



Instituto de  
Ciencias  
Nucleares  
UNAM



GSI

The ALICE-ICN group invites  
high-school students to participate in the

# PARTICLE THERAPY MASTERCLASS MARCH 13&14 | 2023

González Badillo Itzel Viridiana  
Egresada de Ingeniería en Sistemas Biomédicos (FI-UNAM)

Supervisado por: Dr. Antonio Ortiz Velásquez

# Contenidos

## 1. TEORÍA

- 1.1. Fenómenos biológicos
  - 1.1.1. ¿Qué es radiación?
  - 1.1.2. ¿Qué es cáncer?
  - 1.1.3. Muerte celular
  - 1.1.4. Terapia de partículas aplicada al cáncer
- 1.2. Consideraciones físicas
  - 1.2.1. Partículas usadas
  - 1.2.2. Instalaciones
  - 1.2.3. Dosis absorbida de radiación

## 2. APLICACIÓN

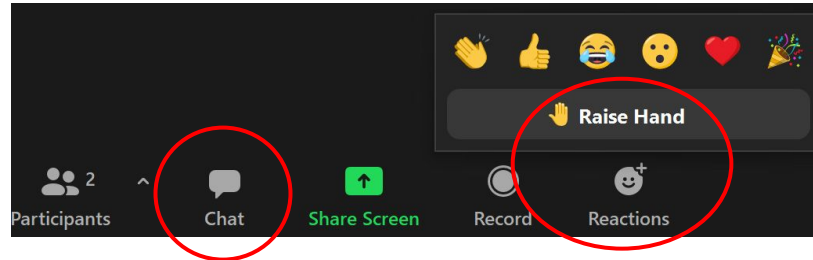
- 2.1. Conoce tus tarjetas (conceptos básicos)
- 2.2. Qué es matRad
  - 2.2.1. Cómo funciona
- 2.3. Aplicación
  - 2.3.1. Ejecución general
  - 2.3.2. Fantasma
    - 2.3.2.1. Curva y pico de Bragg
  - 2.3.3. Hígado
  - 2.3.4. Cabeza y cuello
    - 2.3.4.1. Radiosensibilidad
    - 2.3.4.2. Análisis de radiosensibilidad

## 3. Conclusiones

# 1. TEORÍA: ¿Por qué sirve la terapia de partículas?

1.1 Fenómenos biológicos

1.2 Consideraciones físicas



## 1.1.1 ¿Qué es la radiación?

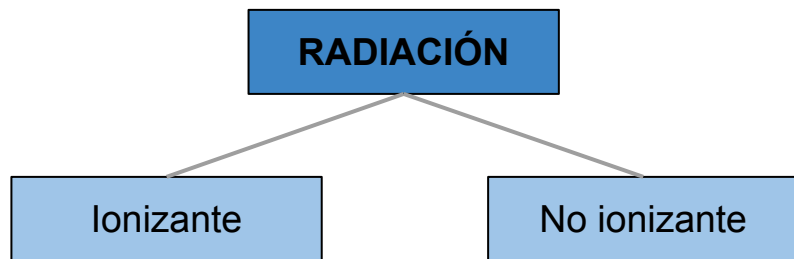


**vs.**

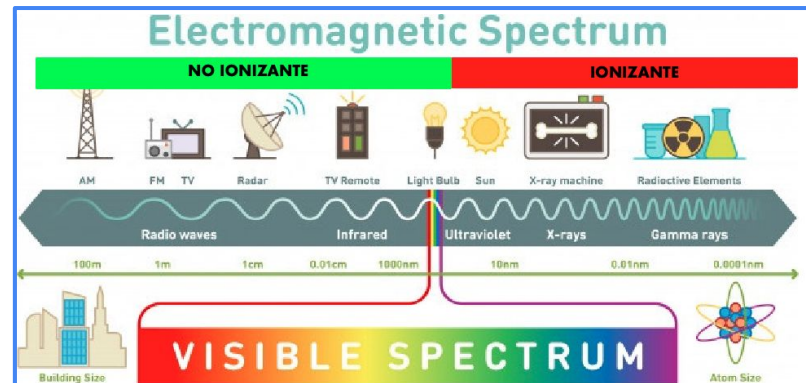


# 1.1.1 ¿Qué es la radiación?

Es la propagación de **energía** en forma de **ondas electromagnéticas** o **partículas subatómicas**.



**Ionizante:** Tipo de radiación de alta **energía** que tiene suficiente energía como para **eliminar** o **excitar** un **electrón** de un átomo o molécula.



# 1.1.2. ¿Qué es cáncer?

En el cáncer las células se **multiplican mal, alterando** la **función** celular.

El tejido crece (hiperplasia, alerta):  $\uparrow$ Volumen celular  $\rightarrow$   $\uparrow$ # células

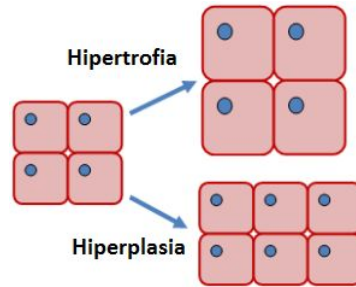
El tejido luego crece mal (displasia)

\*No confundir con hipertrofia (sano):

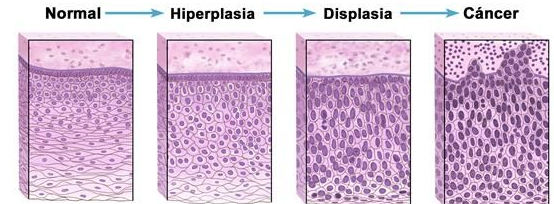
$\uparrow$ Volumen celular  $\rightarrow$   $\uparrow$ tamaño de las células



Hipertrofia




Las células normales se pueden convertir en células cancerosas



© 2014 Teresa Winslow LLC  
U.S. Govt. has certain rights

# 1.1.3. Muerte celular

Una célula puede morir según alguno de los siguientes mecanismos:

Necrosis	Apoptosis	Autofagia	Catástrofe mitótica
<ul style="list-style-type: none"><li>● Inflamación</li><li>● Afecta grandes áreas</li><li>● Si se infecta, se llama gangrena</li><li>● <b>DOLOR</b></li></ul> 	<ul style="list-style-type: none"><li>● Muerte programada</li><li>● <b>Limpia</b></li><li>● Formación de cuerpo apoptótico</li><li>● Fagocitado por células vecinas o macrófagos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Muerte programada</li><li>● <b>Limpia</b></li><li>● Depende de organelos propios (autofagosomas y autolisosomas)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● <b>Error</b> en la mitosis</li><li>● Muchos núcleos</li><li>● Número cromosómico 23 alterado</li></ul>

## 1.1.4. Terapia de partículas aplicada al cáncer

La terapia de partículas **busca**:



*Apoptosis*



*Autofagia*



*Necrosis*

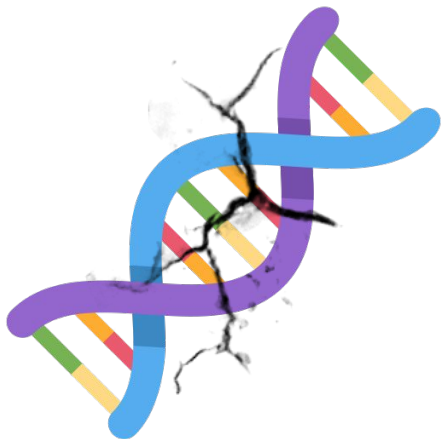
**Pocos haces  
Intensos**



**Muchos haces  
leves**



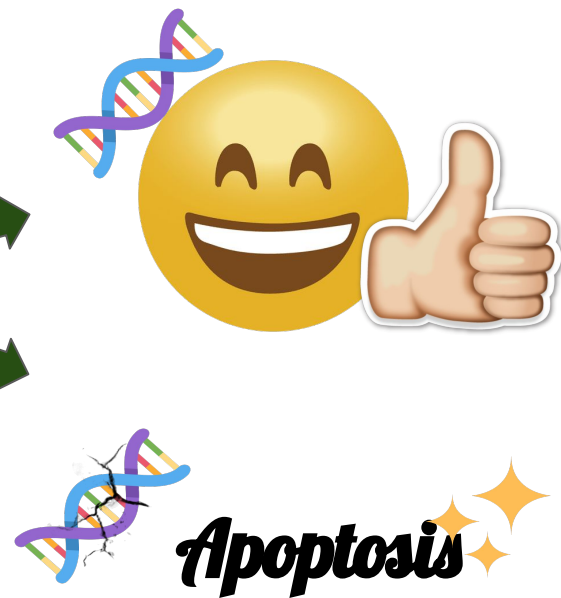
## 1.1.4. Terapia de partículas aplicada al cáncer



ADN dañado por dosis controladas de radiación



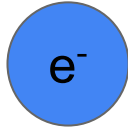
gen p53 suprime la replicación celular para reparar...



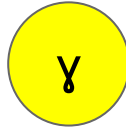
## 1.2.1. Partículas usadas

La terapia de partículas es usada para el **tratamiento** de **cáncer y otras enfermedades**. Se puede realizar con:

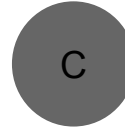
Electrones



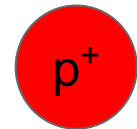
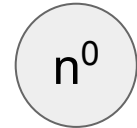
Fotones



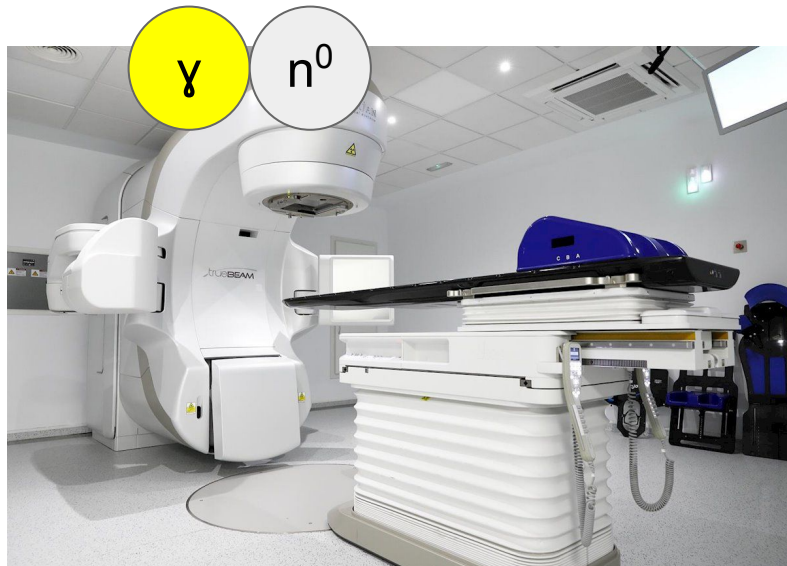
Iones (de carbono)



Hadrones:  
Protones o  
neutrones

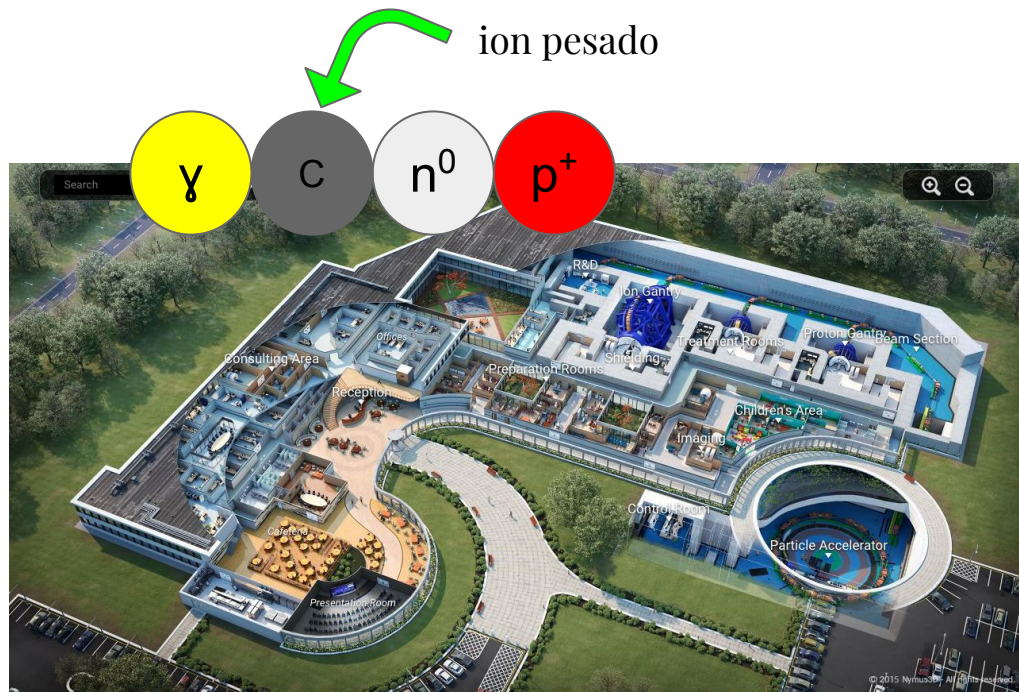


## 1.2.2. Instalaciones



Acelerador lineal

\$\$\$



Acelerador toroidal (“donita”)

\$\$\$\$\$\$

## 1.2.2. Instalaciones

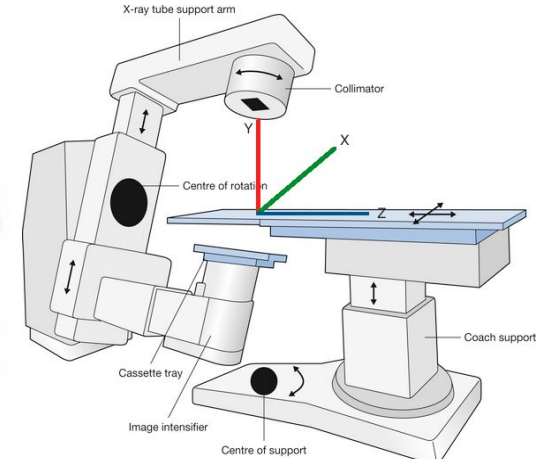
Los aceleradores más modernos tienen el **Gantry rotatorio** (todos los aceleradores lineales, pero solo hay 2 en el mundo para iones de carbono).

El sistema de referencia o “centro” está en el tumor (en el **isocentro**).

Trabajaremos con el Gantry rotatorio.



GIF de Philips  
Healthcare



## 1.2.3. Dosis absorbida de radiación

¿Cómo **medir** la energía de **radiación** que ha absorbido el **cuerpo**?

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

# 2. APLICACIÓN

2.1 Conoce tus cartas

2.2 ¿matRad?

2.3. A aplicar

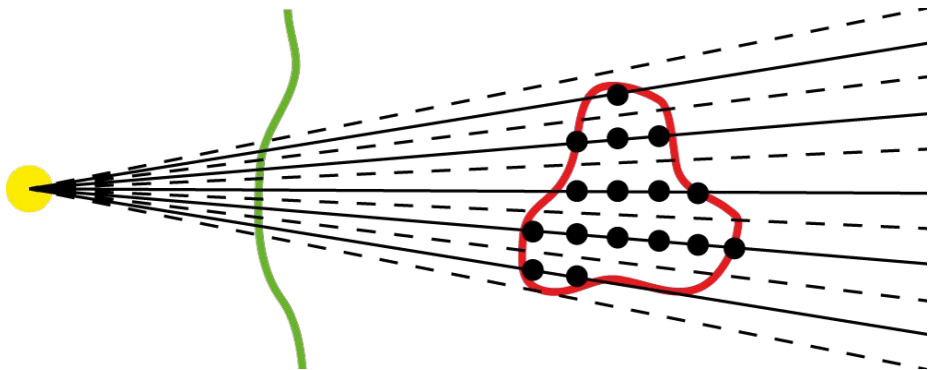
## 2.1. Conoce tus tarjetas

Organ at risk (órgano en riesgo, a evitar porque está sano)



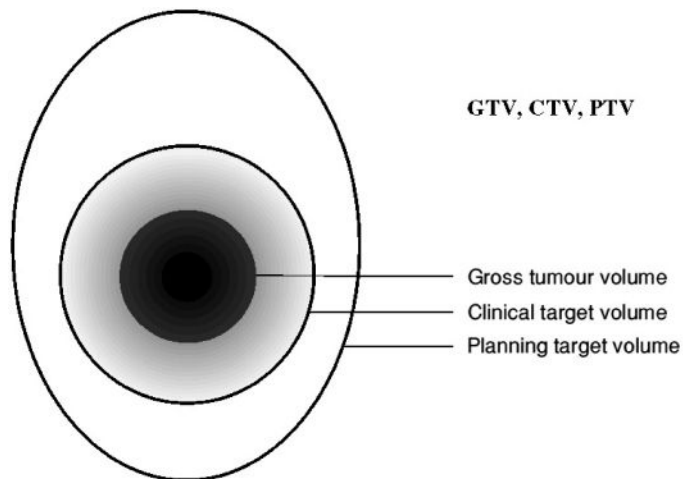
## 2.1. Conoce tus tarjetas

Es un elemento de fluencia en un rectángulo discreto a través del cual inciden los fotones. El conjunto de todos los bixeles representan al blanco completo.





## 2.1. Conoce tus tarjetas



Un tumor no necesariamente está en todo el órgano

Volumen más chico



- Tumor bruto (GTV)
- Objetivo clínico (CTV)
- Objetivo planeado (PTV)

## 2.1. Conoce tus tarjetas

### **VOXEL**

Celda (cúbica) de un arreglo. Volumetric pixel.

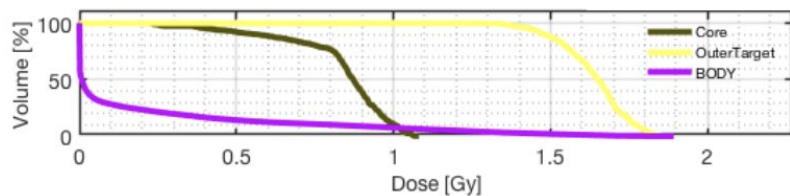
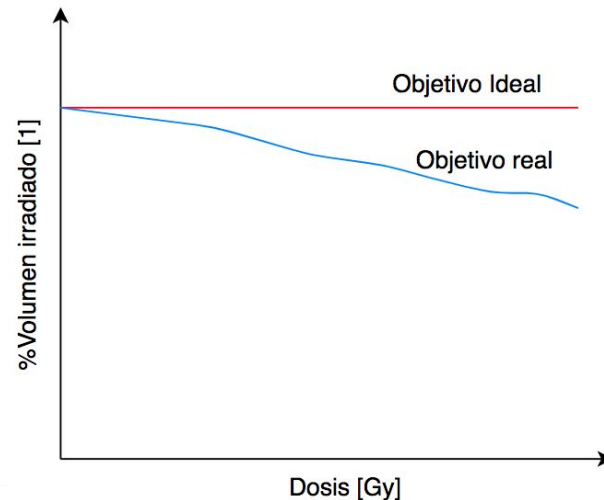
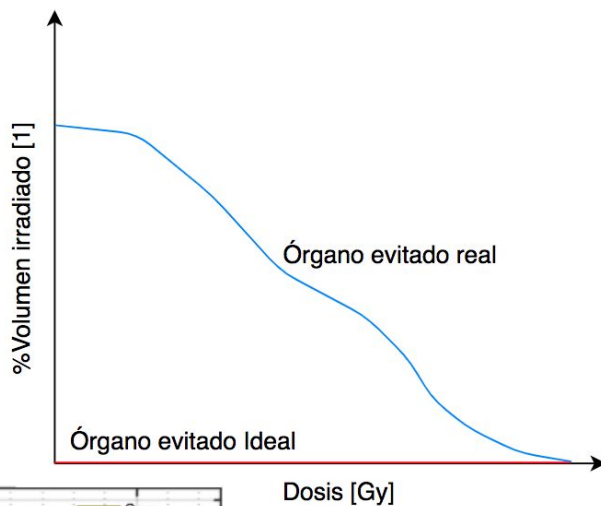
### **VOI**

Volume of interest (tumor)



## 2.1. Conoce tus tarjetas

DVH: dose-volume histogram

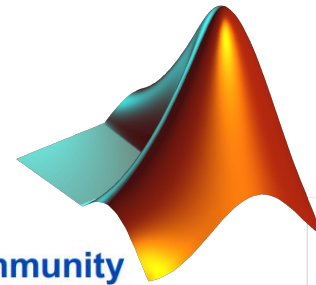


← ejemplo real

## 2.2. ¿Qué es matRad?

Es un **software educativo** y de investigación que permite **planear** el mejor **tratamiento** con **radioterapia** de **intensidad modulada** usando protones, fotones y iones de carbono.

matRad



matRad – community

**TUM**  
TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
MÜNCHEN



MEDICAL UNIVERSITY  
OF VIENNA



大阪大学  
OSAKA UNIVERSITY



UNIVERSIDAD  
COMPLUTENSE  
MADRID

**dkfz.**

GERMAN  
CANCER RESEARCH CENTER  
IN THE HELMHOLTZ ASSOCIATION

THE UNIVERSITY OF TEXAS  
**MDAnderson**  
~~Cancer~~ Center  
Proton Therapy

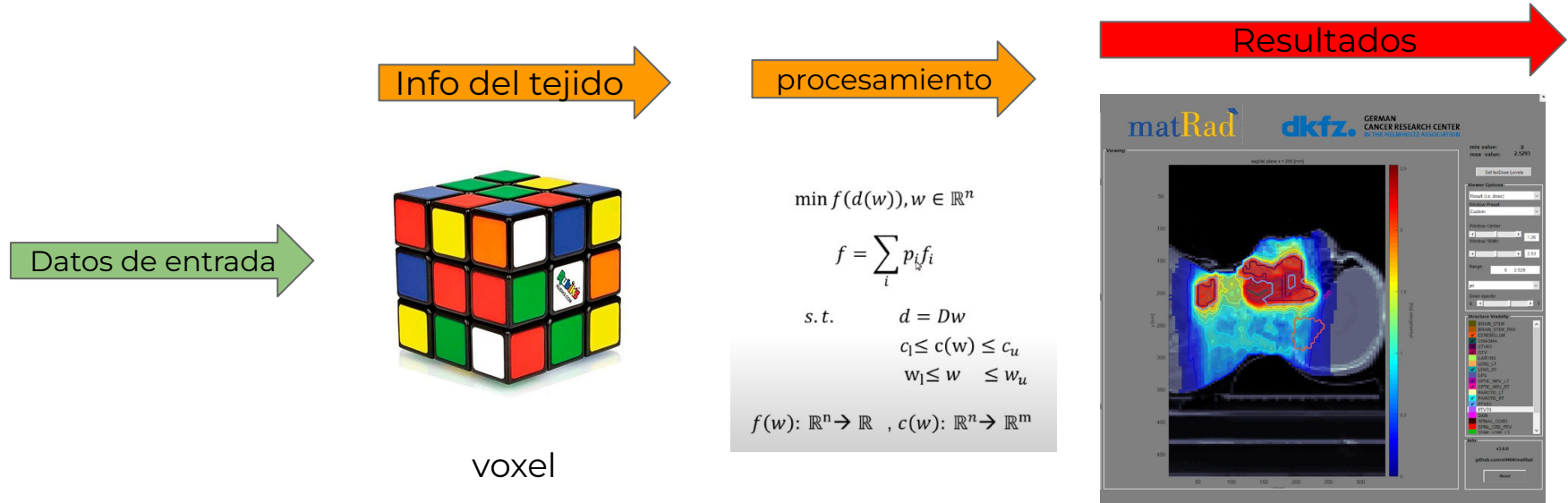


UNIVERSITY OF  
**OXFORD**



**Universität**  
**Zürich**<sup>UZH</sup>

## 2.2.1 ¿Cómo funciona matRad?



# 2.3. Aplicación: ¡Manos a la obra!

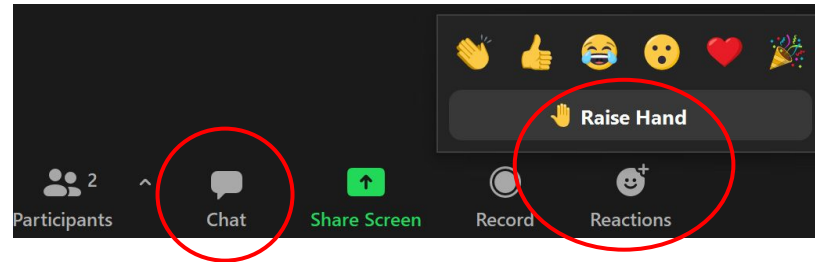
Para **dudas** del  
**software**



**Mensaje a staff:** te  
ayudarán



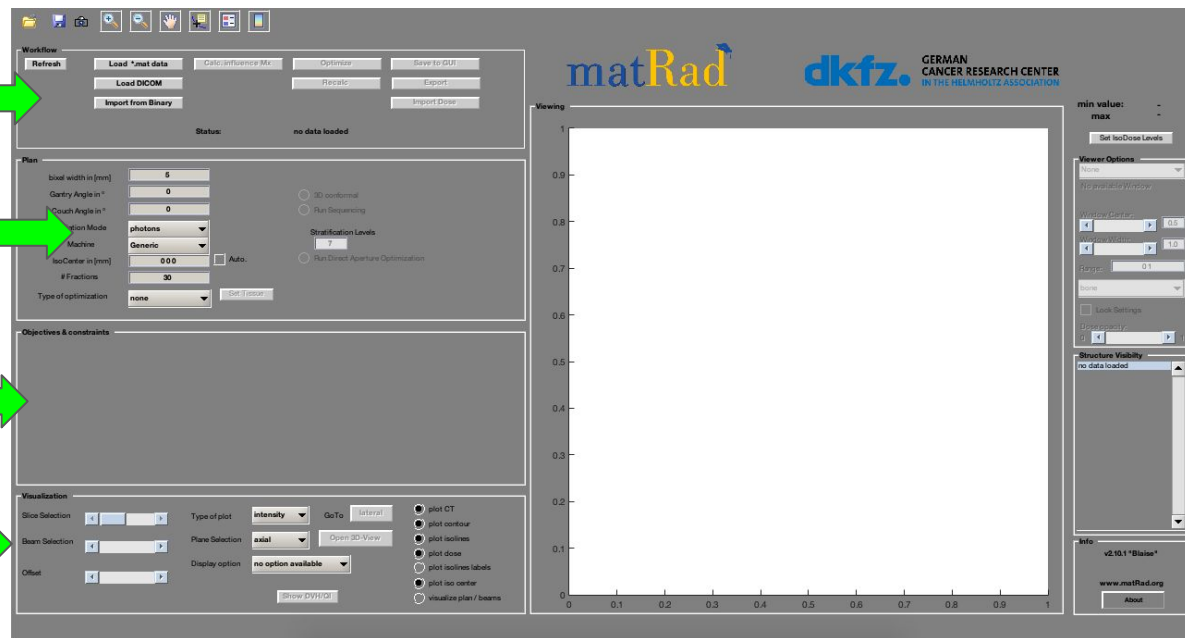
**Dudas** de la  
**interpretación**



## 2.3.1 Ejecución general: Interfaz

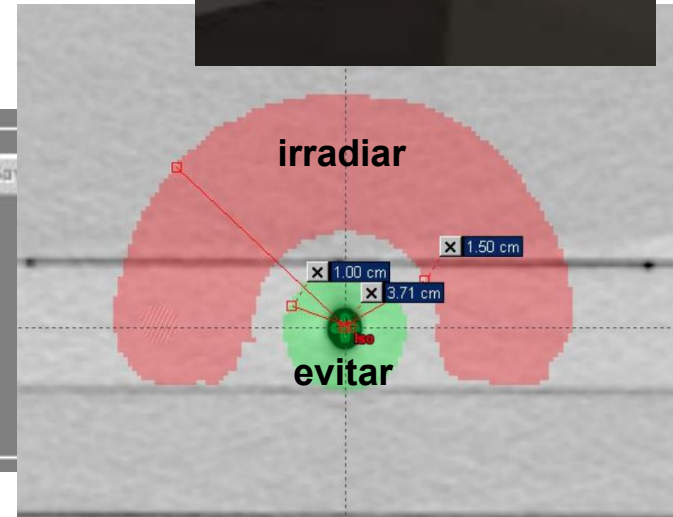
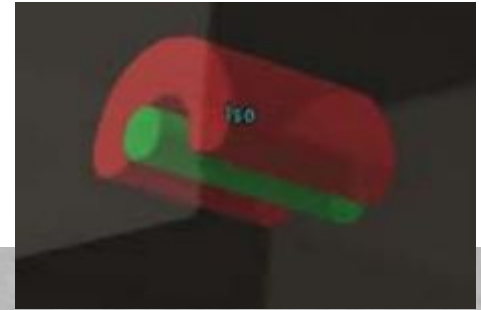
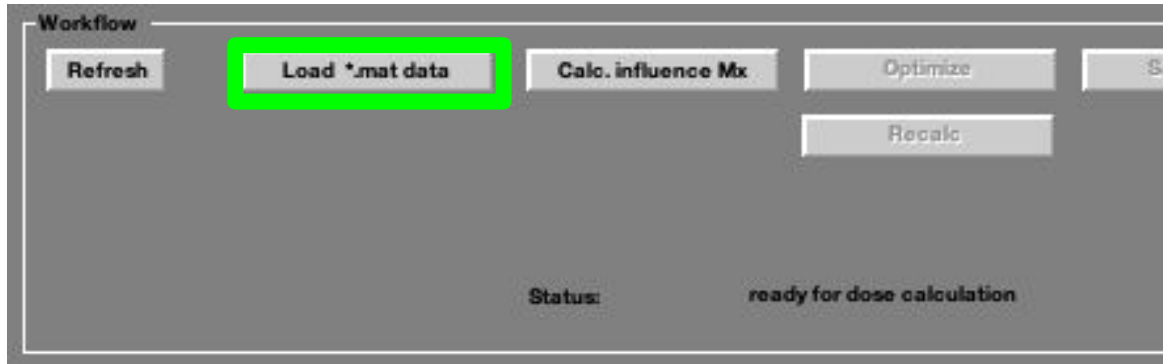
### Interfaz

- **Workflow:** ejecuta distintos cálculos para el tratamiento
- **Plan:** configura los haces
- **Objectives & constraints:** define objetivos y restricciones (consideraciones importantes)
- **Visualization:** para modificar la forma de visualizar el plan



## 2.3.2 Fantasma: Carga de datos

Cargar los datos de unacrílico (fantasma) de prueba: TG119.mat  
Todos están en: matRad-2.10.1>phantoms

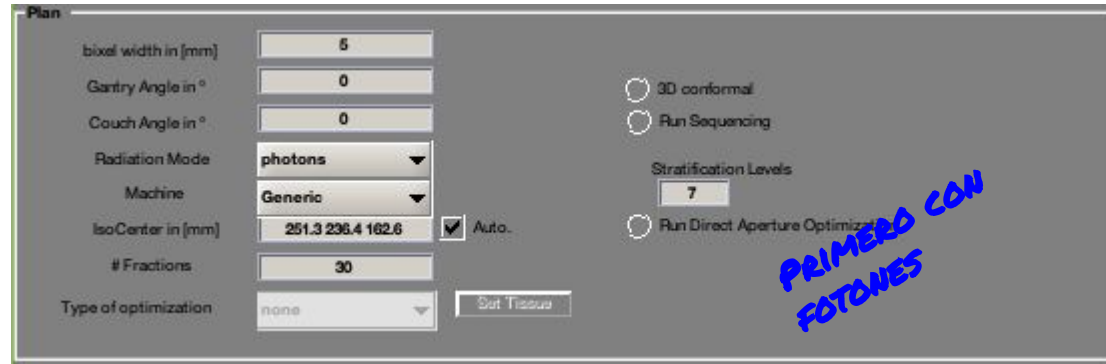




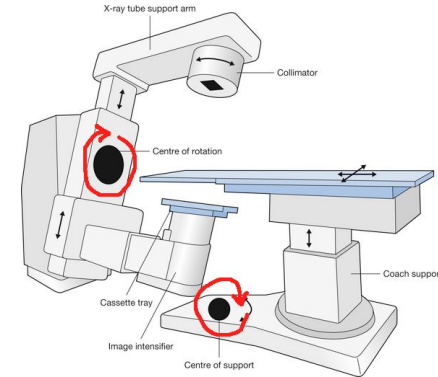
## 2.3.2 Fantasma: Plan

- No cambiaremos nada
- Verificar estar usando fotones
- Y verificar que todo esté igual

Esto implica usar 1 haz

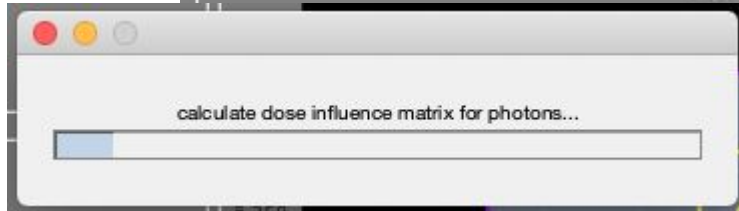
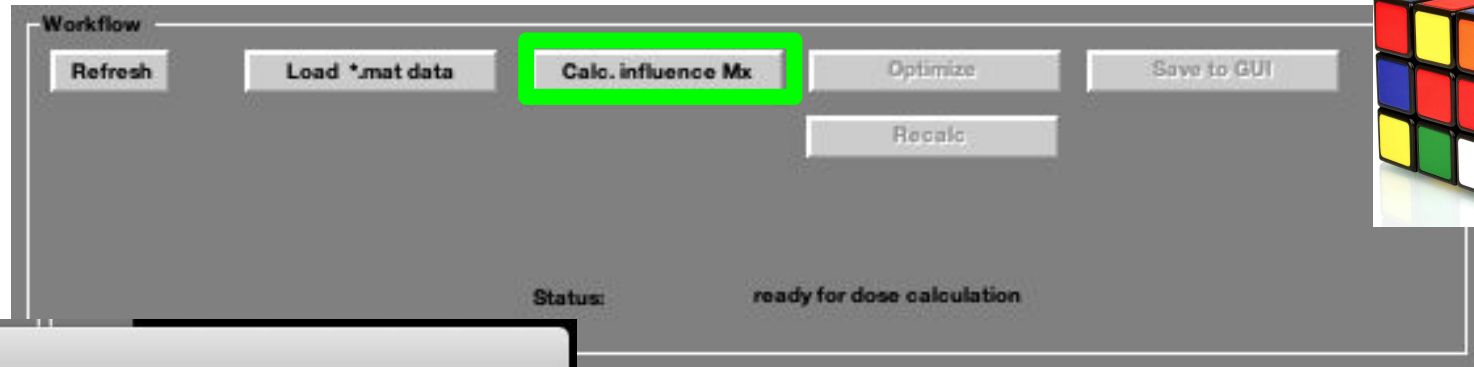


Para siempre ver cómo quedan los haces



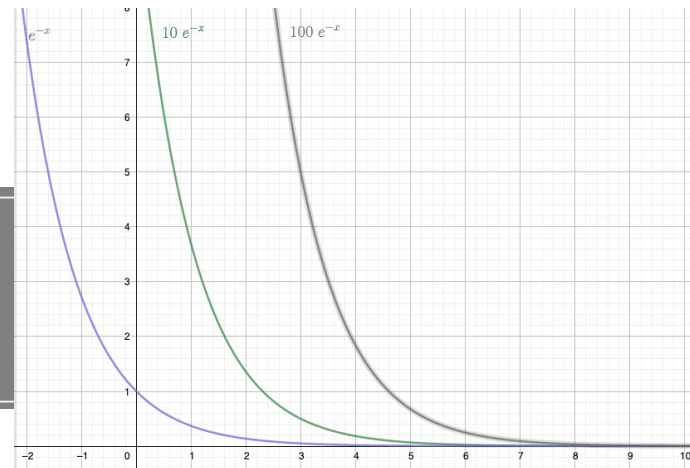
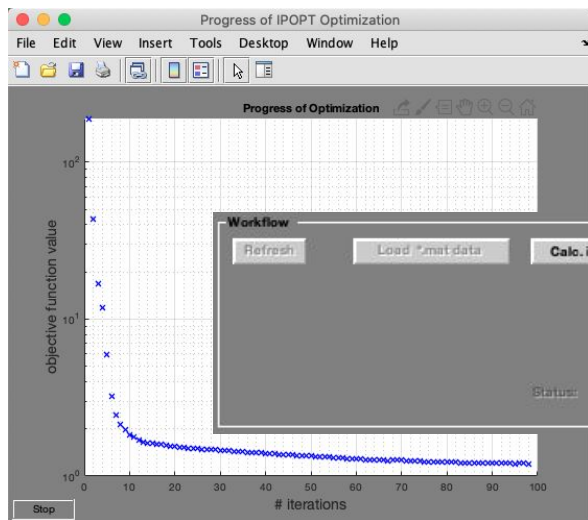
## 2.3.2 Fantasma: Calcular influencia de radiación

Calc. influence Mx es el comando para calcular la matriz influencia de la radiación.  
(Definir los requisitos dosimétricos del tumor con base en los ángulos propuestos)



## 2.3.2 Fantasma: Optimizar

Busca el mínimo (aceptable) flujo de radiación por bixel. Desplegará una gráfica con comportamiento exponencial.



## 2.3.2 Fantasma: Guardar datos

Guardará para el despliegue de gráficas.



## 2.3.2 Fantasma: Visualization

Show DVH/QI te mostrará el Histograma Dosis-Volumen del plan diseñado.

Visualization

Slice Selection

Beam Selection

Offset

Type of plot: intensity

Plane Selection: axial

Display option: physicalDose

GoTo: lateral

Open 3D-View

plot CT

plot contour

plot isolines

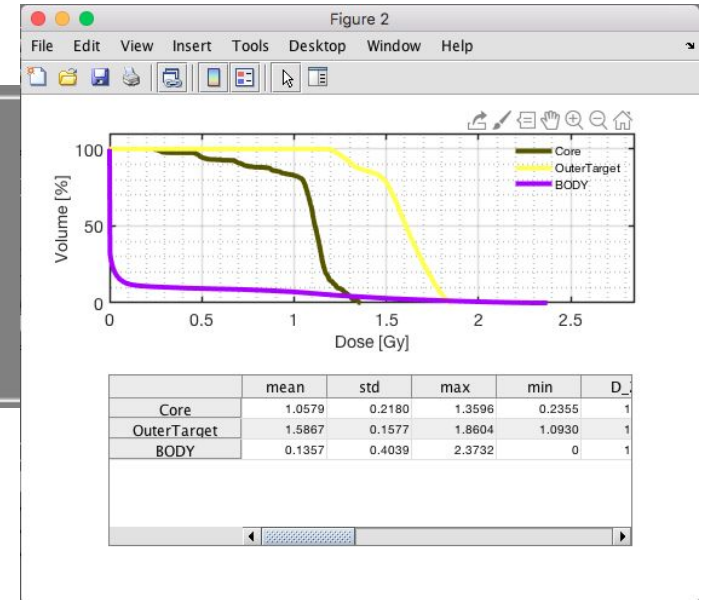
plot dose

plot isolines labels

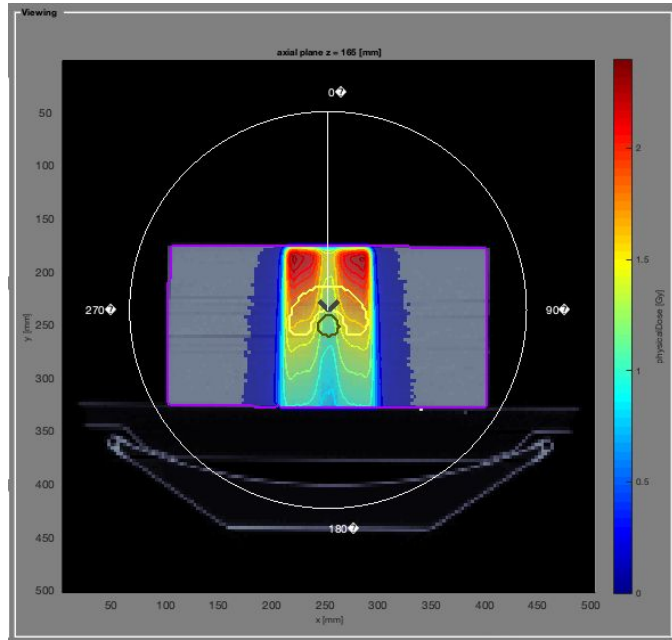
plot iso center

visualize plan / beams

Show DVH/QI

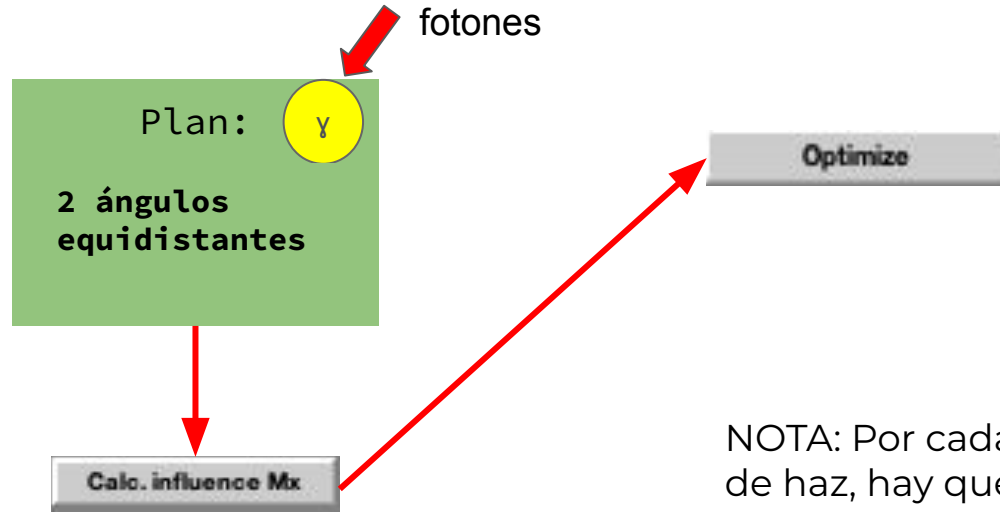


## 2.3.2 Fantasma: Resultado 1



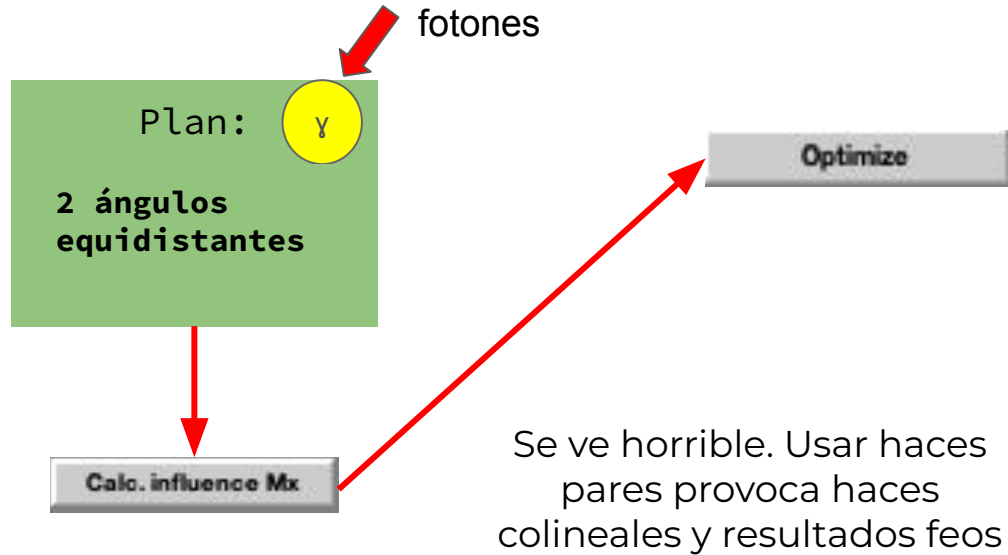
El haz irradia mucho la zona de entrada y va perdiendo fuerza rápidamente... no ataca como necesitamos al tumor. Se quedaría en la piel de la persona toda la radiación poderosa.

## 2.3.2 Fantasma: Resultado 2

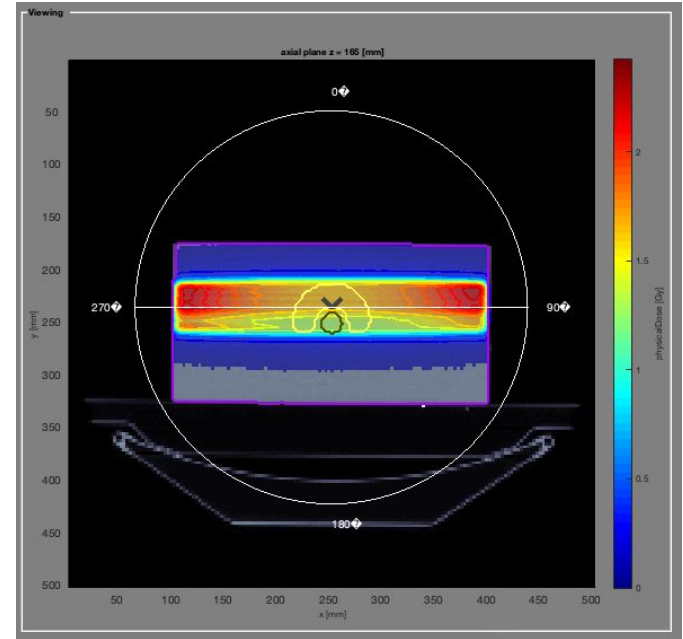


NOTA: Por cada ángulo de haz, hay que poner un 0 en la cama

## 2.3.2 Fantasma: Resultado 2

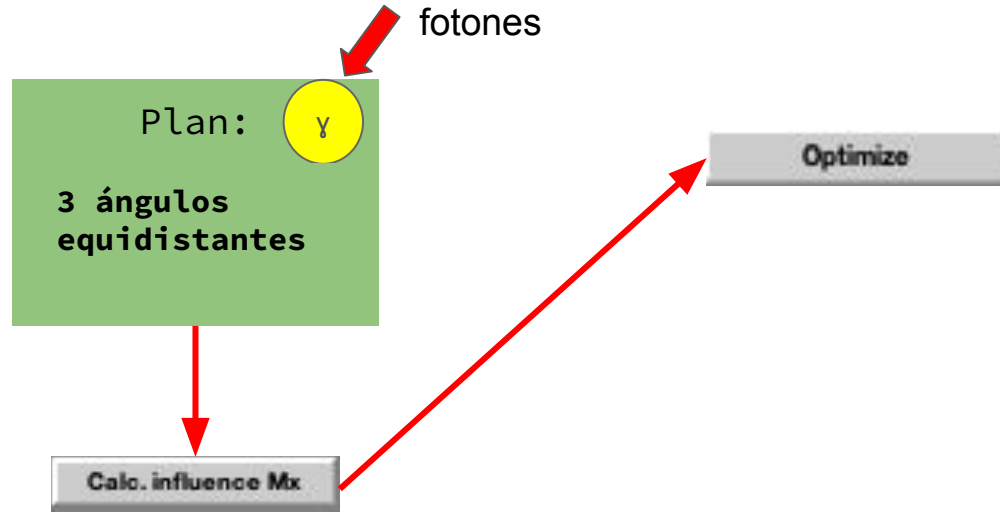


Se ve horrible. Usar haces pares provoca haces colineales y resultados feos

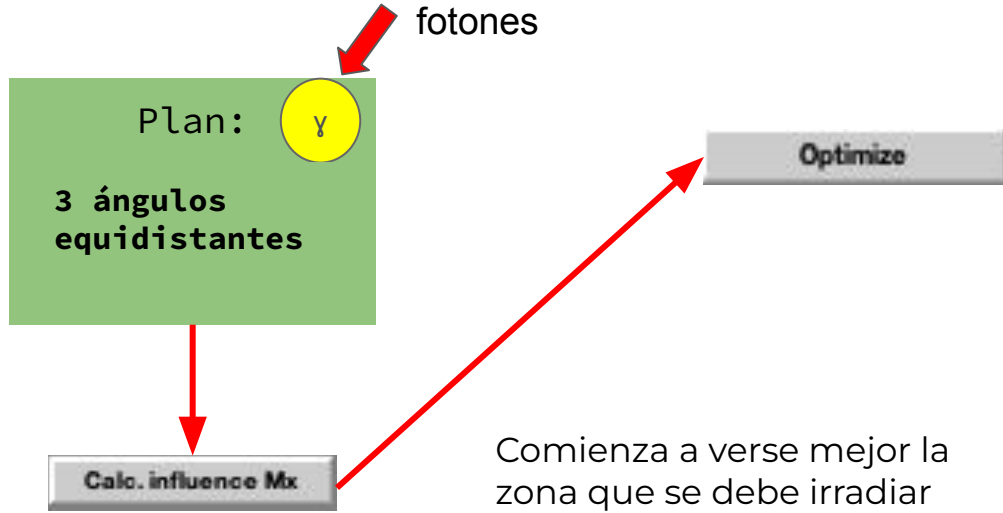




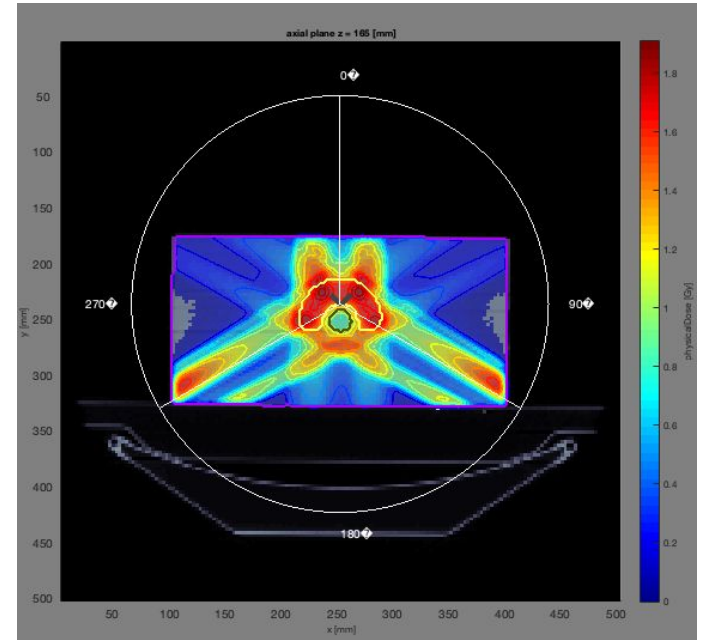
## 2.3.2 Fantasma: Resultado 3



## 2.3.2 Fantasma: Resultado 3

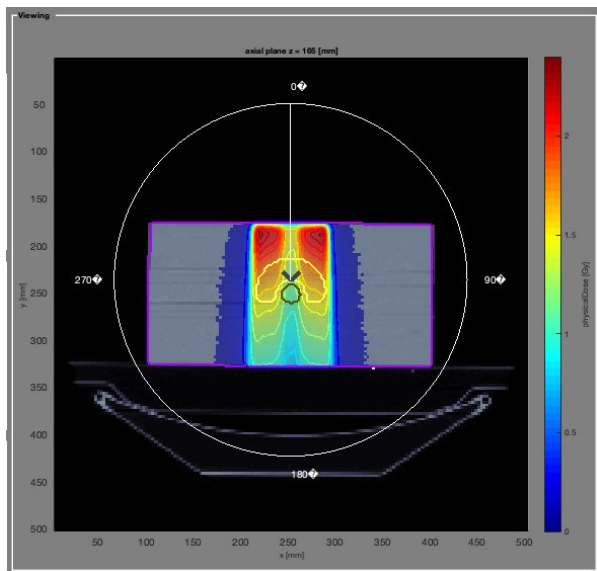


Comienza a verse mejor la zona que se debe irradiar

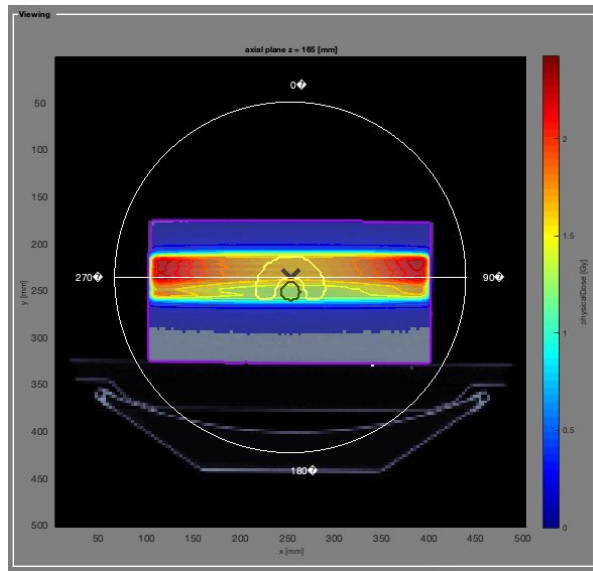


## 2.3.2 Fantasma: Comparativa con fotones

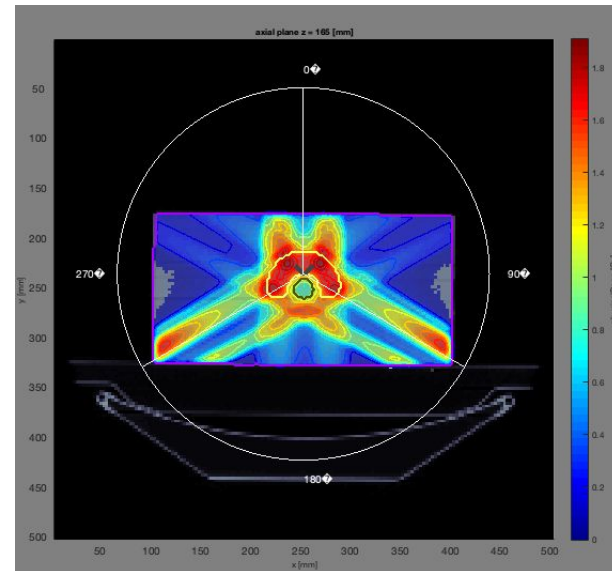
<3 muchos  
haces leves  
2 min



1 ángulo (18 seg)



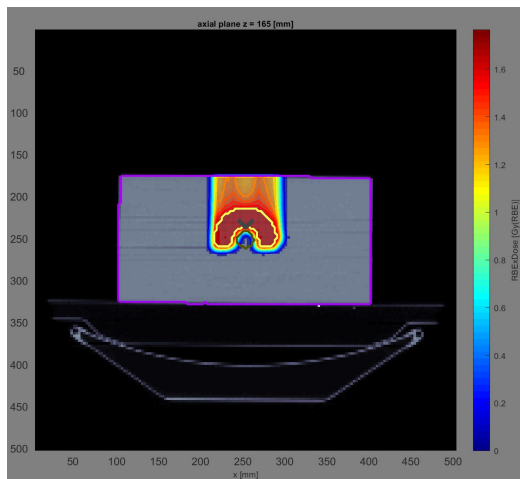
2 ángulos (30 seg)



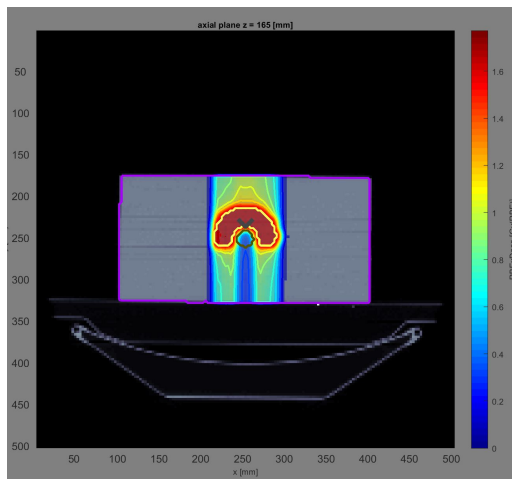
3 ángulos (49 seg)

## 2.3.2 Fantasma: Comparativa con protones

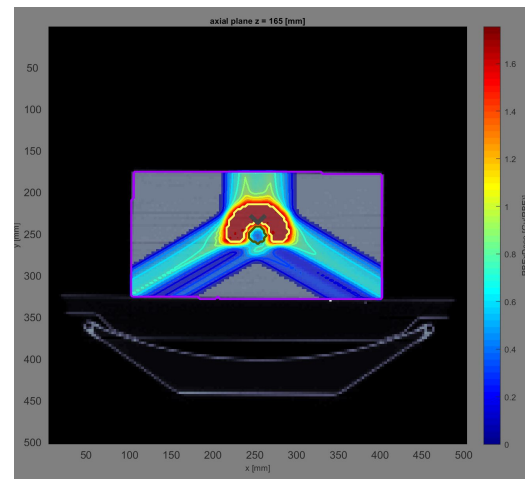
4 min



1 ángulo (49 seg)



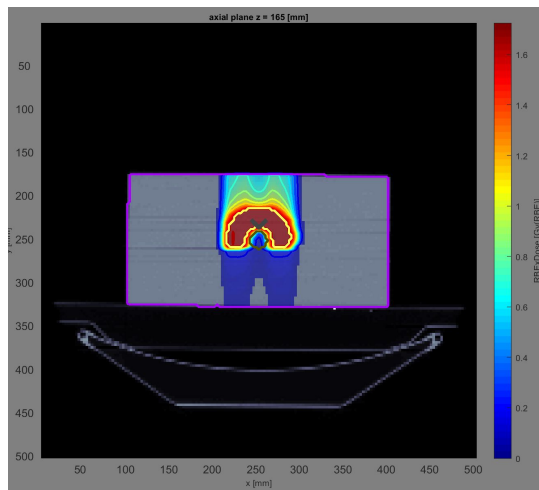
2 ángulos (50 seg)



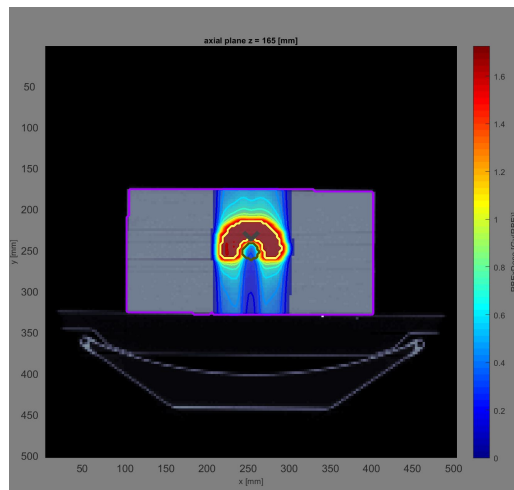
3 ángulos (1.16 min)

## 2.3.2 Fantasma: Comparativa con carbono

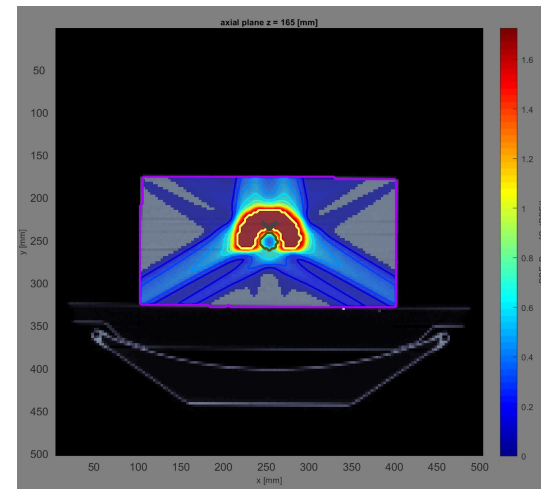
5 min



1 ángulo (58 seg)

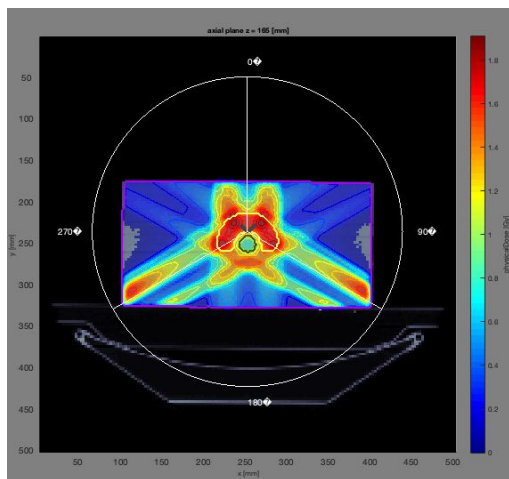


2 ángulos (1.23 min)

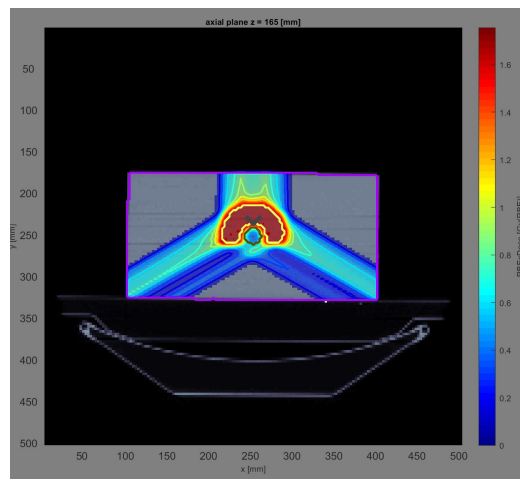


3 ángulos (2.40 min)

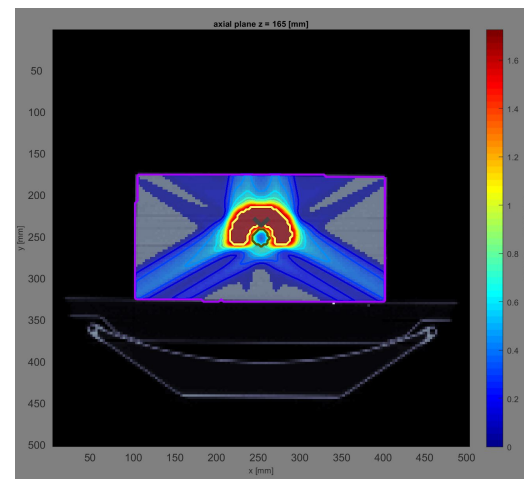
## 2.3.2 Fantasma: Comparativa con 3 ángulos con las 3 partículas



Fotones



Protones



Carbonos

## 2.3.2.1 ¿Por qué es mejor el carbono o protón que el fotón?

Imaginen que comer en clase es irradiar...

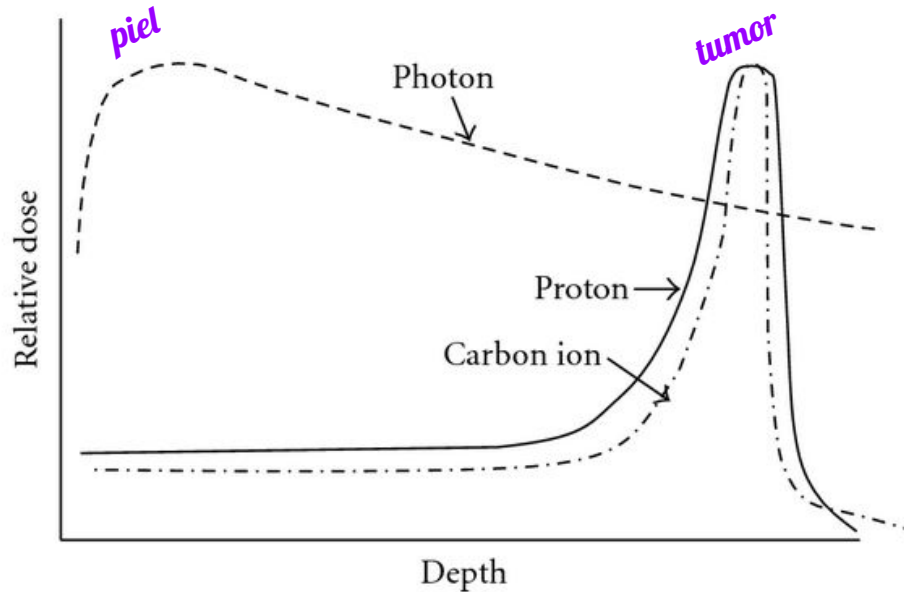


Fotones



Protones e iones de carbono

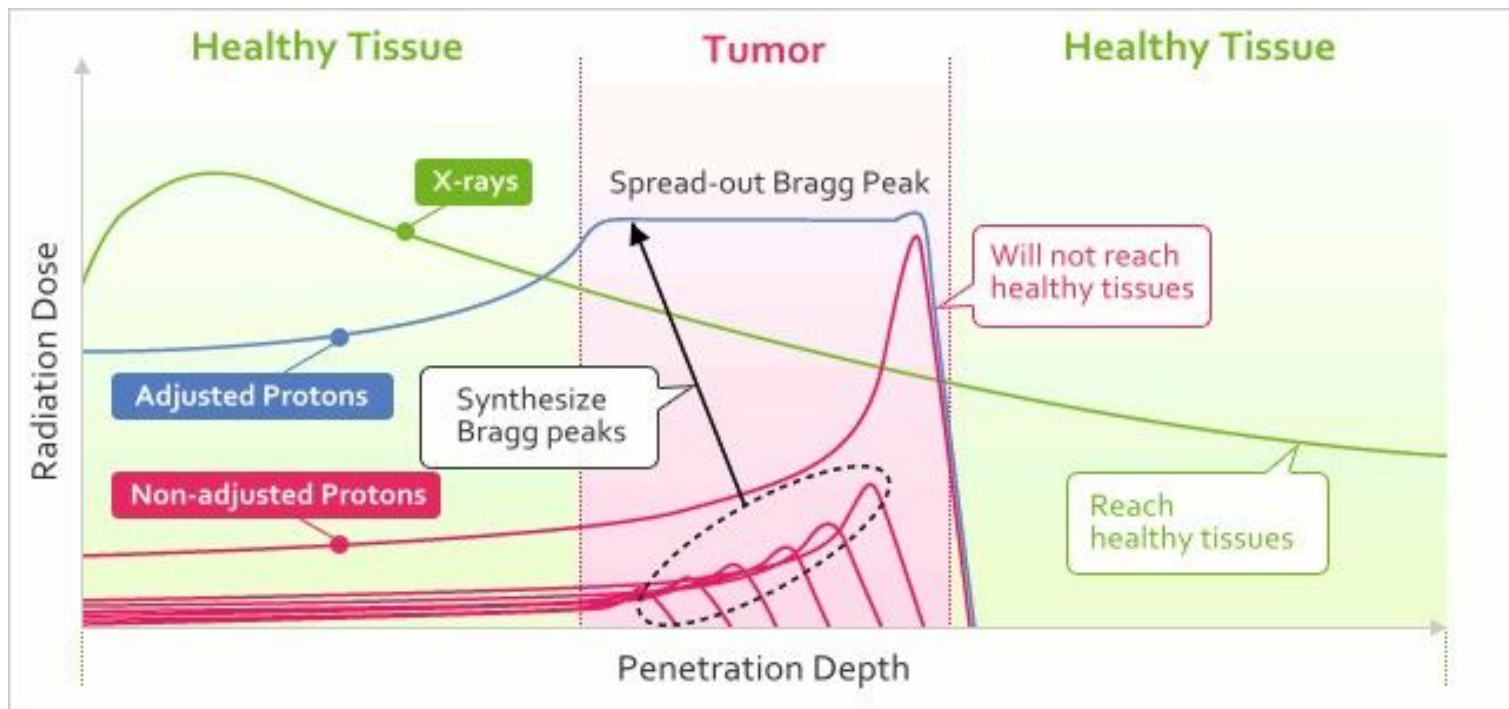
## 2.3.2.1 Curva y pico de Bragg



(Nobuyoshi Fukumitsu, 2012)

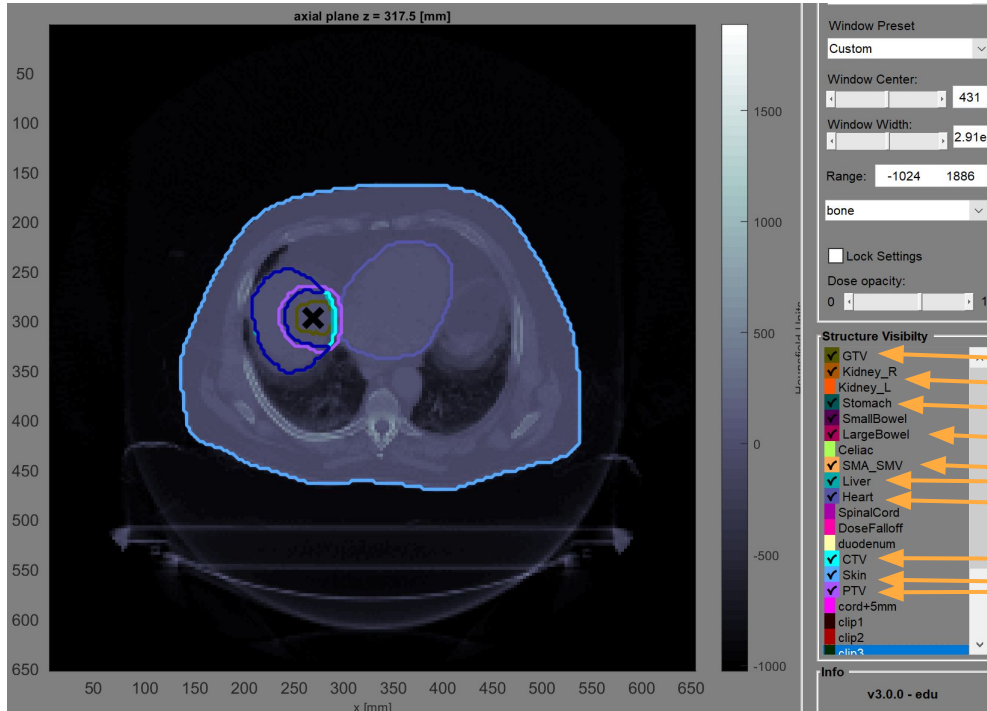


## 2.3.2.1 Curva y pico de Bragg



(Asian American Radiation & Oncology, s.f.)

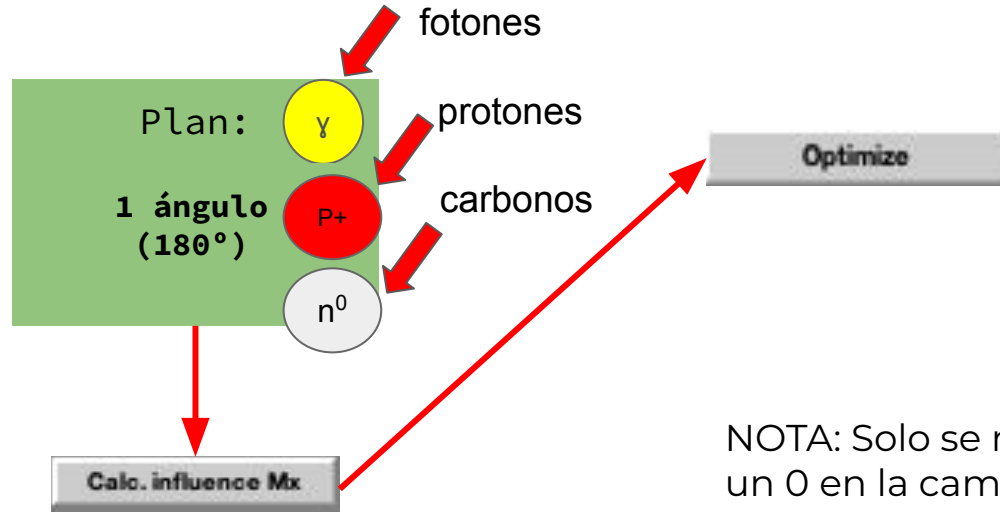
## 2.3.3 Hígado con un ángulo con las 3 partículas



### Ubicación:

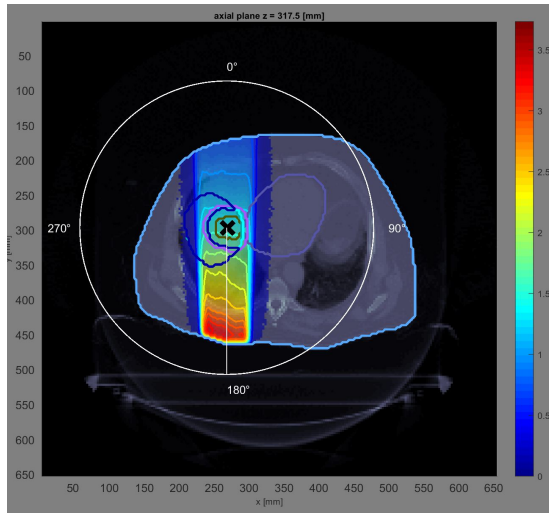
- Parte superior derecha del tórax.
- Detrás de costillas inferiores.

## 2. 3. 3 Hígado con un ángulo con las 3 partículas

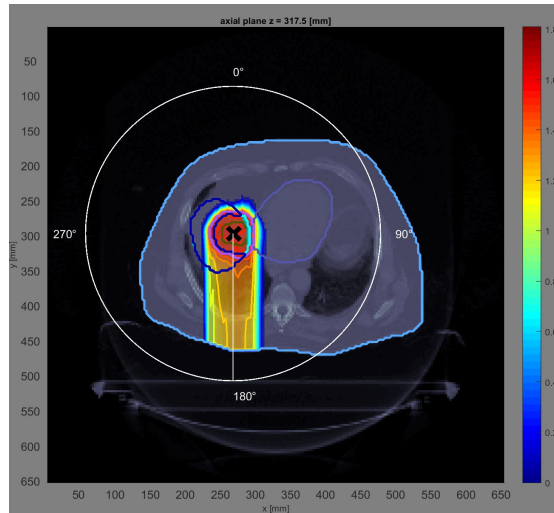


NOTA: Solo se necesita un 0 en la cama, porque se usará un solo ángulo

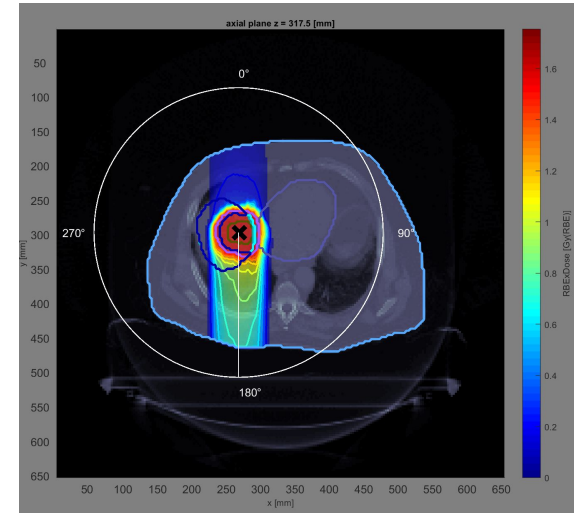
## 2.3.3 Hígado con un ángulo con las 3 partículas



Fotones



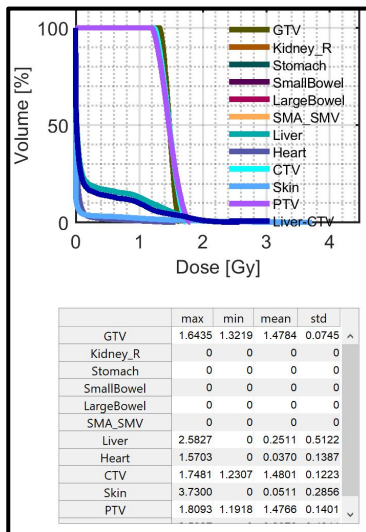
Protones



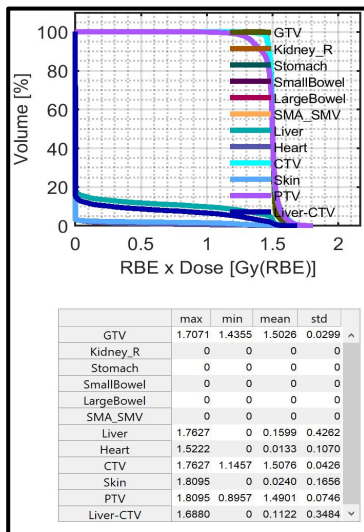
Carbonos

Aumenta precisión respecto a la zona a irradiar

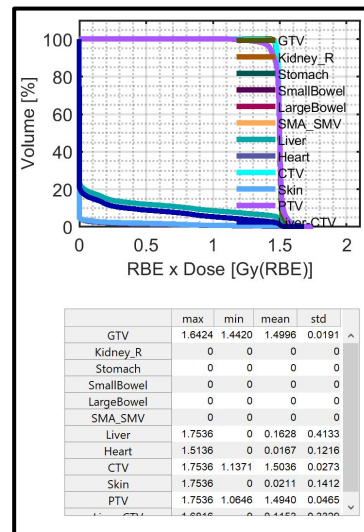
## 2.3.3 Hígado con un ángulo con las 3 partículas



Fotones

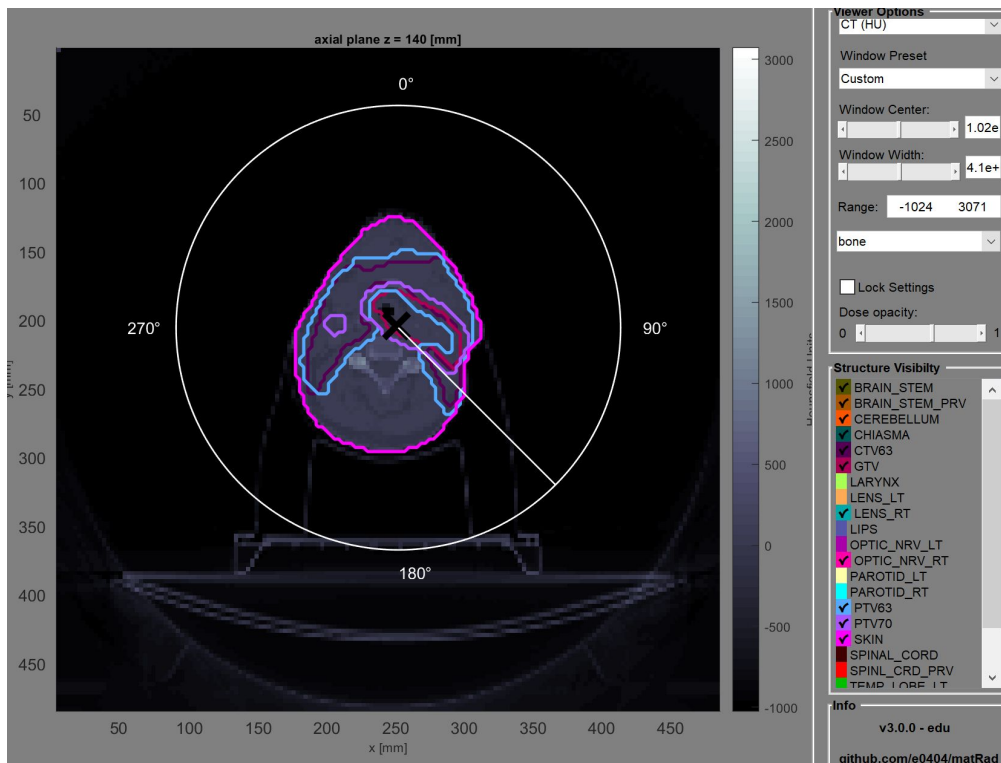


Protones



Carbonos

## 2.3.4 Cabeza y cuello con un ángulo con las 3 partículas

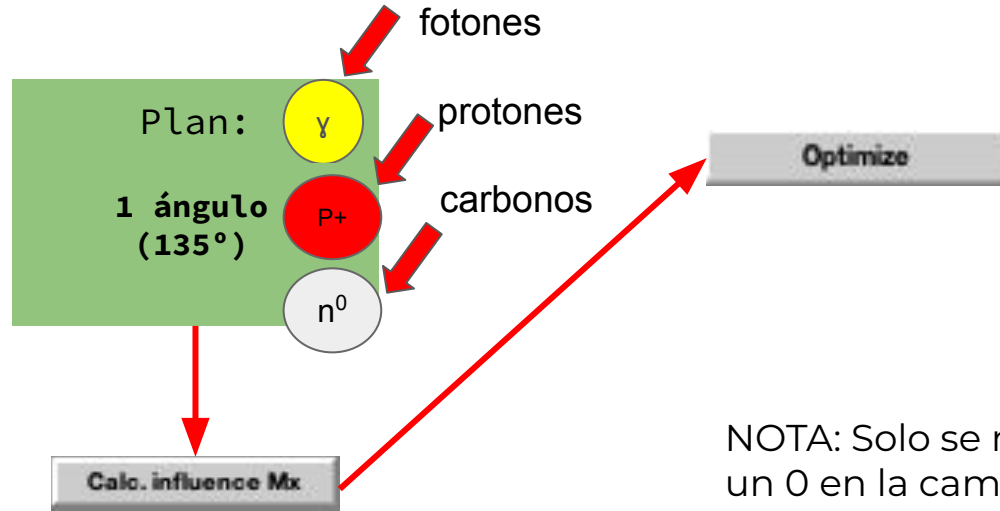


### Ubicación GTV:

Hemisferio derecho (parte frontal)

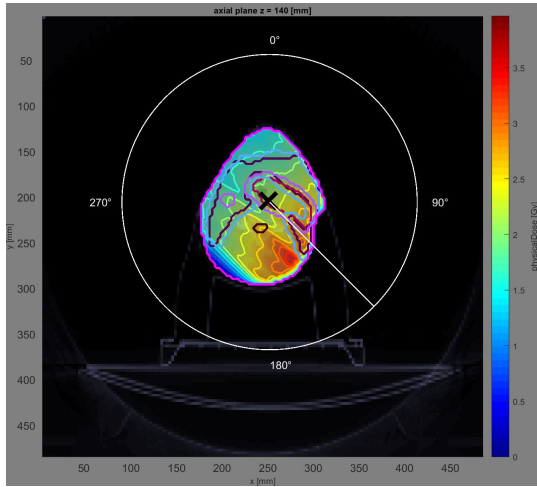
Mantener estructuras RT (right) y cercanas al espacio por irradiar

## 2.3.4 Cabeza y cuello con un ángulo con las 3 partículas

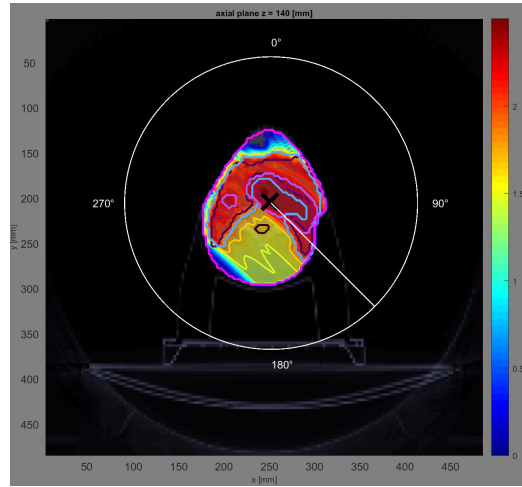


NOTA: Solo se necesita un 0 en la cama, porque se usará un solo ángulo

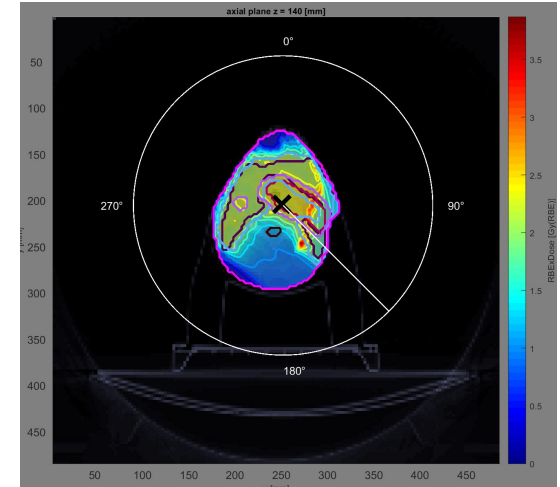
## 2.3.4 Cabeza y cuello con un ángulo con las 3 partículas



Fotones



Protones

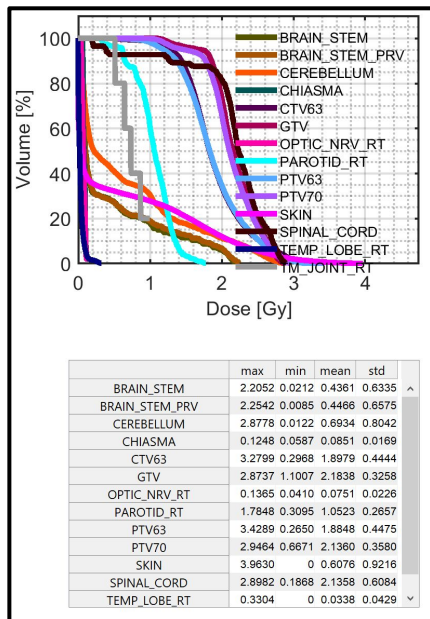


Carbonos

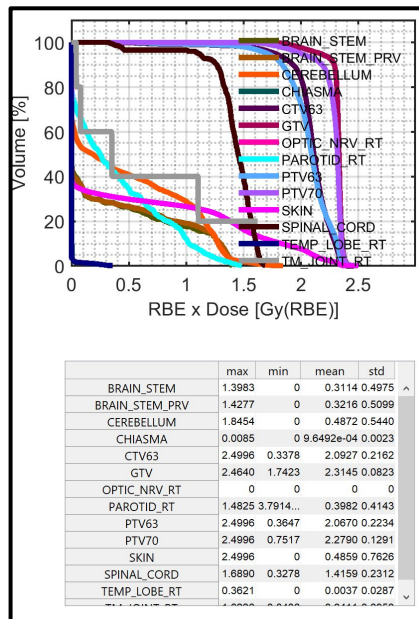
Aumenta precisión respecto a la zona a irradiar



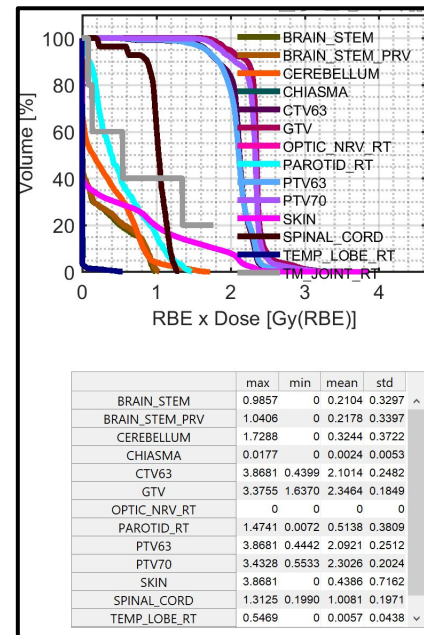
## 2.3.4 Cabeza y cuello con un ángulo con las 3 partículas



Fotones



Protones



Carbonos

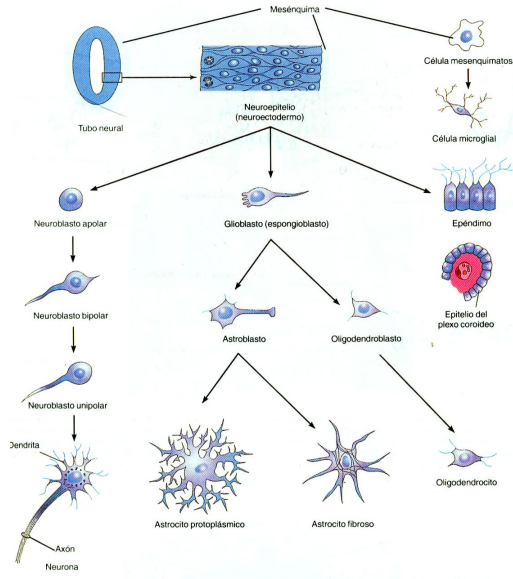
## 2.3.4.1 Radiosensibilidad

*Ley de Bergonie y Tribondeau:* la **radiosensibilidad** de las células es directamente proporcional a su **actividad reproductora** e inversamente proporcional a su **grado de diferenciación**.

Radiosensibilidad alta	Linfocitos
	Granulocitos
	Eritroblastos
	Espermatogonias
	Células epiteliales
Mioblastos	
Radiosensibilidad media	Células endoteliales
	Osteoblastos
	Espermátides
	Fibroblastos
Radiosensibilidad baja	Condrocitos
	Osteocitos
	Miocitos
	Neuronas

## 2.3.4.1 Radiosensibilidad

En otras palabras... **entre más compleja la célula, menos la afecta la radiación.**



Neuronas: muy distintas,  
muy resistentes

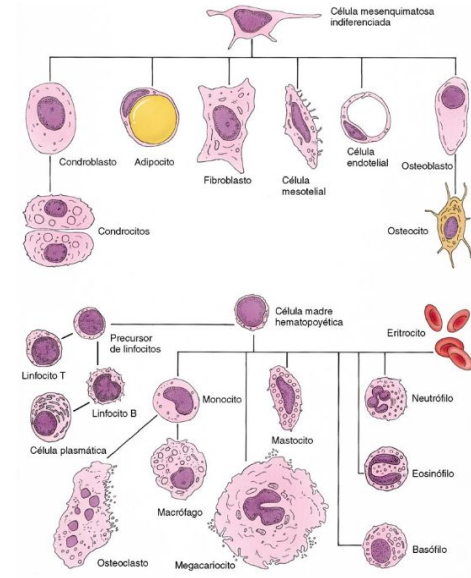
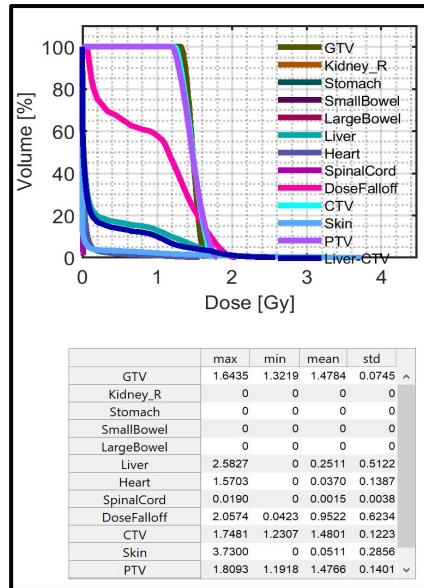


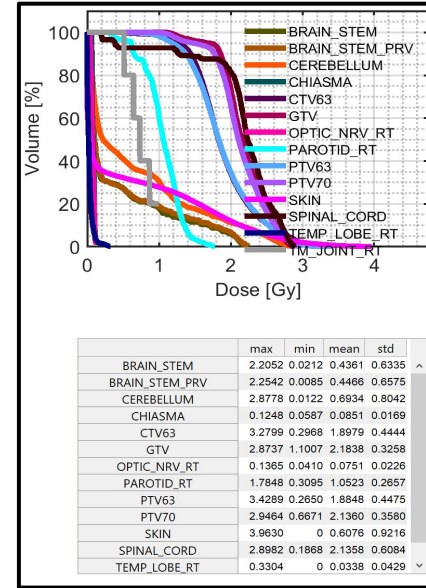
Figura 7.3 Origen de las células del tejido conectivo (y osteoblastos, osteocitos y osteoclastos). (Tomado de Garner LP, Hiatt JL: *Color Textbook of Histology, 3rd ed. Philadelphia, Saunders, 2007, p 112.*)

Linfocitos (defensas): muy  
parecidas, muy sensibles

## 2.3.4.2 Análisis de radiosensibilidad



Hígado-Fotones (1 ángulo)



Cabeza y cuello-Fotones (1 ángulo)

# 3. Conclusiones

- Muerte celular limpia → Muchos haces con poca intensidad.
- Mayor especialización (complejidad) celular → Mayor resistencia a la radiación.
- Protones e iones de carbonos → ¡Ganadores! Pero caros.
- Idealmente: Solo irradiar al tumor, sin afectar a tejidos aledaños (sanos).
- La curva de Bragg describe cómo una partícula desprende su energía sobre un tejido.

!!!LA SIMULACIÓN y MATRAD SON AMOR!!!

# EXTRA: Quiz y feedback

<https://forms.gle/5gHqMQ2yfhYdKre16>