TRABAJO FIN DE MÁSTER

# Análisis de un sistema de control de calidad del Sistema de Planificación de Tratamientos del Servicio de Oncología Radioterápica del HUMV

Realizado por
**Julen Beldarrain Portugal**

**Para la obtención del título de**
Máster en Data Science

**Director**
Francisco Matorras Weinig
**Co-Director**
Samuel Ruiz Arrebola

**Realizado en**
Hospital universitario Marques de Valdecilla

**Convocatoria de Septiembre, curso 2021/2022**

# Agradecimientos

Quiero agradecer al servicio de oncología radioterápica del HUMV por brindarme la oportunidad de trabajar con ellos en este proyecto sobre todo a Samuel por estar siempre disponible cuando lo necesitaba y a todos los compañeros del departamento que me acogieron y me dieron facilidades desde el primer día.

También agradezco sinceramente a Francisco Matorras por su paciencia y dedicación a la hora de guiarme en este proyecto.

Por último, agradezco a Pablo García Perez por guiarme y tomarse la molestia de reunirse conmigo para enseñarme las bases de la aplicación del SunCHECK.

# Resumen

En este proyecto se ha llevado a cabo el análisis de un sistema de control de calidad del Sistema de Planificación de Tratamientos (TPS por sus siglas en inglés Treatment Planning Systems) del Servicio de Oncología Radioterápica del HUMV mediante el estudio del software DOSE CHECK de SUN NUCLEAR. Se han buscado diferentes alternativas para la extracción de los datos disponibles y se ha llevado a cabo un análisis de la comparación entre los dos planificadores dosimétricos para la selección del plan de tratamiento óptimo y buscar en que planes pueden darse peores resultados.

**Palabras clave: Radioterapia, Cancer, Índice gamma, SunCHECK, DoseCHECK**

# Abstract

In this project, the analysis of a quality control system of the Treatment Planning Systems (TPS) of the HUMV Radiation Oncology Service has been carried out by studying the DOSE CHECK software from SUN NUCLEAR. Different alternatives have been sought for the extraction of the available data and an analysis of the comparison between the two dosimetric planners has been carried out for the selection of the optimal treatment plan and to search for which plans may give worse results.

**Keywords:Radiotherapy, Cancer, Gamma Index, SunCHECK, DoseCHECK**

# Índice general

**1. Introducción** **1**
1.1. Objetivo . . . . . 1
1.2. ¿Que es la radioterapia? . . . . . 1
1.3. Etapas de la radioterapia . . . . . 2
1.3.1. Localización . . . . . 2
1.3.2. Simulación . . . . . 2
1.3.3. Planificación dosimetría . . . . . 3
1.3.4. Tratamiento . . . . . 4

**2. Sistema de comparación de planes** **6**
2.1. SunCHECK y DoseCHECK de SUN NUCLEAR . . . . . 6
2.1.1. Datos de planificación . . . . . 8

**3. Extracción de datos** **12**
3.1. Formato DICOM . . . . . 12
3.2. Extracción con SQL . . . . . 15
3.3. Problemas de la extracción . . . . . 17

**4. Análisis** **20**
4.1. Separación Targets y OARs . . . . . 23

**5. Conclusiones y futuros proyectos** **26**

**6. Anexo** **28**
6.1. Codigos SQL . . . . . 28

**7. Bibliografía** **39**

# Índice de figuras


1.1. Corte axial de un paciente de cáncer de cabeza y cuello, donde se han contorneado los órganos de interés y los volúmenes a tratar. . . . . 3
1.2. Esquema de los volúmenes de tratamiento. . . . . 4
1.3. Dibujo de un acelerador lineal de electrones. . . . . 4

2.1. Captura de la aplicación DoseCHECK. . . . . 7
2.2. Parametros ajustables del planificador. . . . . 8
2.3. Comparación de valores de la dosis puntual del DoseCHECK. . . . . 9
2.4. Valores del análisis de estructuras 3D por órgano y valor del gamma general . . . . . 10
2.5. Histogramas de volumen de dosis(DVH) de cada órgano. . . . . 11
2.6. Imagen 3D de los órganos con sus respectivas dosis. . . . . 11

3.1. Salida en consola de los valores de los puntos de interés de los DVH . . 14
3.2. DVH del paciente y DVH calculado pintados en Python . . . . . 15
3.3. Salida del script de SQL de la dosis puntual . . . . . 16
3.4. Salida de la consulta de SQL de los datos de la estructura 3D . . . . . 16
3.5. Captura del plan de un paciente al que le falta el análisis Points, Targets y OARs . . . . . 18
3.6. Captura del plan de un paciente que si tiene el análisis Points, Targets y OARs . . . . . 18

4.1. Recuneto de los valores gamma para un análisis 3/3 . . . . . 20
4.2. Histograma de los índice gamma para los ajustes de diferencia 3/3 y 2/2 21
4.3. Histograma de los índice gamma para los ajustes 3/3 y 2/2 en escala logarítmica . . . . . 21
4.4. Histograma de los índice gamma inferiores al 95 % para los ajustes de diferencia separados por zonas corporales . . . . . 22
4.5. Valores de los ID de los pacientes con un índice gamma inferior del 95 %. 22
4.6. Histograma de los índice gamma para los ajustes de diferencia 3 % distancia 3mm diferenciando OARs y Targets . . . . . 23
4.7. Histograma de los índice gamma para los targets y OARs de las zonas del seno y pulmones. . . . . 24
4.8. Histograma de los índice gamma inferiores al 95 % para los targets y OARs de las zonas del seno y pulmones. . . . . 24
4.9. Valores de los ID de los pacientes con un índice gamma inferior del 95 % en los targets. . . . . 24

# Índice de extractos de código

3.1. Código de python para leer ficheros DICOM . . . . . 12
3.2. Código de python para extraer los DVH del paciente . . . . . 13
6.1. Consulta de SQL para obtener los datos de la dosis puntual de los pacientes 28
6.2. Consulta de SQL para obtener los datos de las estructuras 3D de los pacientes . . . . . 30
6.3. Consulta de SQL para obtener los datos de las estructuras 3D de los pacientes añadiendo filtros de selección . . . . . 33

# 1. Introducción

## 1.1. Objetivo

El objetivo de este trabajo ha sido el de analizar el sistema de control de calidad del sistema de planificación de tratamientos del Servicio de Oncología Radioterápica del HUMV. Para ello, se ha tenido que trabajar y familiarizarse con el software DoseCHECK de SUN NUCLEAR, herramienta donde han ido almacenando datos de los planes de tratamiento radioterápicos, pero desafortunadamente no han estado utilizando para analizar.

## 1.2. ¿Que es la radioterapia?

La radioterapia es un tipo de tratamiento, basado en el empleo de radiaciones ionizantes, que se utiliza en la lucha contra el cáncer, bien para su curación mediante el control del tumor, o bien para la paliación de los efectos de la enfermedad.

Las radiaciones ionizantes utilizadas con más frecuencia son los rayos X de megavoltaje, pero también se utilizan rayos gamma y haces de partículas como electrones, protones, neutrones y iones pesados como los de carbono.

La radioterapia oncológica también es una especialidad médica reconocida, al ser una disciplina donde un equipo multidisciplinar de profesionales de la salud y de la ciencia trabajan juntos.

Además de esta modalidad de tratamiento, existen otras como la inmunoterapia, la cirugía y la quimioterapia. De estas cuatro, la radioterapia es una modalidad altamente rentable. Únicamente supone el 5 % del coste total del tratamiento a pacientes con cáncer y, aproximadamente, el 50 % de todos los pacientes con cáncer recibirá radioterapia durante el curso de su enfermedad. Los rápidos avances en esta área están siendo impulsados por los avances en técnicas de imagen, sistemas de planificación computarizada, equipos de tratamiento y la mejor comprensión de la radiobiología.

La radiación ionizante es un agente físico que se utiliza para destruir las células cancerosas, ya que deposita una dosis absorbida en las células de los tejidos que se irradian. Esta energía depositada puede matar células cancerosas o causar cambios genéticos que resultan en la muerte de estas células. La radiación de alta energía daña el material genético de las células y, por lo tanto, bloquear su capacidad de dividir y proliferar. Aunque la radiación daña tanto a las células normales como a las células cancerosas, la meta de la radioterapia es maximizar la dosis absorbida en las células cancerosas, mientras se minimiza la exposición a las células normales.

Hay dos maneras de entregar la radiación a la zona tumoral. La primera es la radiación externa, donde se irradia con partículas de alta energía (fotones, protones, electrones o iones) la localización del tumor desde una fuente externa al paciente. Este

es el abordaje más común en el contexto clínico. La otra es la braquiterapia, donde la radiación ionizante se administra desde el interior del cuerpo por fuentes radiactivas, selladas en catéteres o semillas, directamente al tumor.

## 1.3. Etapas de la radioterapia

A continuación, se explicarán brevemente las diferentes etapas que se llevan a cabo en la terapia.

### 1.3.1. Localización

En esta etapa inicial, el médico especialista en Oncología Radioterápica con ayuda del personal técnico lleva a cabo la delimitación de órganos sanos adyacentes y determina la zona anatómica a tratar y la posición de tratamiento, estableciendo, si fuese el caso, el uso de los dispositivos de inmovilización necesarios para cada situación particular.

### 1.3.2. Simulación

Con el paciente en la posición de tratamiento antes determinada, los correspondientes sistemas de inmovilización, las marcas de referencia y las placas de localización, se procede a la adquisición de los datos anatómicos. En la mayoría de los casos esta adquisición se realiza mediante TC (Tomografía computerizada)[1]. Este debe estar adaptado a las características específicas de la radioterapia.

El TC permite obtener información anatómica del paciente, proporcionando una medida precisa del contorno externo y de los contornos internos, fundamentales ambos para una correcta planificación y cálculo del tratamiento

Una vez obtenida la imagen tomográfica, el médico delimita el volumen blanco que se debe tratar, ya sean estructuras de órganos de riesgo que queramos irradiar lo mínimo posible. En la figura 1.1 se muestra un ejemplo de una imagen tomada por un TC y contorneada.

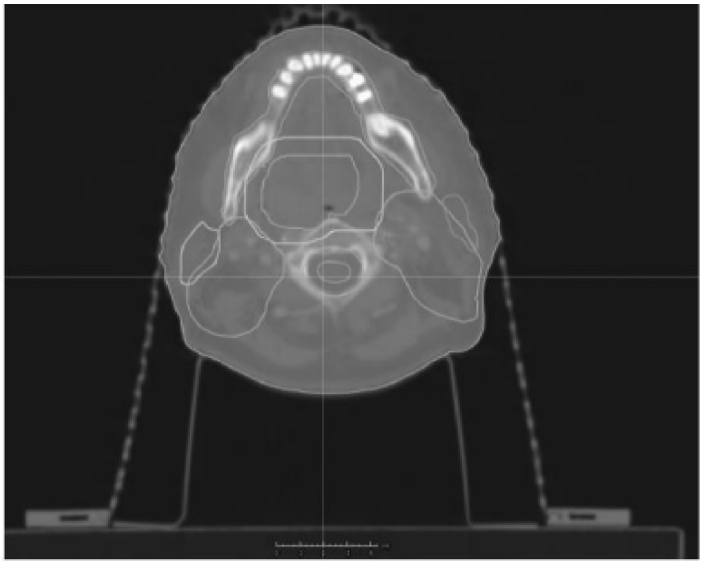


Figura 1.1: Corte axial de un paciente de cáncer de cabeza y cuello, donde se han contorneado los órganos de interés y los volúmenes a tratar.

### 1.3.3. Planificación dosimetría

El software que se usa para el cálculo de la dosis absorbida que debe recibir el tumor, y que es prescrito por el médico, es el Sistema de Planificación de Tratamiento (SPT), el médico especialista en oncología radioterápica, manipulando las imágenes de forma adecuada y con el soporte de reconstrucciones coronales o sagitales, delimita los volúmenes de interés sobre las imágenes de TC axiales: el volumen tumoral macroscópico, es decir, la dosis al volumen tumoral (Gross Tumor Volume, GTV), así como el volumen blanco clínico (Clinical Target Volume, CTV) esta es la dosis al volumen tumoral y el volumen blanco planificado (Planning Target Volume, PTV) dosis al volumen tumoral planeado, obtenido de forma manual o automática a partir del GTV y CTV respectivamente añadiendo los márgenes que tienen en cuenta posibles movimientos del volumen blanco debidos a la respiración del paciente o debidas a las imprecisiones en el posicionado, además de los órganos de riesgo (Organs At Risk, OARs). En la figura 1.2 se pueden observar estos diferentes volúmenes. [2]

En el caso de utilizar otras modalidades de imagen para la delimitación de volúmenes, y tras el correspondiente proceso de fusión, los volúmenes se trasladan a las imágenes de TC, ya que son estas las únicas que poseen información acerca de la densidad electrónica de los distintos tejidos, necesaria para la realización del cálculo de las distribuciones de dosis. Una vez delimitados los volúmenes de interés se debe proceder a la realización de la prescripción del tratamiento, ya que ésta puede venir condicionada por los mismos.

Dependiendo de las características del tratamiento a definir, en algunas ocasiones esta etapa puede no ser realizable, por ejemplo, en el caso de no disponer de información anatómica, ya que no hay elementos suficientes para poder realizar la comparación. Este suele ser el caso de tratamientos muy estandarizados, en los que la optimización apenas tendría repercusión en el desarrollo final del tratamiento, por tratarse, por ejemplo, de un paciente paliativo. [3]

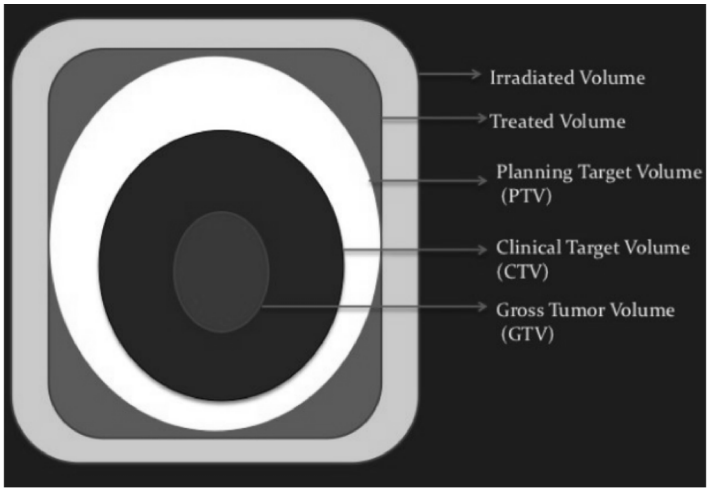



Figura 1.2: Esquema de los volúmenes de tratamiento.

### 1.3.4. Tratamiento

El primer día de tratamiento está presente el médico y, si fuera necesario, el radiofísico, responsables del tratamiento, para comprobar todos los procedimientos. Tanto ese día como de forma periódica, y como mínimo una vez por semana, se realizan verificaciones mediante distintos tipos de imagen para garantizar el correcto posicionamiento del paciente y que no se han producido modificaciones anatómicas en el paciente que puedan influir en planificación del tratamiento, en cuyo caso habría que realizar un nuevo TC de simulación y planificación de tratamiento. Los días sucesivos de tratamiento son los técnicos de radioterapia los que se encargan de reproducir el tratamiento bajo las condiciones prefijadas, tomar imágenes de comprobación y verificar que no se han producido modificaciones.

El tratamiento se administra utilizando radiación externa mediante un acelerador lineal de electrones Figura 1.3

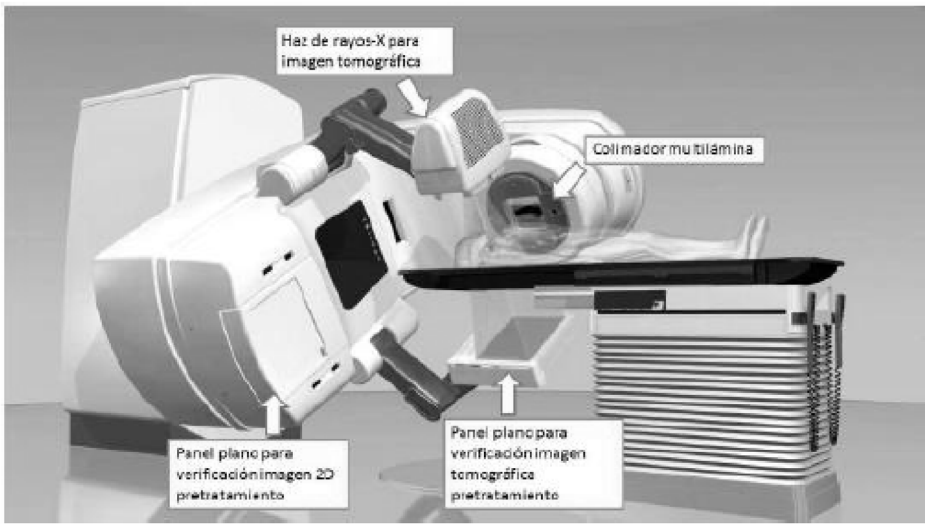



Figura 1.3: Dibujo de un acelerador lineal de electrones.

El acelerador lineal utiliza tecnología de microondas para acelerar los electrones en la parte del acelerador llamada 'guía de ondas', y luego permite que estos electrones choquen contra un blanco de metal pesado para producir rayos X de alta energía. El haz de rayos X es moldeado por un colimador de multilámina que está incorporado en la cabeza de la máquina. El paciente se acuesta sobre un sillón móvil y se usan rayos para asegurar que el paciente esté en la misma posición que estaba en el TC. El haz de rayos X sale de una parte del acelerador llamada 'gantry', que puede ser rotada alrededor del paciente. La radiación se puede administrar al tumor desde diversos ángulos rotando el 'gantry' y moviendo la camilla de tratamiento.[4]

# 2. Sistema de comparación de planes

De las diferentes etapas que se realizan en la radioterapia la que más importancia tiene en este trabajo es la de la planificación de la dosimetría. En esta el radiofísico realiza los cálculos de las dosis que se van utilizar en el tratamiento y delimita las zonas que van resultar irradiadas. Para ello hacen uso de un planificador donde guardan todos estos datos. Además, estos se cargarán en otro planificador para llevar a cabo una comparación entre planes.

## 2.1. SunCHECK y DoseCHECK de SUN NUCLEAR

En particular el sistema de cálculo redundante o control de calidad, que he estado utilizando ha sido el SunCHECK de SUN NUCLEAR. [5]

SunCHECK es una aplicación web basada en servidor a la que se puede acceder desde cualquier PC en red. Está destinado a proporcionar a los profesionales de la radioterapia una plataforma que integre el control de calidad del paciente, el control de calidad de la máquina y los datos flujos de trabajo de gestión. Esta plataforma consta de una sola interfaz gráfica de usuario (GUI) y una base de datos que es destinado a proporcionar una vista centralizada de los esfuerzos de control de calidad de un departamento de radioterapia.

Además, dentro del SunCHECK se tiene la herramienta DoseCHECK.

DoseCHECK es un software que permite el cálculo de la dosis que debe ser administrada al paciente, a partir de un conjunto de parámetros específicos. Los datos de imagen y los valores de intensidad del haz se pueden especificar en un formato informático denominado DICOM RT. Información del modelo de haz para el dispositivo de administración de tratamiento especificado, es decir las características específicas del sistema de tratamiento, generalmente un acelerador lineal de electrones, se proporciona se proporciona con el software. La salida de DoseCHECK es un mapa de distribución de dosis 2D sobre la imagen del paciente, en diferentes cortes de imagen TC. La dosis resultante se puede comparar con el SPT de referencia del propio Servicio de Oncología o con la dosis calculada por separado como un medio de verificación independiente. Esta comparación permite detectar errores o imprecisiones que puedan ocurrir dentro

del cálculo como con modelado de haz, algoritmo de cálculo y correcciones de falta de homogeneidad.

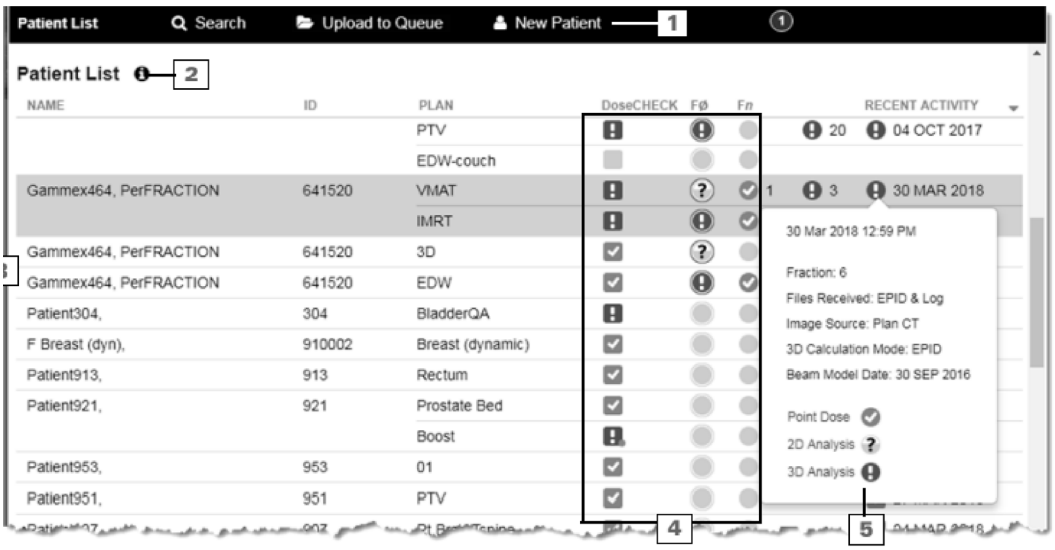



Figura 2.1: Captura de la aplicación DoseCHECK.

### 2.1.1. Datos de planificación

A continuación, se mostrarán los datos que se almacenan y se procesan en la aplicación SunCHECK. Para ello se ha escogido un caso clínico en particular de la aplicación. En este software se comparan y evalúan el sistema de planificación de tratamientos (SPT) y el sistema doseCHECK. El SPT es el sistema de cálculo de referencia con el que se planifican los tratamientos de todos los pacientes. El DS es un sistema de cálculo secundario con el que verificamos los cálculos realizados por el sistema primario. Ambos emplean algoritmos de cálculo similares basados en Superposition/Convolution pero los métodos de ajuste son distintos en ambos casos, de tal manera que el SPT primario de referencia requiere de ajustes más finos.

En primer lugar, la aplicación me permitía hacer ajustes de los parámetros que rigen la diferencia entre la dosis calculada por el sistema de Dose Check y el SPT, como la diferencia y tolerancia entre los dos planes tanto para el análisis de las dosis puntuales como en el análisis 3D de cada órgano. El estándar en radioterapia es tomar los parámetros de diferencia y tolerancia 3/3, es decir 3 % de desviación y una distancia de 3mm. Aun así, en diferentes casos se podía tomar unos parámetros más ajustados como sería un 2/2. Aun así, los criterios van a depender de la técnica radioterápica que se está evaluando, es decir si se están comparando planes de tratamientos sencillos, que no requieran campos, o configuración de haces, de tratamiento muy pequeños, así como con formas regulares, se usan criterios más exigentes como podrían ser un 2/2, pero sin embargo se trata de tratamientos de campos de tratamiento pequeños, formas irregulares o incluso técnicas dinámicas en las que el acelerador durante el tratamiento cambia la fluencia de emisión de fotones, a la vez que va variando la incidencia de los haces y cambiando la forma del campo de radiación, se usan criterios más laxos porque los cálculos en estos casos son más difíciles.

Figura 2.2: Parametros ajustables del planificador.

En la figura 2.2 podemos observar los parámetros que pueden ser modificados y ajustados a la hora de realizar la comparación entre planes de tratamiento como la diferencia relativa, la distancia entre planes y las tolerancias que se consideran razonables según la precisión de la técnica radioterápica a utilizar o las condiciones clínicas de cada paciente en particular.

Una vez introducidos los valores de los parámetros deseados el DoseCHECK hace un cálculo interno y muestra la comparación con el plan calculado por el Radiofísco Hospitalario con el SPT de referencia.

Como muestra la figura 2.3 el DoseCHECK devuelve los valores de la comparación de la dosis puntual del POI(Punto de interés). Dándonos la comparación y los valores de

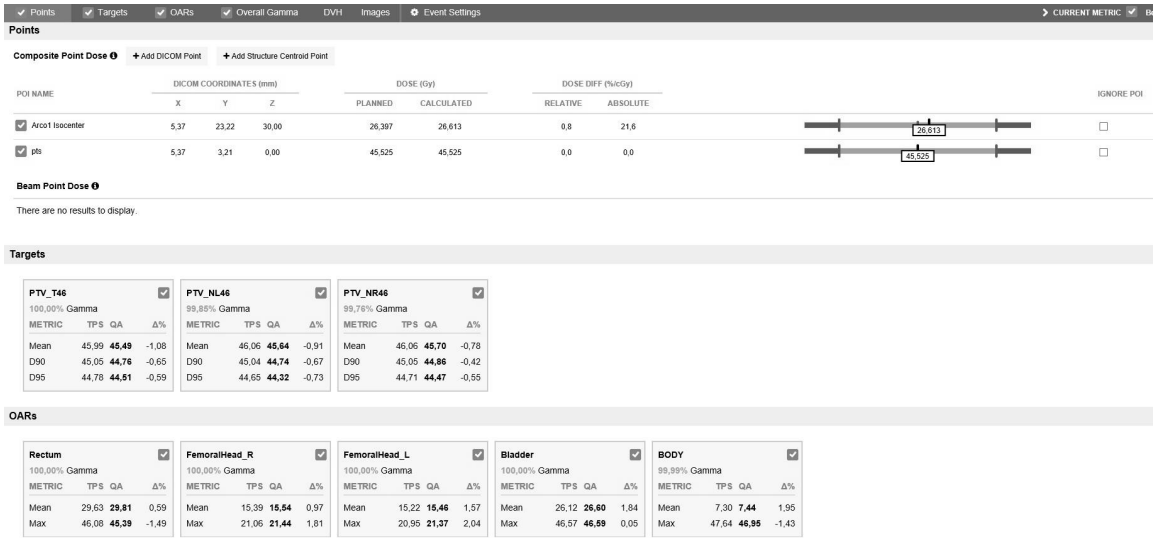



Figura 2.3: Comparación de valores de la dosis puntual del DoseCHECK.

la posición del isocentro, el isocentro es el punto en el que se cortan los ejes de rotación de gantry, colimador y mesa 1.3, la dosis prescrita por el radiofísico y la calculada por el software y también la diferencia de dosis entre los dos planes.

Por otro lado, la aplicación hace un análisis 3D, es decir, compara los dos planes mediante las imágenes 3D de las estructuras y sus distribuciones de dosis tridimensionales que se manejan en cada órgano afectado por el plan, haciendo una distinción entre Targets(PTV) y OARs. En este análisis el software nos proporciona los valores y las diferencias de la dosis entre los dos planes para cada órgano delimitado por los radiofísicos.

Además, en este análisis se muestra un valor muy importante a la hora de comparar dos planes, el índice gamma.

El índice gamma es una medida que valora como de parecidas son las dos distribuciones de dosis en los dos planes. El índice gamma mide la diferencia que hay en valores de dosis por pixel en la imagen, y a que márgenes de incertidumbre se podrían considerar, en la distancia entre píxel, para que las distribuciones de dosis se considerasen similarmente aceptables. Es decir, que el índice gamma nos permite cuantificar la diferencia entre dos distribuciones de dosis en función de diferencias absolutas de dosis entre píxel y distancias entre pixel del mismo valor de dosis. [6]

Un mal índice gamma significa que los dos planes no se solapan el uno al otro y que por lo tanto esta diferencia tiene una implicación clínica, es decir que la dosis recibida por el paciente distaría de la aceptada por el Oncólogo Radioterápico.

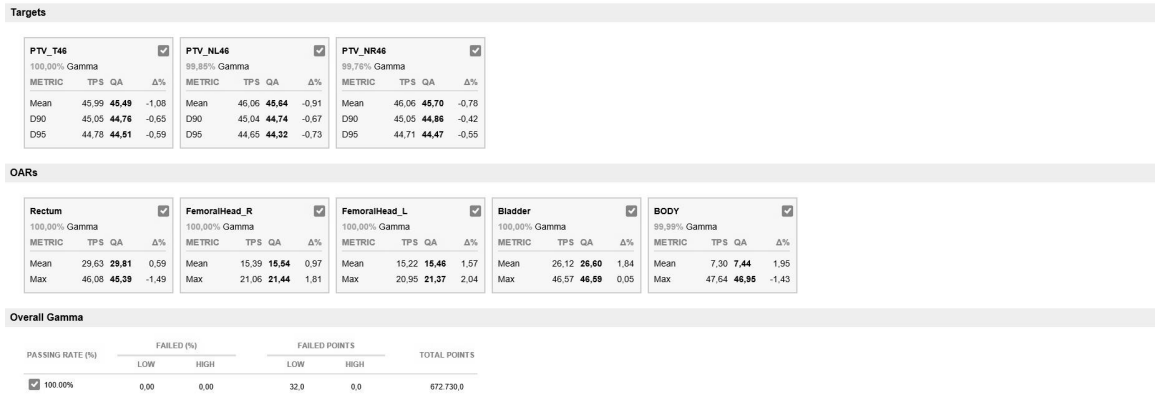



Figura 2.4: Valores del análisis de estructuras 3D por órgano y valor del gamma general

En las figuras 2.3 y 2.4 de pueden observar valores distintos del índice gamma. Por un lado, el índice gamma para cada órgano, en este caso el porcentaje de dosis se refiere al valor de la dosis en ese órgano, es decir, como de bien se ajustan los dos planes en ese órgano. En cambio, el gamma general 'overall gamma' da el porcentaje de como de bien se ajustan los dos planes en general teniendo en cuanta todos los órganos.

Otro de los apartados importantes en el análisis de las estructuras 3D es la visualización de los histogramas dosis-volumen (DVH). Los DVH permiten relacionar la dosis y el volumen en cada uno de los volúmenes de interés, especialmente en el PTV y en los órganos de riesgo.

En la figura 2.5 se pueden observar los histogramas dosis volumen para cada órgano de los dos planificadores y así poder observar alguna discrepancia grande entre ellos. El histograma Representa el volumen de estructura que recibe una dosis mayor o igual a esa dosis, por ejemplo, para una estructura que recibe una dosis muy homogénea

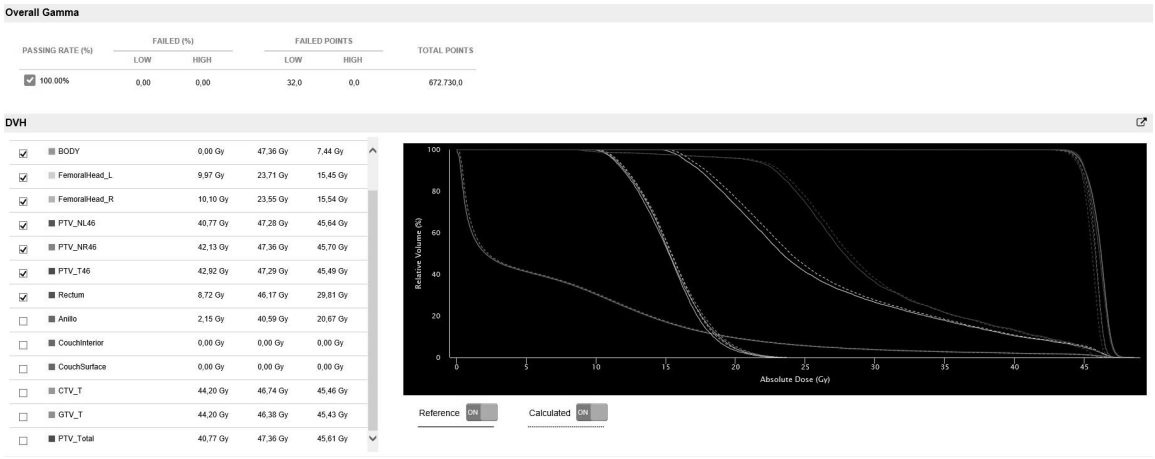



Figura 2.5: Histogramas de volumen de dosis(DVH) de cada órgano.

(el 100 % del volumen recibe exactamente 10 Gy, por ejemplo), el DVH aparecerá como una línea horizontal en la parte superior del gráfico, al 100 % del volumen representado verticalmente, con una caída vertical a 10 Gy en el eje horizontal. El DVH resume las distribuciones de dosis en 3D 2.6 en un formato gráfico 2D.

Por último, el DoseCHECK también permite visualizar las imágenes tomadas en el TC añadiendo las distribuciones de dosis y los volúmenes que se verán afectados en el tratamiento.

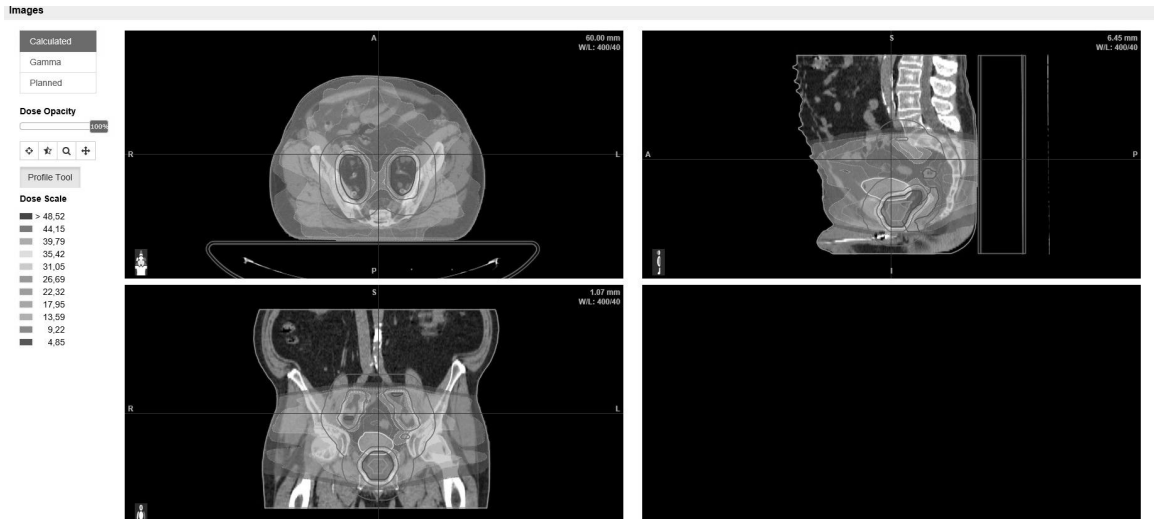



Figura 2.6: Imagen 3D de los órganos con sus respectivas dosis.

# 3. Extracción de datos

Una vez familiarizados con la aplicación de SunCHECK los radiofísicos querían la forma de obtener estos datos de forma general para poder hacer un análisis sobre los planes. Para poder satisfacer las necesidades de los radiofisiscos y darle un nuevo uso al software de SunCHECK, se buscaron diferentes formas de extraer los datos. El primero de ellos fue directamente desde la aplicación ya que sería el más natural para los radiofísicos y el más directo. En este caso, solo permitía bajarse un único archivo por paciente. El archivo en formato DICOM almacena todos los datos registrados del paciente. Pero este archivo no está anonimizado, por lo que, no se puede extraer fuera de los ordenadores del hospital.

## 3.1. Formato DICOM

El formato DICOM 'Digital Imaging and Communications in Medicine' Es un estándar internacional para imágenes médicas. Cualquier imagen médica DICOM consta de dos partes: un encabezado y la imagen real en sí. El encabezado consta de datos que describen la imagen, siendo los más importantes los datos del paciente. Esto incluye la información demográfica del paciente, como el nombre, la edad, el sexo y la fecha de nacimiento del paciente. El encabezado también puede brindar información sobre las características de la imagen, como los parámetros de adquisición, la intensidad de los píxeles, el tamaño de la matriz y las dimensiones de la imagen. Cuando se abre un explorador de archivos para ver datos de imágenes médicas DICOM, el encabezado puede brindar información sobre el paciente y la imagen. El encabezado suele estar codificado en la imagen para que el paciente al que pertenece la imagen pueda identificarse fácilmente.

Los datos de imágenes médicas DICOM no se pueden abrir con el software de imágenes normal presente en sistemas operativos como Windows o Mac OS. Es necesario instalar un visor DICOM médico especial para recuperar, ver y acceder a los archivos de imágenes médicas DICOM. Por lo tanto, es importante saber cómo usar este formato, cuáles son algunas aplicaciones relevantes y cómo acceder a la información y las funciones que contiene.

La primera propuesta fue intentar leer los datos del archivo en otra aplicación y ver que datos estarían disponibles para manejar en los casos particulares. Para ello, se buscaron diferentes maneras para poder manejar este tipo de datos y al final se utilizó una librería de Python en concreto la librería "pydicom". Esta librería permite leer modificar y volver a guardar este tipo de archivos.

A continuación, se muestra un ejemplo donde se lee los datos básicos de un paciente.

Extracto de código 3.1: Código de python para leer ficheros DICOM

```
import os
import pydicom
import numpy as np
from PIL import Image
import matplotlib.pyplot as plt
# Llame al archivo dicom local
folder_path = r"C:\Users\julen\Desktop\Hospital\Datos\↩
   Export_PERONE DCHO\RTDose"
file_name = "DicomFile20220303 082803-257.dcm"
file_path = os.path.join(folder_path,file_name)
ds = pydicom.dcmread(file_path)
print(ds.file_meta)
print("\n")
print("Id paciente: ",ds.PatientID)
print("Fecha estudio: ",ds.StudyDate)
print("Modalidad",ds.Modality)

dvh=ds.DVHSequence
#print(dvh)
datos=dvh._list
print(datos[0])
d=datos[1]
```

Otra extracción que les pareció interesante a los radiofísicos fue la de extraer los DVH?? ya que de esta manera se podrían hacer diferentes análisis sobre estos. A continuación, se muestra el extracto de código utilizado para obtener el DVH de un paciente

Extracto de código 3.2: Código de python para extraer los DVH del paciente

```
import os
from dicompylercore import dicomparser, dvh, dvhcalc
import matplotlib.pyplot as plt
folder_path = r"C:\Users\julen\Desktop\Hospital\Datos\↩
   Export_ParedDch_IMRT\RTStructure"
file_name = "DicomFile20220308 083459-143.dcm"
file_path = os.path.join(folder_path,file_name)
dp = dicomparser.DicomParser(file_path)
structures = dp.GetStructures()
folder_path = r"C:\Users\julen\Desktop\Hospital\Datos\↩
   Export_ParedDch_IMRT\RTDose"
file_name = "DicomFile20220308 083459-145.dcm"
file_path1 = os.path.join(folder_path,file_name)
rtdose = dicomparser.DicomParser(file_path1)
dvh1 = dvh.DVH.from_dicom_dvh(rtdose.ds, 7)
print(structures[7])
dvh1.describe()
dvh1.max, dvh1.min, dvh1.D2cc
```

```
calcdvh = dvhcalc.get_dvh(file_path, file_path1, 7)
calcdvh.describe()
calcdvh.max, calcdvh.min, calcdvh.D2cc
calcdvh.D01cc
# = dvhcalc.get_dvh(file_path, file_path1, 7)
#origscar
#%%
x=dvh1.bincenters
y=dvh1.counts
x1=calcdvh.bincenters
y1=calcdvh.counts
plt.plot(x, y, 'b', x1, y1, 'r')
plt.legend(('DVH Plan', 'DVH Calculado',))
p1, p2 = plt.plot(x,y, x1,y1)
plt.legend(('DVH Plan', 'DVH Calculado'))
plt.figure(figsize=(12, 5))
plt.show()
```

Estas líneas nos dan como salida los DVH de un órgano en específico además leyendo la bibliografía de la librería pydicom[7] nos dimos cuenta que la propia librería permitía con los datos que se tenían en el archivo DICOM realizar un nuevo cálculo de las distribuciones de dosis y dibujar nuevos DVH. La pega al realizar esto era que no se sabía muy bien que criterio utilizaba la librería para realizar dichos cálculos por lo que en un principio no se tomarían para realizar un análisis. A continuación, se muestra las salidas por consola de las líneas de código:

```
Valores de dosis del paciente:
Structure: None
-----
DVH Type:  cumulative, abs dose: Gy, abs volume: cm3
Volume:    208.43 cm3
Max Dose:  43.30 Gy
Min Dose:  0.37 Gy
Mean Dose: 39.35 Gy
D100:      0.36 Gy
D98:       28.03 Gy
D95:       32.56 Gy
D2cc:      42.24 Gy
Valores de dosis calculados:
Structure: CTV pared dcha
-----
DVH Type:  cumulative, abs dose: Gy, abs volume: cm3
Volume:    210.42 cm3
Max Dose:  43.30 Gy
Min Dose:  2.66 Gy
Mean Dose: 39.92 Gy
D100:      2.65 Gy
D98:       33.46 Gy
D95:       36.21 Gy
D2cc:      42.47 Gy
```

Figura 3.1: Salida en consola de los valores de los puntos de interés de los DVH

En la figura3.1 observamos como se pueden obtener diferente valores y también calcular unos diferentes como los valores de los d95, d98 y d100. Estos puntos se refieren a los puntos de los DVH donde se deposita el 95 % de la dosis, el 98 % y el %100 de la dosis.

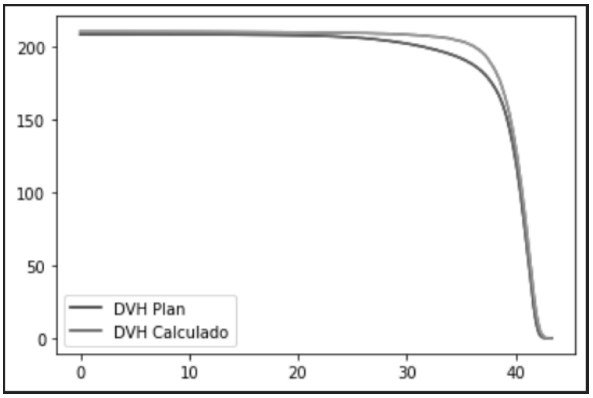



Figura 3.2: DVH del paciente y DVH calculado pintados en Python

## 3.2. Extracción con SQL

Al ver que con el formato DICOM solo se podría extraer uno a uno los datos de los pacientes se buscó la manera de extraer los datos de los pacientes masivamente mediante consultas de SQL ya que una parte de los datos se almacenan en una base de datos mediante SQL. Para ello, se tuvo que poner en contacto con la empresa SUN NUCLEAR. Nos redirigieron con un informático y este nos permitió el acceso a la base datos mediante SQL server management studio. Una vez se tuvo el acceso se realizaron diferentes reuniones con el informático para aclarar la base de datos y poder saber que datos estaban almacenados y eran extraíbles mediante las consultas de SQL. Desgraciadamente no todos los datos se encontraban almacenados en esta base de datos. Aun así, se decidió seguir adelante ya que permitiría obtener algunos datos importantes de forma masiva y no tener que estar descargando uno a uno los planes de los pacientes.

En primer lugar, se buscó la manera sacar los datos generales de las dosis y para ello se crearon dos consultas. La primera, obtenía los valores de la dosis puntual 6.1.

Como se observa en la figura 3.3 Esta consulta nos devuelve los valores de las dosis prescritas por el radiofísico la dosis que se aplica en el plan y la diferencia entre ellas para cada paciente.

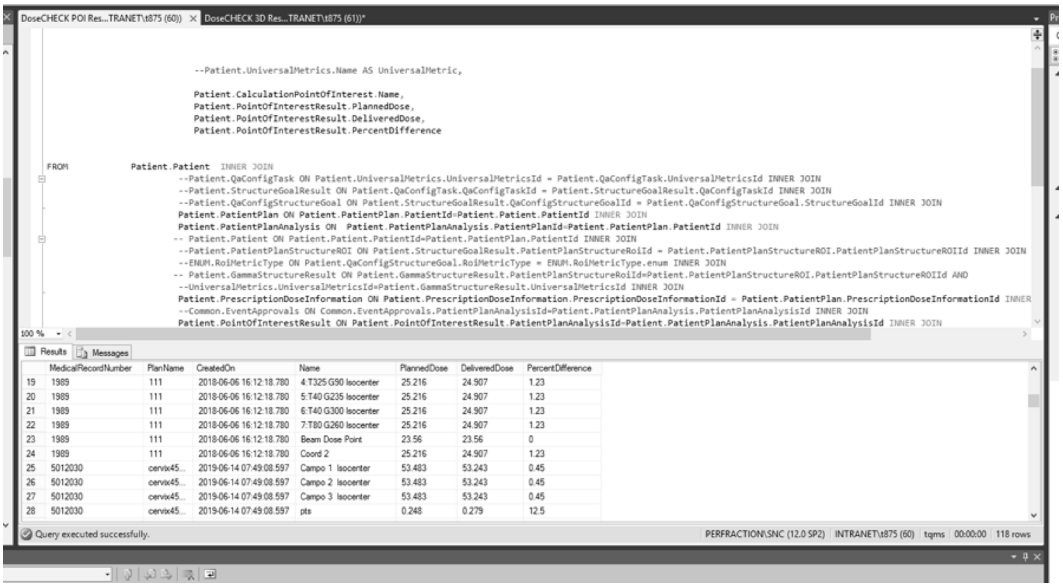


Figura 3.3: Salida del script de SQL de la dosis puntual

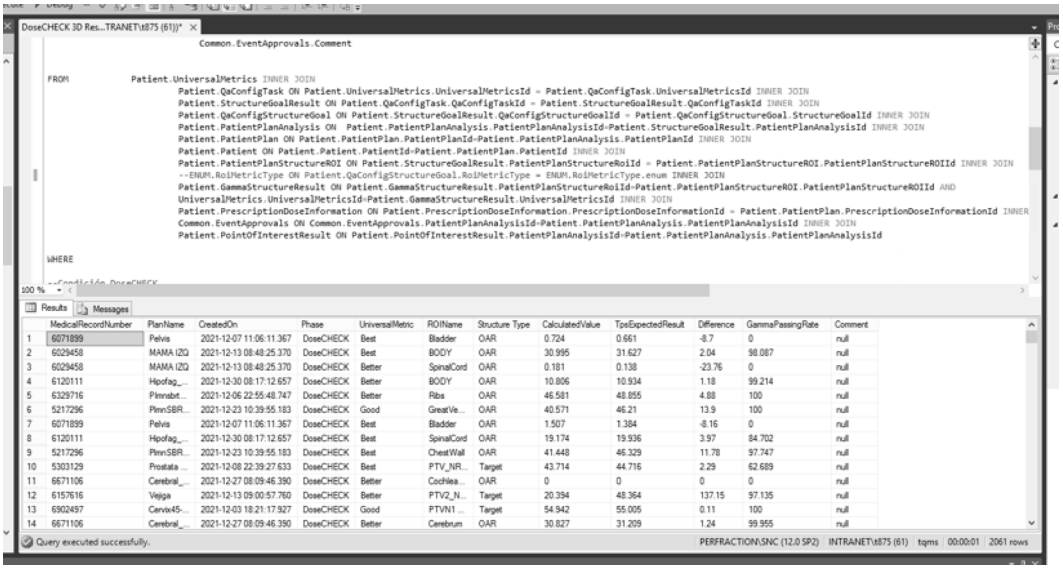


Figura 3.4: Salida de la consulta de SQL de los datos de la estructura 3D

En la figura 3.4 la consulta devuelve las dosis que se manejan en cada órgano del plan además de mostrar el tipo de estructura que es (OAR o Target). Además, esta consulta permite obtener los valores gamma por órgano, dato muy interesante a la hora de realizar un análisis.

Por último, se modificó el código 6.2 para que se pudiera filtrar la salida en base a los parámetros de diferencia y tolerancia 6.3. Estas consultas se realizaron sobre la base de datos que tenía el propio software.

Se obtuvieron diferentes consultas donde el número de filas variaba mucho y tras analizar el número de pacientes se observó que se tenían en torno a 500 pacientes registrados, pero a la hora de mirar cuantos pacientes tenían todas las prescripciones y el análisis realizado el número se reducía drásticamente.

## 3.3. Problemas de la extracción

A la hora de obtener los diferentes datos que se muestran en este capítulo se tuvieron diferentes problemas con los que lidiar.

En primer lugar, se intentó obtener los datos utilizando la misma aplicación, es decir descargar directamente los planes de los pacientes desde el SunCHECK. Este procedimiento era muy engorroso ya que era difícil obtener los datos, y además, solo permitía obtener los datos de un caso clínico cada vez que se hacia la descarga. Esto, si se quiere hacer un análisis especifico de un caso en particular está muy bien y a pesar de ser en un formato que solo utilizan los radiofísicos el formato DICOM se pudo obtener una manera de manejar estos datos dentro del entorno de Python como se muestra en el 3. Aun así, el hecho de que solo se pudiera manejar un caso únicamente complicaba el proceso de poder realizar un análisis general de los datos ya que supondría el tener que ir descargando los archivos de cada paciente uno a uno manualmente.

Por ello, se optó por intentar obtener los datos utilizando consultas de SQL. Esta parte resulto ser la más complicada ya que al principio no tenía ninguna idea de la base de datos que se utilizaba e incluso al saber que se podrían utilizar consultas de SQL primero tuvimos que ponernos en contacto con la empresa y poder ir cuadrando reuniones explicativas de la base de datos y que consultas serian posibles realizar. Una vez se obtuvo el acceso, se intentó sacar los mismos datos que se podían adquirir de forma manual pero desafortunadamente solo una parte de los datos estaba en la base de datos que utilizaba SQL. Los otros datos, los que eran referentes a los histogramas dosis-volumen (DVH) y las imágenes clínicas con sus dosis se almacenaban en otra base de datos (MongoDB) y a esta no era posible tener acceso ya que implicaría de apertura de puertos. Por lo que se decidió intentar sacar la máxima información disponible de esta base de datos.

A la hora de sacar los datos mediante consultas se observó que cuando se utilizaba un INNER JOIN 6.1 para la dosis de prescripción del paciente, es decir obtener los valores de la dosis de prescripción, el número de pacientes se reducía y esto no debería pasar. Una vez más, se contactó con el informático de la empresa y se analizó este problema para intentar averiguar las posibles causas de esta discrepancia.

Se comprobó que la razón por la que el número de pacientes se redujera en esta consulta era que si los radiofísicos no introducían la dosis de prescripción del paciente, cosa que deben realizar a la hora de utilizar la aplicación, la consulta sólo mostraba los pacientes con dicho valor introducido, y esto ocasionaba que cuando la consulta no pedía este valor se mostraban todos los pacientes registrados, pero al pedir este dato únicamente aparecían los pacientes a los que a la hora de registrarlos si se le había añadido la dosis prescrita.

Una vez resuelto este problema o duda de la base de datos y continuamos con la extracción de los datos del análisis 3D para cada estructura 6.3 con el valor gamma el número de pacientes seguía sin coincidir. Al final, resulto que para los casos más antiguos de la aplicación estos datos no estaban disponibles. A continuación, se muestra un ejemplo de este problema y se compara con otro que no lo tiene:

La primera figura 3.5 no tiene el análisis Points, Targets y OARs (dosis puntual y

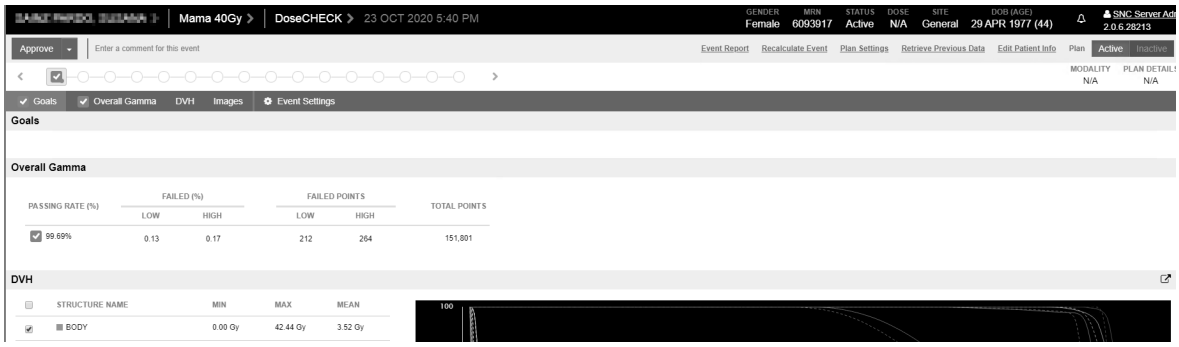



Figura 3.5: Captura del plan de un paciente al que le falta el análisis Points, Targets y OARs

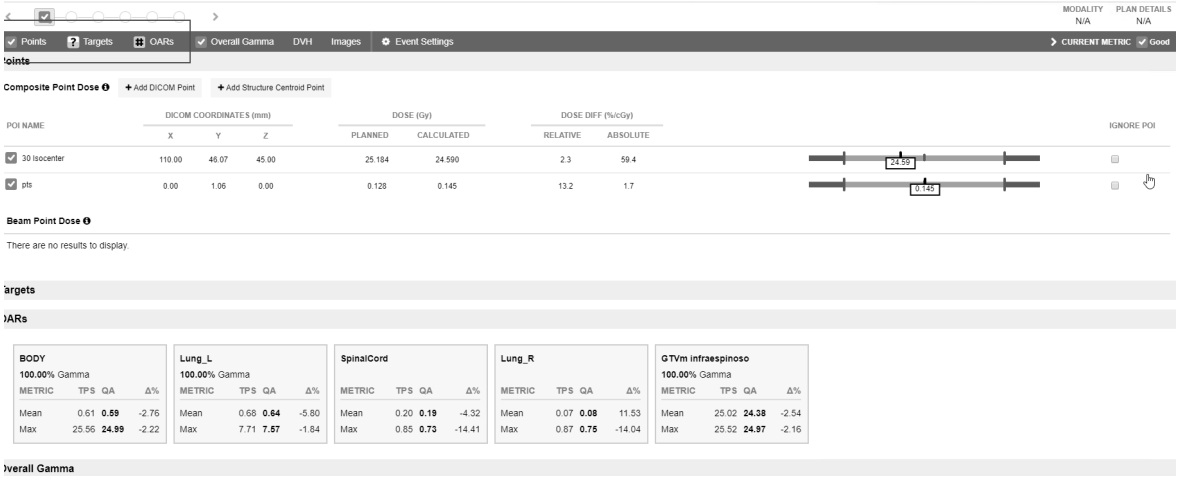



Figura 3.6: Captura del plan de un paciente que si tiene el análisis Points, Targets y OARs

gamma 3D que se extrae del script) disponible, mientras que el de la figura 3.6sí. Si en la consulta que combina dosis puntual y gamma un paciente no tiene ambos análisis, no se mostrará nada.

Por último, un problema general tanto si se hacia la extracción mediante SQL o mediante la aplicación del SunCHECK era que los datos no estaban anonimizados. Para ello, en la parte de la extracción de mediante SQL solo se mostraba la ID del paciente y la fecha de creación del plan datos que servían para llevar un mejor control pero que si se desea se pueden suprimir. En el caso de descargar los datos se tendrían que anonimizar en otra aplicación.

# 4. Análisis

Una vez realizadas las consultas de los datos utilizando SQL se copiaron a un Excel, ya que, las tablas se mostraban en el propio SQL server management studio por lo que la manera más sencilla de poder trabajar con estos data frames era copiar las tablas a Excel para leerlos y empezar a trabajar con ellos en Python. A continuación, se muestra el análisis obtenido de los datos.

Para el análisis principal como el número de casos y la información de la base de datos era muy reducido se intentó realizar un análisis estadístico. Para ello, se utilizó el índice gamma ya que como se mencionó en el capítulo 2 este índice nos da un valor de como de 'bueno' es el plan. En primer lugar, se obtuvo un recuento de los valores gamma.

```
: df_3["GammaPassingRate"].value_counts
```

```
: 100.00    9296
  0.00      4402
  99.73       96
  95.68       96
  1.22        84
  85.99       84
  69.34       78
  99.97       72
  99.29       66
  99.96       64
  88.38       52
  87.85       48
  69.61       48
  95.06       42
  99.41       36
  83.80       36
  73.63       32
  83.17       32
  99.81       32
```

Figura 4.1: Recuneto de los valores gamma para un análisis 3/3

Como se tenían muchos valores cercanos al 100 % se realizó un Histograma del índice gamma en bloques de 5 % para poder observar cuantos valores se tienen superiores al 95 % y cuantos bajaban de este porcentaje. Es valor no se escogió arbitrariamente ya que se toma 95 % como un umbral para discernir entre un plan bueno o que se puede llevar a cabo con otro plan que requeriría un ajuste.

Como se observa en la figura 4.2 la mayoría de valores para el índice gamma es del 100 % por lo que no se puede visualizar muy bien que pasa con el resto de valores de gamma. Cambiamos la escala del eje para mejor visualización

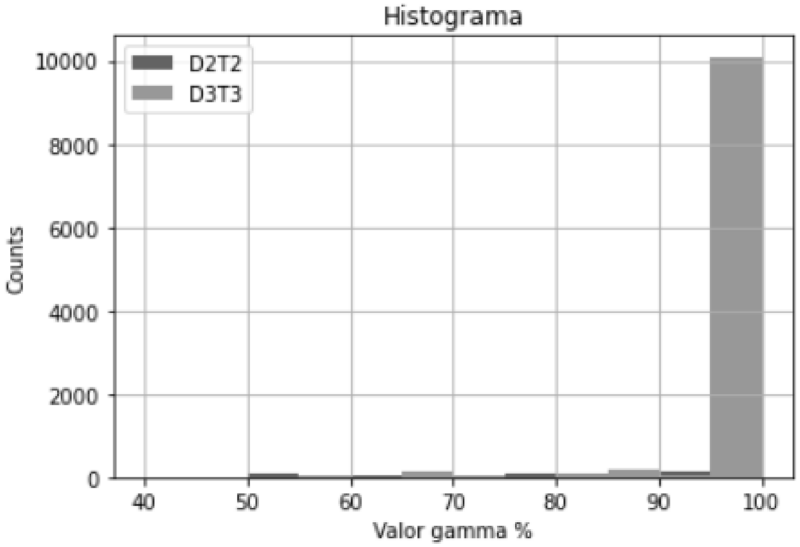



Figura 4.2: Histograma de los índice gamma para los ajustes de diferencia 3/3 y 2/2

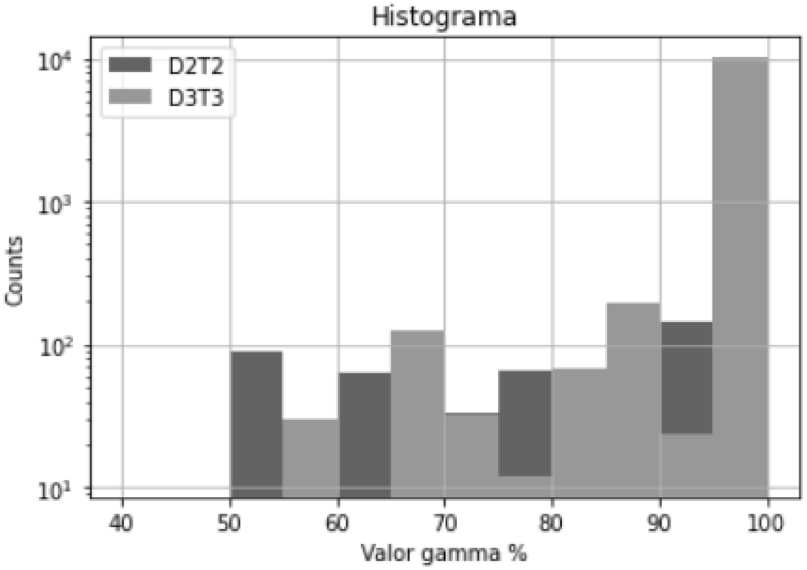
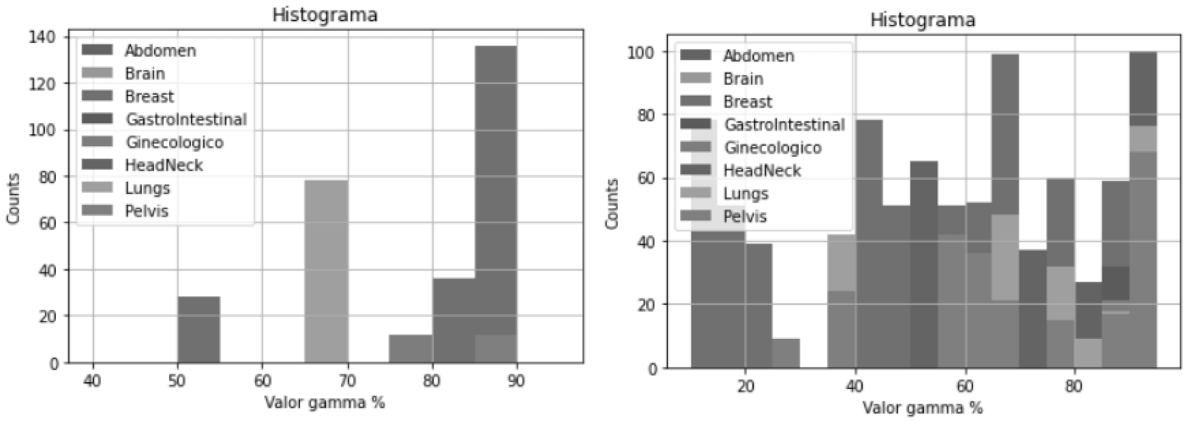



Figura 4.3: Histograma de los índice gamma para los ajustes 3/3 y 2/2 en escala logarítmica

Como se observa en la figura 4.3 La mayoría de planes tiene un índice gamma del 100 %. Aun así, se observan bastantes índices inferiores al 95 %. En cuanto a la diferencia entre escoger un 2/2 o 3/3 en principio no se observa ningún cambio a rasgos generales en los índices gamma.

Lo siguiente que se hizo fue separar los índices gamma por zonas del cuerpo. A continuación, se muestra el histograma:




(a) Ajuste 3 % 3mm

(b) Ajuste 2 % 2mm

Figura 4.4: Histograma de los índice gamma inferiores al 95 % para los ajustes de diferencia separados por zonas corporales

En la figura 4.4 se puede observar como para los ajustes 3/3 las zonas que mayor error o menor precisión tenían eran las correspondientes a los senos y pulmones, es decir, la zona del pecho. En el caso del ajuste 2/2 estas dos zonas siguen teniendo el mayor número de índices gamma inferiores al 95 %, aun así, otras zonas aparecen en este caso como el de la pelvis. Esto se puede deber a que un ajuste 2/2 es más preciso y es más fácil que se obtengan valores inferiores del índice gamma. En el caso de los senos y los pulmones como eran las zonas con peores índices se obtuvieron los ID de los pacientes para poder identificar en la aplicación que pacientes eran y por qué podría estar ocurriendo esta caída del índice gamma.

```
In [10]: Breast = df3_Breast.loc[df3_Breast["GammaPassingRate"] > 0]
         Breast=df3_Breast.loc[df3_Breast["GammaPassingRate"] < 95]
         Breast['MedicalRecordNumber'].unique()

Out[10]: array([6005726, 6630271, 6687338, 6029458, 6620726, 6829849, 5022675,
                6026860, 6162607, 6815981,  266729, 6032201, 6262914, 5274048,
                6737117, 5091478, 6550185, 6320705, 6610013, 6073253, 6363281,
                6428622, 6410026, 5092616, 5037848], dtype=int64)

In [11]: Lungs= df3_Lungs.loc[df3_Lungs["GammaPassingRate"] > 0]
         Breast=df3_Lungs.loc[df3_Lungs["GammaPassingRate"] < 95]
         Lungs['MedicalRecordNumber'].unique()

Out[11]: array([6329716, 5099460, 5048999, 5136850, 5217296, 5055995, 6025460,
                5121424, 5182894, 6058225], dtype=int64)
```

Figura 4.5: Valores de los ID de los pacientes con un índice gamma inferior del 95 %.

## 4.1. Separación Targets y OARs

Otra separación interesante fue la de los Targets y OARS, es decir, mirar donde se tenía menos precisión en las zonas que se querían irradiar (los Targets o PTV) o los órganos de riesgo que se ven afectados en el tratamiento (OARs).

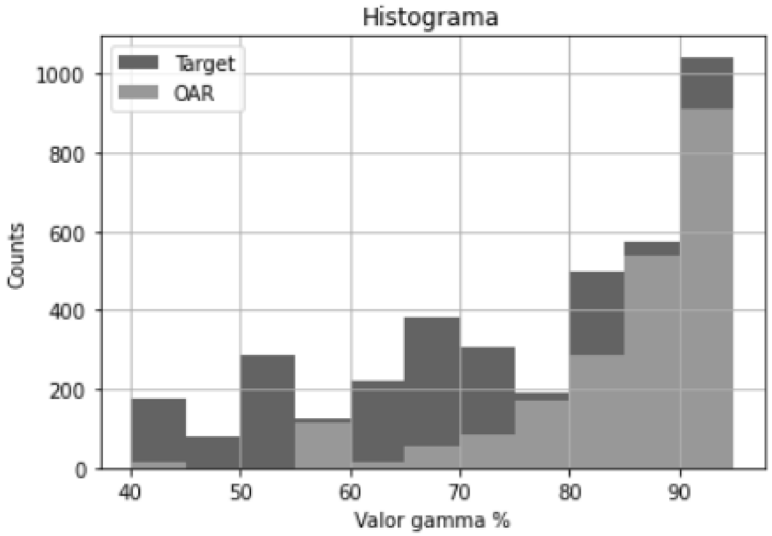



Figura 4.6: Histograma de los índice gamma para los ajustes de diferencia 3 % distancia 3mm diferenciando OARs y Targets

En la figura 4.6 se puede observar que en general hay peores índices para los targets o PTV. Aun así, no es una diferencia muy grande. Lo siguiente que se hizo fue volver a separar los índices por zonas del cuerpo, pero manteniendo la separación de Targets y OARs. En este caso como se vio que la mayoría era para 'Breast' o 'Lungs' se separó en esas dos zonas.

Se puede observar en la figura4.7 como en la mayoría de casos el índice es superior al 100 %.Aun así, se observan valores inferiores por lo que se hace un zoom en esos valores:

Se puede observar en la figura 4.8 como los índices más bajos se siguen dando en los Targets. Aun así, en la zona de los senos los órganos de riesgo presentan bastantes índices gamma inferiores al 95 %. Por ello, se volvió a obtener los ID de los pacientes con un índice gamma inferior al 95 % en los targets.

Un análisis general de los índices gamma sugiere que en la mayoría de casos los planes son satisfactorios, siendo la gran mayoría superiores al 95 % figuras 4.2 y 4.3. Aun así, en las zonas del pecho se dan más anomalías y estos índices pueden llegar a reducirse. Esto puede deberse a que la zona del pecho presenta más zonas del cuerpo con menos densidad como son los pulmones y las mamas y el ajuste de la radiación en estos casos es más complicado y puede ser una de las razones por la que se encuentra mayor número de índices menores al 95 %. Por otro lado, con los pacientes que se encontraron con valores de gamma menores al 95 % se observó en la aplicación de SunCHECK que la mayoría eran casos de mujeres de más de 45 años.

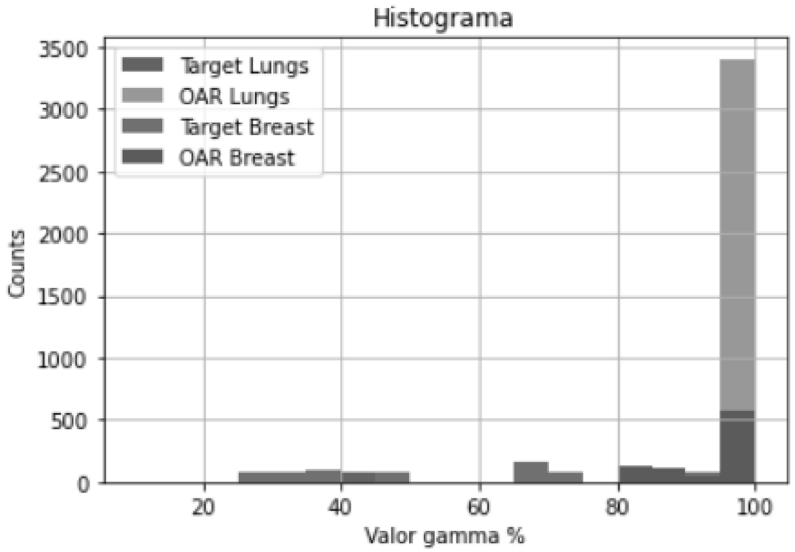



Figura 4.7: Histograma de los índice gamma para los targets y OARs de las zonas del seno y pulmones.

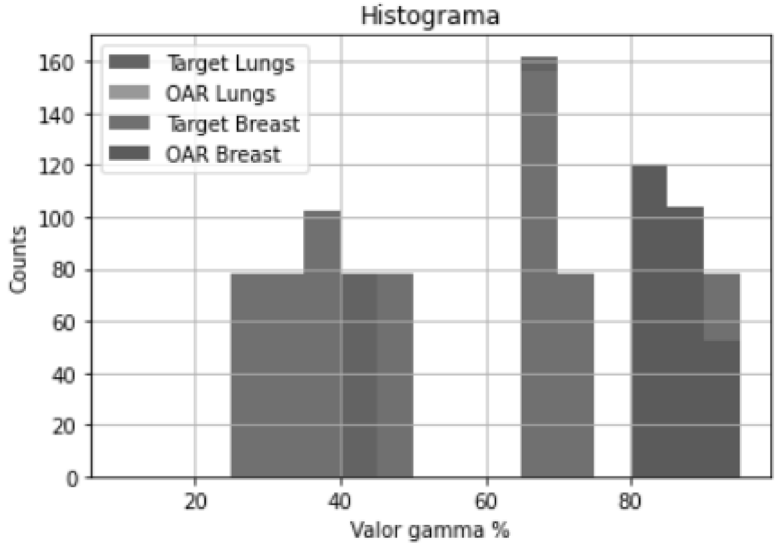



Figura 4.8: Histograma de los índice gamma inferiores al 95 % para los targets y OARs de las zonas del seno y pulmones.

```
In [16]: Target = dfTarget.loc[dfTarget["GammaPassingRate"] > 0]
         Target=dfTarget.loc[dfTarget["GammaPassingRate"] < 95]
         Target['MedicalRecordNumber'].unique()

Out[16]: array([7012581, 6005726, 5128217, 6588090, 6687338, 6075353, 6222742,
                6252263, 6000537, 5303129, 6456766, 6485104, 5217296, 6026860,
                5173348, 6120111, 7105159, 6001036, 6162607, 6815981, 6058225,
                6474763, 5274048, 6737117, 5091478, 6550185, 5031920, 6320705,
                6610013, 7113043, 5020767, 6399144, 6012037, 5037186, 5131122,
                6363281, 6428622, 6146391, 6447063, 6414885], dtype=int64)
```

Figura 4.9: Valores de los ID de los pacientes con un índice gamma inferior del 95 % en los targets.

Por último, destacar que este desarrollo en Python junto con las consultas de SQL facilita en gran medida el análisis general de los planes y ofrece una herramienta a los radiofisícos para detectar planes de tratamiento malos y obtener de que paciente se trata. Si juntamos esto con el software de DoseCHECK los radi físicos podrían revisar los planes de forma general mucho más rápido gracias a estas herramientas.

# 5. Conclusiones y futuros proyectos

En este trabajo se ha abordado el problema del análisis de un sistema de control de calidad del Sistema de planificación de tratamientos del servicio de oncología Radioterápica del HUMV. Para ello, se ha llevado a cabo el estudio del software SunCHECK de SUN NUCLEAR, además, se han buscado diferentes maneras de acceder a los datos almacenados en la aplicación y se han creado herramientas para su extracción y análisis.

Para poder llevar a cabo la extracción de los datos, primero se tuvo que familiarizar con los datos registrados en la aplicación, entender que parámetros utilizaba, que valores les resultaban interesantes a los radiofísicos y también, estudiar qué posibilidades ofrecía el propio software con el que se ha estado trabajando. A pesar de que la extracción no era muy sencilla sobre todo a la hora de obtener los datos de todos los pacientes a la vez, ya que la aplicaión solamente ofrecía la posibilidad de descargar los datos de un paciente cada vez, resultó que se pudo acceder a la base de datos y mediante consultas de SQL se logró obtener acceso a diferentes datos de los pacientes y poder extraerlos de forma masiva. Para ello, se crearon diferentes consultas SQL la primera para los valores de dosis del paciente y las otras, para obtener los valores del análisis 3D de las estructuras pudiendo filtrarlos en función de diferentes parámetros como la diferencia y distancia, también en función de la zona del cuerpo o tipo de órgano (Target u OARs). Además, con las consultas del análisis 3D se han podido obtener los índices gammas por órgano, siendo esta una medida de como de bueno es el plan y si la radiación se está dando correctamente. A rasgos generales, se ha podido comprobar que en la mayoría de planes los índices gamma son satisfactorios superando el 95 % 4.2. Aun así, se han podido observar casos donde el índice bajaba del 95 % con un sesgo hacia las zonas del pecho en concreto los senos y los pulmones 4.4a debido a las altas inhomogeneidades de estas regiones anatómicas, ya que los algoritmos de cálculo son mas imprecisos.

Por otro lado, uno de los factores más limitantes a la hora de realizar el análisis general de los datos fue que no se tenía acceso a ninguna variable ajustable en cuanto a los planes por lo que el análisis más adecuado y que más información otorgaba era sobre el índice gamma. Además, el número de pacientes era relativamente bajo puesto que solo llevan utilizando este sistema 3 años y no todos los datos estaban bien registrados. Ejemplo de ello era el valor de la dosis prescrita, en muchos casos los radiofísicos no introdujeron este dato y esto dificultaba tanto la extracción mediante la base datos como el posterior análisis. Este trabajo sirvió al departamento para darse cuenta en el departamento del fallo que estaban cometiendo de no introducir estos datos.

El programa desarrollado permite un acceso sistemático a las variables que afectan al tratamiento que permitirá, especialmente si se comienzan a guardar de forma sistemática un conjunto mayor de variables, realizar estudios más detallados sobre los planes, además de poder reconocer en que planes se están dando los valores más conflictivos del índice gamma, para así, poder observar que está sucediendo en ese caso clínico y poder efectuar algún cambio si fuese necesario.

Como conclusión, destacar que el mayor valor de este trabajo ha sido el de proporcionar a los radiofísicos de una nueva herramienta para poder extraer y analizar sus datos además de darle más valor a la herramienta SunCHECK y alentar a los radiofísicos en el uso de esta herramienta que ofrece un análisis desde otra perspectiva y con resultados distintos de los que ofrece el software de SUN NUCLEAR y a que almacenen una mayor cantidad de datos y analicen sus planes de forma más completa con esta aplicación. Aunque, como se ha dicho, la cantidad de datos y de casos es limitada y no permite sacar grandes conclusiones, se ha transmitido al servicio la potencialidad de estas técnicas como una herramienta más a su alcance para afinar sus tratamientos mediante el estudio de los resultados en casos anteriores.

# 6. Anexo

## 6.1. Codigos SQL

Script para la extracción de los datos de la dosis puntual:

Extracto de código 6.1: Consulta de SQL para obtener los datos de la dosis puntual de los pacientes

```
use [tqms]

select distinct Patient.Patient.MedicalRecordNumber, ↩
   Patient.PatientPlan.Name AS PlanName, Patient.↩
   PatientPlan.CreatedOn,



                              --Patient.UniversalMetrics.Name↩
                                  AS UniversalMetric,

                              Patient.↩
                                 CalculationPointOfInterest.↩
                                 Name,
                              Patient.PointOfInterestResult.↩
                                 PlannedDose,
                              Patient.PointOfInterestResult.↩
                                 DeliveredDose,
                              Patient.PointOfInterestResult.↩
                                 PercentDifference


FROM            Patient.Patient  INNER JOIN
                         --Patient.QaConfigTask ON Patient.↩
                            UniversalMetrics.↩
                            UniversalMetricsId = Patient.↩
                            QaConfigTask.UniversalMetricsId↩
                             INNER JOIN
                         --Patient.StructureGoalResult ON ↩
                            Patient.QaConfigTask.↩
                            QaConfigTaskId = Patient.↩
                            StructureGoalResult.↩
                            QaConfigTaskId INNER JOIN
                         --Patient.QaConfigStructureGoal ON↩
                             Patient.StructureGoalResult.↩
```

```
    QaConfigStructureGoalId = ↩
    Patient.QaConfigStructureGoal.↩
    StructureGoalId INNER JOIN
 Patient.PatientPlan ON Patient.↩
    PatientPlan.PatientId=Patient.↩
    Patient.PatientId INNER JOIN
 Patient.PatientPlanAnalysis ON  ↩
    Patient.PatientPlanAnalysis.↩
    PatientPlanId=Patient.↩
    PatientPlan.PatientPlanId INNER↩
     JOIN
-- Patient.Patient ON Patient.↩
   Patient.PatientId=Patient.↩
   PatientPlan.PatientId INNER JOIN
 --Patient.PatientPlanStructureROI ↩
    ON Patient.StructureGoalResult.↩
    PatientPlanStructureRoiId = ↩
    Patient.PatientPlanStructureROI↩
    .PatientPlanStructureROIId ↩
    INNER JOIN
 --ENUM.RoiMetricType ON Patient.↩
    QaConfigStructureGoal.↩
    RoiMetricType = ENUM.↩
    RoiMetricType.enum INNER JOIN
-- Patient.GammaStructureResult ON ↩
   Patient.GammaStructureResult.↩
   PatientPlanStructureRoiId=↩
   Patient.PatientPlanStructureROI.↩
   PatientPlanStructureROIId AND
 --UniversalMetrics.↩
    UniversalMetricsId=Patient.↩
    GammaStructureResult.↩
    UniversalMetricsId INNER JOIN
 --Patient.↩
    PrescriptionDoseInformation ON ↩
    Patient.↩
    PrescriptionDoseInformation.↩
    PrescriptionDoseInformationId =↩
     Patient.PatientPlan.↩
    PrescriptionDoseInformationId ↩
    INNER JOIN
 --Common.EventApprovals ON Common.↩
    EventApprovals.↩
    PatientPlanAnalysisId=Patient.↩
    PatientPlanAnalysis.↩
    PatientPlanAnalysisId INNER ↩
    JOIN
```

```
                                Patient.PointOfInterestResult ON ↩
                                   Patient.PointOfInterestResult.↩
                                   PatientPlanAnalysisId=Patient.↩
                                   PatientPlanAnalysis.↩
                                   PatientPlanAnalysisId INNER ↩
                                   JOIN
                                Patient.CalculationPointOfInterest↩
                                    ON Patient.↩
                                   CalculationPointOfInterest.↩
                                   CalculationPointOfInterestId=↩
                                   Patient.PointOfInterestResult.↩
                                   CalculationPointOfInterestId

--WHERE

--Fecha Creaci n (Formato A O-MES-D A)
--Patient.Patient.CreatedOn BETWEEN '2021-10-10' AND ↩
   '2022-01-01' and

--Patient.Patient.MedicalRecordNumber='6109174'



order by Patient.Patient.MedicalRecordNumber
--order by Patient.PatientPlan.CreatedOn
```

Script para la extracción de los datos de las estructuras 3D:

Extracto de código 6.2: Consulta de SQL para obtener los datos de las estructuras 3D de los pacientes

```
use [tqms]

SELECT  DISTINCT    Patient.Patient.MedicalRecordNumber, ↩
   Patient.PatientPlan.Name AS PlanName, Patient.↩
   PatientPlan.CreatedOn,

                    CASE
                            WHEN Patient.QAConfigTask.↩
                               Phase = '1'
                               THEN 'DoseCHECK'
                            WHEN Patient.QAConfigTask.↩
                               Phase='2'
                                THEN 'Fraction 0'
                            WHEN Patient.QAConfigTask.↩
                               Phase='3'
                                  THEN 'Fraction N'
                             ELSE 'None'
```

```
    END as 'Phase',

    Patient.UniversalMetrics.Name ↩
       AS UniversalMetric, Patient.↩
       PatientPlanStructureROI.↩
       ROIName,

CASE
    WHEN Patient.↩
       PatientPlanStructureROI.↩
       Roitype='0'
        THEN '?'
    WHEN Patient.↩
       PatientPlanStructureROI.↩
       Roitype='1'
        THEN 'Target'
    WHEN Patient.↩
       PatientPlanStructureROI.↩
       Roitype='2'
        THEN 'OAR'
    END as 'Structure Type',


     --ENUM.RoiMetricType.string AS↩
         RoiMetricType,
     Patient.StructureGoalResult.↩
        CalculatedValue, Patient.↩
        StructureGoalResult.↩
        TpsExpectedResult,
     IIF(Patient.↩
        StructureGoalResult.↩
        CalculatedValue > 0.1, ↩
        Round(100*(CONVERT(FLOAT,↩
        Patient.StructureGoalResult↩
        .TpsExpectedResult-Patient.↩
        StructureGoalResult.↩
        CalculatedValue)/CONVERT(↩
        FLOAT,Patient.↩
        StructureGoalResult.↩
        CalculatedValue)),2),0) as ↩
        Difference,
     IIF(Patient.↩
        GammaStructureResult.↩
        PassingRate > 0.1, Round(↩
        Patient.↩
        GammaStructureResult.↩
        PassingRate,3),0) as ↩
```

```
                                    GammaPassingRate,

                                 Common.EventApprovals.Comment


FROM            Patient.UniversalMetrics INNER JOIN
                         Patient.QaConfigTask ON Patient.↩
                            UniversalMetrics.↩
                            UniversalMetricsId = Patient.↩
                            QaConfigTask.UniversalMetricsId↩
                             INNER JOIN
                         Patient.StructureGoalResult ON ↩
                            Patient.QaConfigTask.↩
                            QaConfigTaskId = Patient.↩
                            StructureGoalResult.↩
                            QaConfigTaskId INNER JOIN
                         Patient.QaConfigStructureGoal ON ↩
                            Patient.StructureGoalResult.↩
                            QaConfigStructureGoalId = ↩
                            Patient.QaConfigStructureGoal.↩
                            StructureGoalId INNER JOIN
                         Patient.PatientPlanAnalysis ON  ↩
                            Patient.PatientPlanAnalysis.↩
                            PatientPlanAnalysisId=Patient.↩
                            StructureGoalResult.↩
                            PatientPlanAnalysisId INNER ↩
                            JOIN
                         Patient.PatientPlan ON Patient.↩
                            PatientPlan.PatientPlanId=↩
                            Patient.PatientPlanAnalysis.↩
                            PatientPlanId INNER JOIN
                         Patient.Patient ON Patient.Patient↩
                            .PatientId=Patient.PatientPlan.↩
                            PatientId INNER JOIN
                         Patient.PatientPlanStructureROI ON↩
                             Patient.StructureGoalResult.↩
                            PatientPlanStructureRoiId = ↩
                            Patient.PatientPlanStructureROI↩
                            .PatientPlanStructureROIId ↩
                            INNER JOIN
                         --ENUM.RoiMetricType ON Patient.↩
                            QaConfigStructureGoal.↩
                            RoiMetricType = ENUM.↩
                            RoiMetricType.enum INNER JOIN
                         Patient.GammaStructureResult ON ↩
                            Patient.GammaStructureResult.↩
                            PatientPlanStructureRoiId=↩
```

```
                                    Patient.PatientPlanStructureROI↩
                                    .PatientPlanStructureROIId AND
                                 UniversalMetrics.↩
                                    UniversalMetricsId=Patient.↩
                                    GammaStructureResult.↩
                                    UniversalMetricsId INNER JOIN
                                 Patient.↩
                                    PrescriptionDoseInformation ON ↩
                                    Patient.↩
                                    PrescriptionDoseInformation.↩
                                    PrescriptionDoseInformationId =↩
                                     Patient.PatientPlan.↩
                                    PrescriptionDoseInformationId ↩
                                    INNER JOIN
                                 Common.EventApprovals ON Common.↩
                                    EventApprovals.↩
                                    PatientPlanAnalysisId=Patient.↩
                                    PatientPlanAnalysis.↩
                                    PatientPlanAnalysisId INNER ↩
                                    JOIN
                                 Patient.PointOfInterestResult ON ↩
                                    Patient.PointOfInterestResult.↩
                                    PatientPlanAnalysisId=Patient.↩
                                    PatientPlanAnalysis.↩
                                    PatientPlanAnalysisId

WHERE

--Condici n DoseCHECK
Patient.QAConfigTask.Phase = '1' and Patient.↩
   GammaStructureResult.PatientPlanFractionId is NULL and

--Filtramos a partir de aqui
--Fecha Creaci n (Formato A O-MES-D A)
Patient.PatientPlan.CreatedOn BETWEEN '2021-10-10' AND '↩
   2022-01-01'
--order by Patient.PatientPlan.CreatedOn
```

Script para la extracción de los datos de las estructuras 3D añadiendo los filtros para la elección de la diferencia y tolerancia, la región de tratamiento y que tipo de órgano es OAR o Target:

Extracto de código 6.3: Consulta de SQL para obtener los datos de las estructuras 3D de los pacientes añadiendo filtros de selección

```
use [tqms]

select distinct Patient.Patient.MedicalRecordNumber, ↩
```

```
Patient.PatientPlan.Name AS PlanName, Patient.↩
PatientPlan.CreatedOn,



                        --Patient.UniversalMetrics.Name↩
                            AS UniversalMetric,



                        Patient.UniversalMetrics.Name ↩
                           AS UniversalMetric, Patient.↩
                           PatientPlanStructureROI.↩
                           ROIName,

                        Patient.↩
                           UniversalMetricsSettings.↩
                           Difference, Patient.↩
                           UniversalMetricsSettings.↩
                           Distance, Patient.↩
                           UniversalMetricsSettings.↩
                           Threshold, Patient.↩
                           UniversalMetricsSettings.↩
                           PassingTolerance,
                CASE
                    WHEN Patient.UniversalMetrics.↩
                       Normalization='1'
                        THEN 'Global'
                    WHEN Patient.UniversalMetrics.↩
                       Normalization='0'
                        THEN 'Local'
                    END as 'Normalizacion',

                     Patient.UniversalMetrics.Name as ↩
                        UniversalMetrics, Patient.↩
                        StructureGoalResult.CalculatedValue↩
                        , Patient.StructureGoalResult.↩
                        TpsExpectedResult,
                             IIF(Patient.↩
                                StructureGoalResult.↩
                                CalculatedValue > 0.1, ↩
                                Round(100*(CONVERT(FLOAT,↩
                                Patient.StructureGoalResult↩
                                .TpsExpectedResult-Patient.↩
                                StructureGoalResult.↩
                                CalculatedValue)/CONVERT(↩
                                FLOAT,Patient.↩
```

```
                                    StructureGoalResult.↩
                                    CalculatedValue)),2),0) as ↩
                                    Difference,
                                 IIF(Patient.↩
                                    GammaStructureResult.↩
                                    PassingRate > 0.1, Round(↩
                                    Patient.↩
                                    GammaStructureResult.↩
                                    PassingRate,3),0) as ↩
                                    GammaPassingRate,

                                Patient.↩
                                   CalculationPointOfInterest.↩
                                   Name as 'NombrePunto',
                                Patient.PointOfInterestResult.↩
                                   PlannedDose,
                                Patient.PointOfInterestResult.↩
                                   DeliveredDose,
                                Patient.PointOfInterestResult.↩
                                   PercentDifference,

                                 CASE
                                WHEN Patient.↩
                                   PatientPlanStructureROI.↩
                                   Roitype='0'
                                    THEN '?'
                                WHEN Patient.↩
                                   PatientPlanStructureROI.↩
                                   Roitype='1'
                                    THEN 'Target'
                                WHEN Patient.↩
                                   PatientPlanStructureROI.↩
                                   Roitype='2'
                                    THEN 'OAR'
                                END as 'Structure Type',

                                Patient.↩
                                   PrescriptionDoseInformation.↩
                                   TotalPrescriptionDose


FROM            Patient.UniversalMetrics INNER JOIN
                         Patient.QaConfigTask ON Patient.↩
                            UniversalMetrics.↩
                            UniversalMetricsId = Patient.↩
                            QaConfigTask.UniversalMetricsId↩
                             INNER JOIN
```

```
Patient.StructureGoalResult ON ↩
   Patient.QaConfigTask.↩
   QaConfigTaskId = Patient.↩
   StructureGoalResult.↩
   QaConfigTaskId INNER JOIN
Patient.QaConfigStructureGoal ON ↩
   Patient.StructureGoalResult.↩
   QaConfigStructureGoalId = ↩
   Patient.QaConfigStructureGoal.↩
   StructureGoalId INNER JOIN
Patient.PatientPlanAnalysis ON  ↩
   Patient.PatientPlanAnalysis.↩
   PatientPlanAnalysisId=Patient.↩
   StructureGoalResult.↩
   PatientPlanAnalysisId INNER ↩
   JOIN
Patient.PatientPlan ON Patient.↩
   PatientPlan.PatientPlanId=↩
   Patient.PatientPlanAnalysis.↩
   PatientPlanId INNER JOIN
Patient.Patient ON Patient.Patient↩
   .PatientId=Patient.PatientPlan.↩
   PatientId INNER JOIN
Patient.PatientPlanStructureROI ON↩
    Patient.StructureGoalResult.↩
   PatientPlanStructureRoiId = ↩
   Patient.PatientPlanStructureROI↩
   .PatientPlanStructureROIId ↩
   INNER JOIN
--ENUM.RoiMetricType ON Patient.↩
   QaConfigStructureGoal.↩
   RoiMetricType = ENUM.↩
   RoiMetricType.enum INNER JOIN
Patient.GammaStructureResult ON ↩
   Patient.GammaStructureResult.↩
   PatientPlanStructureRoiId=↩
   Patient.PatientPlanStructureROI↩
   .PatientPlanStructureROIId AND
UniversalMetrics.↩
   UniversalMetricsId=Patient.↩
   GammaStructureResult.↩
   UniversalMetricsId INNER JOIN
Patient.↩
   PrescriptionDoseInformation ON ↩
   Patient.↩
   PrescriptionDoseInformation.↩
   PrescriptionDoseInformationId =↩
```

```
                                    Patient.PatientPlan.↩
                                    PrescriptionDoseInformationId ↩
                                    INNER JOIN
                                Common.EventApprovals ON Common.↩
                                    EventApprovals.↩
                                    PatientPlanAnalysisId=Patient.↩
                                    PatientPlanAnalysis.↩
                                    PatientPlanAnalysisId INNER ↩
                                    JOIN
                                Patient.PointOfInterestResult ON ↩
                                    Patient.PointOfInterestResult.↩
                                    PatientPlanAnalysisId=Patient.↩
                                    PatientPlanAnalysis.↩
                                    PatientPlanAnalysisId INNER ↩
                                    JOIN
                                Patient.UniversalMetricsSettings ↩
                                    ON Patient.↩
                                    UniversalMetricsSettings.↩
                                    UniversalMetricsId=Patient.↩
                                    UniversalMetrics.↩
                                    UniversalMetricsId INNER JOIN
                                Patient.CalculationPointOfInterest↩
                                    ON Patient.↩
                                    CalculationPointOfInterest.↩
                                    CalculationPointOfInterestId=↩
                                    Patient.PointOfInterestResult.↩
                                    CalculationPointOfInterestId


WHERE

--Fecha Creacion (Formato A O-MES-D A)
--Patient.Patient.CreatedOn BETWEEN '2021-10-10' AND ↩
    '2022-01-01'
--Patient.Patient.MedicalRecordNumber='5294457'

 Patient.UniversalMetricsSettings.Distance='3' and Patient.↩
     UniversalMetricsSettings.Distance='3' --and

--Region de Tratamiento
--'0' General, '1' Brain, '2' HeadAndNeack, '3' Esophagus, ↩
    '4' Lung, '5' Breast, '6' Mediastinum, '7' ↩
    Gastroinstestinal, '8' Abdomen, '9' Pelvis, '10' ↩
    Prostate, '11' Genitourinary, '12' GYN, '13' Colorectal,↩
     '14' Kidney, '15' Extremities, '16' Bone
and Patient.PrescriptionDoseInformation.BodySite = '5'
--Tipo de objetivo
```

```
--'0' ?,'1' Target, '2' OAR
and Patient.PatientPlanStructureROI.Roitype= '2'
--order by Patient.Patient.MedicalRecordNumber
order by Patient.PatientPlan.CreatedOn
--Modalidad
--'0' NotSet, '1' 3DCRT, '2' IMRT, '3' VMAT, '4' SRS Cones,↩
    '5' Electron, '6' Other, '7' Brachy
--Patient.PrescriptionDoseInformation.Modality = '3'

--order by Patient.PatientPlan.CreatedOn
```

# 7. Bibliografía


[1] Tomografía Computarizada (TC). URL https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/tomograf%C3%ADa-computarizada-tc.

[2] given i=L.P., f., given=Lujan-Castilla Pomponio. Radioterapia de intensidad modulada (IMRT); experiencia clínica en el tratamiento de tumores de cabeza y cuello — Gaceta Mexicana de Oncología (2011). URL https://www-elsevier-es.translate.goog/es-revista-gaceta-mexicana-oncologia-305-articulo-radioterapia-intensidad-modulada-_x_tr_sl=es&_x_tr_tl=eu&_x_tr_hl=eu&_x_tr_pto=op,sc.

[3] INVESTIGACIÓN AVALIATIVA colección avaliación de tecnoloxías. URL https://docplayer.es/8809372-Planificadores-3d-y-simulacion-virtual-del-tratamiento-situacion-en-espana-html.

[4] Linear Accelerator (LINAC). URL https://moffitt.org/treatments/radiation-therapy/linear-accelerator-linac/.

[5] Sun Nuclear - Patient Safety Starts Here. URL https://www.sunnuclear.com/.

[6] given i=L. Brualla , f. Dosimetría y verificación de tratamientos en radioterapia: Intercomparación de soluciones existentes y desarrollo de soluciones basadas en cámaras de ionización líquida.

[7] pydicom documentation — pydicom 2.3.0 documentation. URL https://pydicom.github.io/pydicom/stable/.