



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ciencias

Escuela Profesional de Física

Variación de la señal del sistema integral de control de calidad IQM según los volúmenes tumorales en pacientes de radiocirugía estereotáctica en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, Lima 2022

Tesis

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Física

Autor

Jorge Sebastian Gordillo Rodriguez

Asesor

Mo. Cristian Milton Mendoza Flores

Huacho – Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

Facultad de Ciencias

Escuela Profesional de Física

METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Gordillo Rodriguez, Jorge Sebastian	72032941	22/04/2024
DATOS DEL ASESOR:		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	CÓDIGO ORCID
M(o). Cristian Milton, Mendoza Flores	16711622	0000-0002-2298-6224
DATOS DE LOS MIEMROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	CÓDIGO ORCID
M(o). Cárdenas Saldaña, Luis Alberto	32766171	0000-0001-6812-5318
M(o). Romero Menacho, Jaime Ulices	32930138	0000-0003-0876-7727
M(o). Velasquez Guardia, Pablo Wenceslao	07549627	0000-0002-4632-2000

Variación de la señal del sistema integral de control de calidad IQM según los volúmenes tumorales en pacientes de radiocirugía estereotáctica en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, Lim

ORIGINALITY REPORT

16%	15%	4%	6%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	hdl.handle.net Internet Source	2%
2	repositorio.unjfsc.edu.pe Internet Source	2%
3	repositorio.uwiener.edu.pe Internet Source	1%
4	www.yumpu.com Internet Source	1%
5	Submitted to ECCI Student Paper	1%
6	patents.google.com Internet Source	<1%
7	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Student Paper	<1%
8	www.cancer.gov Internet Source	<1%

DEDICATORIA

A mi madre Maritza Rodríguez y a mis hermanas Brenda y Georgina Gordillo por su apoyo incondicional para la culminación de este trabajo, por su cariño y amor; decirle que sin ustedes no sería lo que soy ahora.

Jorge Sebastián Gordillo Rodríguez

AGRADECIMIENTO

A Dios, por dame salud y la fuerza para seguir adelante a pesar de las adversidades.

A mis padres, por su amor y consejos para mi vida profesional y personal. A los físicos del Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas por su mostrarme una visión más amplia y humana de mi carrera con una mención al Msc. Navor Figueroa, por darme la oportunidad de realizar este trabajo en el área de Radioterapia del INEN y al Msc. Walter Vilca Vega por su asesoramiento constante para la culminación de este trabajo. A la plana docente de la Escuela de Física de la Facultad de Ciencias, por compartir sus conocimientos y experiencia profesional en cada clase de mi formación como físico en los 5 años de formación. A mi amiga de iniciales RLCP por sus ocurrencias y su amistad.

Jorge Sebastián Gordillo Rodríguez

ÍNDICE

RESUMEN	ii
ABSTRACT	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2 Formulación del problema	2
1.2.1 <i>Problema general</i>	2
1.2.2 <i>Problemas específicos</i>	2
1.3 Objetivos de la investigación	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
1.4 Justificación de la investigación	3
1.5 Delimitaciones del estudio.....	3
1.6 Viabilidad del estudio	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Antecedentes de la investigación	5
2.1.1 <i>Investigaciones internacionales</i>	5

<i>2.1.2 Investigaciones nacionales</i>	8
2.2 Bases teóricas	10
2.3 Definición de términos básicos	20
2.4 Operacionalización de las variables	23
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	24
3.1 Diseño metodológico	24
3.2 Población y muestra	25
3.2.1 Población	25
3.2.2 Muestra	25
3.3 Técnicas de recolección de datos	25
3.4 Técnicas para el procedimiento de la información	26
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	27
4.1 Análisis de resultados	27
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN	37
5.1 Discusión de resultados	37

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
6.1 Conclusiones.....	38
6.2 Recomendaciones	40
REFERENCIAS.....	41
7.1 Fuentes bibliográficas	41
ANEXOS	46

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó con la finalidad de analizar como varia la señal del IQM, se optó por escoger las planificaciones de los pacientes de radiocirugía estereotáctica en el área de radioterapia en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas. Los datos usados son los de casos de pacientes cuya planificación tiene un solo GTV, estos casos son entre los años 2017 al 2022, siendo un total de 28 casos, se agruparon los tumores en 4 grupos por tamaño. Las planificaciones son enviados al IQM para su proceso de control de calidad en el acelerador lineal, luego el sistema brinda un reporte donde se puede obtener la señal de referencia y la señal medida por cada segmento y de forma acumulada.

Se tuvo como resultado, que las señales del IQM a escala pequeña o en tumores muy pequeños tiene un menor porcentaje de error y aumentaba en función al tamaño tumoral, en los 3 primeros grupos el porcentaje de error era bajo, y a partir del 3er grupo el porcentaje de error y las señales en si aumentan de manera notoria pero aun así dentro de los parámetros aceptados.

Palabras claves: Acelerador Lineal, IQM, GTV, radiocirugía estereotáctica.

ABSTRACT

In the present work, with the purpose of analyzing how the IQM signal varies, it was decided to choose the plans of stereotactic radiosurgery patients in the radiotherapy area at the National Institute of Neoplastic Diseases. The data used are cases of patients whose planning has a single GTV, these cases are between the years 2017 to 2022, with a total of 28 cases, the tumors were grouped into 4 groups by size. The plans are sent to the IQM for its quality control process in the linear accelerator, then the system provides a report where the reference signal and the measured signal can be obtained for each segment and cumulatively.

The result was that the IQM signals on a small scale or in very small tumors have a lower percentage of error and increased depending on the tumor size. In the first 3 groups the percentage of error was low, and from the 3rd group onwards the error percentage and the signals themselves increase noticeably but still within the accepted parameters.

Keywords: Linear Accelerator, IQM, GTV, stereotactic radiosurgery.

INTRODUCCIÓN

En los últimos lustros la ciencia y la tecnología ha avanzado a pasos agigantados, y dichos avances también involucra en la lucha contra el cáncer y a todo lo que eso conlleva, desde la mejora de los tratamientos hasta las mejoras de la tecnología en las áreas de radioterapia, radiodiagnóstico y medicina nuclear. Los físicos médicos tienen diversas funciones en un centro o institución donde se manejan fuentes de radiación o equipos que utilizan radiación para tratamiento u obtener imágenes médicas para pacientes con cáncer, entre dichas funciones está el de control de calidad. El tema de control de calidad o QA es muy amplio y tiene muchas variantes, la gran mayoría de las pruebas para el control de calidad son pruebas no invasivas y tienen por finalidad certificar si los equipos están dentro de los parámetros adecuados para su funcionamiento la gran mayoría de las veces revisar su parte mecánica y su parte de radiación, este último se toma en cuenta que lo que el equipo irradia este dentro del campo que proyecta y que la cantidad de dosis o kv sea lo programado con tolerancias dentro de los protocolos de control de calidad como el protocolo español 2011, los diversos TRS, ICRU e ICRP.

Actualmente hay varias técnicas utilizado el acelerador lineal como la radioterapia de intensidad modulada IMRT VMAT y radiocirugía estereotáctica, etc. En este último los físicos médicos tienen la función de realizar la planificación dosimétrica del plan de tratamiento en coordinación con el médico oncólogo y el control de calidad de dicho plan junto con el acelerador lineal, donde se puede observar el rendimiento del acelerador y las dosis que recibiría el paciente usando diversas fantomas que simulan las condiciones de un paciente como órganos, piel, etc.

El IQM es un sistema que ayuda con el control de calidad de los aceleradores lineales y su facilidad de instalación y uso lo hace más práctico que el Octavius y hace un análisis segmento por segmento de un tumor. Este sistema es nuevo en el Perú y no hay mucha información o antecedentes del rendimiento, respuesta o variación de la señal que emite como respuesta de este equipo ante un plan de tratamiento, así que para asegurar su funcionamiento al menos en target de volúmenes pequeños es importante saber cómo resultara este funcionamiento.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Uno de los tratamientos avanzados que se realiza en radioterapia es la radiocirugía estereotáctica, este tratamiento tiene por finalidad irradiar con haces de rayos X en una sola fracción a pequeños volúmenes tumorales. El protocolo establece que antes de una radiocirugía, se debe realizar un control de calidad dosimétrica o QA (Quality Assurance) usando fantomas como el Octavius o el Delta4 para la verificación y precisión de la administración de la dosis planificada. Dicho pretratamiento toma mucho tiempo y requiere de varios pasos e instrumentos.

Durante los últimos años la ciencia y la tecnología ha ido avanzando y modernizando las técnicas y los equipos para el control de calidad del haz de radiación emitida por los aceleradores lineales de última generación.

Uno de los últimos avances es el Sistema integral de monitoreo de calidad (IQM, del inglés *Integral Quality Monitor*), esta nueva tecnología permite la verificación de la calidad del haz, la documentación de la precisión para la dosis usada en el tratamiento de un paciente con acelerador lineal en radioterapia. Este sistema tiene una ventaja práctica al momento de realizar un control de calidad, debido a que la aplicación del IQM solo se limita a colocar su aplicador debajo del cabezal del acelerador lineal o del MLC y su manejo de información es de forma inalámbrica.

El uso de este sistema es muy práctico con respecto al uso de los fantomas, además el IQM tiene una mejor resolución mediante el uso de un sensor de monitoreo de fluencia de energía de integración de área, según la literatura el uso del sistema IQM tiene efectos minúsculos en la calidad del haz de radiación, pero estadísticamente significantes.

En este trabajo se determinará como es la variación de la señal del sistema IQM para casos de radiocirugía donde los targets de los volúmenes son muy pequeños entre 0 a 3 cm³, debido a que este sistema es nuevo en el Perú y no hay suficiente información o antecedentes de investigación de este sistema enfocado a este tema, lo cual servirá para futuras investigaciones.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo es la variación de la señal del sistema integral de control de calidad IQM según los volúmenes tumorales en pacientes de radiocirugía estereotáctica en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, Lima 2022?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cómo es la variación de la señal del sistema integral del control de calidad IQM según los rangos de GTV evaluada de forma segmento por segmentos en pacientes de radiocirugía estereotáctica en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, Lima 2022?

¿Cómo es la variación de la señal del sistema integral del control de calidad IQM según los rangos de GTV evaluada de forma acumulada en pacientes de radiocirugía estereotáctica en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, Lima 2022?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Analizar la variación de la señal del sistema integral de control de calidad IQM según los volúmenes tumorales en pacientes de radiocirugía estereotáctica en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, Lima 2022.

1.3.2 Objetivos específicos

Analizar la variación de la señal del sistema integral del control de calidad IQM según los rangos de GTV evaluada de forma segmento por segmentos en pacientes de radiocirugía estereotáctica en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, Lima 2022.

Analizar la variación de la señal del sistema integral del control de calidad IQM según los rangos de GTV evaluada de forma acumulada en pacientes de radiocirugía estereotáctica en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, Lima 2022.

1.4 Justificación de la investigación

Este trabajo está justificado porque mediante este estudio se podrá garantizar que las medidas que se obtiene por el sistema integral de control de calidad IQM a diferentes volúmenes pequeños tiene buena respuesta, esto ayudaría mucho como parte de la garantía de calidad en radiocirugía, donde los target o volúmenes tumorales son pequeños, habría más confiabilidad del sistema.

1.5 Delimitaciones del estudio

Este estudio está delimitado espacialmente en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN) en el distrito de San Borja del departamento de Lima durante los meses de enero a noviembre del 2022, también está delimitado en contenido en el campo de la física medica en el área de radioterapia.

1.6 Viabilidad del estudio

Este estudio tiene viabilidad porque el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN) dispone de todos los equipos e instrumentos a utilizar en este trabajo, sobre todo tiene el único Sistema integral de monitoreo de calidad (IQM) en todo el Perú y Latinoamérica, además el recurso económico necesario está garantizado por el investigador.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Investigaciones internacionales

Mohammad K. Islam; Bernhard D. Norrlinger and Jason R. Smale (2009), realizo el artículo *An integral quality monitoring system for real- time verification of intensity modulated radiation therapy*. En este artículo se buscó desarrollar un sistema de monitoreo de haz que pueda validar la precisión de la fluencia de energía segmento por segmento por cada campo de tratamiento, también que tenga como finalidad el control de calidad del haz de radiación diversos tipos de tratamiento de radioterapia como el IMRT o VMAT. El sistema propuesto para estos propósitos es un monitor integral de calidad o por sus siglas en inglés IQM (Integral Quality Monitor), este sistema usa un área que integra un sensor de monitoreo del flujo de energía (AIMS), la señal del AIMS proporciona una salida por cada segmento del haz que es comparada en tiempo real con el valor esperado. Para evaluar el sistema se usó un conjunto de campo de IMRT para próstata y planos de cabeza y cuello. Se llegó a la conclusión que para campos de 10x10 cm² la cámara atenúa la intensidad del haz de un 7% a 5 % para haces de energía de 6 a 18 MV. “Los resultados iniciales para los campos de IMRT de próstata y cabeza y cuello muestran una concordancia promedio entre el cálculo y la medición dentro del 1 %, con una desviación máxima para cada uno de los segmentos de haz más pequeños dentro del 5 %”.

J. Qian, L. Lin, R. Gonzales, J. Keck, E.P. Armour y J. W. Wong (2015), realizó el artículo *In Vivo Dosimetry of Stereotactic Radiation Therapy Using Integral Quality Monitor (IQM) System*.

En este artículo se investigó la viabilidad al usar el IQM en dosimetría para el tratamiento de radiocirugía estereotáctica (SRS) de radioterapia estereotáctica extracraneal (SBRT). Se investigó con un sistema IQM en un acelerador lineal y energías de alta tasa de dosis (FFF). Se utilizaron planes de próstata y de cabeza y cuello (H&N) de radioterapia convencional de intensidad modulada (IMRT) y terapia de arco volumétrico modulado (VMAT) para evaluar la constancia de IQM en modo estacionario y rotatorio. La sensibilidad de IQM para detectar desviaciones dosimétricas causadas por errores de hoja en SBRT se evaluó con planes de 2000 MU con un tamaño de campo de segmento de 3x1 y 5x1 cm², y planes de pacientes IMRT/VMAT para cerebro SRS, pulmón, columna vertebral y páncreas SBRT con tamaño de apertura equivalente de 3x3 a 5x5 cm². La precisión de la detectabilidad de IQM se verificó con mediciones de matriz de medición 2D. En este artículo se llegó a la siguiente conclusión: “El Sistema IQM es estable y sensible a las desviaciones dosimétricas causadas por errores de una sola hoja de 2 mm o más en campos de tamaño moderado. Los resultados preliminares sugieren que IQM podría proporcionar un medio eficaz para la monitorización dosimétrica en tiempo real del tratamiento de radioterapia estereotáctica”.

Bozidar Casar, Marlies Pasler, Sonja Wegener (2017), realizó el artículo *Influence of the Integral Quality Monitor transmission detector on high energy photon beams: A multi-centre study*. En este artículo se evaluó la influencia del sistema IQM en las propiedades de un haz de fotones teniendo en cuenta el cambio de la calidad del haz, la influencia de la dosis superficial y la atenuación del detector IQM.

Se utilizaron 6 energías (6 MV, 10 MV, 15 MV, 18 MV; 6 FFF, 10 FFF), se evaluó la calidad del haz y su trayectoria con y sin el IQM. “Se encontró que los efectos del detector IQM en las propiedades del haz de fotones son pequeños, pero estadísticamente significativos. Las magnitudes de los cambios que se encontraron justifican el tratamiento de IQM como factores de bandeja dentro del sistema de planificación de tratamiento (TPS) para una energía particular o alternativamente como salidas modificadas para energía de haz específica de aceleradores lineales, lo que facilita la introducción de IQM en la práctica clínica”.

Thahabah Alharthi, Armia George, Sankar Arumugam, Lois Holloway, David Thwaites, Phil Vial. (2021) realizo el artículo *An investigation of the IQM signal variation and error detection sensitivity for patient specific pre-treatment QA*. En este artículo se evaluó como el sistema de control de calidad (IQM) detecta errores en el haz de fotones en condiciones clínicas usando 103 planes tipo VMAT de nasofaringe y 78 planes de SBRT de pulmón. Este trabajo dio como resultado que el IQM detectó casi todos los errores de los planes utilizados en esta investigación, algunos errores que tuvieron más vinculación con el MLC o el ángulo pórtico no fueron detectados por el sistema IQM. También se observó que “Las diferencias entre las señales calculadas/predichas y medidas de IQM estaban dentro de $\pm 2\%$ para todos los campos cuadrados en el eje, pero hasta el 60% para los campos desplazados asimétricamente más pequeños en desplazamientos grandes”. Se llegó a la conclusión en este artículo “El rendimiento de IQM fue consistente y reproducible. Mostró la mayor sensibilidad al tamaño del tamaño de campo para estos planes, pero no detectó algunos errores de ángulo del gantry introducidos clínicamente significativos o la mayoría de los errores de cambio de

campo de MLC. El modelo de cálculo IQM aún se está desarrollando, lo que debería mejorar el rendimiento de los campos de compensación pequeños. Se refiere cuidado en el uso de IQM para la verificación del plan o el monitoreo en línea, especialmente para campos pequeños que están fuera del eje en la dirección del gradiente del detector”.

2.1.2 Investigaciones nacionales

Marcos Vilca A., Victor Benllochpiquer C., Victor Carpio LL., Rolando Paucar J., Davis M., Marco Melgarejo P., Robert Carpio T., Maria Salas O (2013) realizaron el artículo *Radiocirugía Estereotáctica en neurinomas y meningiomas de la base del cráneo*. En este artículo se analizaron unos 32 pacientes del Hospital María Auxiliadora y del Instituto de Radiocirugía y Radioterapia Estereotáctica de la Clínica San Pablo con seguimiento entre noviembre del 2004 al 2010, todos los pacientes recibieron radiocirugía estereotáctica, se realizó un control tumoral obteniendo datos como el volumen, el tamaño y sus dimensiones, se obtuvo como resultado que un 97% de dichos casos controlados, 10 casos se observó regresión tumoral y 12 casos presentaron necrosis tumoral, teniendo un total de 22 casos con una notoria involución o disminución del volumen tumoral. 9 casos permanecen sin cambio alguno en el tamaño del tumor a analizar, pero con necrosis incipiente. Según la experiencia a partir del 2004 permite demostrar y observar el beneficio a mediano plazo de la radiocirugía estereotáctica en el manejo de neurinomas y meningiomas de la base de cráneo en el Perú.

Andrés Miguel Gonzales Gálvez (2018) realizó el trabajo “*Control de Calidad de Radiocirugía Estereotáctica de Múltiples Metástasis Intracraneales*

con Arcoterapia Volumétrica Modulada, usando películas Dosimétricas y TLD”

En este trabajo tuvo como objetivo comparar la dosis absorbida obtenidas por el Sistema de Planificación de Tratamiento o TPS con la dosis absorbida que se le administró al paciente, dicho paciente tiene varias metástasis intracraneales, se usó la técnica VMAT para la planificación y un acelerador lineal tipo TrueBeam STX de VARIAN para irradiar al paciente, también se utilizó películas dosimétricas de tipo Gafchromic EBT3 y también dosímetros termoluminiscentes (TLD).

En el estudio realizado, se logró un índice gamma que oscila entre 96,9 % y 99,5 % al evaluar las películas radiocrómicas con especificaciones de 3,0 % / 3,0 mm. También se observó una variabilidad en el rango de 0,19 % a 3,84 % para las películas de tipo EBT3 y de 0,35 % a 7,89 % para los dosímetros termoluminiscentes (TLD) en puntos de medición seleccionados. Este trabajo concluye destacando un método innovador para efectuar controles de calidad en tratamientos de radiocirugía estereotáctica (SRS), empleando películas dosimétricas radiocrómicas EBT3 por su alta resolución espacial.

Carmen Rosas Silva Correa (2022) realizó el trabajo: “*Efecto del extracto de Ipomoea batatas sobre el desarrollo tumoral en Rattus norvegicus var. albinus con cáncer de mama inducido*”. La finalidad de este estudio fue investigar el impacto del extracto etanólico derivado de Ipomoea batatas en el tratamiento del cáncer de mama en modelos animales. Se organizaron cuatro grupos para este propósito: un grupo de referencia tratado con dimetilbenzo(a)antraceno (DMBA) de 10 individuos, que recibió una dosis única de 20 mg, y tres grupos adicionales, denominados I, II y III, compuestos igualmente por 10 sujetos cada uno. Estos últimos grupos fueron tratados no solo con una dosis de DMBA, sino también con

200, 400 y 600 mg/kg/día de extracto de I. batatas administrado oralmente, respectivamente. Posterior a la administración de estas sustancias, se procedió a la extirpación de los tumores para realizar análisis detallados que incluyeron la evaluación del tamaño del tumor y el examen de sus características y evolución bajo el efecto del tratamiento. Los resultados mostraron que, mientras el grupo control DMBA evidenció crecimiento tumoral con características típicas de carcinoma ductal in situ y zonas de necrosis, los grupos sometidos al tratamiento con extracto de I. batatas presentaron una notable disminución en el tamaño de los tumores, mejoría en la condición del conducto ductal y ausencia de necrosis. Por tanto, se deduce de este estudio que el tratamiento con extracto etanólico de las raíces de Ipomoea batatas atenúa el avance del tumor en modelos de ratas albinas *Rattus norvegicus* afectadas por cáncer de mama inducido, observándose una relación directa entre la eficacia del tratamiento y la dosis aplicada.

2.2 Bases teóricas

Radioterapia

De acuerdo con lo señalado por el Instituto Nacional del Cáncer, la radioterapia es un método de tratamiento oncológico que emplea dosis elevadas de radiación con el fin de eliminar células cancerígenas, dañar su ADN y disminuir el tamaño de los tumores. En contraste, las dosis bajas de radiación se aplican en procedimientos de diagnóstico, tales como los rayos X, permitiendo visualizar estructuras internas del cuerpo, incluidos los huesos y órganos internos, como es el caso de las radiografías y mamografías.

Al usar altas dosis, la radiación afecta a las células cancerígenas directamente a su ADN lo cual hace que dichas células se mueran al dejar de dividirse, dicho proceso puede durar semanas después de terminar con el tratamiento de radioterapia.

Existen dos tipos de radioterapia, de haz externo o teleterapia y la radioterapia interna.

La radioterapia de haz externo o teleterapia utiliza un equipo especializado en irradiar rayos x o haces de electrones a cierta distancia del paciente como los aceleradores lineales, dicho equipo puede moverse para irradiar desde varias direcciones a cualquier parte del cuerpo.

La radioterapia interna es un tratamiento donde la fuente de radiación está conectada directamente a la zona que se desea irradiar como alguna parte del cuerpo con células cancerígenas o tumores. Esta fuente de irradiación puede ser sólida o llamada braquiterapia, este tratamiento es local y trata solamente una parte del cuerpo.

El Instituto Nacional del Cáncer o National Cancer Institute indica que la radioterapia interna que utiliza una fuente líquida es conocida también como terapia sistémica. Esta forma de tratamiento actúa internamente, distribuyéndose a través de la sangre y los tejidos del cuerpo para localizar y eliminar las células cancerosas dondequiera que se encuentren. La administración de la radioterapia sistémica puede realizarse de diversas maneras, incluyendo oralmente o por inyección directa en la vena (intravenosa), entre otras opciones.

Previo al tratamiento de radioterapia se define la situación clínica del paciente y se decide el tipo de tratamiento que recibirá, dichas decisiones son tomadas por los médicos oncólogos, después de esa etapa entra la Planificación del tratamiento.

El proceso de planificación del tratamiento implica una serie de pasos interrelacionados enfocados en la ejecución del tratamiento conforme a las directrices y normativas establecidas por la Asociación Americana de Físicos en Medicina en 1998. Estas directrices cubren diversos aspectos como el posicionamiento e inmovilización del paciente, manejo de datos, definición de la anatomía objetivo, prescripción y delimitación

de dosis para órganos en riesgo, análisis de la técnica de tratamiento, cálculo de la dosis absorbida, evaluación del plan y su implementación mediante la revisión del mismo.

Los investigadores Millan Cebrian, Delgado Rodríguez, García Vicente y García Romero destacan la importancia de verificar las condiciones de irradiación respecto a la geometría y metodología del tratamiento seleccionado e informado, como parte esencial del proceso de planificación o durante la simulación del tratamiento.

Posterior a este proceso se realiza el control de calidad (c.c.) o también un QA por su significado en inglés “Quality Assurance”, este proceso es importante en tratamientos con radioterapia sobre todo en radiocirugías, este proceso es como una simulación con el mismo acelerador lineal usando los valores obtenidos en la planificación previa, en este proceso se utiliza fantomas que simulan los valores del cuerpo humano como las densidades de los huesos músculos o los constraints, que son los valores que los órganos tienen para tolerar la radiación para usos médicos.

El proceso de QA es importante para tener clara la idea de como el acelerador se comportara ante el tratamiento ya planificado, si los segmentos programados y los arcos de posicionamiento del gantry está en buen estado y si la radiación emitida concuerda con lo que dice los valores acordados con los médicos oncólogos o en las bases médicas más aún que en el proceso de radiocirugía estereotáctica, donde los tumores a tratar suelen ser pequeños a comparación de otros tipos de tratamientos y a las ves más delicados de tratar por la ubicación donde están comprometido un órgano tan importante como el cerebro.

Ante todo, lo mencionado el sistema integral de control de calidad o IQM realiza este proceso llamado QA, a diferencia de otros tipos de sistemas que realizan este proceso, el IQM es más rápido, no solo los resultados obtenidos, si no también que este sistema analiza el plan de tratamiento segmento por segmento y su instalación es mucho más cómodo, fácil y rápido.

Integral Quality Monitor (IQM)

“El sistema IQM permite la verificación independiente de la precisión de la administración del tratamiento con acelerador lineal en radioterapia” (iRT Systems GmbH, 2021).

Este sistema consta de una cámara de ionización que se utiliza para la verificación de la calidad y precisión del tratamiento a usarse en un tratamiento de radioterapia tanto en la forma, posición y dosis del haz de los aceleradores lineales. El sistema IQM tiene 3 electrodos, dos de ellos son polarizadores que están relacionados con el electrodo colector central en dirección del movimiento de la hoja del MLC.

Este sistema tiene como función comparar las señales medidas con las señales esperadas según las planificaciones, estas señales esperadas se obtienen a partir de los parámetros del plan de Tratamiento importados del TPS.

Este sistema recoge de la planificación el número de arcos, el número de segmentos, la dosis de prescripción y las dimensiones de los segmentos.

El sistema realiza una fórmula matemática para obtener la señal segmento por segmento y la señal de referencia, una vez calculada dicha señal, este sistema compara esta señal de referencia con la señal medida en tiempo real, con esto el sistema puede verificar si el acelerador y la calidad está en buenas condiciones al estar en el margen de tolerancia que tiene el sistema.

La unidad que utiliza el sistema para medir la señal IQM es el COUNTS o signal counts, es un valor que solo se usa para este sistema dentro de sus parámetros, no se debe usar para otros fines fuera del sistema IQM.

El sistema IQM está formado de 2 partes, el primero es un área de que integra un sensor de monitoreo de fluencia de energía y el segundo un módulo de cálculo con nombre “IQM_CALC”, este módulo calcula la señal de referencia en función a la información del

campo otorgado por el plan de tratamiento o TPS independientemente de otro registros o sistemas provenientes del LINAC. La señal es calculada por el programa IQM_CALC. programa que utiliza la descripción del campo, la configuración de la mordaza, las formas de los segmentos del haz y las unidades de monitor MU. La señal se calcula a través de una técnica de integración por elementos, que incorpora parámetros dosimétricos MLC y la respuesta de la cámara. La señal viene dada por

$$\begin{aligned}
 S_{calc} = MU \cdot K \cdot AOF(X, Y) \cdot & \left[\int_{A_1} F(x, y) \cdot \sigma(x, y) dx dy \right. \\
 & + \int_{A-A_1} T_{MLC}(x, y) \cdot F(x, y) \cdot \sigma(x, y) dx dy \\
 & \left. + \int_{R-A} T_{JAW}(x, y) \cdot T_{MLC}(x, y) \cdot F(x, y) \cdot \sigma(x, y) dx dy \right]
 \end{aligned}$$

En dicha fórmula la sigla MU es el número de unidades de monitor dentro de un segmento, K es el constante del sistema determinado empíricamente, AOF(X,Y) es el factor de salida integrado de área para la posición del colimador (X, Y); la salida del Linac depende ligeramente de la forma de la apertura, debido a la retrodispersión variable en la cámara del monitor, (x,y) es la posición del haz elemental, F(x,y) es la distribución de fluencia, incluida la penumbra asociada con MLC y mandíbulas, $\sigma(x,y)$ es la función de respuesta espacial de la cámara, T_{MLC} es el factor de transmisión para MLC, T_{JAW} es el factor de transmisión para mandíbulas del colimador, A_1 es el área de integración efectiva definida por los MLC, A es el área de integración efectiva restringida por las mandíbulas del colimador y R es el área efectiva afectada por apertura a través de mandíbulas y/o MLC.

Acelerador Lineal (LINAC)

El acelerador lineal es un equipo médico usado en la radioterapia que se utiliza para el tratamiento de tumores y células cancerosas en el cuerpo, usa haces de rayos X como haces de electrones dependiendo del tratamiento del paciente en coordinación entre el médico oncólogo y el físico médico.

Según Hernández Vitoria, Lizuain Arroyo y Picón Olmos definió que estos equipos son capaces de liberar múltiples energías de electrones y de rayos x para seleccionar la más apropiada a según el tratamiento. Las cantidades de dosis absorbida a la que pueden operar son mayores que las de las unidades de Cobalto 60, lo que permite reducir los tiempos del tratamiento. El borde del haz de fotones que proporcionan es más estrecho que el de rayos gamma de los Cobalto 60 debido a su menor tamaño de foco virtual.

Los aceleradores lineales tienen varios componentes para formar el haz de radiación, algunos usan klystron y otro magnetrón para generar ondas de altas frecuencias que controla su potencia y las envía a las guías de ondas.

Los electrones son producidos por el calentamiento de un filamento de tungsteno en el cañón electrónico, estos electrones son enviados a las guías de ondas y son acelerados para chocar con el target y producir fotones o rayos X.

Los aceleradores se encuentran equipados con un sistema de colimación multilamina o MLC por sus siglas en inglés, también tiene 2 paneles que se mueven perpendicularmente a las láminas y se encargan de formar el campo en dicho sentido.

Conceptos físicos básicos

Desde el punto de vista físico, la radioterapia requiere de varios procesos y conceptos para su comprensión y funcionamiento para el uso médico y clínico, los conceptos físicos parten desde las definiciones y clasificación de las radiaciones ionizantes, la estructura atómica y nuclear, las interacciones de la luz con la materia y los fenómenos que producen con dicha interacción.

Se le llaman radiaciones ionizantes a los que son capaces de liberar electrones en orbitales atómicos o moleculares por lo que se necesita energías que superen los 10 eV.

Según Fernández-Varea, González Leitón, Brosted y Gracia Ezpeleta mencionan que para los electrones, positrones y fotones se limita a tratar energías entre decenas de eV y centenares de MeV, mientras tanto que para partículas cargadas pesadas se toma en cuenta energías específicas entre decenas de keV/u y centenares de MeV/u. Estos parámetros cubren de manera considerada las energías utilizadas dentro de la física médica, tanto para diagnóstico como para terapia, también como son de gran valor para la radioprotección.

Las radiaciones ionizantes se dividen en dos categorías, las radiaciones ionizantes y las radiaciones no ionizantes, dichas categorías es por su capacidad de ionizar la materia, es decir las radiaciones no ionizantes no puede ionizar la materia y las radiaciones ionizantes puede ionizar la materia de forma directa o indirectamente.

“Tanto las radiaciones ionizantes directa como indirectamente se utilizan en el tratamiento de enfermedades, principalmente, pero no exclusivamente, para enfermedades malignas. La rama de la medicina que utiliza la radiación en el tratamiento de enfermedades se denomina radioterapia, radiología terapéutica u oncología radioterápica. La radiología diagnóstica y la medicina nuclear son ramas de la medicina que utilizan la radiación ionizante en el diagnóstico de enfermedades” (Podgorsak, 2005).

Los átomos se componen de electrones, que poseen carga negativa, protones, con carga positiva, y neutrones, que son partículas de carga neutra. Los protones y los neutrones, las últimas dos mencionadas, se encuentran en el núcleo del átomo y son responsables de la mayor parte de su masa. En cuanto a los electrones, orbitan alrededor del núcleo en trayectorias definidas por sus niveles de energía.

Cada átomo se caracteriza por un número atómico (Z), el cual corresponde al número de protones en el núcleo, y por un número de masa atómica (A), que refleja el total de nucleones (protones y neutrones) presentes en el núcleo.

No obstante, no existe una relación básica entre el número atómico y el número de masa atómica, pero lo más cercano a una relación está en esta ecuación para núcleos estables $Z = A / (1.98 + 0.0155A^{2/3})$

El radio del núcleo del átomo (r) se puede estimar a partir $r = r_0A^{1/3}$ donde r_0 es una constante igual 1.4fm aproximadamente, se supone que es igual a la mitad del radio de los electrones.

De acuerdo con el investigador Barrios, los protones y neutrones, también conocidos como nucleones, se mantienen unidos dentro del núcleo atómico gracias a la fuerza fuerte. Esta fuerza difiere significativamente de la interacción electrostática y las fuerzas gravitacionales, que disminuyen proporcionalmente al cuadrado de la distancia entre dos partículas. La fuerza fuerte, en cambio, actúa en un rango extremadamente corto, efectiva únicamente a distancias del orden de los femtómetros. A estas escalas minúsculas, la fuerza fuerte domina y supera ampliamente la intensidad de las demás fuerzas.

Todo lo mencionado anteriormente con conceptos básicos de física sin embargo en radioterapia en general hay un tema que está presente en todo momento, es la interacción de la luz con la materia, este concepto está presente en el funcionamiento de

los aceleradores lineales y en el funcionamiento del IQM.

La luz se compone de partículas conocidas como fotones, que se caracterizan por no tener masa en reposo ni carga eléctrica. Esta ausencia de masa y carga hace que su interacción con la materia sea menos intensa en comparación con las partículas cargadas. Los fenómenos más relevantes en la interacción de los fotones con la materia incluyen el efecto fotoeléctrico, el efecto Compton y la producción de pares.

El efecto fotoeléctrico ocurre cuando un haz de luz o fotones incide sobre una superficie metálica, provocando la emisión de electrones de la misma con una energía específica, a estos electrones se les llama fotoelectrones. Este proceso resulta en la expulsión de un electrón del átomo, dejando un espacio que es ocupado por otro electrón de un nivel de energía superior, el cual emite un fotón correspondiente a la diferencia de energía entre ambos niveles.

El efecto Compton describe la interacción entre fotones y electrones localizados en las capas externas de un átomo. En este fenómeno, los fotones incidentes poseen una energía superior a la de los electrones superficiales. Al interactuar, el fotón transfiere parte de su energía al electrón y se dispersa en una dirección diferente, con un ángulo específico que refleja la relación entre las trayectorias del fotón incidente y el electrón disperso.

Con respecto a la producción de pares o creación de pares, es un fenómeno en que consiste donde un fotón desaparece y origina un electrón y el positrón. Si nominamos las energías cinéticas de estas partículas como E_{\pm} , la conservación de la energía exige que sea $E = E_{+} + E_{-} + 2m_e c^2$. Se aprecia que la creación de pares sólo se da cuando $E > 2m_e c^2 \approx 1,022 \text{ MeV}$.

Los tumores en Radiocirugía

La radiocirugía estereotáctica del cerebro es una técnica de radioterapia que se enfoca en la radiación de altas dosis y precisa hacia tumores pequeños o anomalías en la parte del cerebro donde la radiación es la mínima a los distintos tejidos sanos que rodean al tumor.

Los tumores o malformaciones son de tipo meningiomas, metástasis, schwanoma, cavernoma, entre otros, los datos del tumor utilizado para la simulación y planificación de la radiocirugía es el volumen del tumor, las sesiones del tratamiento, la dosis de prescripción, los constraints o condiciones de restricción de los órganos o tejidos afectados por la radiación, etc. Es el medico oncólogo el que decide qué tipo de tratamiento se lo brindará al paciente y la dosis de prescripción o la dosis en general que recibirá el paciente, y es el físico medico el que se dedica a la planificación de tratamiento y a la simulación de la radiocirugía en los diversos programas o software de uso médico para garantizar la mejor calidad del tratamiento para el paciente en función al diagnóstico otorgado por el medico oncólogo.

Uno de los puntos más importantes de la planificación es la definición de los volúmenes del tratamiento, según los ICRU 50 y 62 describen los volúmenes que se realizan para ayudar en la planificación y dan las bases para los distintos tratamientos.

Antes de planificar el tratamiento se precisa 2 tipos de volúmenes: Gross Tumour Volume (GTV) o Volumen Tumoral Visible, es la dimensión del tumor palpable o visible, donde generalmente es la parte donde se concentran la máxima cantidad de células malignas, donde dichas características son obtenidas de diversos estudios clínicos; el segundo tipo de volumen es Clinical Target Volume (CTV) o Volumen Tumoral Clínico, este volumen tiene más margen de espacio que el GTV para incluir la existencia sospechosa de células malignas; ambos márgenes de volúmenes son basados desde el

punto de vista anatómico y biológico sin tener en cuenta factores técnicos de tratamiento determinado por el medio oncólogo .

Durante el proceso de planificación se usa utiliza Planning Target Volume (PTV) o Volumen Tumoral Planificado, es un concepto usado en esta área para seleccionar los tamaños y forma para los haces de radiación para asegurar que se irradia la dosis prescrita, se recalca que la delineación del PTV implica el compromiso y la responsabilidad del físico médico que realiza la planificación.

2.3 Definición de términos básicos

Radioterapia: La radioterapia, también llamada terapia de radiación, es un método utilizado en el tratamiento del cáncer que emplea dosis elevadas de radiación para eliminar células cancerígenas y disminuir el tamaño de los tumores. (National Cancer Institute, 2019).

IQM: “El monitor de calidad integral IQM es una cámara de ionización de área grande diseñada para usarse para mediciones de verificación de control de calidad y documentación de la precisión de la administración del tratamiento (forma, posición y dosis del haz) de los aceleradores lineales médicos utilizados para la radioterapia de intensidad modulada” (iRT Systems GmbH, 2021).

Counts: “Una unidad abstracta que integra varios aspectos de la dosis en un momento dado” (iRT Systems GmbH, 2021).

Radiocirugía: La radiocirugía estereotáctica (RE) es una forma de tratamiento para enfermedades cerebrales usando la aplicación precisa de una sola dosis de radiación en de un solo día de tratamiento (Madrado-Navarro & Aldana-Herrero, 2005).

Mónaco: Es un sistema que es utilizado para obtener planes de tratamiento que son destinados a pacientes que deben tratarse con radioterapia de haces externos (Estrada Herrera, 2020).

VMAT: Arcoterapia volumétrica dinámica de intensidad modulada o IMRT rotacional, es una modalidad en la que consiste que mientras el acelerador va girando durante el tratamiento alrededor del paciente, el propio colimador puede ejecutar giros sobre su eje y al mismo tiempo las láminas del colimador se van moviendo de forma continua, alterando la intensidad del haz (Lamikiz, 2016).

MLC: Se trata de un dispositivo filtrante colocado en el cabezal del acelerador, formado por delgadas láminas de tungsteno que se desplazan unas junto a otras. Este mecanismo crea una apertura específica a través de la cual se emite la radiación, permitiendo así conformarla según la geometría del área a tratar. (Pelayo Besa de C, 2006).

Acelerador Lineal: El acelerador lineal es un equipo moderno y de alta tecnología que tiene como función producir y emitir radiación ionizante con el propósito de dirigirla a las células con cáncer para así poder eliminarla (Valcarcel Aguirre, 2021).

Rayos X: Los rayos X constituyen una forma de radiación electromagnética, similar a la luz visible, pero se diferencian en que poseen mayor energía. Esta característica les permite penetrar a través de la mayoría de los materiales, incluido el cuerpo humano. (National Cancer Institute, 2019).

Segmento: “Son las aperturas o huecos formados en el MLC por donde pasa el haz de radiación” (Almería, 2013).

Volumen Tumoral: El tamaño de un cáncer se determina por la extensión del espacio que ocupa el tumor. Por ejemplo, el volumen de un tumor en el cáncer de mama se mide en función del porcentaje de la mama que está afectado por el tumor. (National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering (NIBIB), 2022).

GTV: Gross Tumour Volume o Volumen Tumoral Visible, que contiene la dimensión del tumor visible o palpable (Millan Cebrian, Delgado Rodríguez, García Vicente, & García Romero, 2013).

PTV: “Planning Target Volume o Volumen Tumoral Planificado”, Se trata de un concepto geométrico aplicado en la planificación, diseñado para especificar las dimensiones y la orientación de los haces óptimos. Esto asegura que la dosis absorbida prescrita se administre efectivamente en el Volumen Target Clínico (CTV, por sus siglas en inglés). (Millan Cebrian, Delgado Rodríguez, García Vicente, & García Romero, 2013).

Señales: “Es la medición de la intensidad del haz de radiación que pasa a través del detector.” (Mohammad K. Islam, 2009).

QA: Quality Assurance o Garantía de calidad es una estrategia de gestión empleada para asegurar que cada examen o tratamiento realizado en un departamento de radiología sea óptimo y adecuadamente beneficioso para abordar la condición médica del paciente. (Arias, y otros, 1997).

Control de Calidad: Se trata de un proceso diverso que involucra a distintos profesionales especializados, cada uno con la responsabilidad de garantizar la excelencia en su área específica. Esto con el objetivo de asegurar que el tratamiento proporcionado al paciente sea de la más alta calidad posible. (Millan Cebrian, Delgado Rodríguez, García Vicente, & García Romero, 2013).

2.4 Operacionalización de las variables

Tabla 1

Matriz de operacionalización

Variables	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades	Instrumentos
Variable 1 Variación de la señal del sistema integral de control de calidad IQM	Es la medición de la intensidad del haz de radiación que pasa a través del detector (Mohammad K. Islam, 2009).	Es el valor que el sistema IQM otorga a cada segmento según la dosis y el área obtenidos al realizar el control de calidad de un plan de tratamiento de un paciente previo a una radiocirugía estereotáctica donde se pueden observar la señal de referencia y la señal medida.	Control de calidad	Señal de Referencia Señal Medido	COUNTS	Sistema de monitoreo de control de calidad (IQM)
Variable 2 Volúmenes Tumoraes en pacientes	Tamaño del cáncer medido por la cantidad de espacio que ocupa el tumor (National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering (NIBIB), 2022).	Son los tumores de pacientes o GTV que fueron tratados mediante el método de radiocirugía en el INEN entre 2017-2022, donde los tumores o GTV están agrupados en rangos según sus volúmenes y son evaluadas segmento por segmento y acumulada.	Rango de GTV evaluada de forma segmento por segmento Rango de GTV evaluada de forma acumulada	Volumen	cm^3	Herramienta de medición del Mónaco

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

Tipo de Investigación

Se considera aplicada ya que se orienta a formular y resolver problemas específicos del ámbito productivo de la sociedad. Su resultado no se limita a conocimientos teóricos, sino que abarca desarrollos tecnológicos. Además, este enfoque aspira a mejorar, perfeccionar u optimizar el rendimiento de los sistemas o tecnologías existentes. (Esteban Nieto, 2018).

Nivel de Investigación

El nivel es de tipo descriptivo, porque su objetivo es detallar las cualidades, rasgos y contornos del grupo o fenómeno en investigación. Esto implica, en otras palabras, recopilar o medir datos relacionados con las variables en estudio (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

Diseño de Investigación

Es de tipo no experimental transversal descriptivo, porque esto se debe a que el investigador no interviene activamente en la manipulación de variables, sino que observa las situaciones tal como se presentan en diversos casos o individuos. Es transversal porque los datos se recogen en un único momento en el tiempo, y es descriptivo ya que el propósito principal de este diseño es realizar descripciones detalladas de los fenómenos estudiados. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

Enfoque de la Investigación

Es cuantitativo, porque tiene la intención de medir y calcular las dimensiones de los fenómenos o cuestiones investigados. Además, durante el proceso se busca una rigurosa supervisión para eliminar otras posibles interpretaciones o alternativas a la hipótesis del estudio, reduciendo la incertidumbre y minimizando los errores. Por esta razón, se recurre a la experimentación o a las pruebas de causalidad. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población son 28 pacientes que están en el departamento de radioterapia del Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN) entre 2017-2022.

3.2.2 Muestra

La muestra son 4 grupos de estudios conformados por 7 pacientes cada uno. El grupo I están los pacientes cuyo tumor son menores de 1 cm^3 , el grupo II están los pacientes con tumor entre 1 cm^3 a 2 cm^3 , el grupo III están los pacientes con tumor entre 2 cm^3 a 3 cm^3 y en el grupo IV están los pacientes con tumor mayor a 3 cm^3 .

3.3 Técnicas de recolección de datos

Para este trabajo se usó 2 software que permitió la recolección de datos de las variables, uno es el MÓNACO para medir el volumen tumoral y los reportes de las sesiones del IQM para medir su señal en counts. Se usó fuentes bibliográficas, antecedentes de investigación, artículos científicos, manuales de los proveedores de los equipos electrónicos usados en esta investigación y datos relacionados al tema.

3.4 Técnicas para el procedimiento de la información

El sistema Integration Quality Monitor (IQM) analiza y procesa en sí misma las variantes a utilizar en esta investigación.

También se usará el Excel 2013 y la hoja de cálculo de Google para procesar los datos de manera más rápida y eficaz.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

Los datos obtenidos son a partir del QA o de un proceso de control de calidad que realiza el IQM al procesar el plan de un paciente de radioterapia, son un total de 28 casos, y dividido en 4 grupos de 7.

Tabla 2

Señal total del IQM según los 28 volúmenes tumorales usados en este trabajo

#	ID de paciente	Total Señal IQM (counts)		Variación %	
		Volumen tumoral GTV (cm ³)	Total señal de referencia		Total de señal medido
1	0660796	0.368	300805.32	299091.54	-0.570
2	0677237	0.497	253485.83	253577.22	0.036
3	0678298	0.512	186978.19	183947.5	-1.621
4	0490515	0.521	225264.36	220725.32	-2.015
5	0666788	0.603	211168.06	209964.61	-0.570
6	0563478	0.744	291449.74	290109.37	-0.460
7	0256228	0.845	86865.97	86582.13	-0.327
8	068666	1.02	198437.26	195485.59	-1.487
9	0607654	1.171	312310.91	313472.1	0.372
10	0612903	1.277	273827.2	271000.04	-1.032
11	0554386	1.348	321617.31	325595.64	1.237
12	0397773	1.47	247077.89	242975.53	-1.660
13	0669708	1.589	195731.59	196788.36	0.540
14	0651457	1.818	293955.4	290413.28	-1.205
15	0604878	2.378	372630.36	370011.21	-0.703
16	0674575	2.416	204510.68	204174.32	-0.164
17	0639937	2.462	289646.35	288915.73	-0.252
18	0655786	2.47	307705.81	307508.57	-0.064
19	0665119	2.645	282192.94	284063.72	0.663
20	0665340	2.662	304333.2	303729.62	-0.198

21	0532371	2.876	300503.04	302128.15	0.541
22	487529	3.575	280021.8	286337.27	2.255
23	638717	3.657	595069.49	610136.25	2.532
24	639650	4.426	365864.8	373447	2.072
25	664020	4.602	373786.01	378293.77	1.206
26	644499	4.786	147650.28	150017.24	1.603
27	658745	5.809	331329.81	333594.72	0.684
28	638830	6.201	552465.95	567157.52	2.659

Se puede apreciar en la tabla cuando más se incrementa el volumen tumoral la señal del IQM tanto las de referencia como la medida varían con un mayor error porcentual sobrepasan o algunos casos el 2%, los 3 primeros grupos mantuvieron entre el $\pm 1\%$ con pocas excepciones

Tabla 3

Señal del IQM según los 4 grupos de volúmenes tumorales de forma general

Total Señal IQM (counts)			
Grupo de Tumor	Total señal de referencia	Total de señal medido	Variación %
I	222288.21	220571.0986	-0.77
II	263279.6514	262247.22	-0.39
III	294503.1971	294361.6171	-0.05
IV	378026.8771	385569.11	2.00

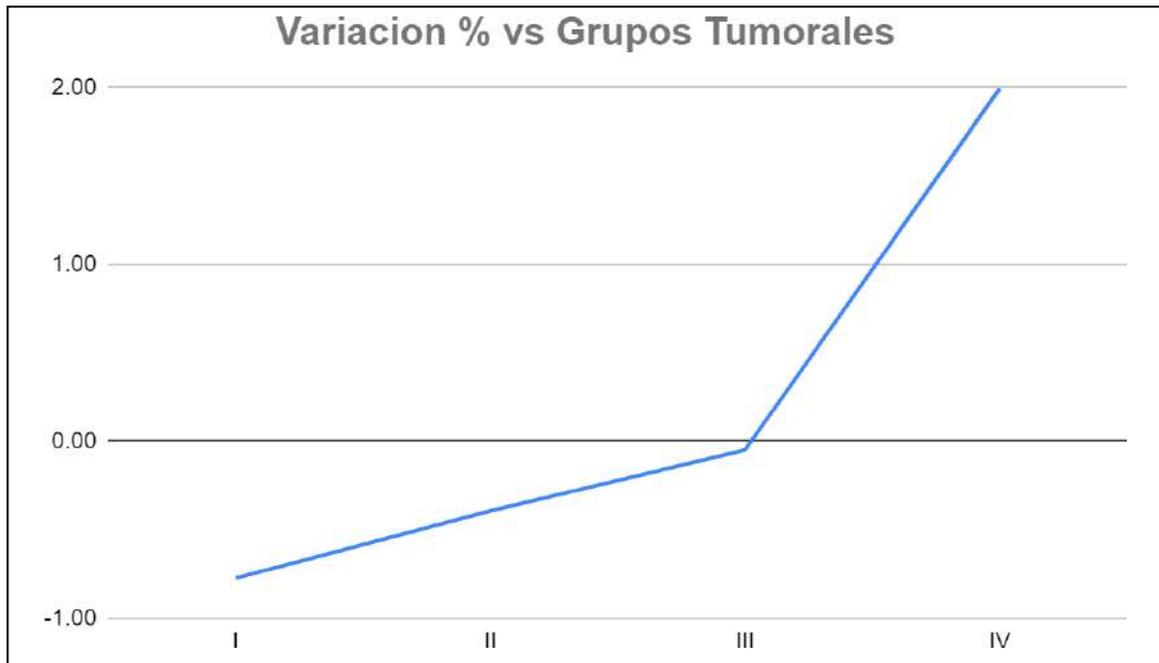


Figura 1. Variación % por cada grupo de volúmenes tumorales

Como se aprecia en la Figura 1, el porcentaje de variación entre las señales aumenta de manera notoria a partir del cuarto grupo, los tres primeros son menores al 0% de variación porcentual, pero aun así todos los resultados dentro de los parámetros permitidos por el equipo.

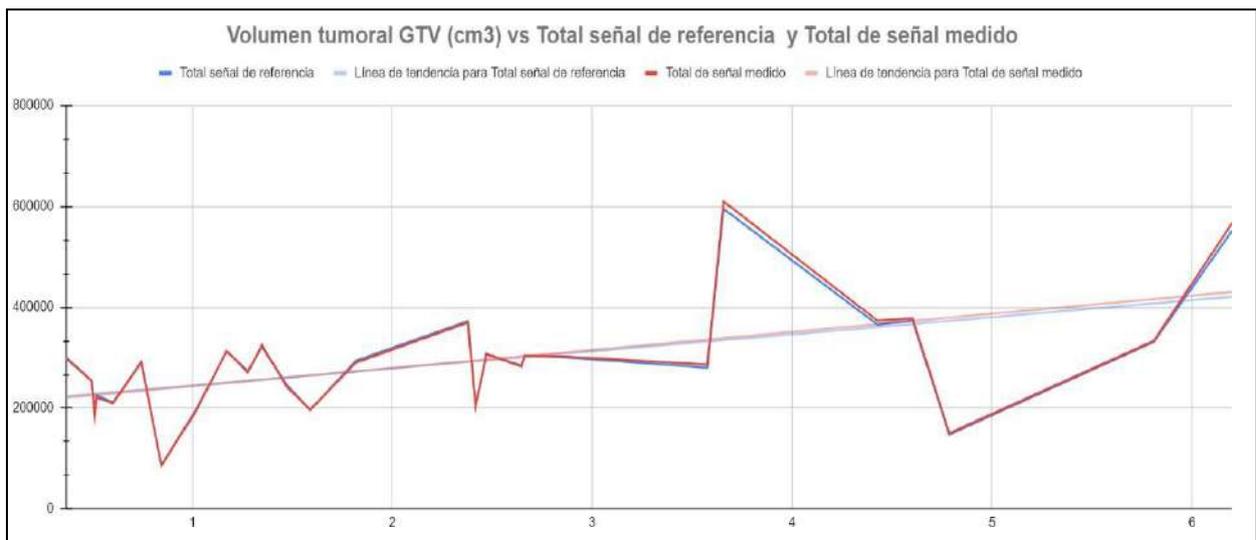


Figura 2. Señal de referencia y medica vs los volúmenes tumorales de menor a mayor

En la Figura 2 se observa como la línea de tendencia de las señales van incrementando al igual que sus diferencias, aunque sea de menor medida, al aumentar su tamaño tumoral, dichos cambios son más notorios en la parte derecha de la figura.

En el primer grupo donde los tumores son menores a 1 cm^3 se observó un porcentaje total de error entre la señal de referencia y la señal medida de -0.77% con una señal de referencia promedio de todos los casos es 222288.21 counts y la señal medida es 220571.0986 counts.

Tabla 4

Señal total del IQM según todos los casos del Grupo I

Total Señal IQM (counts)				
ID de paciente	Volumen tumoral GTV (cm^3)	Total señal de referencia	Total de señal medido	Error %
0660796	0.368	300805.32	299091.54	-0.57
0677237	0.497	253485.83	253577.22	0.04
0678298	0.512	186978.19	183947.5	-1.62
0490515	0.521	225264.36	220725.32	-2.01
0666788	0.603	211168.06	209964.61	-0.57
0563478	0.744	291449.74	290109.37	-0.46
0256228	0.845	86865.97	86582.13	-0.33
		222288.21	220571.0986	-0.77

En el segundo grupo donde los tumores son entre 1 cm^3 a 2 cm^3 se observó un porcentaje total de error entre la señal de referencia y la señal medida de -0.39% con una señal de referencia promedio de todos los casos es 263279.6514 counts y la señal medido es 262247.22 counts.

Tabla 5*Señal total del IQM según todos los casos del Grupo II*

Total Señal IQM (counts)				
ID de paciente	Volumen tumoral GTV (cm³)	Total señal de referencia	Total de señal medido	Error %
068666	1.02	198437.26	195485.59	-1.49
0607654	1.171	312310.91	313472.1	0.37
0612903	1.277	273827.2	271000.04	-1.03
0554386	1.348	321617.31	325595.64	1.24
0397773	1.47	247077.89	242975.53	-1.66
0669708	1.589	195731.59	196788.36	0.54
0651457	1.818	293955.4	290413.28	-1.20
		263279.6514	262247.22	-0.39

En el tercer grupo donde los tumores son entre 2 cm³ a 3 cm³ se observó un porcentaje total de error entre la señal de referencia y la señal medida de -0.05% con una señal de referencia promedio de todos los casos es 294503.1971 counts y la señal medida es 294361.6171 counts.

Tabla 6*Señal total del IQM según todos los casos del Grupo III*

Total Señal IQM (counts)				
ID de paciente	Volumen tumoral GTV (cm³)	Total señal de referencia	Total de señal medido	Error %
0604878	2.378	372630.36	370011.21	-0.70
0674575	2.416	204510.68	204174.32	-0.16
0639937	2.462	289646.35	288915.73	-0.25
0655786	2.47	307705.81	307508.57	-0.06
0665119	2.645	282192.94	284063.72	0.66
0665340	2.662	304333.2	303729.62	-0.20
0532371	2.876	300503.04	302128.15	0.54
		294503.1971	294361.6171	-0.05

Y en el cuarto grupo donde los tumores son mayores a 3 cm³ se observó un porcentaje total de error entre la señal de referencia y la señal medida de 2.00% con una señal de referencia promedio de todos los casos es 378026.8771 counts y la señal medida es 385569.11 counts.

Tabla 7*Señal total del IQM según todos los casos del Grupo IV*

Total Señal IQM (counts)				
ID de paciente	Volumen tumoral GTV (cm³)	Total señal de referencia	Total de señal medido	Error %
487529	3.575	280021.8	286337.27	2.26
638717	3.657	595069.49	610136.25	2.53
639650	4.426	365864.8	373447	2.07
664020	4.602	373786.01	378293.77	1.21
644499	4.786	147650.28	150017.24	1.60
658745	5.809	331329.81	333594.72	0.68
638830	6.201	552465.95	567157.52	2.66
		378026.8771	385569.11	2.00

Se puede observar que la señal del IQM varía entre la señal de referencia y la señal medida no menos del 1% de error entre los primeros 3 grupos, eso quiere decir que entre el rango de volúmenes de 0 a menores de 3 cm³ tiene una mejor precisión en relación a ambas señales y cuando se incrementa el tamaño de los volúmenes tumorales dicho error va aumentando de manera notoria a partir del cuarto grupo donde están los volúmenes mayores a 3 cm³.

También podemos notar que la señal tanto la de referencia como la medida se incrementan cuando más grande es el volumen tumoral, pero al igual que el porcentaje de error, la señal aumenta de forma considerable en el cuarto grupo, en los demás grupos se mantuvo la señal del IQM con pocas variaciones.

Cada dato es tomado del resultado del IQM al procesar la planificación de cada caso al realizar un QA, la información de cada paciente está dividida en arcos y cada arco está dividido

en segmentos y cada segmento tiene su propia señal de IQM, tanto la señal de referencia como la medida, también tiene la señal de forma acumulada en cada arco. Del arco 1 al arco 36 son del primer grupo, del arco 37 al 69 son del segundo grupo, del arco 70 al 109 son del tercer grupo y del arco 110 al 147 son del cuarto grupo.

Cada plan de cada paciente tiene una cierta cantidad de arcos dependiendo como el físico decidió el tratamiento del paciente y cada arco tiene entre 15 a 20 segmentos, y en cada segmento se ve la señal de referencia y la señal medida, como se ve en el grafico la señal analizada segmento por segmento va entre los 1500 y los 6000 counts con algunas excepciones, como se ve en el grafico en todos los grupos la señal del IQM se mantuvo si se analiza de forma segmento por segmento

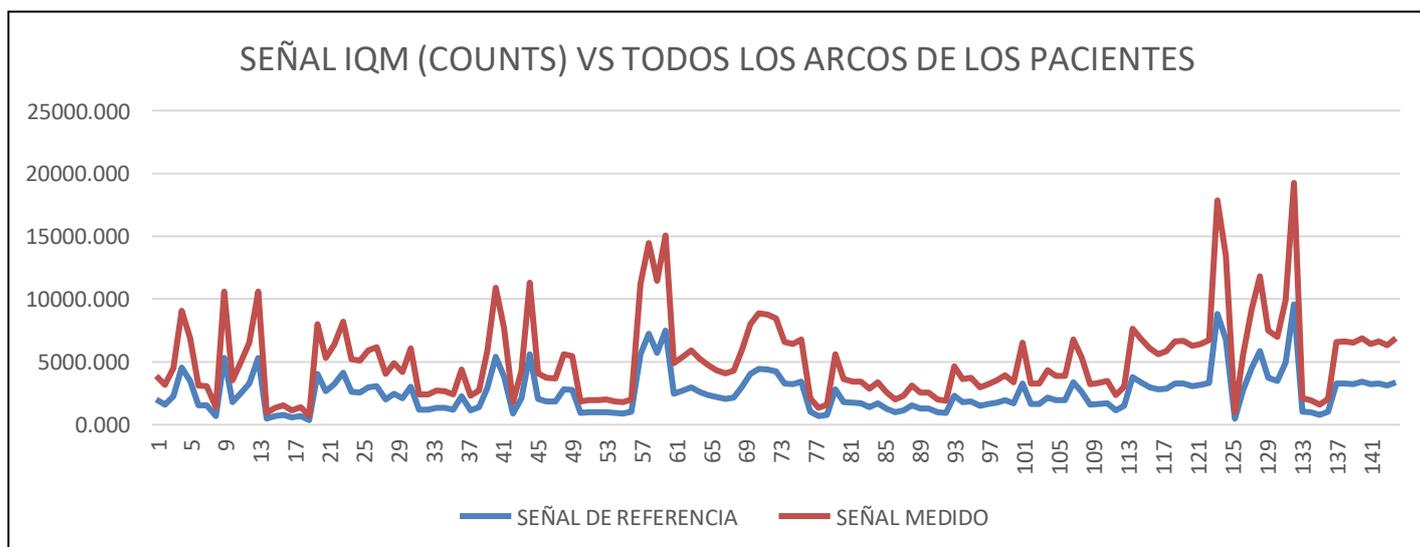


Figura 3. Señal de referencia y la señal medida de forma segmento por segmento vs todos los arcos de todos los pacientes del menor a mayor volumen

La señal del IQM analizada de forma segmento por segmento varia con un porcentaje de error entre -3% al 5%, con una tendencia a incrementar con el aumento del volumen o tamaño de los tumores con muy pocas excepciones.

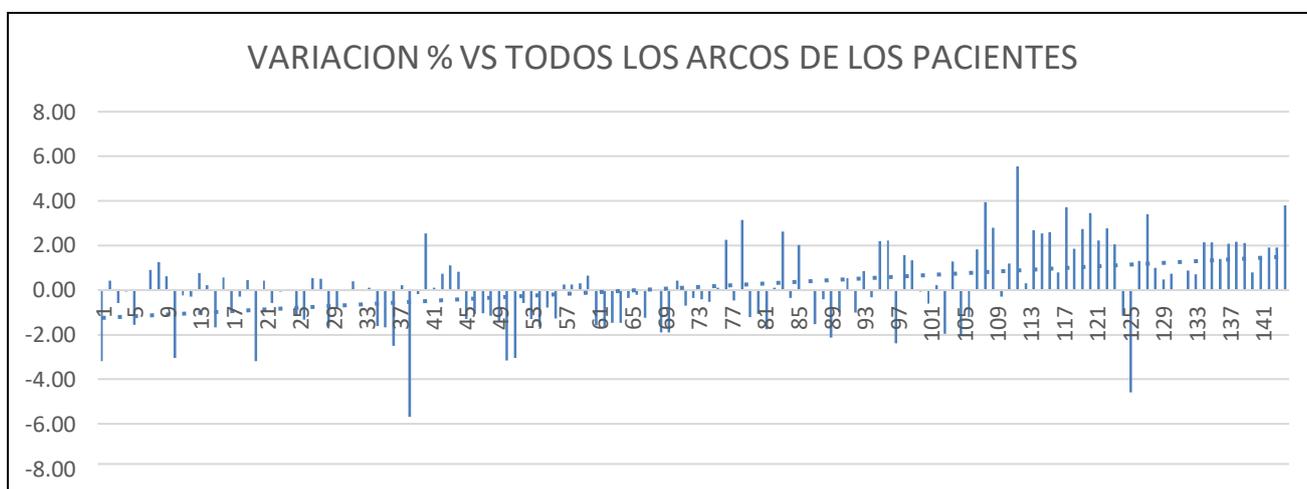


Figura 4. Variación % de la señal IQM analizado de forma segmento por segmento vs todos los arcos de los pacientes de menor a mayor volumen tumoral

De igual modo en cada segmento se ve la señal del IQM analizada de forma acumulada tanto la señal de referencia y la señal medida, como se ve en el grafico la señal acumulada va entre los 10000 y los 60000 counts con algunas excepciones, como se ve en el grafico en todos los grupos la señal del IQM se mantuvo si se analiza de forma acumulada.

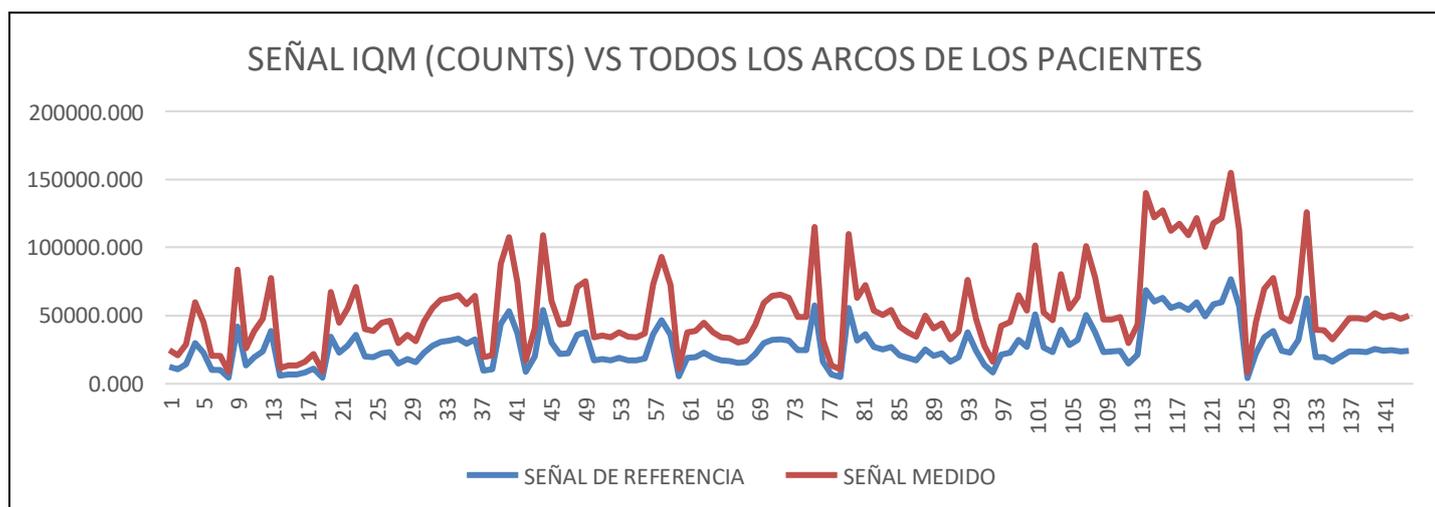


Figura 5. Señal de referencia y la señal medida de forma acumulada vs todos los arcos de todos los pacientes del menor a mayor volumen

La señal del IQM analizada de forma acumulada varía con un porcentaje de error entre -3% al 4%, con una tendencia a incrementar con el aumento del volumen o tamaño de los tumores con muy pocas excepciones.

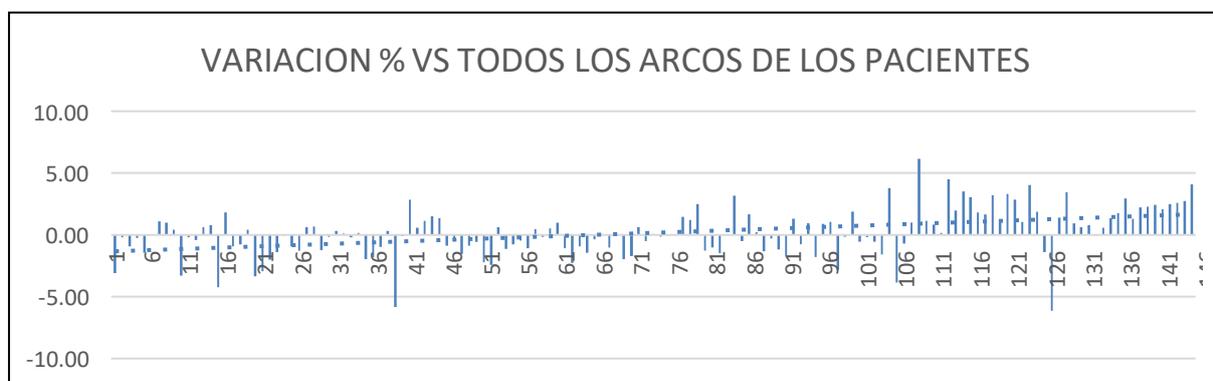


Figura 6. Variación % de la señal IQM analizado de forma acumulada vs todos los arcos de los pacientes de menor a mayor volumen tumoral

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

5.1 Discusión de resultados

De los resultados obtenidos, podemos ver que el IQM tiene una relación que entre sus señales varían menos de 1% de error lo que da a entender que tiene un buena respuesta o rendimiento a escala pequeña o en tumores cuyos volúmenes no superan los 3 cm³, al menos eso se muestra usando las planificaciones del área de Radioterapia entre 2017 al 2022.

Esta relación datos tienen con lo que sostiene Mohammad K. Islam; Bernhard D. Norrlinger and Jason R. Smale (2009) y Thahabah Alharthi, Armia George, Sankar Arumugam, Lois Holloway, David Thwaites, Phil Vial. (2021), quienes mencionan que las señales varían dentro del 1% o $\pm 2\%$ de error, lo que concuerda con los datos obtenidos en este trabajo en relación a las señales del IQM tanto la señal de referencia y la señal medida.

Pero lo que diferenciaría dichos trabajos con este, es la forma de cómo llegaron a dichas conclusiones, Mohammad K. Islam; Bernhard D. Norrlinger and Jason R. Smale (2009) se usó IMRT de próstata y planos de cabeza y cuello con distintos haces de energías, y para Thahabah Alharthi, Armia George, Sankar Arumugam, Lois Holloway, David Thwaites, Phil Vial. (2021) se usaron planes VMAT de nasofaringe y SBRT de pulmón, mientras en este trabajo solo se usó los planes de cabeza o cráneo que se usan en radiocirugía estereotáctica, analizando la señal del IQM en distintos tumores según sus volúmenes entre los 0 cm³ a más de 3 cm³.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En este trabajo se concluyó lo siguiente:

La señal del IQM en general tienen características y cantidades, al menos en los primeros grupos 3 grupos, es de manera muy similar, donde los máximos y mínimos son parecidos y su variación tiene un error de $\pm 1\%$, en dichos grupos los tumores son entre 0 cm^3 a menores de 3 cm^3 , y con respecto al grupo IV, donde los volúmenes de los tumores superan los 3 cm^3 , la diferencia entre las señales es más notorio y variación de 2% de error. Lo cual se concluiría que, a mayor volumen tumoral, la señal del IQM tiende a tener una mayor variación entre sus señales y a escala muy pequeña donde los targets de los tumores están entre 0 cm^3 a menos de 3 cm^3 el IQM tiene una mejor respuesta donde las señales varían menos de 7000 counts y para el último grupo donde hay tumores mayores a 3 cm^3 , varia al menos 10000 counts.

Al analizar la señal del IQM en forma segmento por segmento se observa que la señal varía entre los 1500 y los 6000 counts, en la gran mayoría de casos alrededor de los 4 grupos de tumores, lo que concluiría que al nivel de los segmentos el sistema IQM tiene una respuesta donde su señal tanto la de referencia como la medida no tienen mucha diferencia y están dentro del rango esperado por el manual del mismo sistema con una tendencia a que a mayor volumen tumoral, la señal medida será mayor que la señal esperada alrededor de un 3% .

Igualmente al analizar la señal del IQM en forma acumulada se observa que la señal varía entre los 10000 y los 60000 counts, en la gran mayoría de casos alrededor de los 4 grupos de tumores, lo que concluiría que al analizar la señal de forma acumulada, el sistema IQM tiene una respuesta donde su señal tanto la de referencia como la medida no tienen mucha diferencia y están dentro del rango esperado por el manual del mismo sistema con una tendencia a que a mayor volumen tumoral, la señal medida acumulada será mayor que la señal de referencia acumulada alrededor de un 3% a 4%.

6.2 Recomendaciones

Al ver cómo es la señal del IQM usando las planificaciones de los casos de radiocirugía usando datos 100% peruanos se recomendaría para futuras investigaciones:

Usar más datos de diversos tipos de estudios, órganos o de otras instituciones para ver cómo la señal IQM varía en dichos casos, también realizar un análisis estadístico más a fondo con distintos niveles de energía y entre otros,

Usar información donde los pacientes tienen volúmenes tumorales más grandes de los que se usaron en este trabajo para ver cómo varía la señal del IQM de forma segmento por segmento.

Usar información donde los pacientes tienen volúmenes tumorales más grandes de los que se usaron en este trabajo para ver cómo varía la señal del IQM de forma acumulada.

REFERENCIAS

7.1 Fuentes bibliográficas

- Almería, J. S. (2013). *Generación Directa de Segmentos en Técnicas*. Universidad de Zaragoza. Zaragoza: Repositorio de la Universidad de Zaragoza. Recuperado el 9 de Marzo de 2022, de <https://zaguan.unizar.es/record/12304/files/TAZ-TFM-2013-802.pdf>
- Arias, C., Borrás, C., Castellanos Robayo, J., Angeles de Miquel, M., Hanson, G., Khatib, S., . . . Skvarca, J. (1997). *Organización, Desarrollo, Garantía de Calidad y Radioprotección en los Servicios de Radiología: Imaginología y Radioterapia*. (D. F. Cari Borrás, Ed.) Washington DC, Estados Unidos: Organización Panamericana de la Salud. Obtenido de https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=3364:2010-programas-garantia-calidad&Itemid=0&lang=pt#gsc.tab=0
- Barrios, L. R. (2019). *Comparación dosimétrica de cuatro sistemas de detección para campos pequeños de un haz de fotones de 6 MV*. Lima, Perú: Cybertesis. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12672/11562>
- Bozidar Casar, M. P. (Septiembre de 2017). Influence of the Integral Quality Monitor transmission detector on high energy photon beams: A multi-centre study Der Einfluss des Transmissionsdetektors IQM auf hochenergetische Photonenstrahlung: Eine multizentrische Studie. *ScienceDirect*, 27, 232-242.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.zemedi.2016.10.001>

Cantero D, G.-I. I. (2008). *Control de calidad en radioterapia de intensidad modulada*.

Gobierno Vasco, Departamento de Sanidad. Vasco: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Recuperado el 2 de Marzo de 2022, de https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/2008_osteba_publicacion/es_def/adjuntos/D_08_04%20radioterapia%20de%20intensidad%20modulada.pdf

Correa, C. R. (2022). *Efecto del extracto de Ipomoea batatas sobre el desarrollo tumoral en Rattus norvegicus var. albinus con cáncer de mama inducido*. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo. La Libertad: Repositorio de la Universidad Nacional de Trujillo.

Obtenido de

<https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/20035/Silva%20Correa%2c%20Carmen%20Rosa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Delgado, J. E. (2019). *Diseño e implementación de un prototipo*. Universidad Tecnológica del Peru, Facultad de Ingeniería Electronica. Lima: Repositorio UTP. Obtenido de https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2750/Jonathan%20Enciso_Tesis_Titulo%20Profesional_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Esteban Nieto, N. T. (24 de Junio de 2018). Tipos de Investigación. *UNISDG-Institucional*.

Obtenido de

https://core.ac.uk/display/250080756?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1

Estrada Herrera, J. d. (2020). *Comisionamiento de Colimador Multiláminas Agility para el Sistema de Planificación*. Universidad Nacional Autonoma de Nicaragua , Departamento de Fisica. Managua: Repositorio de la UNAN. Recuperado el 27 de Febrero de 2022, de <https://repositorio.unan.edu.ni/15285/1/15285.pdf>

Fernández-Varea, J., González Leitón, A., Brosted, A., & Gracia Ezpeleta, Á. (2011).

Fundamentos de Física Médica (Vol. I). (A. Brosted, Ed.) Andalucía, España: ADI.

Obtenido de web: www.sefm.es

Galvez, A. M. (2018). “Control de Calidad de Radiocirugía Estereotaxica de Múltiples

Metástasis Intracraneales con Arcoterapia Volumétrica Modulada, usando películas

Dosimétricas y TLD. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias. Lima:

Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de

https://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/20.500.14076/12484/1/gonzales_ga.pdf

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014).

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION (Sexta ed.). España: McGraw-Hill

Interamericana de España. Obtenido de [https://www.uca.ac.cr/wp-](https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf)

[content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf](https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf)

Hernández Vitoria, A., Lizuain Arroyo, M. C., & Picón Olmos, C. (2012). *Fundamentos de la*

Física Medica (Vol. III). (A. Brosted Serrata, & M. C. Lizuain Arroyo, Edits.)

Andalucía, España: Sociedad Española de Física. Recuperado el 27 de Febrero de

2022

iRT Systems GmbH. (2021). *IQM User Reference Manual*. iRT Systems, Berlin. Obtenido de

<https://i-rt.de/>

J. Qian, L. L. (1 de Noviembre de 2015). In Vivo Dosimetry of Stereotactic Radiation

Therapy Using Integral Quality Monitor (IQM) System. *International Journal of*

Radiation Oncology, Biology, Physics, 93.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2015.07.2114>

- Juste Vidal, B. J. (2011). *Aplicación del Método de Monte Carlo a la Planificación en Radioterapia y a la Reconstrucción de Espectros de Fotones de Aceleradores Lineales de Partículas (LinAc)*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, Departamento de Ingeniería Química y Nuclear. Valencia: Consulta de la Base de datos de Tesis Doctorales (TESEO). Obtenido de <https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicheroTesis.do?idFichero=yG%2BY4ZLUqvQ%3D>
- Lamikiz, P. E. (Febrero de 2016). Nuevas tecnologías en radioterapia (radioterapia VMAT). *Gaceta Médica de Bilbao*, 113(1), 32-33. Obtenido de <https://gacetamedicabilbao.eus/index.php/gacetamedicabilbao/article/view/17>
- Madrazo-Navarro, I., & Aldana-Herrero, A. (Marzo-Abril de 2005). Radiocirugía estereotáctica. *Cirugía y Cirujanos*, 73(2), 137-141. Recuperado el 23 de Febrero de 2022, de <https://www.medigraphic.com/pdfs/circir/cc-2005/cc052m.pdf>
- Marcos Vilca A., V. B. (2013). Radiocirugía Estereotaxica en Neurinomas y Meningiomas de la base de Craneo. *Rev. Peruana Neurocirugía*, VI(1), 15-21. Obtenido de https://www.perujournalneurosurgery.org/sites/default/files/articulo_original2.pdf
- Millan Cebrian, E., Delgado Rodríguez, J. M., García Vicente, F., & García Romero, A. (2013). *Fundamentos de Física Médica* (Vol. IV). (E. M. Cebrián, Ed.) Andalucía, España: ADI. Recuperado el 22 de Diciembre de 2022, de www.sefm.es
- Mohammad K. Islam, B. D. (5 de Noviembre de 2009). An integral quality monitoring system for real-time verification of intensity modulated radiation therapy. *Medical Physics*, 36(12), 5420-5428. doi:<https://doi.org/10.1118/1.3250859>

National Cancer Institute. (8 de Enero de 2019). *Radioterapia para tratar el cáncer publicada originalmente por el Instituto Nacional del Cáncer*. Recuperado el 23 de Febrero de 2022, de Instituto Nacional del Cáncer:

<https://www.cancer.gov/espanol/cancer/tratamiento/tipos/radioterapia>

National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering (NIBIB). (Junio de 2022).

HHS.gov. Obtenido de NIH: <https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/rayos-x>

Pelayo Besa de C, D. V. (Agosto de 2006). Radioterapia por modulación de intensidad

(IMRT). Una nueva modalidad en el tratamiento del cáncer de cabeza y cuello. *Revista de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello*, 66(2), 107-114.

doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-48162006000200006>

Podgorsak, E. B. (2005). *RADIATION ONCOLOGY PHYSICS: A HANDBOOK FOR TEACHERS AND STUDENTS*. Viena, Austria: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Obtenido de <http://www.iaea.org/books>

Sánchez Turcios, R. A. (Enero-Marzo de 2015). t-Student. Usos y abusos. *Revista Mexicana de Cardiología*, 26(1), 59-61. Obtenido de

<https://www.medigraphic.com/pdfs/cardio/h-2015/h151i.pdf>

Thahabah Alharthi, A. G. (25 de Mayo de 2021). An investigation of the IQM signal variation and error detection sensitivity. (I. T. Dasu, Ed.) *ScienceDirect*, 86, 6-18.

doi:10.1016/j.ejmp.2021.05.005

Valcarcel Aguirre, I. E. (2021). *Mediciones para el modelamiento de haces de fotones y electrones de un acelerador lineal Elekta Infinity en el sistema de planificación de tratamientos Monaco*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Escuela Profesional de Física. Lima: Repositorio de Tesis Digitales CYBERTESIS.

Recuperado el 23 de Febrero de 2022, de

https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/16734/Valcarcel_ai.pdf?sequence=1&isAllowed=y

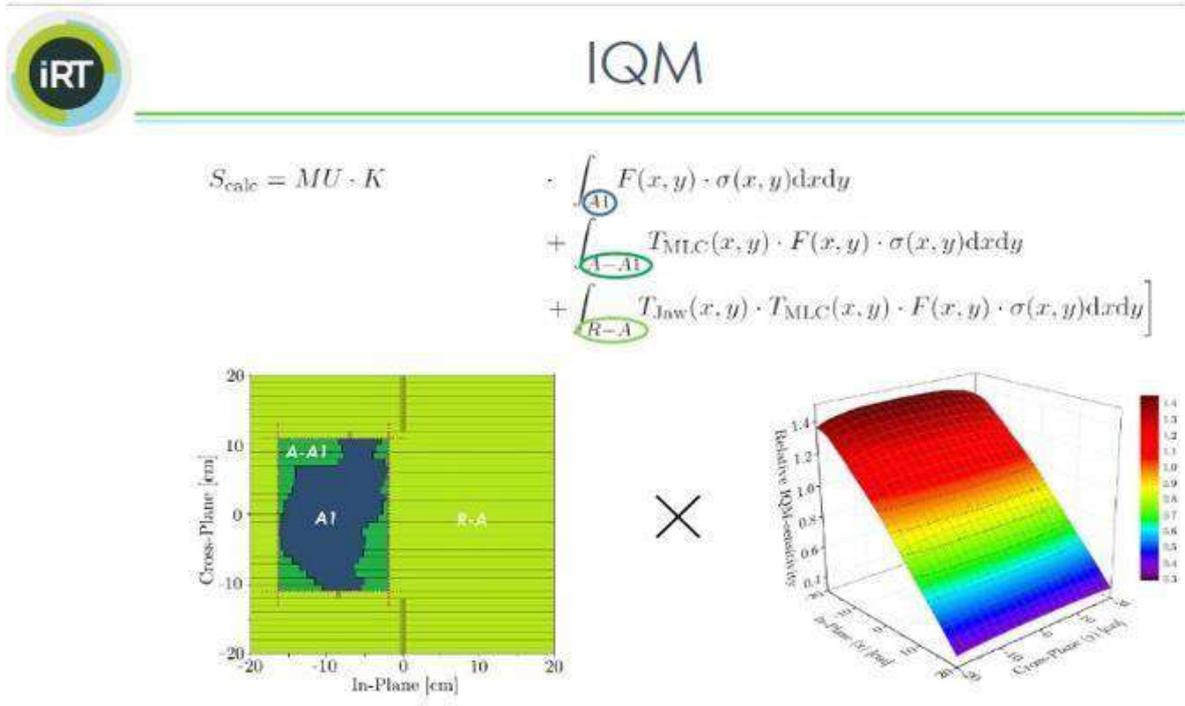
ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

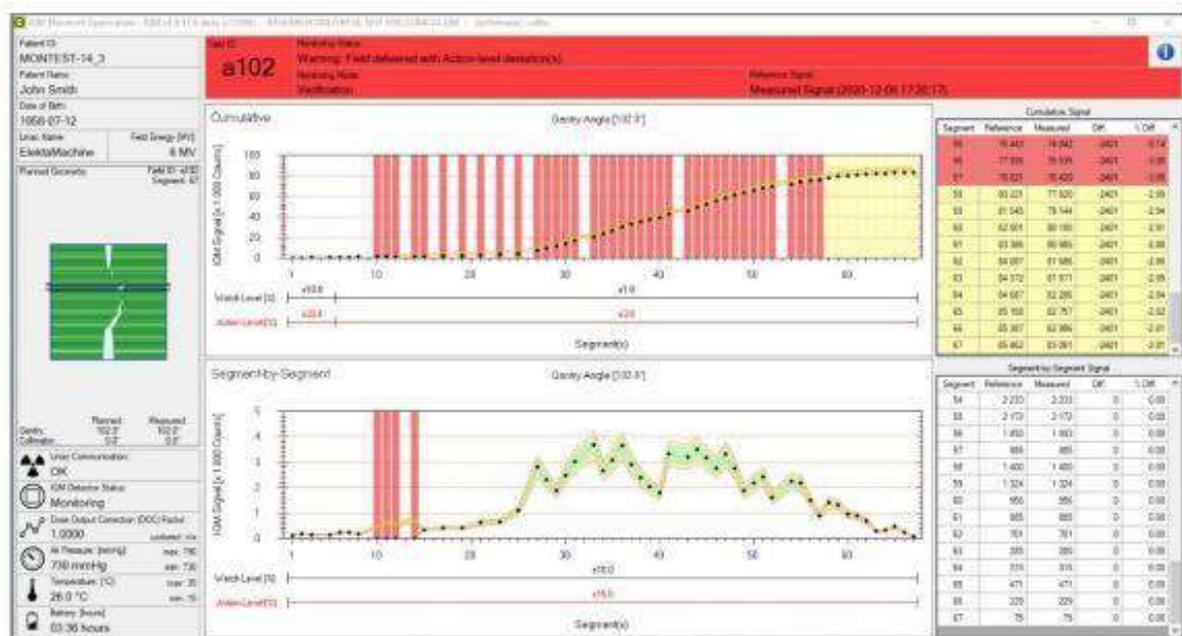
Título: Variación de la señal del sistema integral de control de calidad IQM según los volúmenes tumorales en pacientes de radiocirugía estereotáctica en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, Lima 2022

Problemas de investigación	Objetivos de investigación	Variables de investigación	Dimensión	Indicadores	Metodología de investigación
<p>Problema General ¿Cómo es la variación de la señal del sistema integral de control de calidad IQM según los volúmenes tumorales en pacientes de radiocirugía estereotáctica en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, Lima 2022?</p>	<p>Objetivo General Analizar la variación de la señal del sistema integral de control de calidad IQM según los volúmenes tumorales en pacientes de radiocirugía estereotáctica en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, Lima 2022.</p>	<p>Variable 1 Variación de la señal del sistema integral de control de calidad IQM</p>	Control de Calidad	<p>Señal de Referencia Señal Medido</p>	<p>Tipo de estudio: Aplicada Nivel de investigación: Descriptiva Diseño de estudio: No experimental transversal descriptivo Enfoque de investigación: Cuantitativa</p>
<p>Problema Específico ¿Cómo es la variación de la señal del sistema integral del control de calidad IQM según los rangos de GTV evaluada de forma segmento por segmentos en pacientes de radiocirugía estereotáctica en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, Lima 2022?</p>	<p>Objetivo Específico Analizar la variación de la señal del sistema integral de control de calidad IQM según los rangos de GTV evaluada segmento por segmento en pacientes de radiocirugía estereotáctica en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, Lima 2022.</p>	<p>Variable 2 Volúmenes Tumorales en pacientes</p>	<p>Rango de GTV evaluada de forma segmento por segmento Rango de GTV evaluada de forma acumulada</p>	Volumen	<p>Población y la muestra: Población: Son 28 pacientes que están en el departamento de radioterapia del Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN) entre 2017-2022 Muestra: Son 4 grupos de estudios conformados por 7 pacientes cada uno. El grupo I están los pacientes cuyo tumor son menores de 1 cm³, el grupo II están los pacientes con tumor entre 1 cm³ a 2 cm³, el grupo III están los pacientes con tumor entre 2 cm³ a 3 cm³ y en el grupo IV están los pacientes con tumor mayor a 3 cm³.</p>

Anexo 2. Sistema IQM



Fotografía 1. Ecuación para obtener la señal calculada del sistema IQM brindada por la empresa Irt



Fotografía 2. Interfaz del sistema del IQM vista desde el monitor

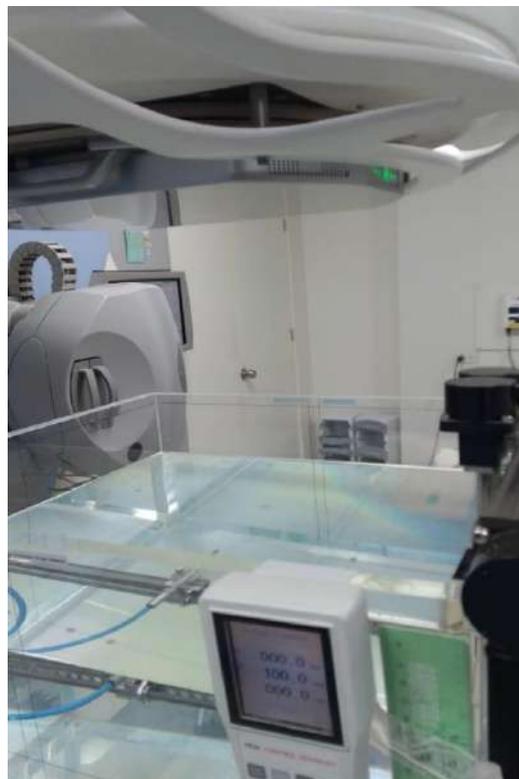


Fotografía 3. El sistema IQM vista de todas las direcciones

Anexo 3. Acelerador lineal



Fotografía 4. Vista general del acelerador lineal del INEN con el sistema IQM



Fotografía 5. Vista cerca del acelerador lineal del INEN con el sistema IQM



Fotografía 6. Investigador Sebastian Gordillo junto con un acelerador lineal con el IQM conectado.