calidad e indicación de los tratamientos radioterapéuticos.

6.7- Tipos de técnicas en Radioterapia Externas:

La técnica Arcoterapia Volumétrica de intensidad Modulada (VMAT), es ampliamente utilizada en los servicios de radioterapia gracias a varios componentes disponibles en los aceleradores lineales de última generación, al alto grado de conformidad de la distribución de dosis con respecto a los volúmenes blanco y a la reducción de los tiempos de irradiación de pacientes (Jinhan Zhu, 2013).

Principales Ventajas:

- Reduce el tiempo del tratamiento a unos pocos minutos, frente a otros sistemas que se realizan con los aceleradores lineales tradicionales, pueden aplicarla con arcos completos o parciales, sencillos o múltiples.
- La Arcoterapia Volumétrica Modulada gana en precisión porque el haz de radiación se adapta y moldea a la forma del tumor y no en relación a un tipo concreto de cáncer, de manera que se puede aplicar desde casi todos los ángulos.
- Al disminuir el tiempo de radiación suministrado en cada sesión, se reduce también el riesgo de que el blanco se mueva, proporcionando más confort al paciente.

Para que esta modalidad de tratamiento se utilice en la clínica de forma rutinaria, los sistemas de planeación de tratamiento, TPS, poseen algoritmos de planeación inversa y de cálculo de dosis que garantizan la cobertura y la exactitud requerida en el cálculo de la dosis.

Uno de estos TPS comerciales utilizado para la planeación de pacientes con la técnica de VMAT es el MONACO de ELEKTA, el cual, en la primera etapa de optimización emplea el algoritmo Pencil Beam y en la segunda etapa utiliza un algoritmo de Monte Carlo, para el cálculo de la dosis.

Sin embargo, el método Monte Carlo requiere de tiempos prolongados de máquina (tiempo de la Unidad Central de Procesamiento, CPU, que puede ser de varias horas) para entregar un resultado con la exactitud y precisión deseada. Los tiempos prolongados de cálculo fueron una de las grandes limitaciones del método Monte Carlo para ser usado en la clínica de forma rutinaria. (Haydaroglu, 2012)

La Modalidad de Radioterapia por Intensidad Modulada (IMRT), es otra técnica posible gracias a las capacidades de los aceleradores lineales modernos de controlar el desplazamiento de las hojas del colimador (MLC) durante la administración del tratamiento, con el fin de producir los perfiles de dosis modulados que el sistema de planeación propone para cada caso. (Menkario, 2013)

Actualmente existen dos formas de IMRT con entradas predefinidas, según el funcionamiento de los colimadores multilaminas:

- **Modo dinámico (sliding window)** en la que los colimadores se mueven durante la irradiación.
- **Modo estático (step and shot)** en el que la fuente no emite radiación hasta que los colimadores han alcanzado su posición.

En ambos casos se establece un número de haces fijos y sus orientaciones antes de lanzar la planeación inversa. En muchos casos se requieren de haces no-coplanares para lograr el objetivo.

Principales Ventajas

- La IMRT aprovecha la capacidad de conformar el haz que tienen las multilaminas de los modernos aceleradores. Su finalidad es adaptarlo a las formas de los tumores y de los tejidos sanos.
- Dada la complejidad de esta técnica, es necesario realizar especiales y cuidadosos controles dosimétricos individuales para cada paciente.

6.8- Sistema de planificación de tratamiento en Radioterapia

Monaco TPS es una aplicación de software de radioterapia de intensidad modulada (IMRT) de gran utilidad. El sistema Monaco se utiliza para realizar planes de tratamiento destinados a pacientes que deben someterse a radioterapia de haces externos.

El sistema calcula las dosis para planes de tratamiento con fotones y muestra, tanto en pantalla como en una copia impresa, las distribuciones de las dosis de radiación bidimensionales o tridimensionales en pacientes correspondientes a los planes de tratamiento. (ELEKTA, 2015)

Sus funciones principales son las siguientes:

- Conjunto completo de herramientas de manipulación de haces y contorneo.
- Optimización con varios criterios con respecto al aumento de restricciones durante la optimización, si es factible.
- Definiciones de propiedades de vóxeles mejoradas para facilitar el proceso de optimización.
- Conjunto de funciones de costes basado en dosis y biológicos.
- Optimización de abertura y fluidez limitada (por ejemplo, peso y forma de segmento).
- Análisis de sensibilidad para evaluar las decisiones de prescripción tras la optimización.
- Simulación Monte Carlo para cálculo de dosis en el bucle de optimización.

6.9- Optimización realizada por el sistema de planificación MONACO en la técnica de VMAT.

La optimización es el proceso que realiza el sistema de planificación para determinar el mejor plan de tratamiento, teniendo en cuenta las restricciones de dosis colocadas a los órganos a riesgo y a las lesiones a ser tratadas. Como regla general, la distribución de dosis en el blanco (lesión a ser tratada) en Monaco se obtiene de una minimización de la función objetivo en virtud de un número de restricciones duras que expresan la preservación del tejido sano y la homogeneidad de la dosis objetivo en el blanco.

Se ejecuta después de haber especificado en el plan de tratamiento, las propiedades de las diferentes estructuras en el paciente, la prescripción del plan de tratamiento, las restricciones de dosis a los órganos críticos, el número de segmentos deseados (puntos de control), el número mínimo de MU/segmento, número de arcos, etc.; lo que corresponde a la configuración del plan de tratamiento (Elekta, 2012).

El algoritmo de Pencil Beam, en Monaco es un algoritmo rápido diseñado para la primera etapa de la optimización, pero tiene limitaciones que impiden un modelado preciso de la transmisión y el detalle de la forma de las hojas del colimador y del manejo de las zonas de interfaz. Por tanto, Monaco usa para la segunda etapa de la optimización y cálculo final de la distribución de la dosis un algoritmo de Monte Carlo.

6.10- Optimización realizada por el sistema de planificación MONACO en la técnica de IMRT.

La optimización del tratamiento en IMRT se puede dividir en dos etapas: optimización y segmentación en la primera etapa, se determina el posible conjunto de beamlets o pencil beams que son potencialmente útiles en la obtención del plan de tratamiento más deseable, es decir, aquellos beamlets que contribuyen con una dosis significativa al volumen objetivo, la segunda etapa, se tiene en cuenta las restricciones impuestas por las MLC para administrar el tratamiento Finalizada la etapa de optimización, el plan aún no está listo para ser administrado. Debe aplicarse un algoritmo de segmentación de láminas para traducir cada mapa de fluencias. (Sandoval J 2019)

6.11- Función de Coste

Monaco proporciona un conjunto de funciones de coste basado en dosis biológico que permite calcular la penalización derivada de la infracción de la restricción individual o el objetivo utilizado para la optimización de la planificación. (ELEKTA, Guia del Usuario Monaco Version 5.10, 2015-2017)

Todas las funciones de coste que limitan las dosis se definen como restricciones severas que se cumplirán mientras se maximice la dosis objetivo durante el proceso de optimización. Entre las cuales podemos mencionar:

- ✓ **Modelo de dosis equivalente uniforme (EUD) objetivo:** La función de coste del modelo de dosis equivalente uniforme (EUD) objetivo es tanto un objetivo como la función de coste obligatoria de todos los blancos. Calcula la probabilidad de supervivencia celular a través del modelo EUD objetivo correspondiente a la probabilidad de control del tumor (TCP) basándose en el modelo cuadrático lineal de respuesta a dosis.
- ✓ **Penalización objetivo:** Esta función de coste es un objetivo (no una restricción). No es una función de coste necesaria si define un EUD objetivo. Por comparación, la penalización objetivo creará un gradiente de dosis de pasos después de cumplir el objetivo de dosis.

- ✓ **Modelo en serie:** La función de coste en serie implementa el modelo de volumen crítico de las complicaciones de tejidos normales. Es la restricción preferida para órganos en serie. Evalúa el valor integral del daño que se causa al órgano por la dosis suministrada y se prescribe como una dosis equivalente uniforme. El modelo en serie es el equivalente biológico de una penalización de dosis máxima.
- ✓ **Modelo en paralela:** La función de coste del modelo en paralelo es el equivalente biológico de la restricción de dosis volumen. Es la función de coste preferida para órganos paralelos en situación de riesgo. Implementa el modelo de volumen crítico de complicaciones de tejidos normales y evalúa el valor integral del daño causado al órgano por la dosis suministrada.
- ✓ **Sobredosis cuadrática:** La función de coste de sobredosis cuadrática es una restricción que establece la dosis máxima a partir de la cual el optimizador genera penalizaciones. La restricción de isodosis será el valor medio cuadrático de dosis superior a la dosis máxima prescrita. El valor medio cuadrático define la infracción de la dosis media permitida. La sobredosis cuadrática limita la dosificación en exceso en la estructura a la que se aplica.
- ✓ **Infradosis cuadrática:** La función de coste de Infradosis cuadrática requiere la entrada de una dosis mínima. La restricción de isodosis será el valor medio cuadrático de dosis inferior a la dosis mínima prescrita. El valor medio cuadrático define la infracción de la dosis media permitida. Esta función de coste implementa una penalización cuadrática por Infradosis. Por lo tanto, su volumen debe ser un blanco.
- ✓ **DVH de sobredosis:** Es una restricción equivalente a la restricción de DVH de un órgano en situación de riesgo. Requiere especificar la dosis umbral para que el volumen que reciba una cantidad de dosis superior al umbral establecido se encuentre por debajo de la restricción de isodosis especificada por el usuario (que se introduce como un porcentaje del volumen total).

- ✓ **DVH de Infradosis:** La función de coste de DVH de Infradosis (Underdose DVH) es una restricción equivalente a la restricción de DVH de un blanco. Requiere especificar la dosis umbral para que el volumen que reciba una cantidad de dosis inferior al umbral establecido se encuentre por encima de la restricción de isodosis especificada por el usuario (que se introduce como un porcentaje del volumen total). Esta función de coste es la función opuesta a la de DVH de sobredosis. Puede darse el caso de que esta función de coste no pueda generar una solución factible para el problema de optimización. Si ocurre esto, esta restricción se resaltarán como no factible.
- ✓ **Dosis máxima:** La función de coste de dosis máxima (Maximum Dose) es una restricción que se puede utilizar tanto con blancos como con órganos en situación de riesgo. Establece una dosis máxima que no se puede superar. Esta función de coste no requiere parámetros adicionales. La restricción de isodosis es la dosis máxima permitida, que no se puede superar en ningún punto del volumen al que se aplica.
- ✓ **Conformación:** La función de coste de conformación es una función de coste híbrida que controla el tejido normal sin definir en lugar de los órganos en situación de riesgo. La función de coste de conformación define exactamente el volumen de las dosis altas en torno a uno o varios volúmenes objetivos sin ser demasiado restrictiva con la dosis óptima.

6.12- Volúmenes de Tratamiento:

Según el Reporte 83 de la Comisión Internacional de Unidades y Mediciones ICRU³⁰, se destaca diversos volúmenes de tratamiento en radioterapia. Los más utilizados se explican a continuación y debe ser tomado en consideración a la hora de planificación, tanto para establecer el volumen a irradiar como para proteger tejidos sanos.

Volumen Tumoral Macroscópico GTV: Es el volumen que refleja la extensión y localización de las lesiones en estudios macroscópico, este debe ser definido adecuadamente para entregar la dosis establecida a todo su volumen, con el fin de controlar la enfermedad.

Volumen Tumoral Clínico CTV: Es el volumen de tejido que incluye al GTV o cualquier zona de enfermedad sub-clínica maligna, como por ejemplo la propagación microscópica del tumor más allá del GTV, infiltración nodular y metástasis.

Volumen Tumoral Planificado PTV: Es el volumen comprendido por el CTV y un margen adicional que toma en cuenta incertidumbre del equipo, posicionamiento diario del paciente y movimiento fisiológico normales de los órganos internos durante el tratamiento, esto procura que la dosis prescrita sea otorgada al CTV.

Órgano de riesgo OAR: Se define como las estructuras sanas que se encuentran cercana al PTV y puede sufrir una afectación significativa asociada como la dosis de radiación recibida; desde el punto de vista funcional los órganos en riesgo se dividen en dos grandes grupos: órganos en series y órganos en paralelos.

Debido a la importancia de monitorear la dosis recibida en los órganos en riesgo, durante la etapa de planificación se realiza su contorneo donde el imagenología dosimetría es el encargado de identificar dichas estructuras en las imágenes de Tomografía Computarizada adquirida en la simulación para posteriormente, de forma manual, colorear cada una de ellas y etiquetarla con su respectivo nombre.

6.13- Mapcheck

Los arreglos de diodos en dos dimensiones como el Mapcheck son muy utilizados en la actualidad para verificación de los planes de tratamiento para IMRT con fotones, debido a que permiten un gran número de mediciones puntuales en el plano del haz, Contiene en total 445 diodos de silicio. Como se muestra en la figura 1

Durante la irradiación, los detectores generan una carga proporcional a la dosis recibida en esa locación. Cada diodo está conectado a un amplificador operacional MOSFET que integra la carga. Posteriormente, la carga es convertida de una señal análoga a una señal digital y enviada a una computadora personal (conectada a través de un circuito interfase amplificador) que corrige cada dato con el factor de corrección para cada locación que esta almacenada en la memoria. De esta forma se obtiene la dosis absoluta en cada punto de medición. (Sánchez M 2015)



Figura 1: Mapcheck. (Fuente Propia)

6.14- ArcCHECK

ArcCHECK realizan con exactitud y uniformidad mediciones de dosis de entrada y salida durante una administración continua mediante VMAT.

El simulador físicos ArcCheck es un dispositivo cilíndrico de verificación de tratamientos de IMRT y VMAT que contiene 1386 diodos dispuestos en un arreglo helicoidal localizado a una profundidad efectiva de 2,9 cm de la superficie. Este equipo, que por diseño es hueco, puede alojar un inserto para la medida de dosis con cámara de ionización en distintos puntos de su interior.

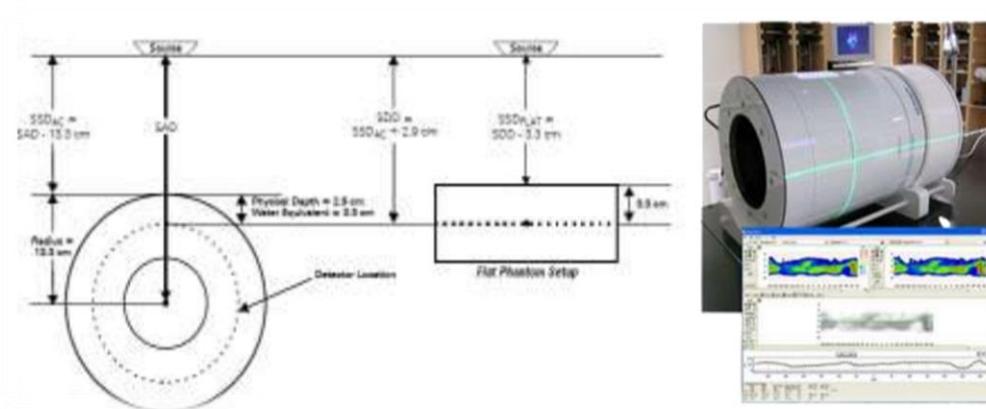


Figura 2: Equipo ArcCHECK. (Fuente tomada de José Castellano, Bogotá; 2016)

VII- Marco Conceptual

7.1- Simulación y dosis prescrita.

Todo proceso de tratamiento con radioterapia debe atravesar diversas etapas antes de ser entregado al paciente, ya que esta manera se procura que la planificación del mismo, cumpla en términos de seguridad y calidad, aumentando las probabilidades de controlar y erradicar la patología presente. Por esta razón, la fase de simulación comprende la base para que las etapas siguientes a esta tengan éxito y pueda llevarse a cabo en el tratamiento.

En el cual se simula al paciente tal y como recibirá el tratamiento, para ello se posiciona al paciente y se coloca si es necesario inmovilizadores, donde el doctor radioterapéutico define la dosis prescrita para este caso que es cáncer de próstata la dosis es de 70 Gy en fracciones de 28 días.

7.2- A continuación se detalla los criterios empleados para el contorneo de los órganos críticos en las técnicas de planificación VMAT e IMRT para cada uno de los 10 casos que conforman la población de estudio.

- 1- **Recto:** Se contornea a partir del límite inferior de la tuberosidad isquiática y se continúa delineando hasta que el recto perdiera su forma redondeada en el plano axial.



Figura 3. Contorneo del límite inferior y superior del recto, respectivamente (plano axial) fuente propia tomada del software MONACO.

- 2- **Vejiga Urinaria:** Fue delineada en su totalidad desde la base como límite inferior hasta la porción más superior que fuese visualizada.

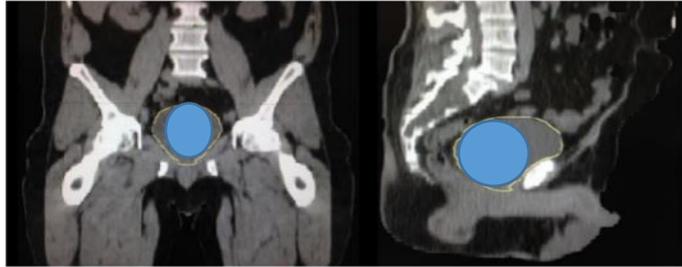


Figura 4. Contorneo de la vejiga urinaria en el plano coronal y sagital respectivamente, fuente propia tomada del software MONACO.

- 3- **Bulbo Peneano:** Se caracteriza por su forma redondeada, siendo contorneado inmediatamente por debajo del diafragma urogenital y posterior a la uretra.

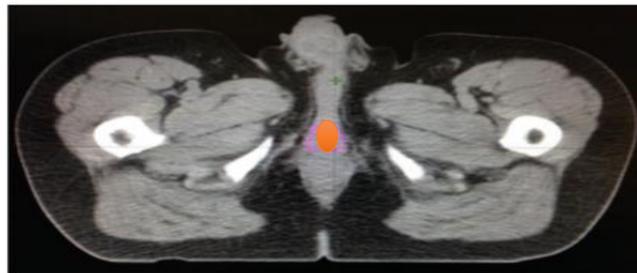


Figura 5. Contorneo del límite inferior del bulbo Peneano en el plano axial, fuente propia tomada del software MONACO.

- 4- **Cabezas Femorales:** Se considera órgano crítico individual tanto para el contorneo como para la evaluación del histograma dosis volumen, el cual es delineado desde el límite inferior de la tuberosidad isquiática (derecha e izquierda) hasta incluir superiormente la totalidad de la cabeza femoral, abarcando el trocánter mayor y menor.

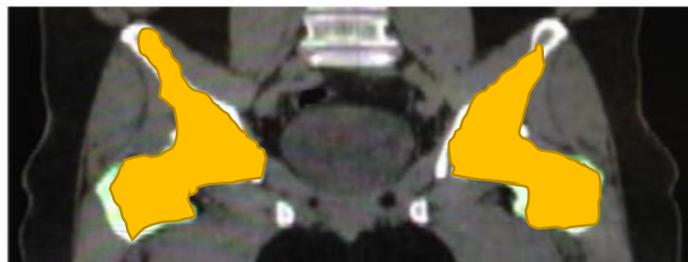


Figura 6. Contorneo de las cabezas femorales en el plano coronal, fuente propia tomada del software MONACO.

- 5- **Intestino Delgado:** Para el contorneo de esta estructura como tal, es necesario el uso del medio de contraste con el fin de diferenciarla del colon, sin embargo Gay menciona que “la bolsa intestinal puede proporcionar una forma simple y rápida de contornear el intestino, especialmente en ausencia de contraste en el intestino delgado” cabe recalcar que la bolsa intestinal engloba el adecuado contorneo del intestino y el colon.

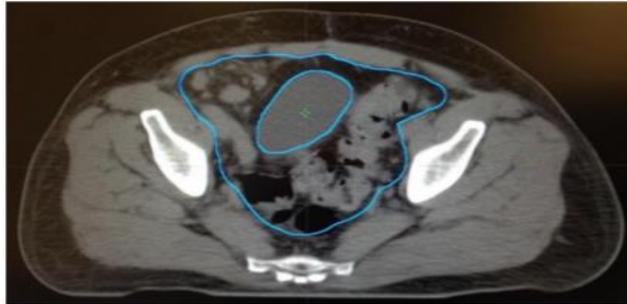


Figura 7. Contorneo del intestino delgado en el plano axial que excluye la vejiga urinaria y estructura adyacente, fuente propia tomada del software MONACO.

En caso de la IMRT en general, y la VMAT en particular, el cálculo de distribución de dosis en el paciente es realizado usando un algoritmo de planeación inversa mediante el cual a partir de los valores esperados de dosis en cada uno de los volúmenes de blanco y las máximas dosis admisibles en los órganos sanos, el sistema encuentra la solución que más se acerca a ese objetivo. La solución propuesta, depende de otros parámetros de entrada relacionados directamente con el cálculo de la dosis en cada punto.

7.3- Planificación en Radioterapia de Intensidad Modulad IMRT .

El siguiente apartado tiene como finalidad identificar la técnica de planificación para el tratamiento del cáncer de próstata, en radioterapia de Intensidad Modulada, que posee el mejor desempeño en cuanto a cobertura del volumen blanco y protección de órganos en riesgo. Así mismo se expone de forma detallada la definición y contorneo de las estructuras que se utilizaran en las planificaciones con arreglo de siete campos, de esta manera se podrá establecer la técnica de planificación que arroja los resultados con base en las distintas variables analizadas, empleando métodos estadísticos analíticos.

Si selecciona la actividad de planificación, utilizará métodos de planificación inversa altamente desarrollados para generar una planificación de tratamiento basada en imágenes de TAC. El software de IMRT de Monaco permite identificar los objetivos clínicos en primer lugar y, a continuación, utilizar el algoritmo de optimización para encontrar la mejor configuración de intensidades de haces posible. Durante la primera etapa de optimización, Monaco divide los campos de haces en haces puntuales (a menudo cientos o miles) de diversas intensidades que, una vez sumados, suministran la dosis prescrita.

Monaco optimiza las planificaciones de tratamientos mediante funciones de coste que conforman distintos tipos de respuestas de radiación específicas de volumen y tejidos. Monaco utiliza la optimización con restricciones, en la que se cumplen las restricciones de dosis mientras se intentan suministrar los objetivos de dosis blanco. Los algoritmos de optimización funcionan con parámetros que imponen varios límites a las variables de decisión, de modo que la dosis suministrada al tumor sea la adecuada.

7.4- Planificación en Arcoterapia Volumétrica de Intensidad Modulada VMAT.

Monaco incluye VMAT (tratamiento de arco modulado de intensidad volumétrica), que es un tipo de IMRT rotatorio en el que el colimador multilaminas y el gantry pueden moverse mientras el haz de radiación está activo. El cambio de la velocidad del gantry y el porcentaje de dosis permiten que Monaco obtenga un valor de Unidades Monitoras variable por grado durante la administración.

En comparación con la IMRT de ángulo de gantry estático, es necesario un menor tiempo de tratamiento para tratar una fracción determinada a la vez que se mantienen el nivel de protección de los tejidos y una conformidad con la dosis comparable.

VMAT está únicamente disponible para las máquinas de tratamiento capaces de suministros dinámicos necesarios para las planificaciones de VMAT.

La solución VMAT implementada en Monaco sigue la implementación y el flujo de trabajo de las planificaciones de IMRT de gantry estático. Debe especificar:

- ❖ El intervalo máximo de rotación del gantry.
- ❖ La frecuencia a la que los perfiles de fluidez estática muestrean este arco.

Puede especificar múltiples rotaciones de gantry con distintos ángulos de camilla. Esto hace que la etapa inicial de la optimización sea similar a la optimización de la planificación de IMRT de gantry estático con haces espaciados uniformemente.

7.5- DEFINICIONES PARA LA EVALUACIÓN DE LA DOSIS

Dosis Media: Dosis media D_{media} , es la media aritmética de los valores de dosis calculados en los puntos discretos uniformemente distribuidas en área del volumen ICRU. (ICRU, 1999, p.21-22).

La dosis media es el valor medio de los valores de dosis absorbida, en estos puntos, en la siguiente ecuación 1:

Ecuación 1: Dosis media

$$D_{media} = \frac{1}{N} \sum D_{ij}$$

D_{ij} = Dosis distribuida en distintos puntos del área irradiada.

N = Número de puntos discretos.

Dosis Máxima: La dosis máxima D_{max} , es importante para la limitación y evaluación de los efectos secundarios del tratamiento. Un volumen es clínicamente significativo si su diámetro mínimo supera los 15 mm, además en el PTV, se tiene en cuenta la evaluación de la homogeneidad de la distribución de la dosis, que es parte del proceso de optimización. (ICRU, 1999, p.21)

Dosis Mínima: La dosis mínima D_{min} , es la dosis pequeña en un volumen determinado. A diferencia de lo que sucede para la dosis máxima, no se recomienda limitaciones de volumen para la inclusión de la dosis mínima en el informe. La dosis mínima en el blanco de planificación es la dosis más baja en el PTV. (ICRU, 1999, p.22)

Puntos Fríos: En las recomendaciones, se considera;

- Que el volumen, sea menor al 1% del PTV.
- La magnitud que no exceda por debajo de la dosis del 5% de prescripción.
- Este localizado en la periferia del PTV, nunca debe ser aceptado dentro del CTV.

Puntos Calientes: El reporte N°29, definió como punto caliente al área que recibió una dosis mayor que el 100% de la dosis de destino especificado, al menos 2cm en una sección. En las recomendaciones puntos calientes, se considera:

- Que el volumen, sea menor al 15% hasta un 20% del PTV.
- La magnitud que no exceda por debajo de la dosis del 15% de la dosis de prescripción.
Si tenemos las líneas de isodosis;
 - ✓ Línea de isodosis del 110% el volumen sea menor del 15% al PTV.
 - ✓ Línea de isodosis del 115% el volumen sea menor del 1% al PTV.
- Este localizado dentro del CTV, preferiblemente en el GTV, no es aceptado en la periferia del PTV.

Línea de Isodosis: La línea de isodosis, es la línea de cobertura de un volumen determinado con la misma dosis, es muy útil en la evaluación de dosis, se representa de forma relativa en porcentajes % y en forma absoluta en Gy.

Histograma Dosis-Volumen: El Histograma de la Dosis en función del Volumen (DVH), es una herramienta en la evaluación del plan de tratamiento en Radioterapia.

Se puede visualizar en dos opciones de presentación:

- El DVH directo, determina la cobertura en PTV y los componentes de distribución de dosis en el tejido normal.
- El DVH acumulativo, determina el volumen en OAR, que recibe dosis mayores a la dosis de tolerancia.

7.6- Aprobación del plan de tratamiento: El plan de tratamiento es aceptado, si la dosis de prescripción en el PTV se encuentra dentro del rango (-5% y +7%). Se evalúan el DVH, las líneas de isodosis del 95% en el PTV, zona aceptada y normalizada al 100%.

VIII- Marco Legal

En la actualidad existe una “Guía para prácticas médicas en Radioterapia”. (CONEA., 2011)

En el cual el Físico Médico es responsable como mínimo de:

- Implementar los aspectos físicos del programa de gestión de calidad.
- Garantizar la realización de las pruebas de aceptación y puesta en servicio de los equipos y fuentes utilizadas en Radioterapia siguiendo los protocolos establecidos.
- Velar por el cumplimiento del programa de mantenimiento de los equipos.
- Revisar y aprobar los planes de tratamiento elaborados para cada paciente, asegurando que se correspondan con la prescripción médica y los criterios de optimización establecidos.
- Participar en el inicio del tratamiento o primera colocación del paciente.
- implementar y controlar sistemáticamente el programa de pruebas de control de calidad de los equipos, siguiendo los protocolos establecidos y manteniendo actualizado los registros correspondientes.

Donde también la ICRU 50 proporciona recomendaciones actualizadas que incluyen los muchos avances en técnicas de irradiación, planificación y definición de blancos basadas en técnicas por imágenes. Donde proporciona una guía clara para la elaboración de informes de tratamientos de pacientes por todo ello este suplemento guiara y fomentara los procedimientos de la radioterapia avanzada. (ICRU, 7 mayo 2002)

IX- Diseño Metodológico

✓ ENFOQUE A LA INVESTIGACION.

El enfoque de nuestra investigación es cuantitativo porque nos permite alcanzar información a partir de análisis de datos numéricos a través de la estadística dado que se realizó una planificación de tratamiento para ambas técnicas de tratamiento de Vmat e IMRT y se recurrió a un análisis comparativo de las unidades monitoras, dosis máxima, mínima y media para los PTV y los órganos en riesgo.

✓ NIVEL DE APLICABILIDAD.

El nivel de aplicabilidad de nuestra investigación es aplicado, ya que está dirigida a un sector disciplinario específico en este caso el Centro Nacional de Radioterapia.

✓ NIVEL DE PROFUNDIDAD DEL CONOCIMIENTO.

Nuestra Investigación es explorativa ya que podemos dar respuesta al cual de las técnicas de VMAT e IMRT aplicadas en pacientes con cáncer de próstata posee mejor efectividad una con respecto a la otra a través de un estudio comparativo sobre planes dosimétricos.

✓ NIVEL DE AMPLITUD.

Es transversal ya que durante el estudio comparativo de planes dosimétricos se procederá a realizar un análisis de datos de variables recopiladas en un periodo de tiempo sobre una población muestra o subconjunto predefinido. En conclusión, es transversal porque se investigara y desarrollara en un determinado tiempo, en este caso, será el III cuatrimestre del año 2020.

✓ POBLACION Y MUESTRA.

Es el conjunto de elementos cuyas propiedades se van a estudiar en el análisis de los planes de tratamientos para ambas técnicas de radioterapia a implementar. También es llamada universo, para esta investigación figura la cantidad de 10 pacientes con Cáncer de Próstata que se tomaron para evaluar en estas técnicas antes mencionadas.

✓ **MUESTREO.**

En la presente investigación se aplicó el muestreo no probabilístico por conveniencia, el cual se entiende como una técnica de muestreo en la cual el investigador selecciona muestras basadas en un juicio subjetivo en lugar de hacer la selección al azar.

El Dr. Iván Espinoza define al muestreo no probabilístico por conveniencia como la muestra que está disponible en el tiempo o periodo de Investigación por ejemplo: Todos los pacientes que asistan a una clínica en particular cierto día, semana, pueden ser requeridos para participar.

Criterios de Inclusión:

- ✓ Pacientes diagnosticados con cáncer de próstata.
- ✓ Evaluar los criterios clínicos si debido a los avances de la enfermedad el paciente es candidato para ser tratado con estas técnicas y no con 3DCRT.
- ✓ Tomar en cuenta el espesor de corte de las imágenes durante la simulación.
- ✓ Verificar el llenado de vejiga y vaciado de recto durante la simulación.
- ✓ Seguir los protocolos de llenado vejiga y vaciado de recto durante cada fracción de tratamiento para la reproducibilidad del tratamiento.

TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

• **Entrevista.**

Entrevista Estructurada: Como su propio nombre indica, todo lo que ocurra en el encuentro está programado y estudiado, la secuencia de preguntas, el tono de la conversación, los distintos temas a tratar, etc. En estas entrevistas no se deja margen a la improvisación ni a la personalización ya que todos los candidatos pasarán exactamente por el mismo proceso.

Para las entrevista se trabajó con respuesta abierta: Estas permiten al encuestado tener la libertad de responder libremente cada pregunta, esto permite obtener respuestas más profundas y también obtener respuestas en las que no había pensado, sin embargo, el problema de este tipo de encuestas es que es muy difícil de cuantificar, por el contrario, se deben interpretar las respuestas.

- **Grupo Focales.**

Los grupos focales son ante todo una técnica de investigación donde la discusión grupal se utiliza como un medio para generar entendimiento profundo de las experiencias y creencias de los participantes.

- **Análisis de Casos.**

Nos permite Identificar las debilidades más importantes de las técnicas de tratamiento.

Tabla 1: Plan de tabulación y análisis de datos.

Variable	Sub variable	Indicador	Definición conceptual	escala	
Planes dosimétricos VMAT vs IMRT	Edad	Año registrado en el expediente	Años cumplidos al momento de la atención	50-70 años	
	Sexo	sexo registrado en el expediente	Diferencia física constitutiva basada en la morfología de los órganos genitales.	Masculino	
	Clasificación clínica	según el expediente clínico	Clasificación TNM	TNM	
	Tratamiento radioterapéutico recibido	Tipos de simulación		Radioterapia Recibida en CNR.	Tomografía convencional
		Tipo de planificación		IMRT VMAT	3D
		Intención del tratamiento		Resultado que se desea obtener	Curativo Paliativo
		Dosis aplicada		Dosis que recibe el paciente.	en Gy
	Dosis recibida en PTV	PTV		Porcentaje de dosis prescrita recibido en el 95% del PTV	Porcentaje de volumen (%)
	Dosis recibida en Recto	Recto		Porcentaje de dosis prescrita que recibe al menos 65 Gy	Porcentaje de volumen (%)
	Dosis recibida en Vejiga Urinaria	Vejiga Urinaria		Porcentaje del volumen que recibe al menos 70 Gy	Porcentaje de volumen (%)
	Dosis recibida en Bulbo Peneano	Bulbo Peneano		Dosis media recibida en Bulbo Peneano	Porcentaje de volumen (%)
	Dosis recibida en Cabeza Femoral izquierda	Cabeza Femoral Izquierda		Porcentaje de volumen de la cabeza femoral Izquierda que recibe al menos 50 Gy	Porcentaje de volumen (%)
	Dosis recibida en Cabeza Femoral derecha	Cabeza Femoral derecha		Porcentaje de volumen de la cabeza femoral derecha que recibe al menos 50 Gy	Porcentaje de volumen (%)
Dosis recibida en Intestino delgado	Intestino Delgado		Porcentaje de volumen recibido en los intestinos delgado	Porcentaje de volumen (%)	

X- Análisis y Resultado.

En este capítulo se muestran los hallazgos más importantes de la investigación realizada sobre el Estudio comparativo sobre planes dosimétricos aplicados con técnicas de Arcoterapia Volumétrica de Intensidad Modulada (VMAT) y Radioterapia de Intensidad Modulada (IMRT) en pacientes con Cáncer de Próstata del Centro Nacional de Radioterapia durante el III cuatrimestre del año 2020.

Equipos tecnológicos que posee el centro

En relación a los instrumentos aplicados se analizaron aspectos que se vinculan con el foco de investigación, en este sentido, uno de los primeros aspectos a caracterizar es la aplicación de las técnicas de VMAT e IMRT en pacientes con cáncer de próstatas, ante esta situación los resultados son los siguientes:

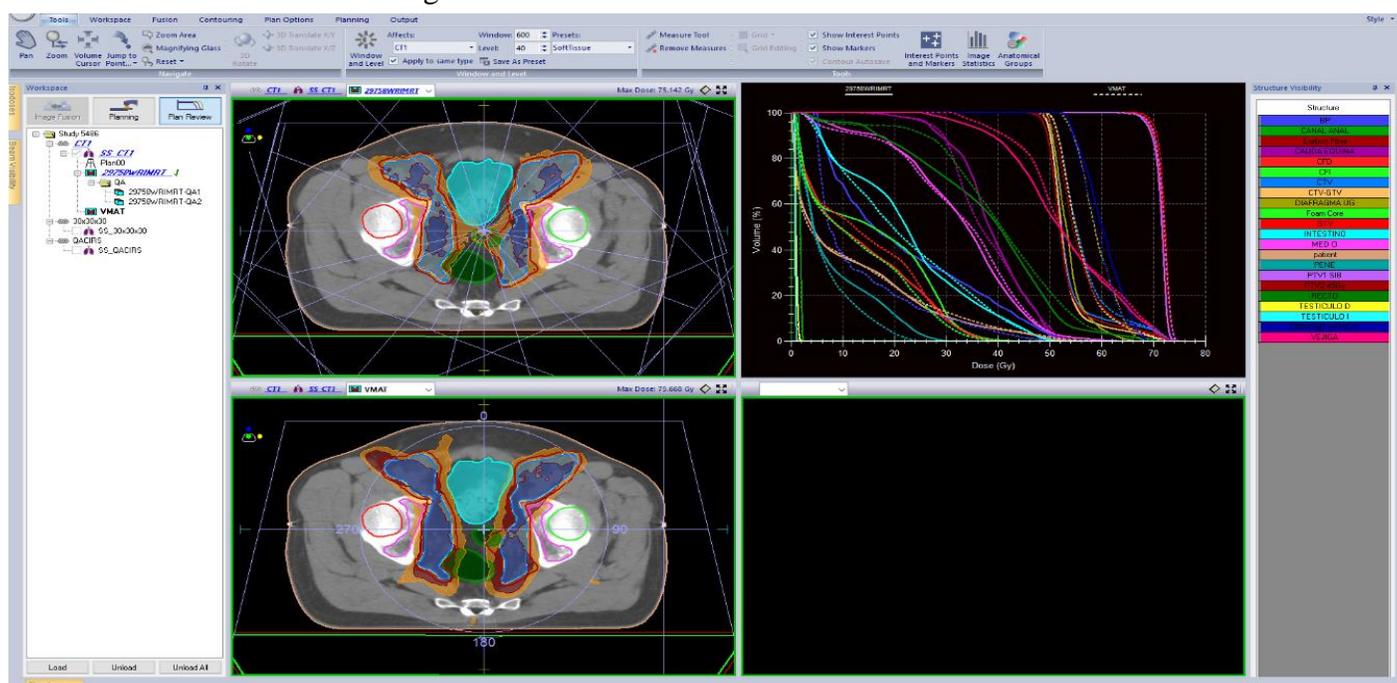


Figura 8: Software Monaco (fuente propia)

En donde en la figura 8 se muestra el software Monaco versión 5.1, el cual está en la etapa de planificación del tratamiento es una de las tareas más importante. En la definición y contorneo de los órganos en riesgos, estos órganos como su nombre lo indica, son de riesgo, ya que son estructura que se deben delinear en concordancia a su anatomía teniendo en consideración márgenes y extensiones de igual manera el PTV que es la zona que se va a tratar.

Donde posteriormente el físico Médico prosigue a abrir el plan donde utiliza la técnica adecuada de tratamiento (ya sea la técnica IMRT o VMAT las cuales fueron utilizadas en el trabajo investigativo), se ingresan los campos, en el caso de IMRT se utilizó 7 campos en distintos ángulos y en VMAT un arco completo de 360° en 12 segmentos, la dosis prescrita en los 10 casos fueron de 70 Gy con 28 fracciones y las funciones de costo físicas y biológicas son restricciones que deben tomarse en cuenta tanto para el PTV como para los órganos en riesgo.

Tabla 2: A continuación se muestra en la siguiente tabla las restricciones de dosis y los límites de tolerancia obtenidos para los órganos en riesgo de la técnica VMAT e IMRT.

Prescripción	70 Gy/28 Fx 2.5 Gy	
Estructuras	Parámetros a evaluar	Obtenido
PTV 70	v100 > 95%	98%
	v107% < 1cc	106%
PTV 50.4	v50.4 > 95%	97%
Órganos en riesgo		
Recto	v70Gy < 10 cm ³	50Gy
	v66Gy < 10%	53Gy
	v60Gy < 20%	49Gy
	v53Gy < 35%	43Gy
	v35Gy < 45%	36Gy
vejiga urinaria	v70Gy < 15%	57Gy
	v66Gy < 25%	53Gy
	v61Gy < 35%	51Gy
	v57Gy < 50%	49Gy
cabeza femoral	v50Gy < 5%	D:33Gy Iz:30Gy
bulbo Peneano	v44Gy < 50%	14Gy
Intestino	v67Gy < 1cm ³	53Gy
	Dmean < 40Gy	18Gy
	v45Gy < 195cm ³	32Gy

Los límites de tolerancia, son las restricciones en relación de dosis y volumen que los tejidos sanos pueden tolerar. Las restricciones son dadas por protocolos restrictivos de tolerancia como el Quantec, Emami y RTOG. En el tratamiento de próstata los OAR como: recto, vejiga urinaria, cabeza femoral, bulbo Peneano, intestino los datos obtenidos entra en el rango de límite de tolerancia.

Unidades Monitoras.

La Unidad Monitor (UM), cuantifica la entrega de una tasa de dosis al volumen tumoral, encierra muchos parámetros dosimétricos dependiendo que técnica física de planificación del tratamiento es utilizada.

Tabla 3: Se muestra las unidades monitor por fracción para los diez casos en estudio con cada técnica de planificación IMRT y VMAT.

Casos	Estructura Anatómica	Unidad Monitora UM	
		IMRT	VMAT
1	Próstata	1291.3	1329.1
2		1163.3	1391.2
3		1609.9	1620.6
4		1306.3	1748.7
5		1790.6	1533.2
PROMEDIO		1432.2	1524.6

De la tabla 3 comparamos las unidades monitor para ambas técnicas VMAT e IMRT.

- Encontramos que la técnica IMRT tiene 1432.2 UM en promedio y la técnica VMAT 1524.6 UM, siendo mayor en VMAT en 92.4 UM respecto a IMRT.

En referencia a la cantidad de unidades monitor UM, mayor en VMAT y menor en IMRT no significa que VMAT tenga mayor duración de tiempo de tratamiento, debido a que esta entrega la dosis en forma continua a diferencia del IMRT, otorgándole mayor confort y mejor inmovilización al paciente.

Índice de Homogeneidad y Conformidad.

Índice de Conformidad

El índice de conformidad, CI, en radioterapia es una herramienta útil para evaluar cuantitativamente la calidad de los planes de tratamiento y representa la relación entre el volumen cubierto por una dosis dada y el volumen blanco. Un CI de 1,0 implica una alta conformidad de la dosis al volumen blanco; esto garantiza una buena cobertura del PTV y una mínima irradiación de los tejidos circundantes.

Ecuación 2: Índice de conformidad. $IC = \frac{V_T}{V_{PTV}}$

Índice de Homogeneidad

El índice de homogeneidad, IH, es una herramienta objetiva para analizar la uniformidad de la distribución de dosis en el volumen del PTV, en la radioterapia, desde su inicio, el objetivo siempre ha sido ofrecer la máxima dosis al volumen blanco de forma homogénea, evitando al mismo tiempo la dosis a las estructuras circundantes normales.

Ecuación 3: Índice de Homogeneidad $IH = \frac{D_{max}}{D_{Pres}}$

Tabla 4: Se muestra el Índice de homogeneidad y Conformidad con técnicas IMRT y VMAT.

Índice	Índice de Homogeneidad (IH)		Índice de Conformidad (IC)	
	IMRT	VMAT	IMRT	VMAT
Técnica				
Caso 1	1.06	1.06	0.66	0.67
Caso 2	1.04	1.04	0.58	0.45
Caso 3	1.06	1.06	0.67	0.71
Caso 4	1.06	1.08	0.57	0.65
Caso 5	1.09	1.11	0.77	0.53
PROMEDIO	1.06	1.07	0.65	0.60

- De la tabla 4, se tiene que cumplen con la condición de $IH \leq 2$, es decir ambas técnicas nos indica que el plan del tratamiento cumple con el protocolo.
- De la tabla 4, se tiene que el índice de conformidad IC en ambas técnicas tiene un valor de 0.65 y 0.60 este resultado se encuentra dentro de los valores es decir es aceptable según el criterio RTOG.

Dosis Mínima, Máxima y Media Normalizada en el PTV.

Las dosis mínimas, media y máxima son promediadas de los 10 casos planificados y normalizada a la dosis de prescripción 70Gy, siendo esta la dosis planificada en el PTV. Se ha evaluado de forma cuantitativa el porcentaje de dosis en el PTV.

En la tabla 5: se muestran las dosis mínimas, máximas y media para los PTV de los 10 casos planificados con ambas técnicas IMRT y VMAT.

PTV	Dosis Mínima Gy		Dosis Máxima Gy		Dosis Media Gy	
	IMRT	VMAT	IMRT	VMAT	IMRT	VMAT
Caso 1	61.3	60.0	75.1	75.7	71.4	71.8
Caso 2	69.6	69.4	75.2	76.5	72.2	72.8
Caso 3	63.0	60.8	75.0	75.3	70.4	70.5
Caso 4	56.7	52.5	74.6	76.8	69.9	70.3
Caso 5	62.0	60.6	75.4	75.7	71.0	69.8
PROMEDIO	62.6	60.7	75.1	76.0	71.0	71.0

De la tabla 5 se tiene que la dosis máxima del PTV de próstata es mayor con la técnica VMAT en un 0.9%, en cuanto la dosis mínima en el PTV es mayor la técnica IMRT en un 1.9% y la dosis media promediada en ambas técnicas son prácticamente iguales en cuanto a cobertura.

Tabla 6: Se muestra las dosis mínima, máxima y media, evaluados en órganos de riesgo para ambas técnicas IMRT y VMAT.

OAR	Casos	Dosis Mínima Gy		Dosis Máxima Gy		Dosis Media Gy	
		IMRT	VMAT	IMRT	VMAT	IMRT	VMAT
RECTO	Caso 1	2.15	1.99	73.79	73.09	37.37	39.96
	Caso 2	3.55	3.29	72.91	73.09	37.43	36.73
	Caso 3	2.75	2.82	70.97	72.75	32.43	33.07
	Caso 4	5.02	4.55	71.37	72.51	45.29	42.24
	Caso 5	2.56	2.72	70.14	68.73	36.16	35.81
	PROMEDIO	3.21	3.07	71.83	72.03	37.73	37.56
VEJIGA	Caso 1	24.80	30.01	73.47	73.91	52.31	53.65
	Caso 2	12.77	19.93	74.21	75.02	48.18	47.29
	Caso 3	13.74	21.20	73.45	73.76	47.40	49.54
	Caso 4	25.16	27.97	74.60	74.87	45.29	51.95
	Caso 5	14.00	25.47	70.06	67.96	36.16	44.60
	PROMEDIO	18.09	24.92	73.16	73.10	45.87	49.41
BULBO PENEANO	Caso 1	4.72	4.23	53.63	50.12	21.22	12.83
	Caso 2	13.12	12.17	68.77	71.08	40.85	43.00
	Caso 3	4.96	4.62	48.07	44.52	17.90	13.59
	Caso 4	9.25	5.99	67.21	66.66	35.67	30.18
	Caso 5	9.40	9.83	60.05	70.71	33.27	36.02
	PROMEDIO	8.29	7.37	59.54	60.62	29.78	27.12
CABEZA FEMORAL	Caso 1	0.70	0.68	42.78	43.56	13.26	12.61
	Caso 2	0.95	0.78	48.40	52.33	16.58	16.22
	Caso 3	1.19	0.85	46.00	39.06	16.06	12.67
	Caso 4	0.73	0.64	44.14	45.75	13.96	12.00
	Caso 5	1.46	1.45	50.70	48.65	15.25	18.47
	PROMEDIO	1.00	0.88	46.40	45.87	15.02	14.39
INTESTINO DELGADO	Caso 1	1.76	1.33	53.58	53.68	22.33	21.65
	Caso 2	2.24	2.84	62.40	65.95	22.92	23.02
	Caso 3	0.67	0.62	57.59	58.96	18.19	17.86
	Caso 4	3.08	2.41	54.10	57.04	32.03	28.73
	Caso 5	3.67	2.69	54.36	57.41	26.65	25.52
	PROMEDIO	2.28	1.98	56.41	58.61	24.42	23.36

- La dosis mínima en órganos en riesgo en la técnica IMRT son menores en comparación a la técnica VMAT en un promedio de 1.06%.
- En cuanto la dosis máxima tiene la ventaja la técnica VMAT ya que la dosis son menores en un 0.58%.
- Comparando ambas técnicas y promediando la dosis promedio la técnica VMAT ofrece dosis menores 0.16% lo cual resulta que ofrece dosis bajas en órganos en riesgo en comparación con la técnica IMRT.

Figura 9: Se muestra a continuación el Histograma Dosis Volumen del PTV, los órganos en riesgo y la comparación de la técnica VMAT e IMRT en paciente con cáncer de próstata

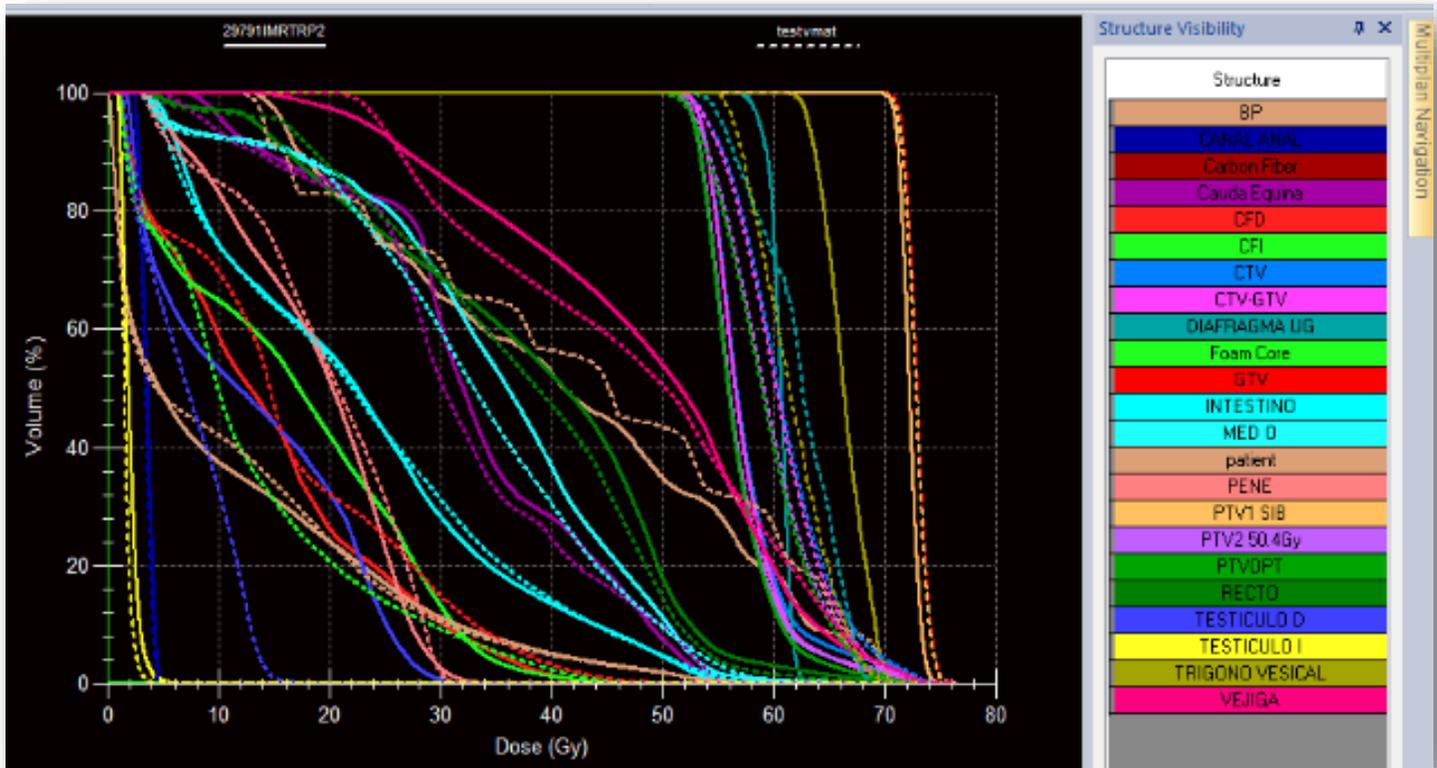


Figura 9: Histograma Dosis Volumen (Fuente propia).

- Una vez finalizado tanto el contorno como la planificación el Físico Medico en conjunto con el Medico Radiooncólogo evalúan y revisan la dosis prescrita del PTV si cumplen o no de acuerdo al protocolo establecido; posteriormente evalúan la dosis que reciben los órganos en riesgo, el cual entra o no en el límite de tolerancia de acuerdo a cada órgano, una vez evaluado todos estos parámetros de suma importancia para el paciente se acepta el plan de tratamiento.
- En la figura 9 se puede observar la comparación de la técnica VMAT, IMRT, PTV y los órganos en riesgo; donde se puede ver claramente que la técnica VMAT ofrece mejores resultados que la técnica IMRT en cuantos a mejor cobertura en el PTV y menos dosis en órganos en riesgo.

Figura 10: A continuación se muestra las líneas de Isodosis de la técnica VMAT e IMRT en paciente con cáncer de próstata.

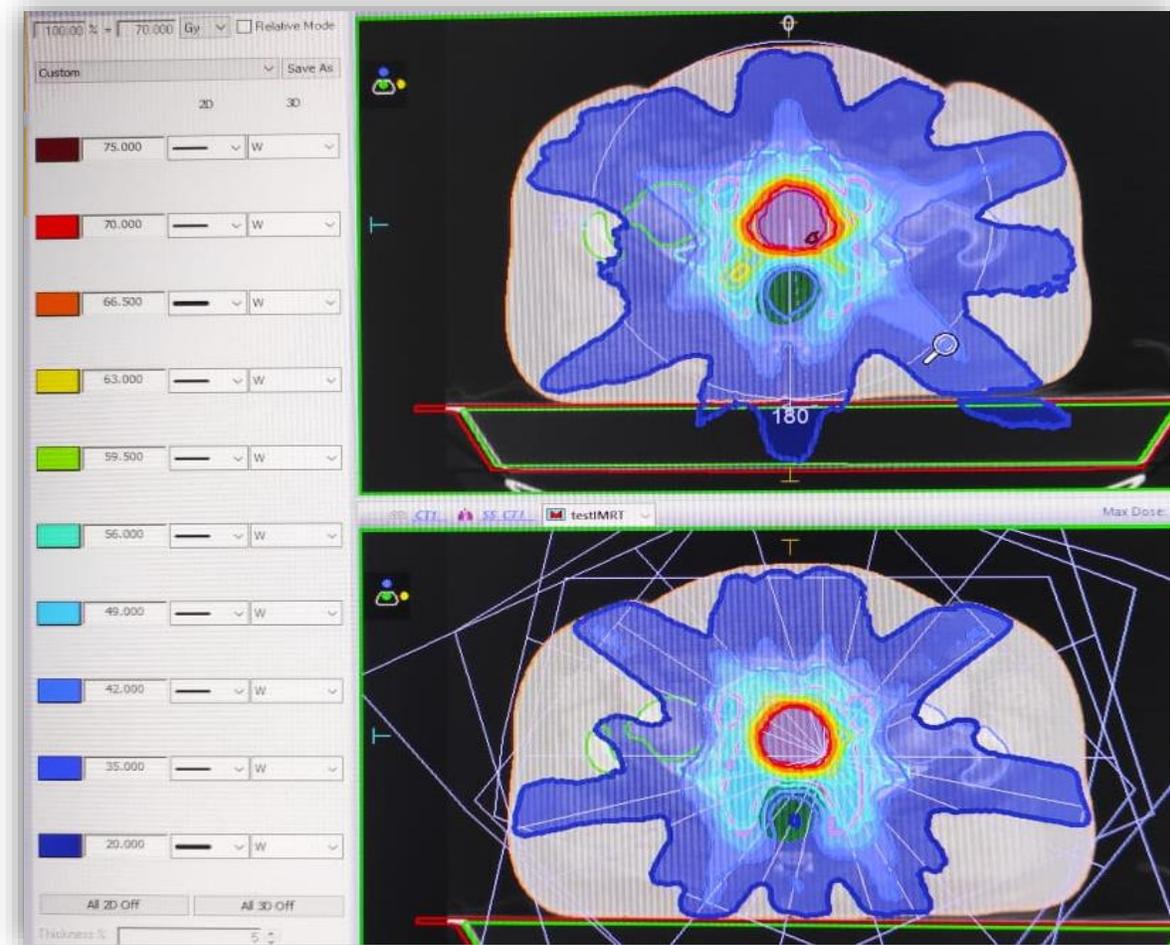


Figura 10: Línea de Isodosis

- La línea de isodosis, es la línea de cobertura de un volumen determinado con la misma dosis, es muy útil en la evaluación de dosis, se representa de forma relativa en porcentajes % y en forma absoluta en Gy.
- En general ambas técnicas como VMAT e IMRT ofrecen buenos resultados en cuanto a isodosis porque encierra nuestro punto de interés, el cual es el volumen tumoral.
- Significando así que la mayores dosis de tratamiento se da más en el volumen tumoral planificado

XI- Conclusiones:

Tras el desarrollo de las distintas comparaciones de tratamientos fue posible obtener una serie de resultados que brindaron información y permitieron dar respuestas, tanto a la pregunta de investigación como a los objetivos planteados en ella. Las conclusiones generadas a partir del presente trabajo serán explicadas a continuación.

1. Fue posible aplicar las dos distintas técnicas de tratamiento VMAT e IMRT dado el caso que en el Centro Nacional de Radioterapia único centro en el país en tratar pacientes con cáncer de próstata contaban con tecnología, software y equipos capaz de cumplir dicho trabajo investigativo; Monaco versión 5.1 fue la herramienta fundamental utilizada, donde se tomó un total de 10 casos y se prosiguió aplicar ambas técnicas.
2. En cuanto a la efectividad de la técnica VMAT en cáncer de próstata con 1 arco se obtuvieron mayores unidades monitoras en cuantos a la técnica IMRT con 7 campos distintos, en el cual la técnica VMAT puede ofrecer mejor entrega de dosis en casi todos los ángulos, ofreciendo este mayor confort al paciente, menos tiempo de tratamiento, menos dosis en órganos en riesgos y mayor cobertura al PTV.
3. Para la evaluación de restricción de órgano en riesgo y control tumoral ambas técnicas ofrecen buenos resultados pero la técnica VMAT es mucho más efectiva en el control tumoral y la disminución de dosis en órgano de riesgo esto con lleva a reducir la probabilidad de efectos secundarios como cistitis en vejiga, sangrados y diarrea.

XII- Recomendaciones:

A continuación se presentan algunas recomendaciones que surgen a partir de la investigación realizada sobre: el Estudio comparativo sobre planes dosimétricos aplicados con técnicas de Arcoterapia Volumétrica de Intensidad Modulada (VMAT) y Radioterapia de Intensidad Modulada (IMRT) en pacientes con Cáncer de Próstata del Centro Nacional de Radioterapia durante el III cuatrimestre del año 2020.

Al Centro Nacional de Radioterapia.

- Capacitar al personal encargado tanto al Técnico, Medico y Físico Medico sobre las nuevas técnicas a desarrollar en este caso la técnica VMAT e IMRT en cáncer de próstata dado el caso que no todos el personal manejan dicha técnica.
- Formar programa académico para el manejo de las herramientas tecnológicas especialmente del software Monaco el cual es de principal importancia a la hora de crear un plan y el acelerador lineal en cuanto a dar tratamientos a los pacientes.
- Realizar los procedimientos para la prueba de aceptación del acelerador y de la evaluación del sistema de multilaminas.

A la comunidad estudiantil.

- Aprovechar las tecnologías y afianzar sus estudios en la investigación.
- Dar el uso adecuado a los equipo, preservar la utilidad de los mismo.
- Conocer que técnicas ofrece mejores resultados tanto en órganos en riesgo como en el PTV.

XIII- Bibliografía

- Biete, P. (2008). *Cáncer de Laringe*. Oncología Radioterapéutica.
- CONEA. (2011). *Guía para Practicas medicas en Radioterapia*. MANAGUA.
- ELEKTA. (2015). *Guía del usuario MONACO version 5*. IMPAC Medical Systems.
- ELEKTA. (2015-2017). *Guía del Usuario Monaco Version 5.10*. Obtenido de <https://www.elekta.com/software-solutions/treatment-management/external-beam-planning/monaco/>
- Sánchez M. (2015). Evaluación de un arreglo de diodos en 2 dimensiones para dosimetría física y clínica de rutina en haces de electrones en radioterapia. Obtenido de https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/021/46021473.pdf
- Haydaroglu. (2012). *principle and practice of medrn radiotherapy techniques therapy*. New York.
- ICRU. (7 mayo 2002). *Elaboracion de informes en la terapia con haces de fotones*. España.
- Kasper. (2012). *Principles of Internal Medicine*. Mexico: McGraw-Hill.
- Menkario, R. O. (2013). *Implementing intensity radiotherapy in the prostate*. Medical Dosimetry.
- MINSA. (30 de Agosto 2014). *Ministerio de Salud Nicaragua*. Managua.
- Oncology, A. S. (2018). Obtenido de <https://www.cancer.net/es/tipos-de-c%C3%A1ncer/c%C3%A1ncer-de-pr%C3%B3stata/opciones-de-tratamiento>
- Sinnatamby. (2003). *Anatomia de Last: Regional y aplicada*. Paidotribo.
- Society, A. C. (2015).
- Society, A. C. (29 de enero de 2016). Obtenido de <https://www.cancer.org/es/cancer/aspectos-basicos-sobre-el-cancer/que-es-el-cancer.html>
- Vaughan. (2013). *Epidemiology and risk factors for gastroesophageal junction tumors: understanding the rising incidence of this disease*. Semin Radiat Oncol.
- Sandoval J (2019) obtenido de: [.https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/20623/GaravitoCastellanosJoseEsau2016.pdf?sequence=1](https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/20623/GaravitoCastellanosJoseEsau2016.pdf?sequence=1)

XIV- Anexos
A.1. Entrevistas



Entrevista de un Médico Radiooncólogo

Facultad De Ciencias E Ingenierías

Departamento de Física.

Instrumento de Entrevista

Lugar de la Entrevista: Centro Nacional de Radioterapia.

Líneas de Conversación

1- ¿Qué condiciones debe cumplir el paciente para que se les realiza una planificación de tratamiento con las técnicas de VMAT e IMRT?

- Dx. de Ca de próstata localmente avanzado (T2-T4A).
- Tac Simple con inmovilizadores de alas de mariposa y sostén de pie.
- Cortes de Tac Simple de 3mm.
- Vejiga llena entre 200 a 400 ml.
- Recto limpio.

2- ¿Cuáles de las dos técnicas ofrece mejor efectividad para los pacientes con Cáncer de Próstata?

- Parámetros funcionan iguales así como dosimétricos y biológicos
- La única diferencia es el tiempo de tratamiento que es mayor en IMRT (>20minutos) y la rotación del gantry (Arcoterapia).

3- ¿Cuáles son los beneficios que ofrecen estas dos técnicas para los pacientes con cáncer de próstata que se realizan tratamiento en el Centro Nacional de Radioterapia?

- Precisión submilimétrica <0.5mm.
- Aumento de dosis a tumor y disminución de la dosis a los órganos en riesgo.
- Aumento de control de enfermedad.
- Aumento de Sobrevida Global.
- Aumento de Calidad de Vida.
- Disminución de complicaciones agudas y crónicas.

4- ¿Cuáles son las dosis máximas de radio sensibilidad para los Órganos en Riesgo?

Prescripcion	Parametros a Evaluar
PTV70	V100% >95%
	V107% <1cc
PTV50.4	V50.4 >95%
PTV56	V56 >95%
2) Organo de Riesgo	
Recto	V70Gy <10cm ³
	V66Gy <10%
	V60Gy <20%
	V53Gy < 35%
	V35Gy < 45%
	V25Gy < 705%
Canal Anal	V31Gy < 60%
	V35Gy < 40%
	Dmean < 35Gy
Vejiga Urinaria	V70Gy <15%
	V66Gy <25%
	V61Gy <35%
	V57Gy <50%
	V45Gy <80%
Trigono Vesical	Dmax < 70.2Gy(73.71)
Cabeza Femoral	V50Gy < 5%
Piel	Dmax < 40Gy

5- ¿En el caso del cáncer de próstata como saber qué tipo de tratamiento o técnica de radioterapia (Vmat, Imrt, Radioterapia 3D convencional es el más adecuado para el paciente?

- Paciente con intención curativa se trata IMRT/ VMAT.
- Personal Capacitado (Medico, Físico y Técnico).
- Poseer equipos e instrumento dosimétricos.

6- ¿Por qué surge la necesidad de implementar estas técnicas?

- Mayor calidad en tratamiento.
- Nuevos equipos Radioterapéutico.
- Aumento de control de enfermedad.



Entrevista a un Físico Medico

Facultad De Ciencias E Ingenierías

Departamento de Física.

Instrumento de Entrevista

Lugar de la Entrevista: Centro Nacional de Radioterapia.

Líneas de Conversación

1- ¿Qué efectividad posee la aplicación de técnicas de Arcoterapia Volumétrica de Intensidad Modulada (VMAT) y Radioterapia de Intensidad Modulada (IMRT) en pacientes con cáncer del Centro Nacional de Radioterapia?

Las técnicas avanzadas son muy efectiva en el control tumoral y la disminución de dosis en órgano de riesgo esto con lleva a reducir la probabilidad de efectos secundarios como cistitis en vejiga y sangrados y diarrea.

2- ¿Cuáles son las pruebas de control de calidad que se les realiza al acelerador lineal para verificar el sistema de VMAT e IMRT?

Se realiza cálculo redundante con otro sistema ajeno al TPS y un control de calidad de paciente específico.

3- ¿Cuál de las dos técnicas ofrece mejor efectividad para los pacientes con cáncer de próstata?

La técnica que mejor va es el VMAT ya que optimiza los órganos de riesgo, buena cobertura y menos tiempo en máquina.

4- ¿Por qué surge la necesidad de implementar estas técnicas?

Porque el centro cuenta con una gran cantidad de pacientes y la disminución de tiempo máquina por paciente ayuda a tratar más pacientes por días y con una excelente calidad de tratamiento.

A.2. Funciones de costo en la planificación de tratamiento de cáncer de próstata en técnicas VMAT e IMRT, del sistema de planificación de tratamiento en Radioterapia, MONACO 5.0.

Structure	Cost Function	Enabled	Status	Manual	Weight	Reference Dose (Gy)	Multicriterial	Isoconstraint	Isoeffect	Relative Impact
PTV1 SIB 70Gy	Target Penalty	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	1.00			70.000	67.505	
	Quadratic Overdose	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.01	73.000		0.300	0.042	
PTV2 50.4Gy	Target Penalty	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	1.00			50.400	48.078	
	Quadratic Overdose	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.03	60.000		1.200	1.095	+
RECTO	Quadratic Overdose	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.01	68.000	<input type="checkbox"/>	0.050	0.002	
	Quadratic Overdose	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.01	50.000	<input type="checkbox"/>	0.150	0.091	
	Quadratic Overdose	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.01	45.000	<input type="checkbox"/>	0.300	0.108	
	Serial	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.04		<input type="checkbox"/>	30.000	29.639	+
VEJIGA	Quadratic Overdose	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.02	48.000	<input type="checkbox"/>	0.050	0.042	+
	Quadratic Overdose	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.01	48.000	<input type="checkbox"/>	0.150	0.000	
	Quadratic Overdose	<input type="checkbox"/>	Off	<input type="checkbox"/>	0.10	38.000	<input type="checkbox"/>	0.300	0.000	+
	Serial	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.01		<input type="checkbox"/>	35.000	30.048	
INTESTINO	Serial	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.01		<input type="checkbox"/>	50.000	35.552	
	Quadratic Overdose	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	6.52	48.000	<input type="checkbox"/>	0.050	0.050	++++
	Quadratic Overdose	<input type="checkbox"/>	Off	<input type="checkbox"/>	0.10	45.000	<input type="checkbox"/>	0.150	0.000	+
CFD	Serial	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.02		<input type="checkbox"/>	30.000	28.887	
CFI	Serial	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.02		<input type="checkbox"/>	30.000	29.078	
PENE	Quadratic Overdose	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.01	30.000	<input type="checkbox"/>	0.050	0.023	
MED O	Quadratic Overdose	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.01	49.000	<input type="checkbox"/>	0.050	0.021	
	Quadratic Overdose	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.01	50.000	<input type="checkbox"/>	0.050	0.000	
	Quadratic Overdose	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.11	38.000	<input type="checkbox"/>	0.050	0.047	++
CAUDA EQUINA	Maximum Dose	<input type="checkbox"/>	Off	<input type="checkbox"/>	0.10			25.000	54.768	+
patient	Quadratic Overdose	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.01	65.000	<input type="checkbox"/>	0.050	0.000	
	Quadratic Overdose	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.01	60.000	<input type="checkbox"/>	0.150	0.002	
	Quadratic Overdose	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.01	50.000	<input type="checkbox"/>	0.300	0.030	
	Serial	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.02		<input type="checkbox"/>	28.000	26.983	
	Conformality	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	0.01		<input type="checkbox"/>	0.60	0.51	
	Maximum Dose	<input checked="" type="checkbox"/>	On	<input type="checkbox"/>	11.30			74.000	74.197	++++

<click to add a new structure>

A.3.Cronograma

Actividades	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Tema delimitado						
Planteamiento del problema						
Justificación						
Objetivos						
Marco Referencial						
Hipótesis						
Diseño Metodológico						
Análisis y discusión de resultados						
Conclusión						
Pre-defensa						
Defensa Final						