

Radiocirugía Extra craneal SBRT: Actualización desde el punto de vista físico y aseguramiento de la calidad

William Parker

Centre universitaire
de santé McGill



McGill University
Health Centre

Programa de SBRT en McGill

- Comenzó en 2007 con SBRT de hígado y pulmón
- Localización usando fiduciales, modo cine EPID en un Linac convencional, y gating usando el sistema Varian RPM
- Bias de SRS: cuadro de localización, inhomogeneidad de dosis alta

Extracranial frame based stereotactic localization

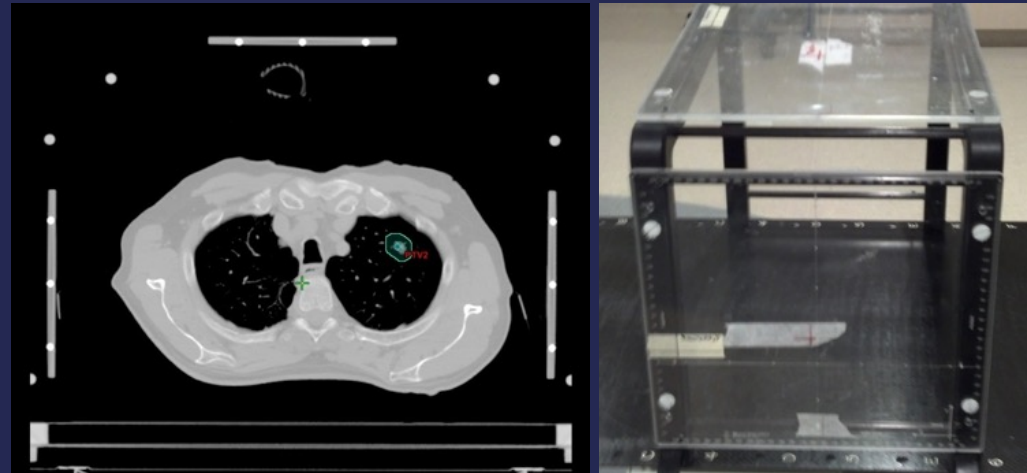
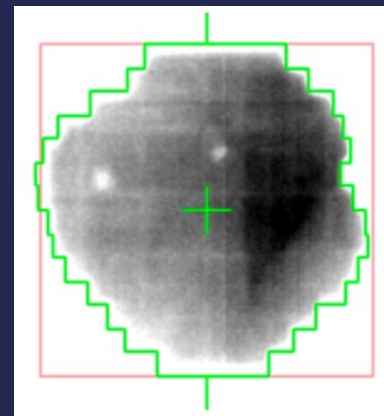
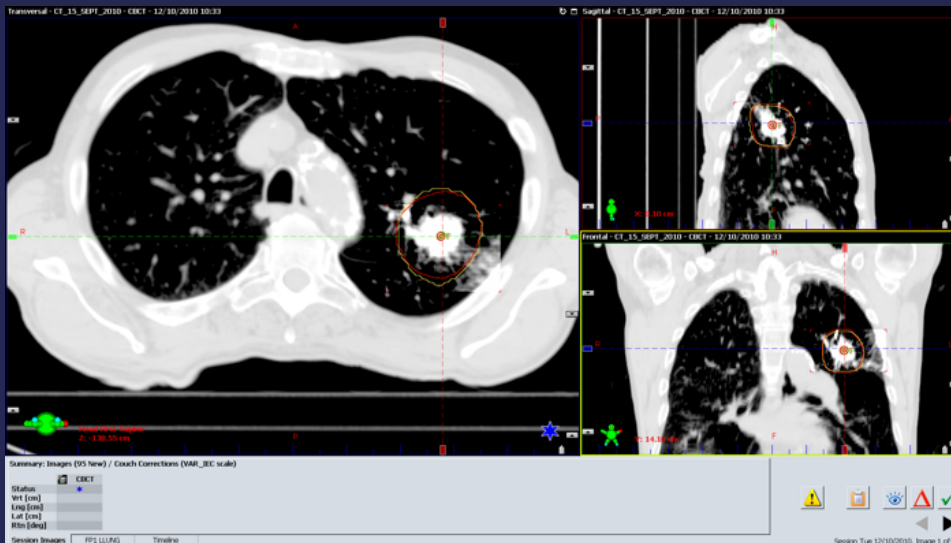


Image analysis based on an approach from Berbeco et al., Med Phys, 2007 (P. Pater)



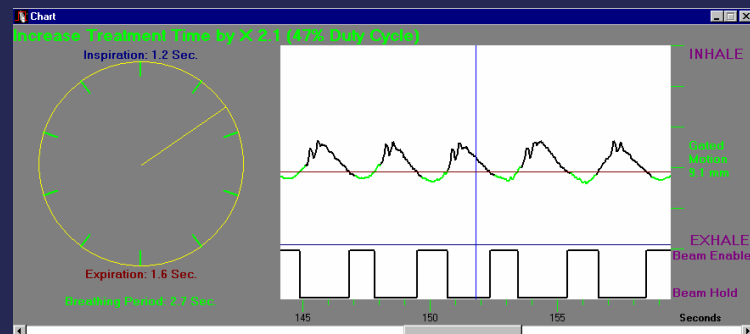
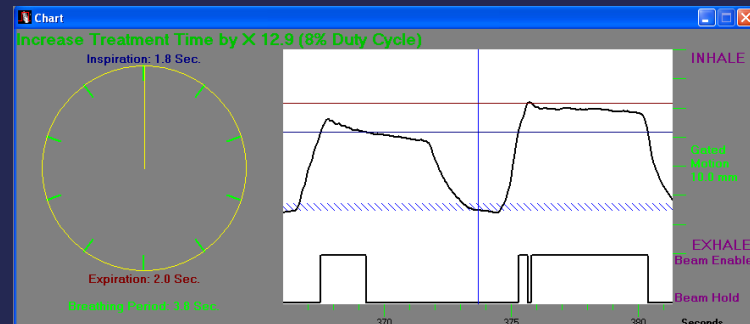
Programa McGill SBRT actualmente

- Pulmón, hígado, columna vertebral, riñón, próstata ...
- Aproximadamente 200 pacientes por año (además de 250 casos de SRS)
- Actualmente, dos enfoques para el tratamiento:
 - Linac convencional con localización CBCT (ITV)
 - CyberKnife con seguimiento pulmonar de rayos X, Synchrony® (seguimiento fiducial)

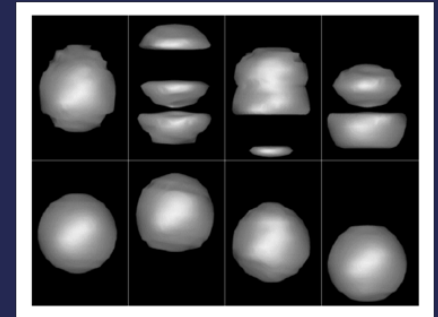


1. CT simulación

- 4DCT recomendado
- Los métodos actuales dependen de la superficie como sustituto para el movimiento de respiración (marcador IR o “bellows”)
- Amplitud basada en mejores resultados



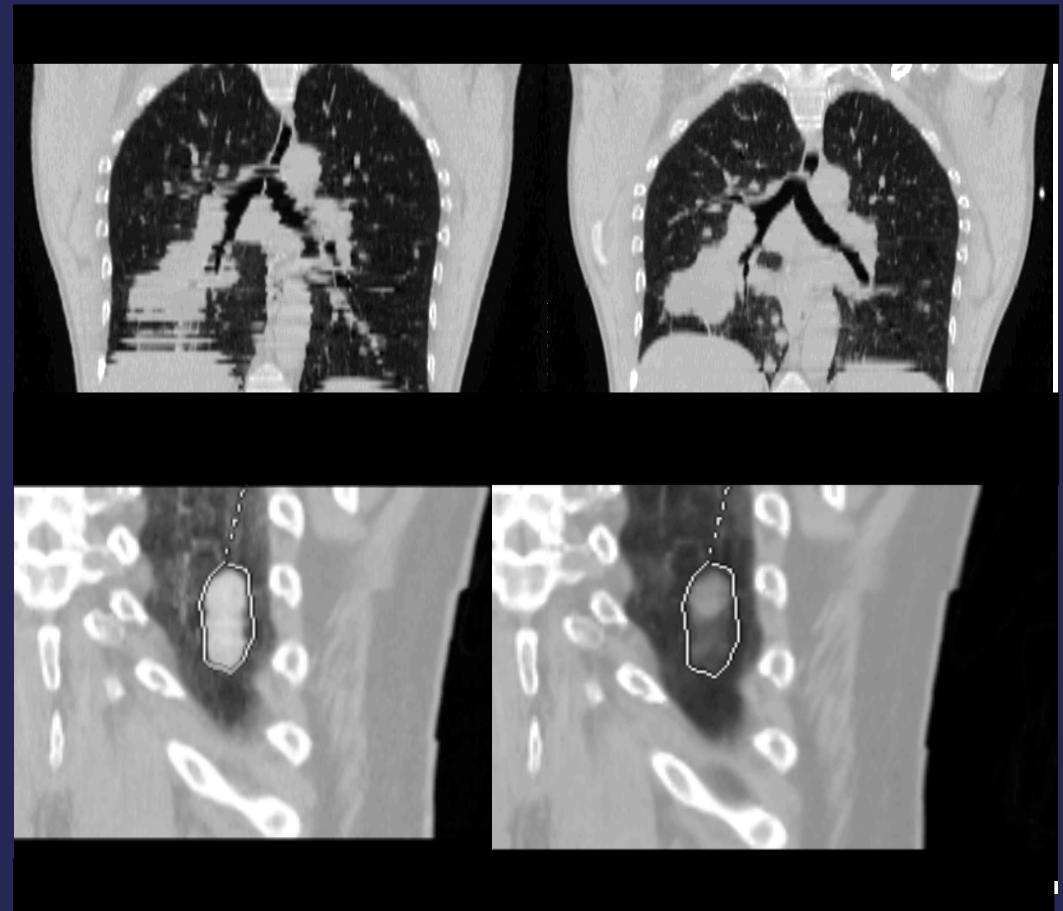
1. CT simulación



Bad CT

Good CT

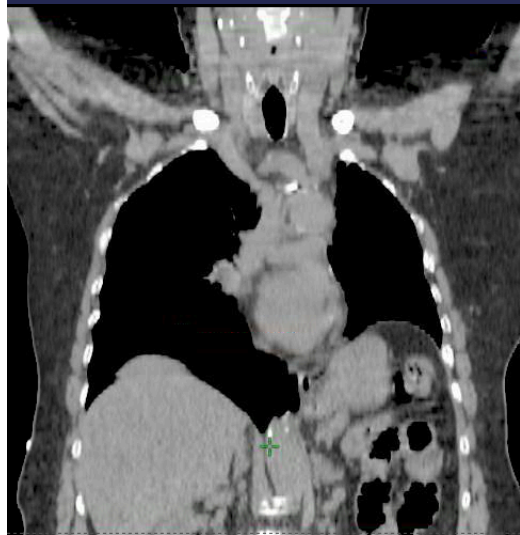
- Use la información para determinar el ITV o para seleccionar la fase para el tratamiento “gating”
- CUIDADO con artefactos de movimiento, pueden afectar definición de ITV y OAR, y calculo de dosis
- MIP vs. promedio vs. fase única
- No hay una forma absolutamente correcta de planificar (coturnos y calculación)
- Elegimos "respiración libre"
- Vamos a cambiar a promedio (average) probablemente



MIP

Average CT

1. CT simulación



Free breathe



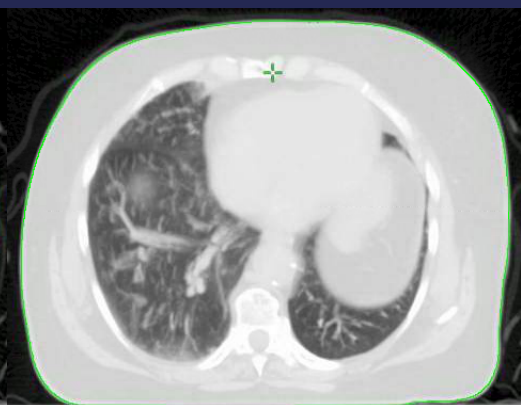
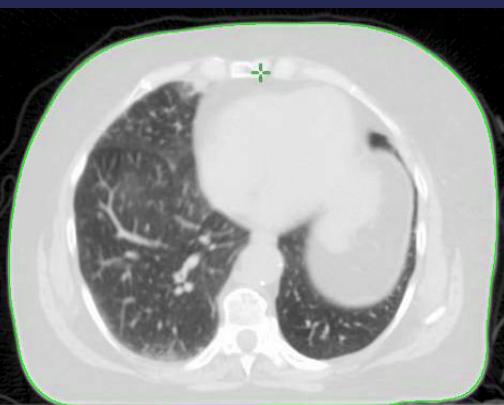
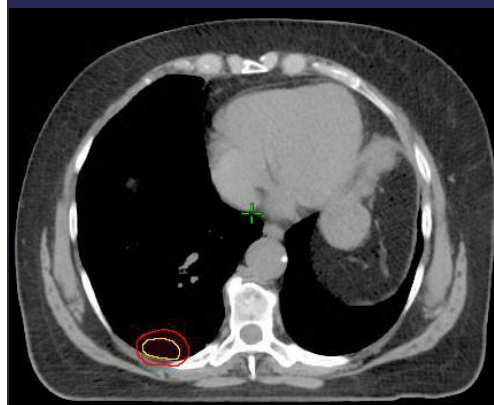
CT 0



CT 50



MIP



1. CT simulación

¿Es importante la inmovilización?

- Puede ser costoso
- Reproducibilidad?
- Se puede desinflar
- Problemas de almacenamiento
- La comodidad varía
- Inmovilizar de fuera no inmoviliza adentro!

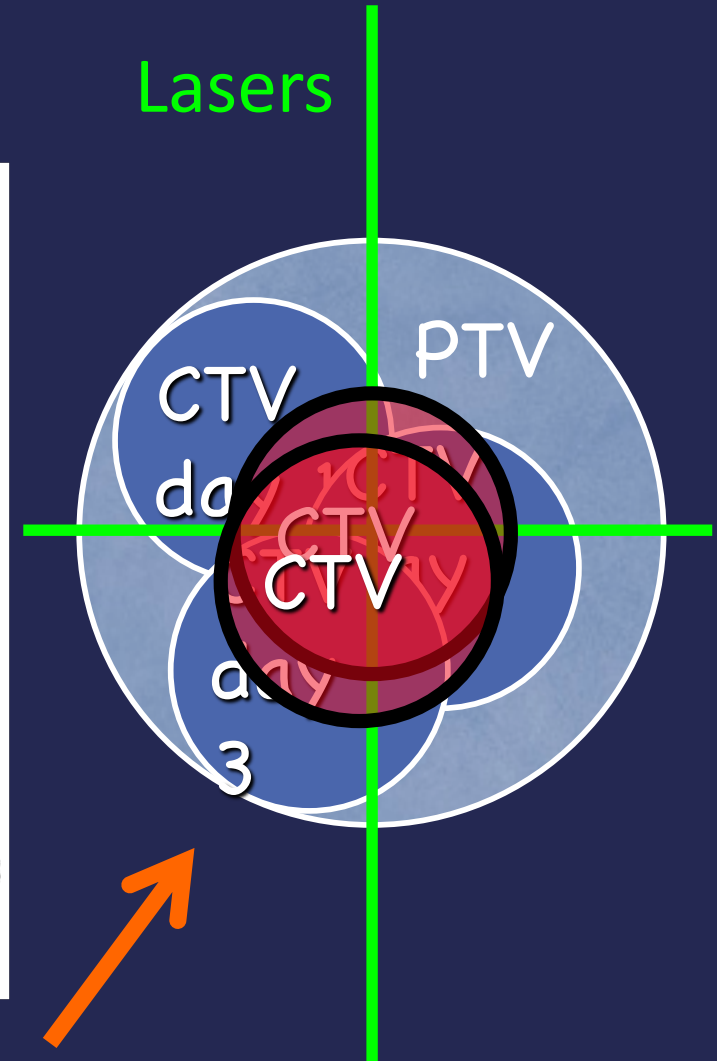
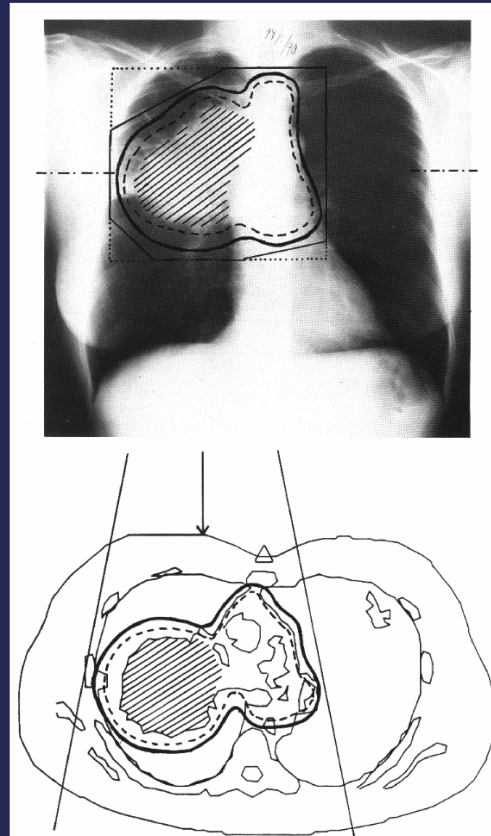
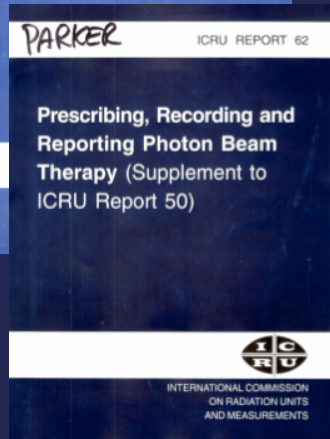
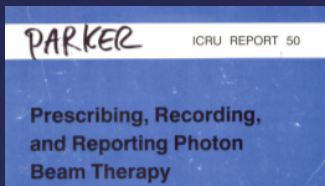


- 5mm in 27% of cases
- Best for targets in the



2. PTV definición

- Margen de PTV es tejido sano
- $PTV = CTV + SM + IM$
- “Setup” + “internal”



Todas las posiciones posibles del CTV están cubiertos por el PTV

2. PTV definición

Incertidumbre de localización (SM)

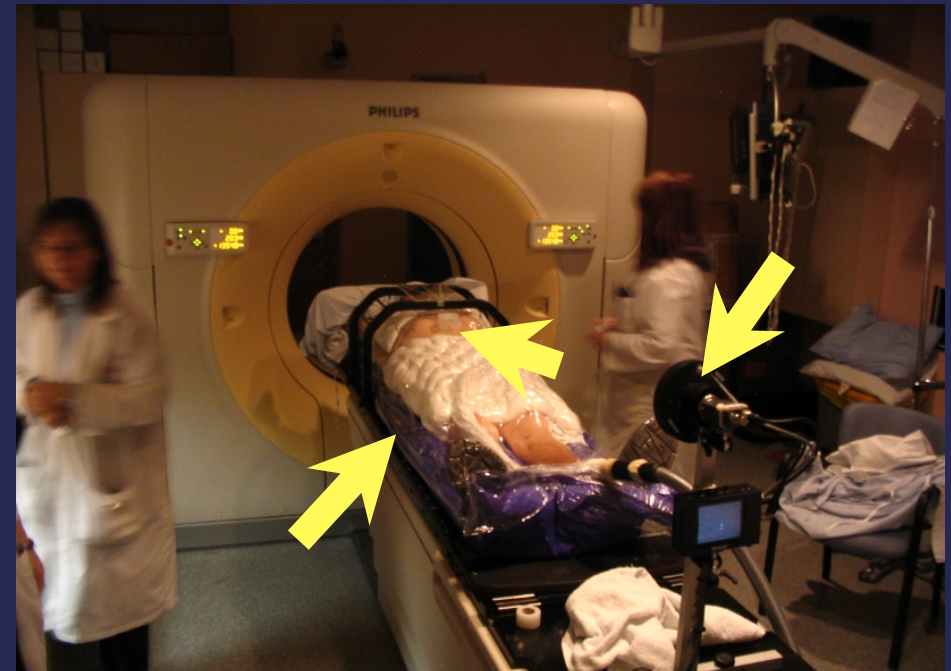
- Precisión de los láseres
- marcas en el paciente
- posición de fiduciales
- reproducibilidad de la posición CT
- Minimizado por imágenes diarias IGRT

Gestión de movimiento (IM)

- 4DCT
- ITV
- Compression abdominal
- Control de la respiración

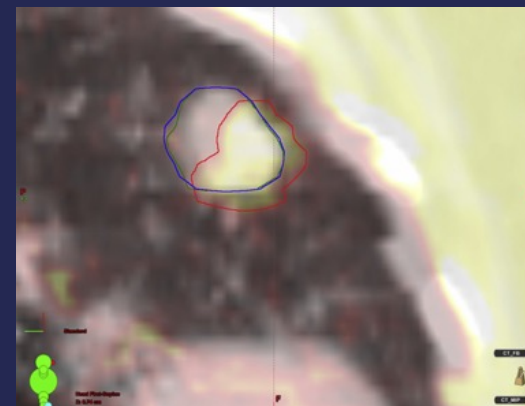
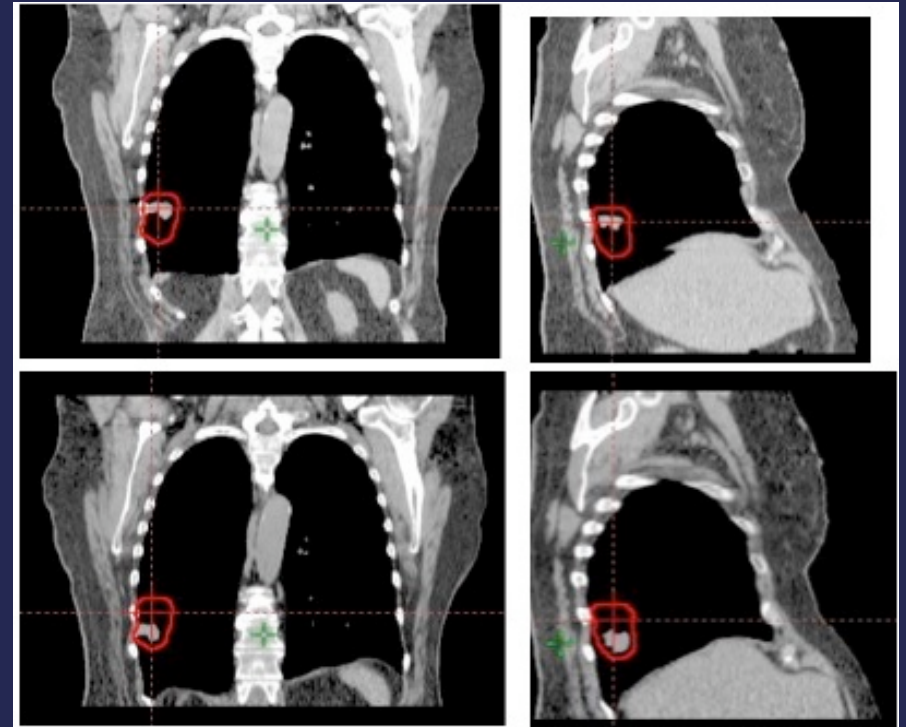
PTV margen recomendación

- Mínimum 5 mm alrededor del ITV
- ITV definido del 4DCT
- 10 mm margen SI del GTV (sin 4DCT)



2. PTV definición

- ITV contorneado en MIP
- ITV verificado en las fases de inhalación y exhalación
- Expansión de 5 mm de ITV a PTV
- ITV es una combinación de GTV (CTV) en todas las fases.
- MIP puede subestimar la ITV (¡tenga cuidado!)
- “free breathe” no es lo mismo que “average CT”
- “average CT” mejor para la coincidencia de CBCT y la dosis calculada, pero no es crítica (Tian et al., Med Phys, 2012)



Ge et al.
IJROPB. Apr.
2012. Red is
GTV on FB.
Green is ITV
MIP and Blue is
ITV 10 phases.
(DUKE)

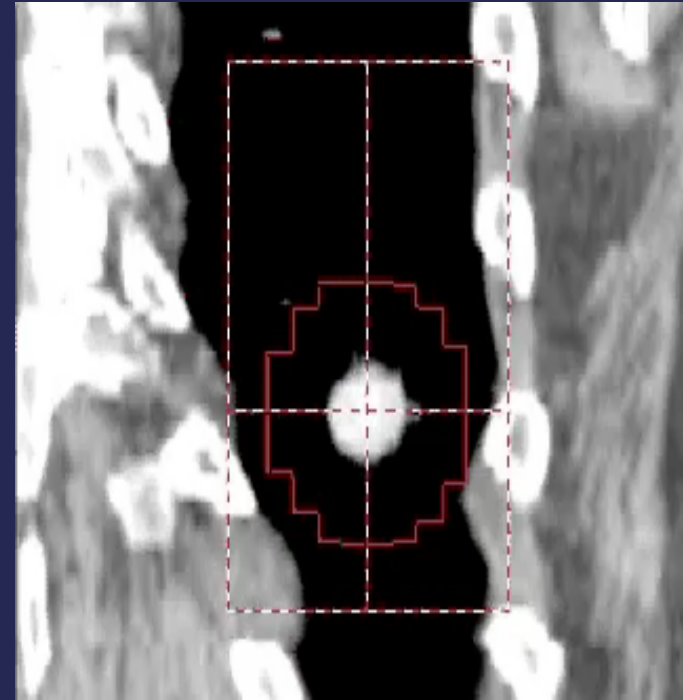
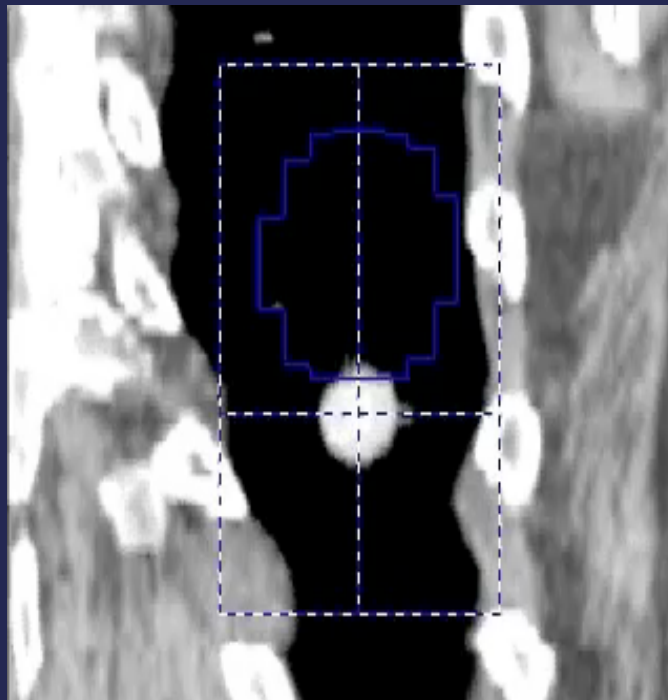
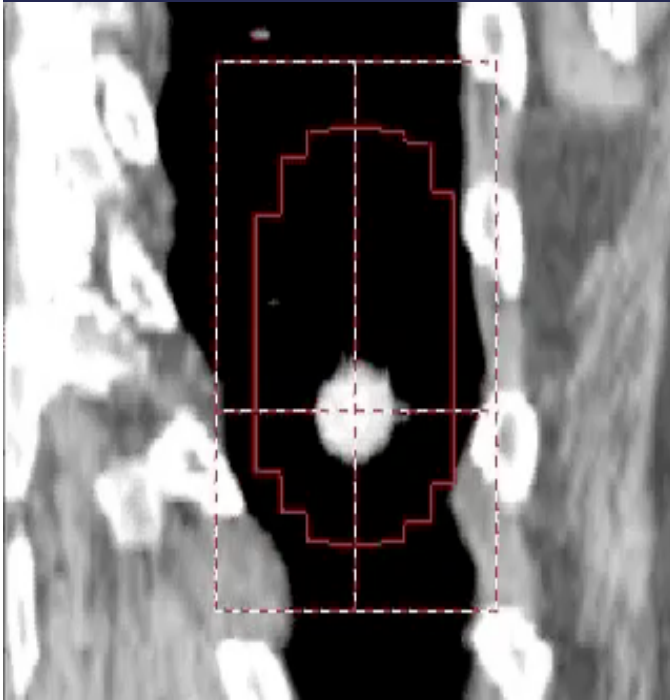
2. PTV definición opciones en SBRT

Las márgenes de PTV no son las mismas para cada una de estas opciones!!!

Movimiento incluso (ITV)

“Gating”

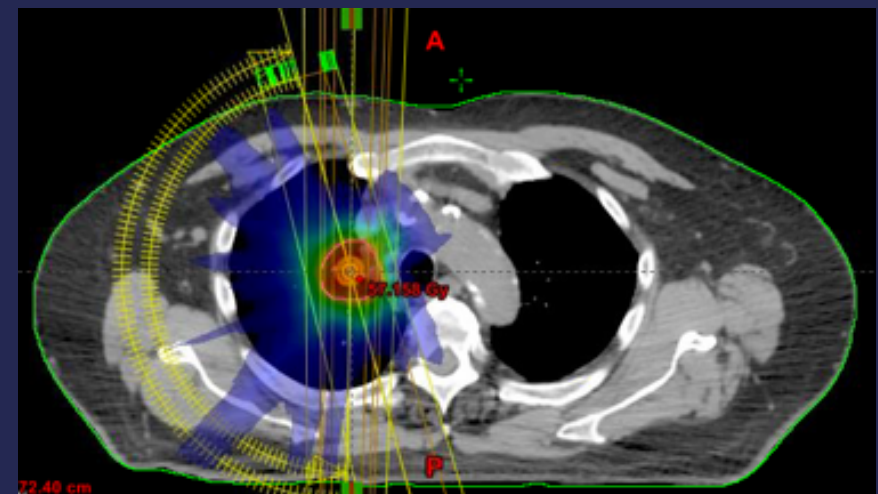
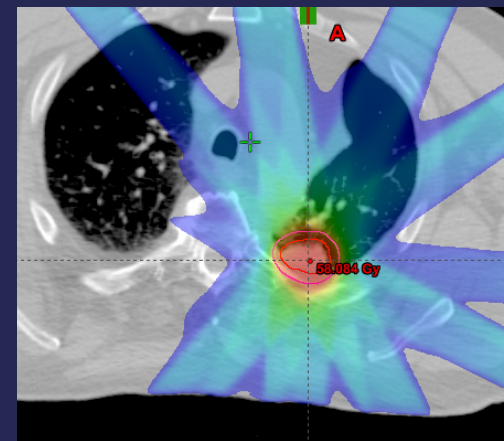
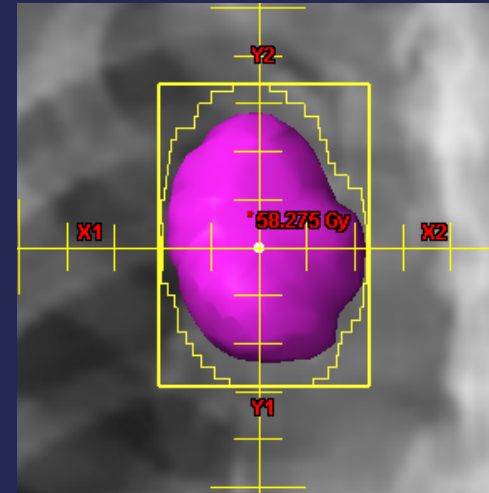
“Tracking”



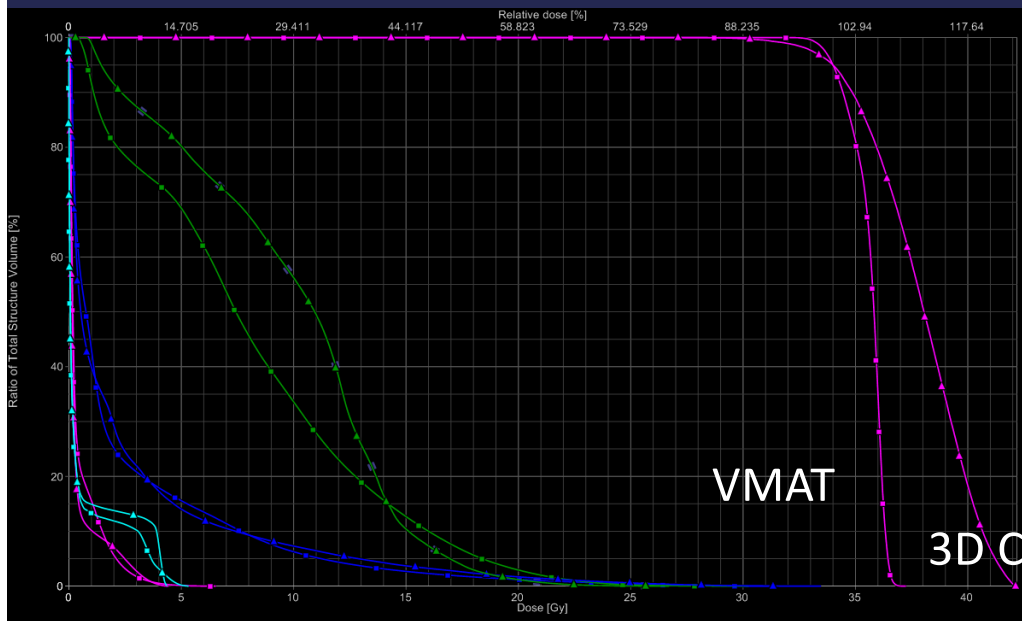
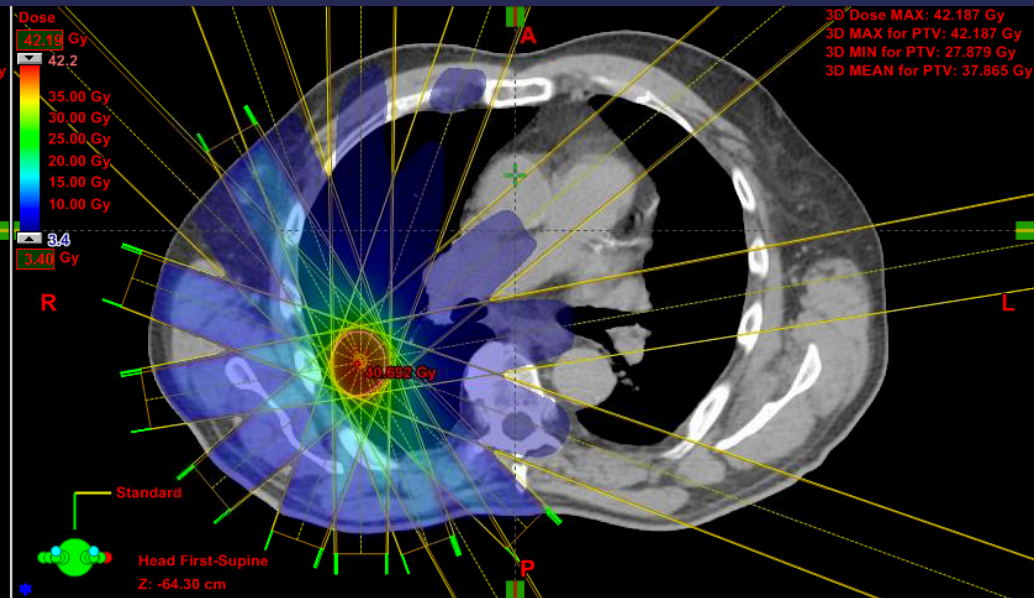
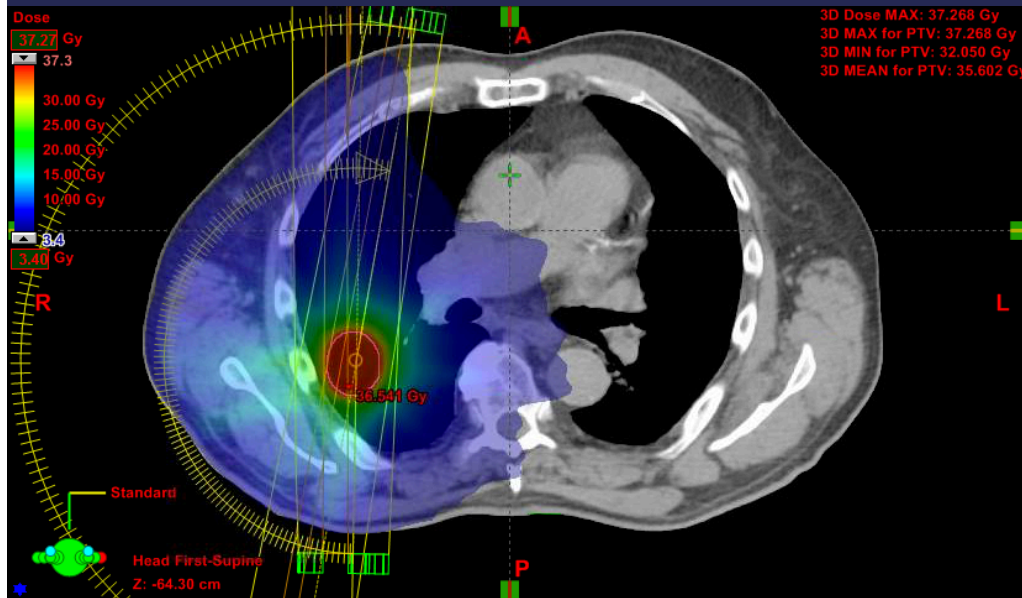
ITV movimiento incluso	Gating	Tracking
Opción mas popular	Usada mas menos popular	Existe sobretodo de pesquisa MR Linac, Cyberknife
PTV incluye el movimiento completo de el CTV	PTV incluye incertitud residual considerando el sistema de gating	PTV incluye incertitud residual considerando el sistema de tracking

3. Geometría

- 3D CRT
 - > 6 campos
 - Evitar campos opuestos
 - Bloqueo MLC apretado a PTV (<3 mm)
 - Sin modificadores de haz (es decir, no se requieren wedges o FIF IMRT)
 - Los campos no coplanarios generalmente no se requieren
 - Evitar la entrada y salida a través del pulmón contralateral
- VMAT 2-3 arcos hemisféricos de 360 grados y 6MV



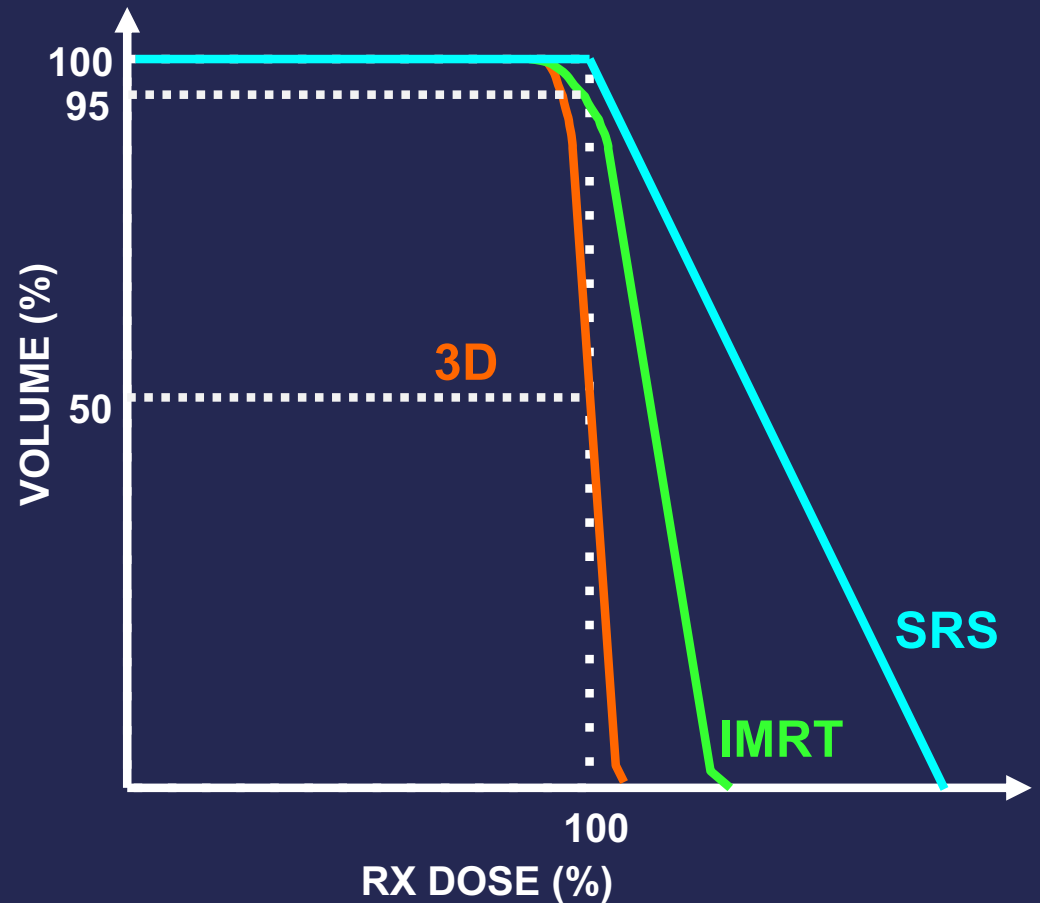
4. VMAT vs 3D CRT



- Distribuciones semejantes
- Las dos técnicas con pocas excepciones satisfacen los "constraints"
- 3D con campos pequeños da una dosis máxima mas alta que el VMAT

5. Prescripción

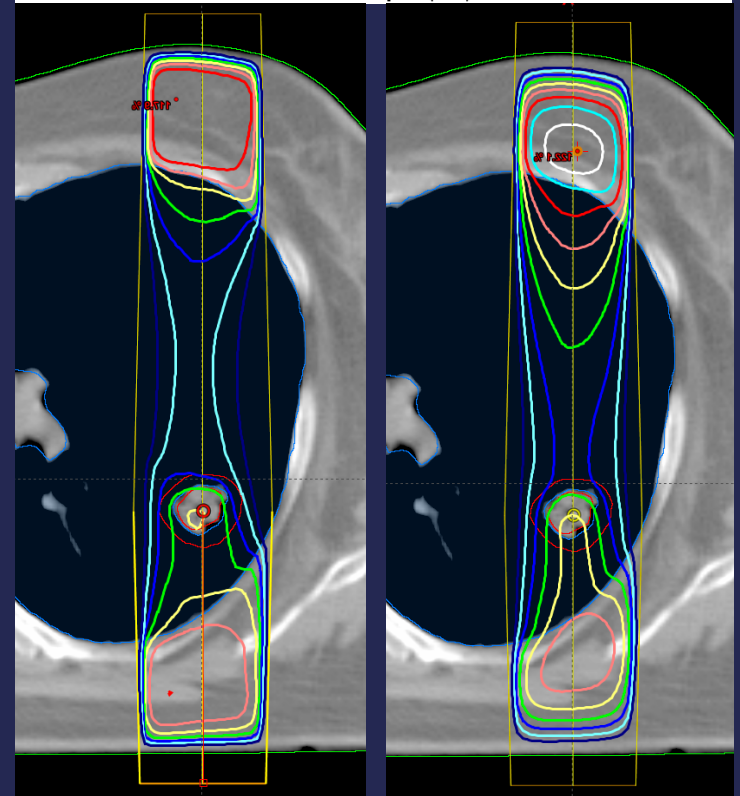
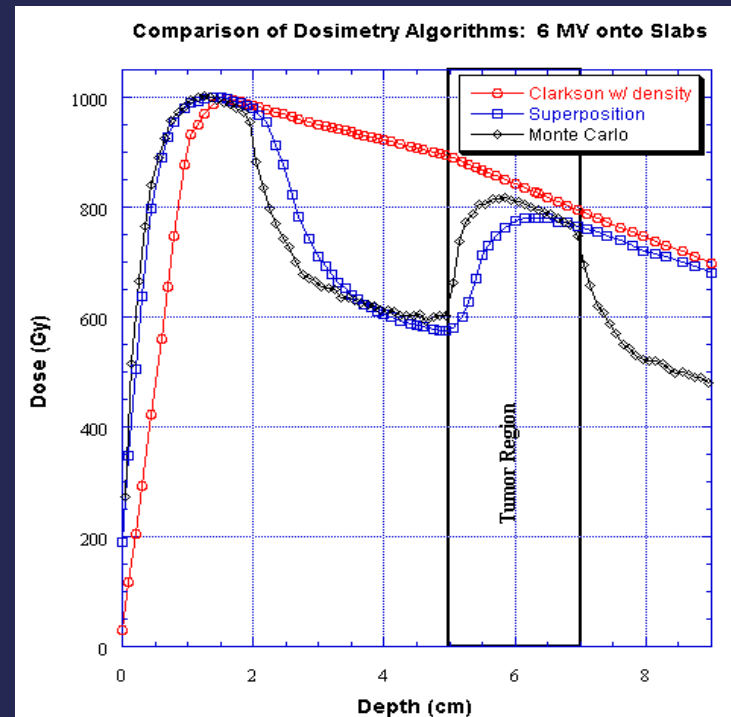
- Conceptos de SRS
- Campos pequeños
- Las prescripciones son generalmente a 75-85% de la dosis máxima
- Debido a la falta de penumbra precipitosa en el borde del campo
- Pero...con VMAT uno puede prescribir como cualquier otro plan IMRT



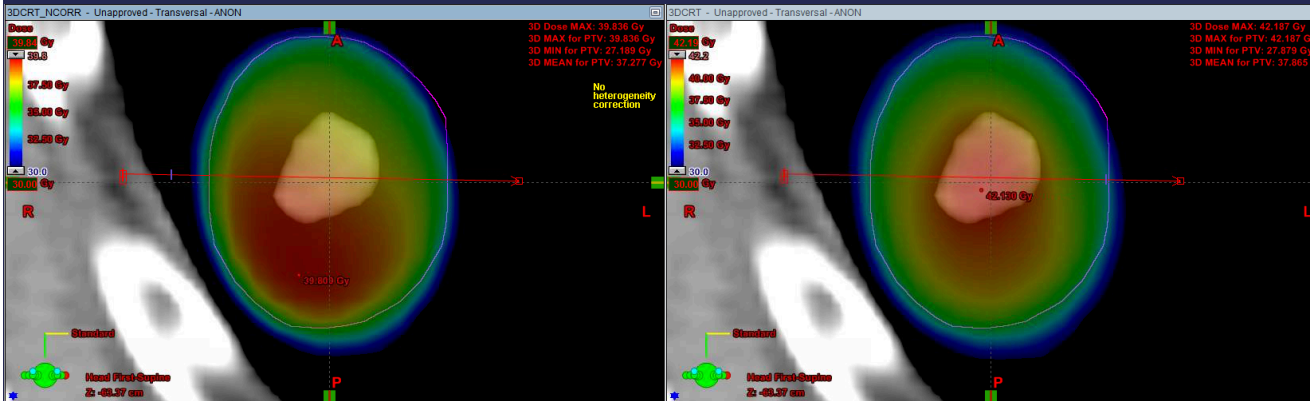
Tech	D _{min}	D _{max}	D _{Mean}	V _{Rx}
3D	95%	107%	~100%	50%
IMRT	95%	105 - 115%	~105%	95 - 99%
SRS	100%	120-150%	???	100%

5. Cálculo de dosis

- Las correcciones de heterogeneidad de densidad pueden ser muy importantes.
 - incertidumbre de cálculo
 - Región “build-up”
 - Falta de dispersión lateral
- El uso incorrecto de ellos puede dar lugar a un error de cálculo de hasta el 20%, generalmente $\sim 5\%$
- Los TPS modernos tienen buenas correcciones para campos grandes
- mantener un mínimo tamaño de campo $> 3.5 \text{ cm}^2$ para evitar incertidumbres
- Las bajas energías minimizan el problema de “build-up” pero son mas afectadas con el largo de la heterogeneidad

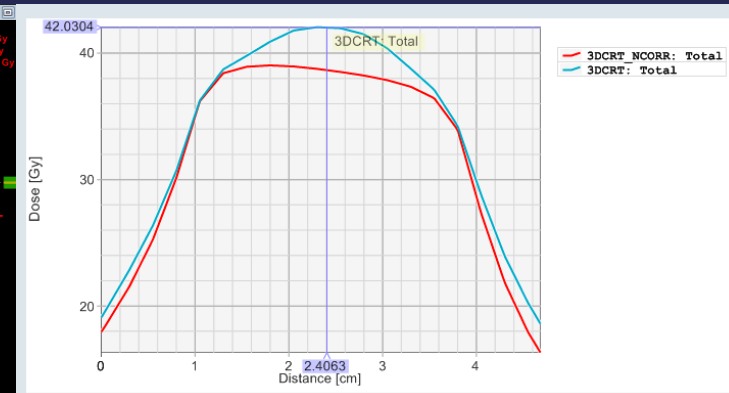


5. Cálculo de dosis

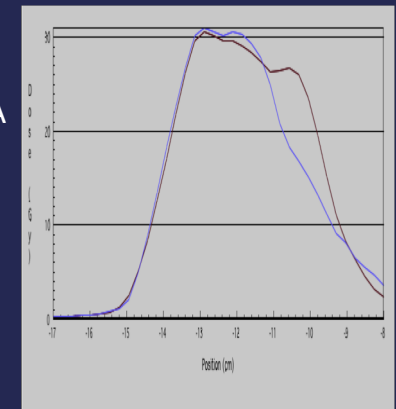
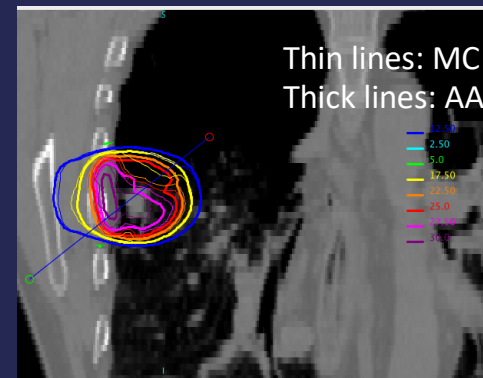


Sin corrección

AAA corrección

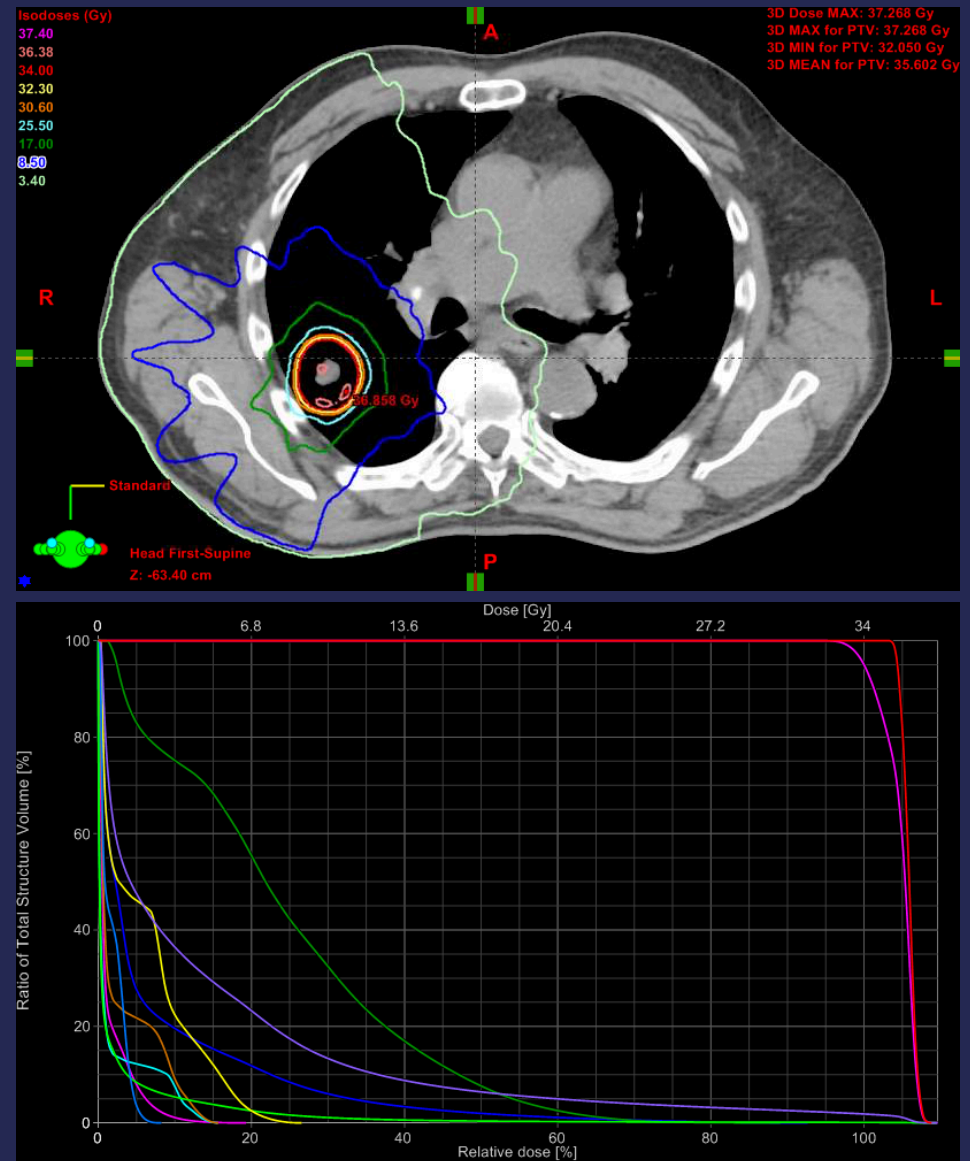


- Algoritmos de convolución/ superposición, Monte Carlo, y deterministas modelan el transporte electrónico lateral bien
- Diferencias entre correcciones es pequeña
- Utilizamos tantos campos o mismo arcos que las incertidumbres que quedan se minimizan
- Siempre page atención!



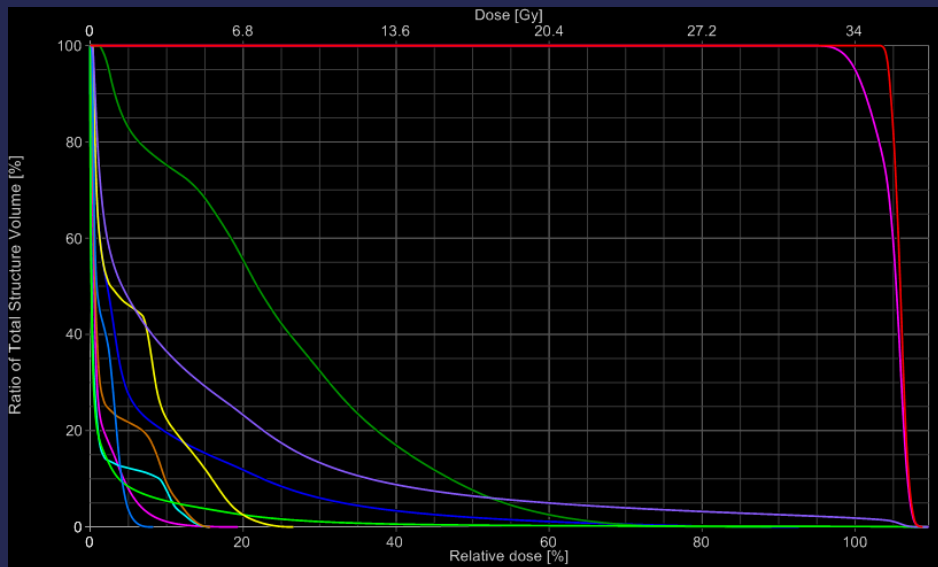
6. Evaluación de plan

- Buen paciente, lesion
- Prescripción correcta
- Cobertura PTV: DVH + visual para evaluar subdosis
- Constraints OAR - DVH
- Compromisos: inspección visual para verificar áreas de intersección, gradientes de dosis, etc.
- Inspección visual para recoger intangibles y información que falta en el DVH



6. Evaluación de plan

- Las tolerancias de los tejidos normales dependen del tamaño de la fracción
- Espera gradientes de dosis > 25% en objetivos, GTV recibe una dosis media más alta que PTV
- Conozca bien las DVH, pueden ser difíciles de interpretar



Arm 1: One Fraction (34 Gy)				
Serial Tissue	Volume	Volume Max (Gy)	Max Point Dose (Gy)	Endpoint (≥Grade 3)
Spinal Cord	<0.35 cc <1.2 cc	10 Gy 7 Gy	14 Gy	myelitis
Esophagus*	<5 cc	11.9 Gy	15.4 Gy	stenosis/fistula
Brachial Plexus	<3 cc	14 Gy	17.5 Gy	neuropathy
Heart/Pericardium	<15 cc	16 Gy	22 Gy	pericarditis
Great vessels	<10 cc	31 Gy	37 Gy	aneurysm
Trachea and Large Bronchus*	<4 cc	10.5 Gy	20.2 Gy	stenosis/fistula
Rib**	<1 cc	22 Gy	30 Gy	Pain or fracture
Skin	<10 cc	23 Gy	26 Gy	ulceration
Stomach	<10 cc	11.2 Gy	12.4 Gy	ulceration/fistula
Parallel Tissue	Critical Volume (cc)	Critical Volume Dose Max (Gy)		Endpoint (≥Grade 3)
Lung (Right & Left)	1500 cc	7 Gy		Basic Lung Function
Lung (Right & Left)	1000 cc	7.4 Gy		Pneumonitis

Arm 2: Four Fractions (12 x 4 Gy)				
Serial Tissue	Volume	Volume Max (Gy)	Max Point Dose (Gy)	Endpoint (≥Grade 3)
Spinal Cord	<0.35 cc <1.2 cc	20.8 Gy (5.2 Gy/fx) 13.6 Gy (3.4 Gy/fx)	26 Gy (6.5 Gy/fx)	myelitis
Esophagus*	<5 cc	18.8 Gy (4.7 Gy/fx)	30 Gy (7.5 Gy/fx)	stenosis/fistula
Brachial Plexus	<3 cc	23.6 Gy (5.9 Gy/fx)	27.2 Gy (6.8 Gy/fx)	neuropathy
Heart/Pericardium	<15 cc	28 Gy (7 Gy/fx)	34 Gy (8.5 Gy/fx)	pericarditis
Great vessels	<10 cc	43 Gy (10.75 Gy/fx)	49 Gy (12.25 Gy/fx)	aneurysm
Trachea and Large Bronchus*	<4 cc	15.6 Gy (3.9 Gy/fx)	34.8 Gy (8.7 Gy/fx)	stenosis/fistula
Rib**	<1 cc	32 Gy (8 Gy/fx)	40 Gy (10 Gy/fx)	Pain or fracture
Skin	<10 cc	33.2 Gy (8.3 Gy/fx)	36 Gy (9 Gy/fx)	ulceration
Stomach	<10 cc	17.6 Gy (4.4 Gy/fx)	27.2 Gy (6.8 Gy/fx)	ulceration/fistula
Parallel Tissue	Critical Volume (cc)	Critical Volume Dose Max (Gy)		Endpoint (≥Grade 3)
Lung (Right & Left)	1500 cc	11.6 Gy (2.9 Gy/fx)		Basic Lung Function
Lung (Right & Left)	1000 cc	12.4 Gy (3.1 Gy/fx)		Pneumonitis

*Avoid circumferential irradiation

**Rib limit may be exceeded if rib structure lies within PTV; see Section 6.5.1.1 below.

6. Evaluación de plan

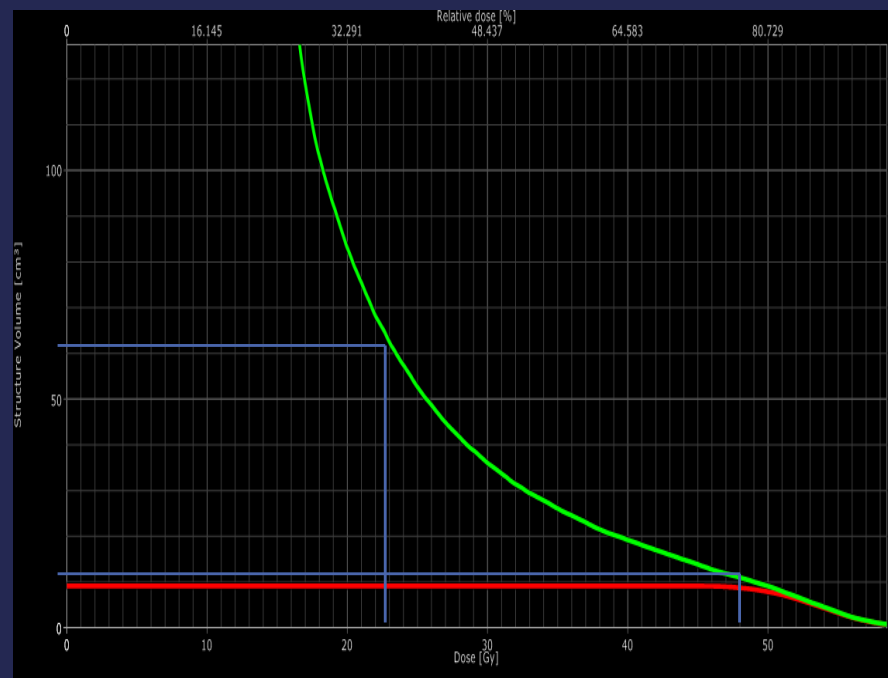
- Conceptos especiales para SBRT (prestados de SRS)
- “Intermediate dose spillage”
- PITV = volumen de isodosis de RX / volumen PTV
- PITV (R50) = volumen de 50% isodosis de RX / volumen PTV
- Dosis máxima a 2 cm desde el PTV

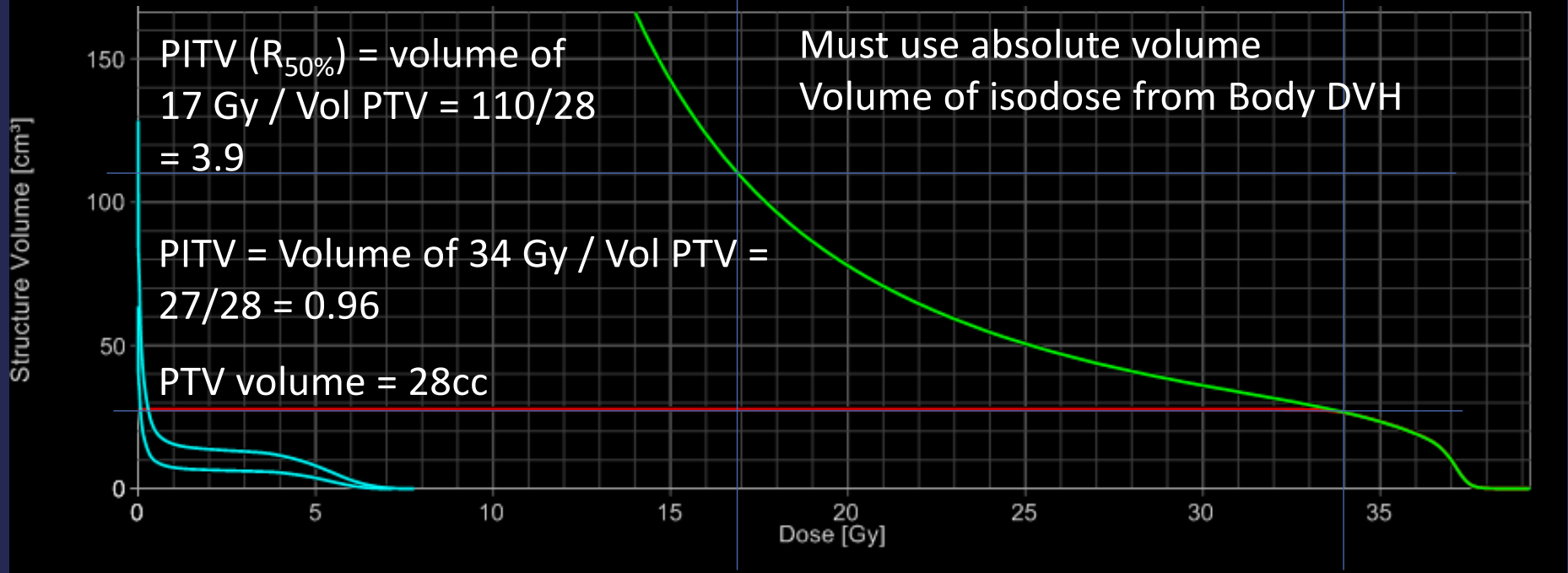
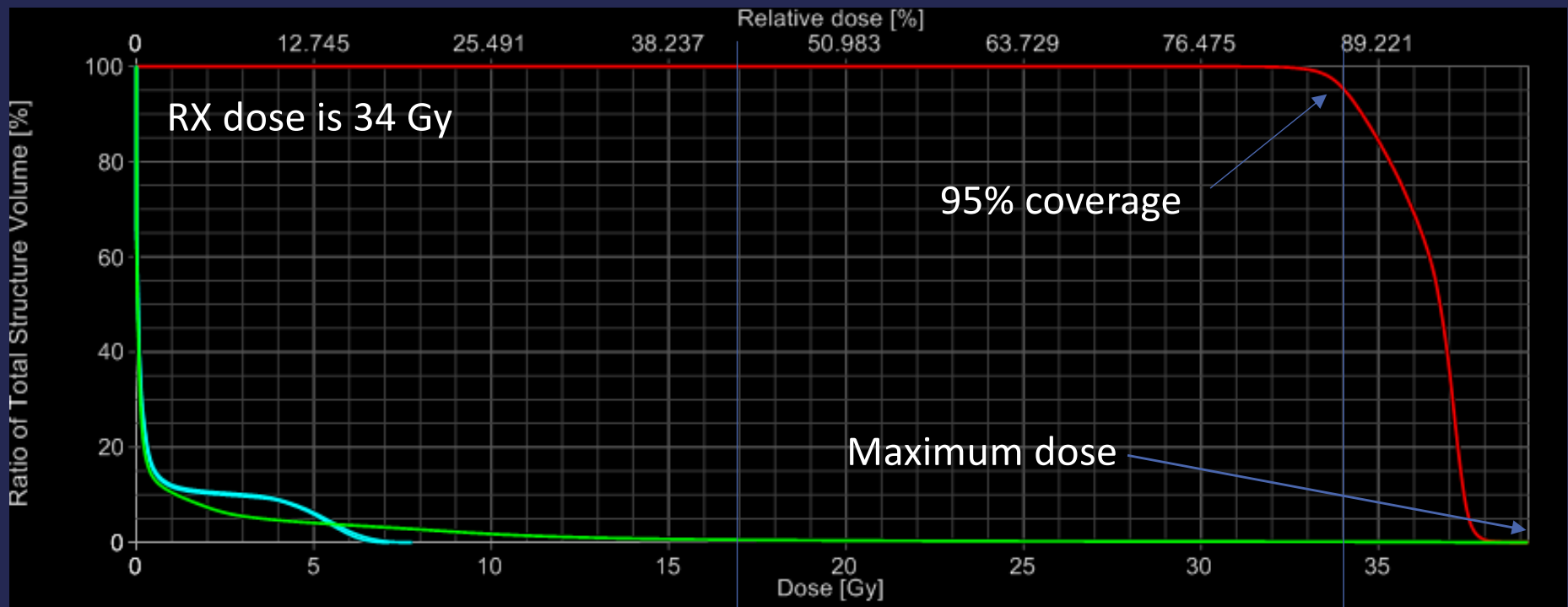
Structure	Min Dose [Gy]	Max Dose [Gy]	Mean Dose [Gy]
SPINECORDPRV+3...	0.000	7.796	0.653
SPINAL_CORD	0.000	7.188	0.619
RIBS	0.245	30.708	9.050
PTV	29.018	39.228	36.327
LUNGS-ITV	0.000	39.228	1.544
ITV	35.813	37.948	37.066
BODY	0.000	39.228	0.688

Table 1: Conformality of Prescribed Dose for Calculations Based on Deposition of Photon Beam Energy in Heterogeneous Tissue

PTV Volume (cc)	Ratio of Prescription Isodose Volume to the PTV Volume		Ratio of 50% Prescription Isodose Volume to the PTV Volume, R _{50%}		Maximum Dose (in % of dose prescribed) @ 2 cm from PTV in Any Direction, D _{2cm} (Gy)		Percent of Lung Receiving 20 Gy Total or More, V ₂₀ (%)	
	Deviation		Deviation		Deviation		Deviation	
	None	Minor	None	Minor	None	Minor	None	Minor
1.8	<1.2	<1.5	<5.9	<7.5	<50.0	<57.0	<10	<15
3.8	<1.2	<1.5	<5.5	<6.5	<50.0	<57.0	<10	<15
7.4	<1.2	<1.5	<5.1	<6.0	<50.0	<58.0	<10	<15
13.2	<1.2	<1.5	<4.7	<5.8	<50.0	<58.0	<10	<15
22.0	<1.2	<1.5	<4.5	<5.5	<54.0	<63.0	<10	<15
34.0	<1.2	<1.5	<4.3	<5.3	<58.0	<68.0	<10	<15
50.0	<1.2	<1.5	<4.0	<5.0	<62.0	<77.0	<10	<15
70.0	<1.2	<1.5	<3.5	<4.8	<66.0	<86.0	<10	<15
95.0	<1.2	<1.5	<3.3	<4.4	<70.0	<89.0	<10	<15
126.0	<1.2	<1.5	<3.1	<4.0	<73.0	>91.0	<10	<15
163.0	<1.2	<1.5	<2.9	<3.7	<77.0	>94.0	<10	<15

RTOG 0915



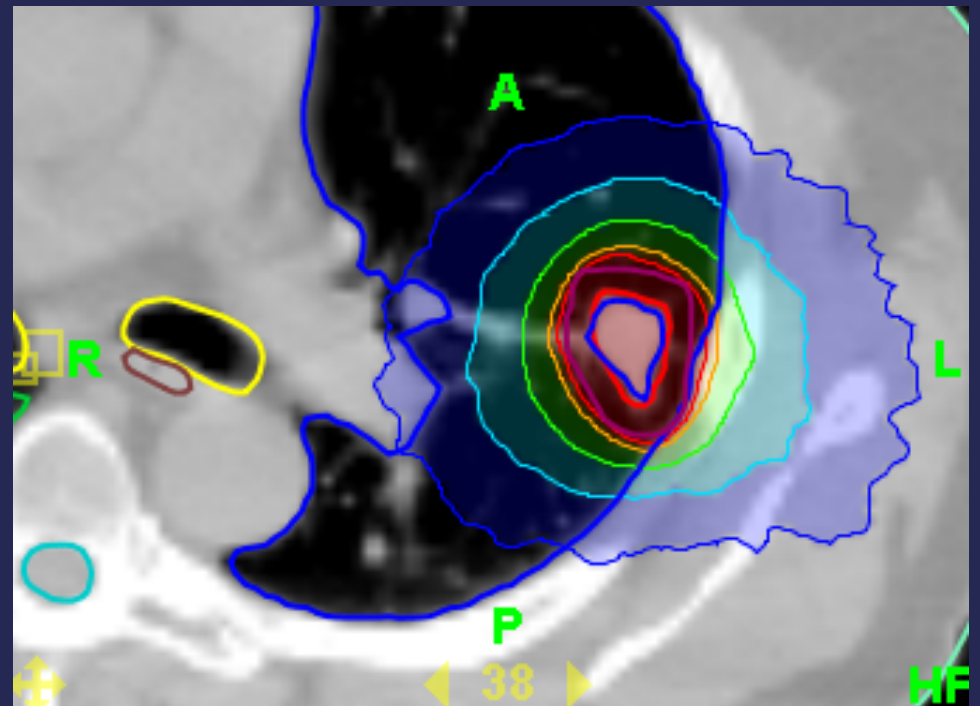


17 Gy (50% Rx)

34 Gy (100% Rx)

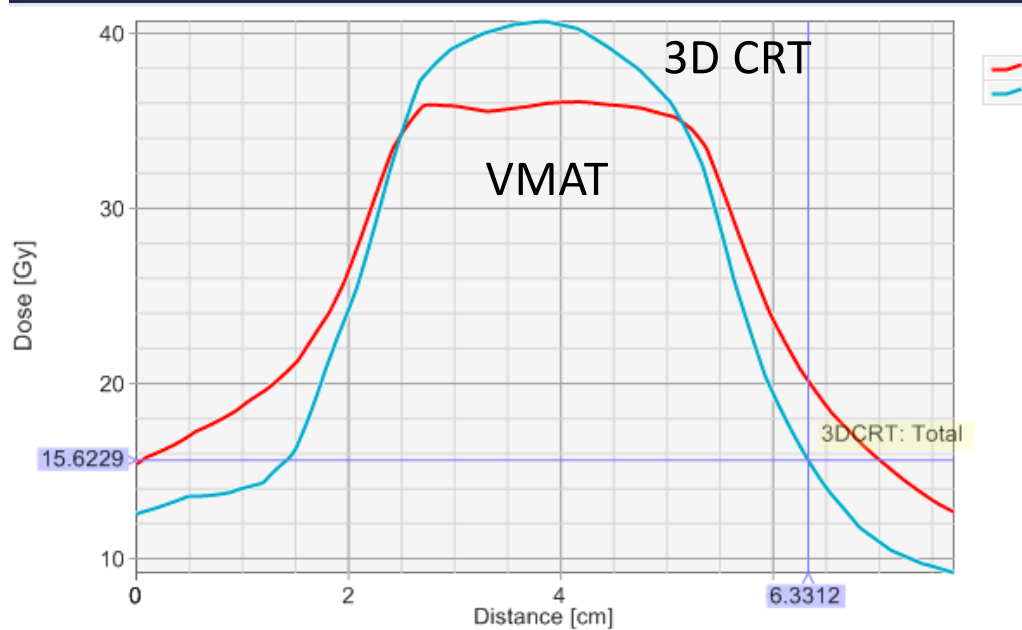
7. IMRT o 3D...discusión

- Interacción: los tratamientos dinámicos de MLC intentan alcanzar un CTV en movimiento con un campo en movimiento
- IMRT se administra utilizando pequeños campos que pueden tener un mayor nivel de inexactitudes en los cálculos de dosis de TPS en densidades heterogéneas
- IMRT no proporciona una ventaja dosimétrica PERO puede proporcionar una entrega más rápida (VMAT)

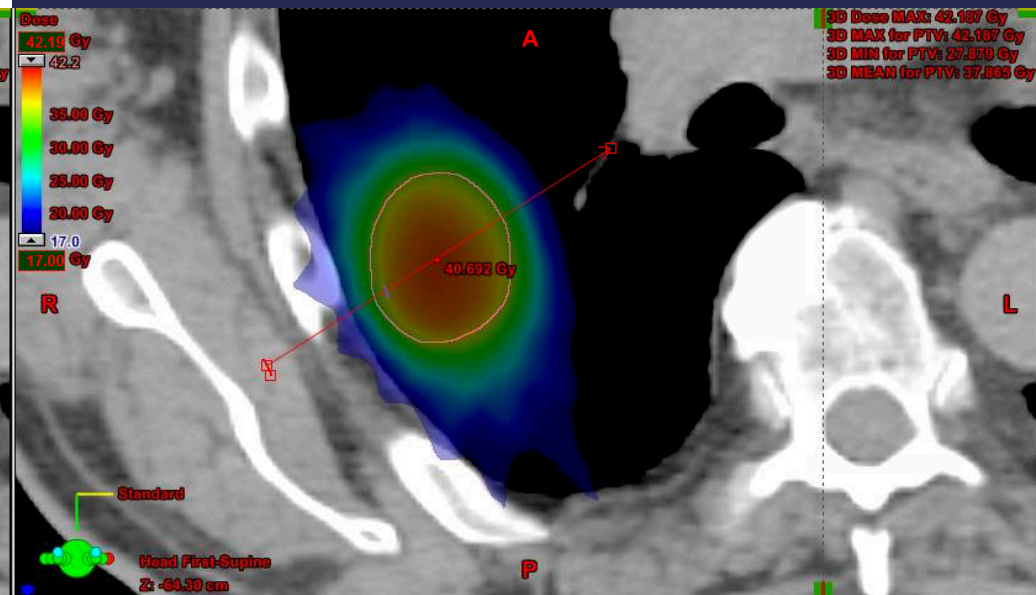
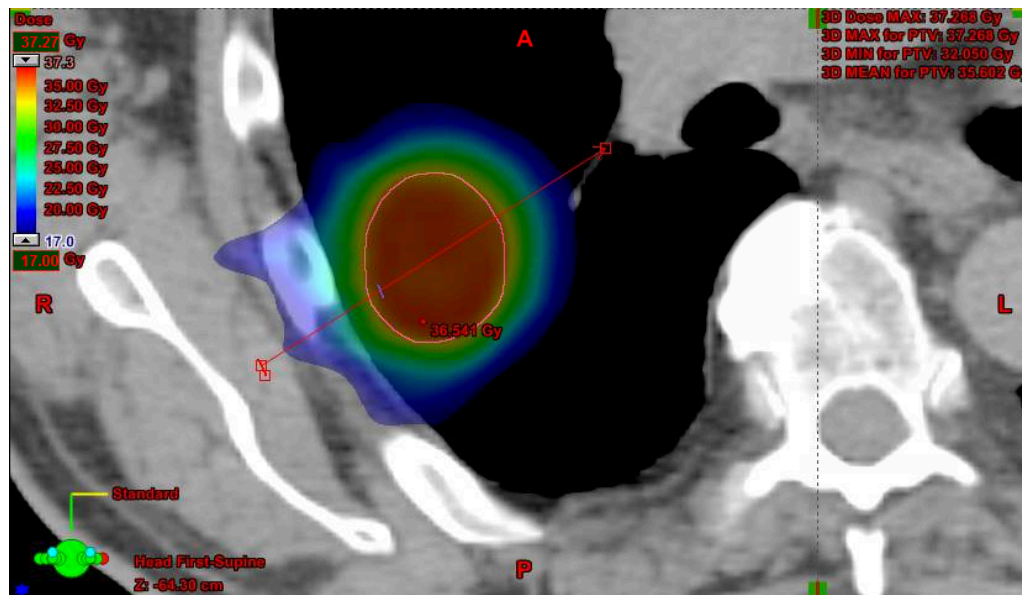


Tomotherapy SBRT 25 Gy/1

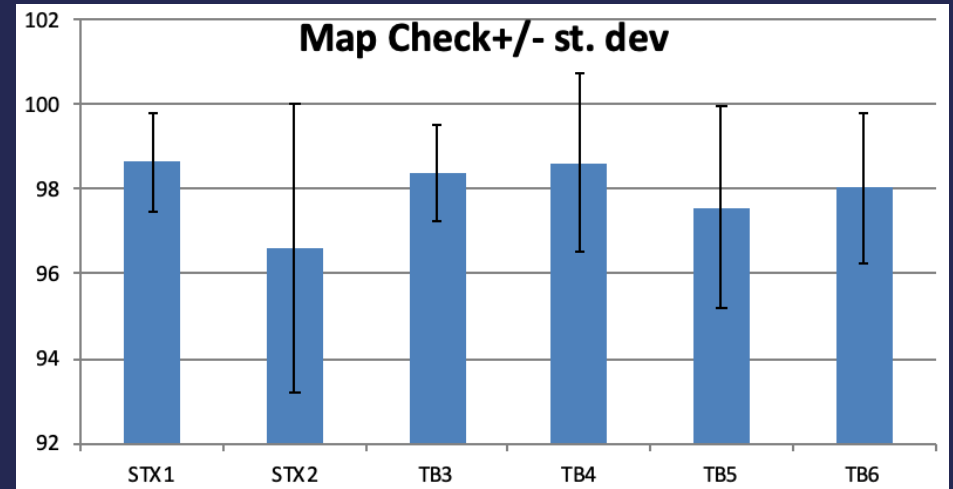
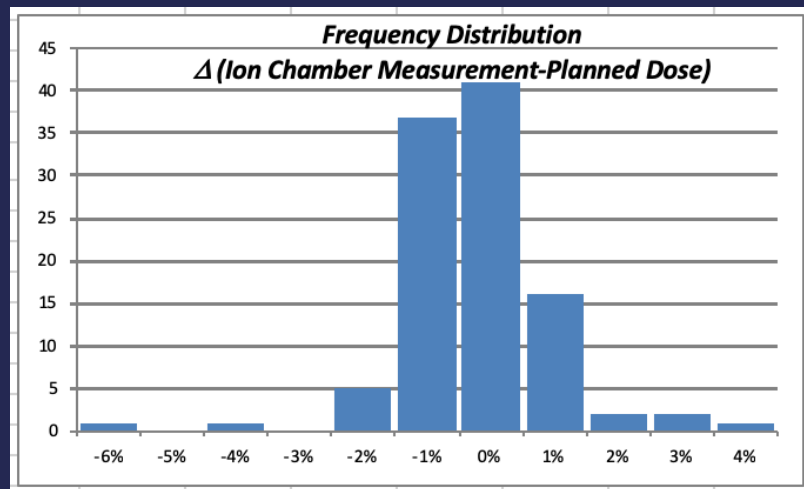
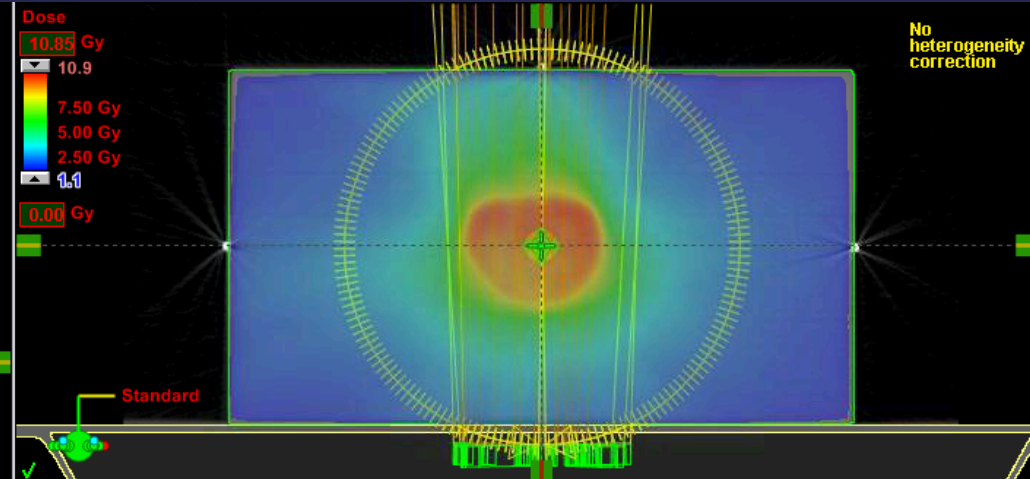
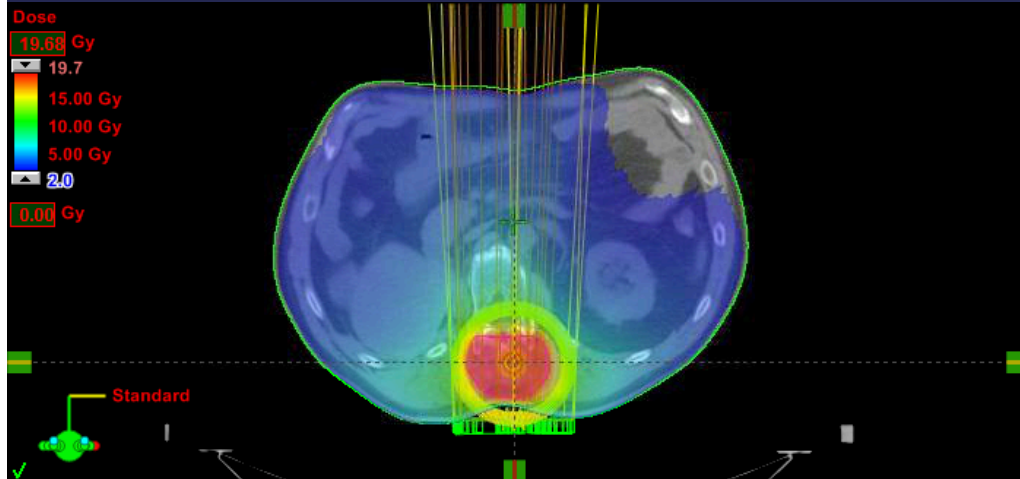
7. IMRT o 3D



- Distribuciones semejantes
- Caída de dosis es mas rápida con 3D la dosis máxima mas alta que el VMAT en este caso
- Depende de como se optimiza el VMAT
- También depende en la filosofía o sea:
 - SRS - dosis ablativa con máximo alto y penumbra aguda
 - 3D/IMRT – dosis homogénea, penumbra un poco menos aguda



8. QA específico del paciente



8. QA – puesto en marcha

- 100 PSQA
- Hechos con camera de ionización y pelicula
- Map Check
- Rad Calc



7.07 mm Spacing, Entire Array

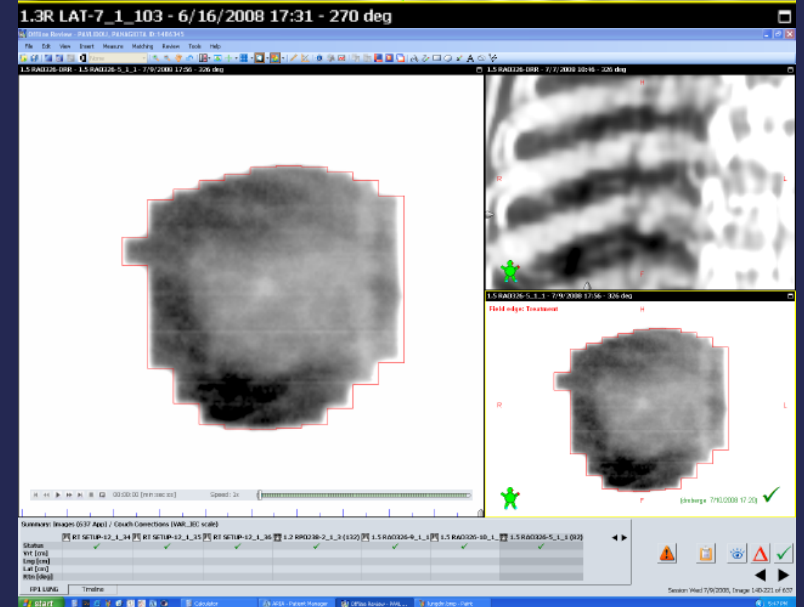
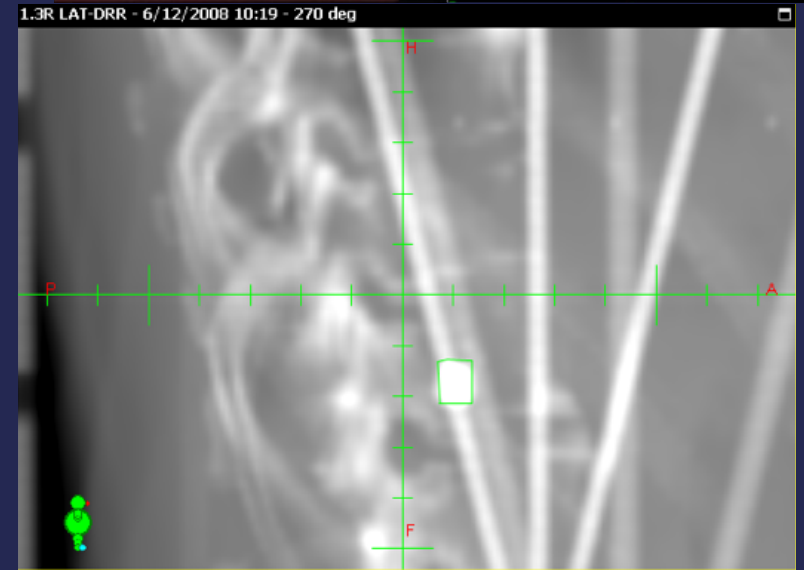
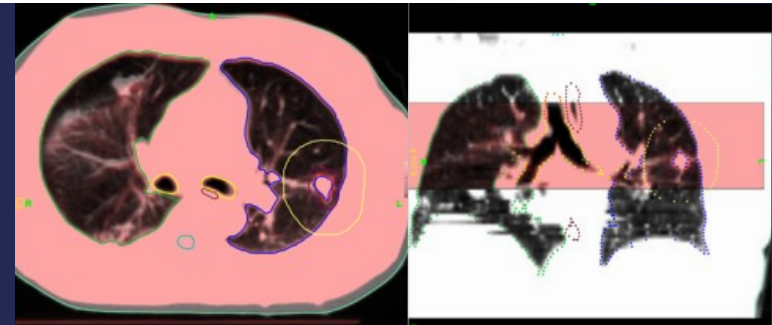
1527 Total Diodes

32.0 x 26.0 cm Array Size



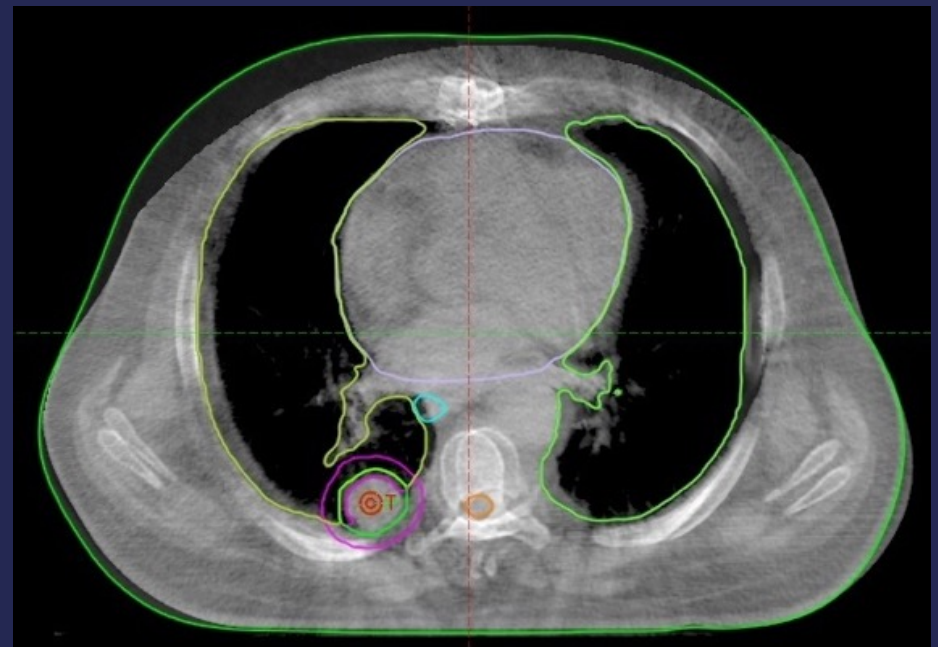
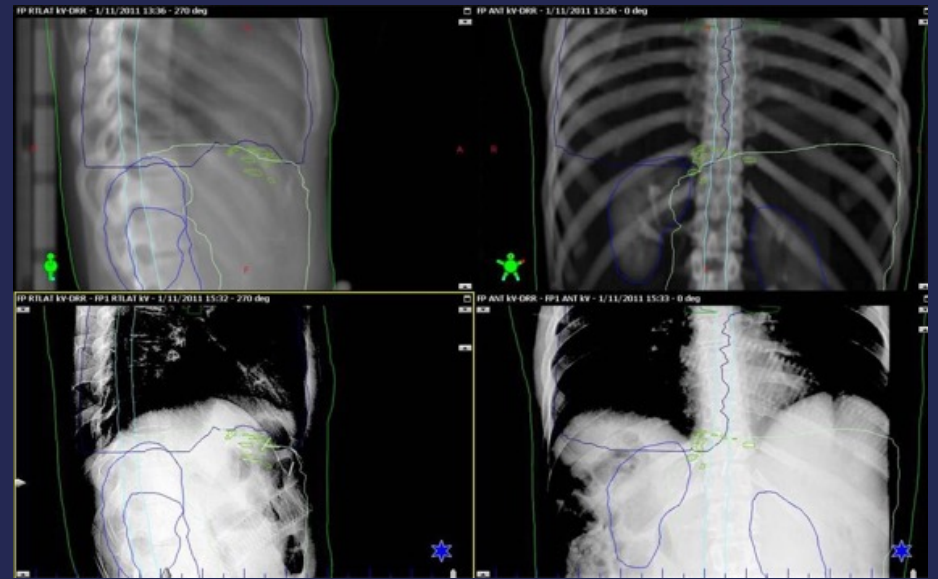
9. Establecer protocolo de imageria - IGRT

- Posición del paciente y GTV pueden ser verificados con imágenes diarias
- Importante – nos permite minimizar SM así que $< PTV$
- También excelente control de calidad
- Si el tratamiento es 3D (no IMRT) uno puede verificar position del tumor durante el tratamiento con EPID



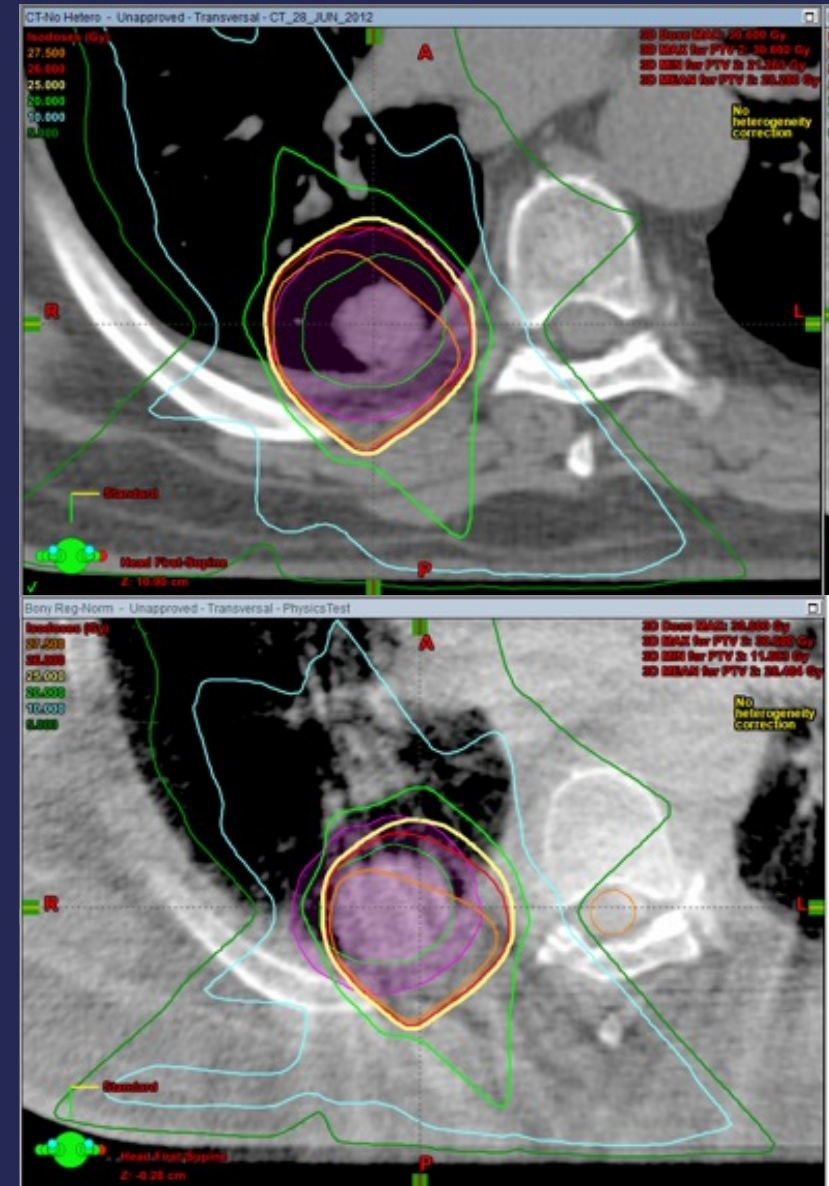
9. Establecer protocolo de imageria - IGRT

- 1ra fracción MV / KV - huesos CBCT
- Fracciones restantes CBCT
- Solo traducciones aplicadas
- Inicialmente revisión médica antes del tratamiento - ahora revise antes de la próxima fracción
- Los tecnólogos revisan imágenes y aplican turnos
- Llame al MD para turnos > 0.5 cm no resuelto



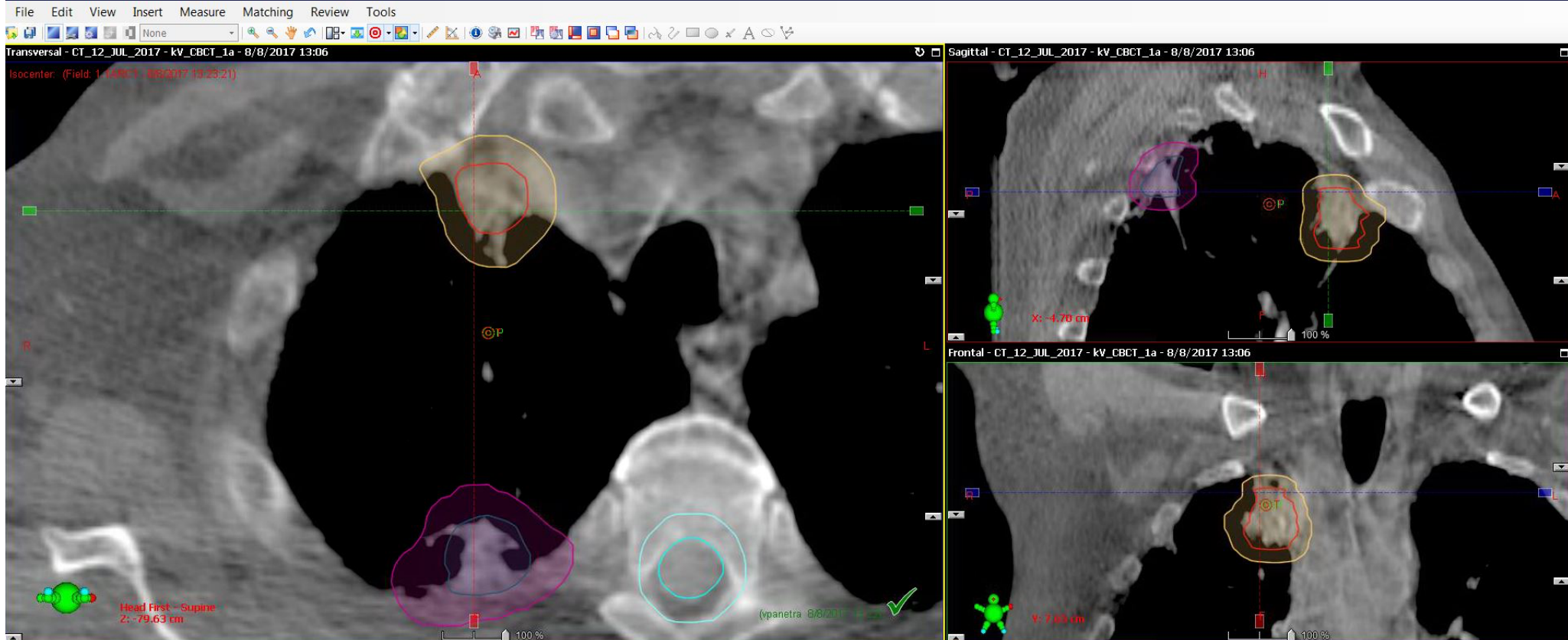
9. Establecer un protocolo de imageria - IGRT

- Quién revisa las imágenes?
- Re-CBCT después de un cambio de posición de paciente?
- Cuando se decide de re-posicionar el paciente del principio?
- Alinear las imagines con el ITV o alinear estructuras criticas y simplemente verificar que ITV está en el PTV?
- Como verificar que el sistema de reposición funciona?
- Son significativas las rotaciones?

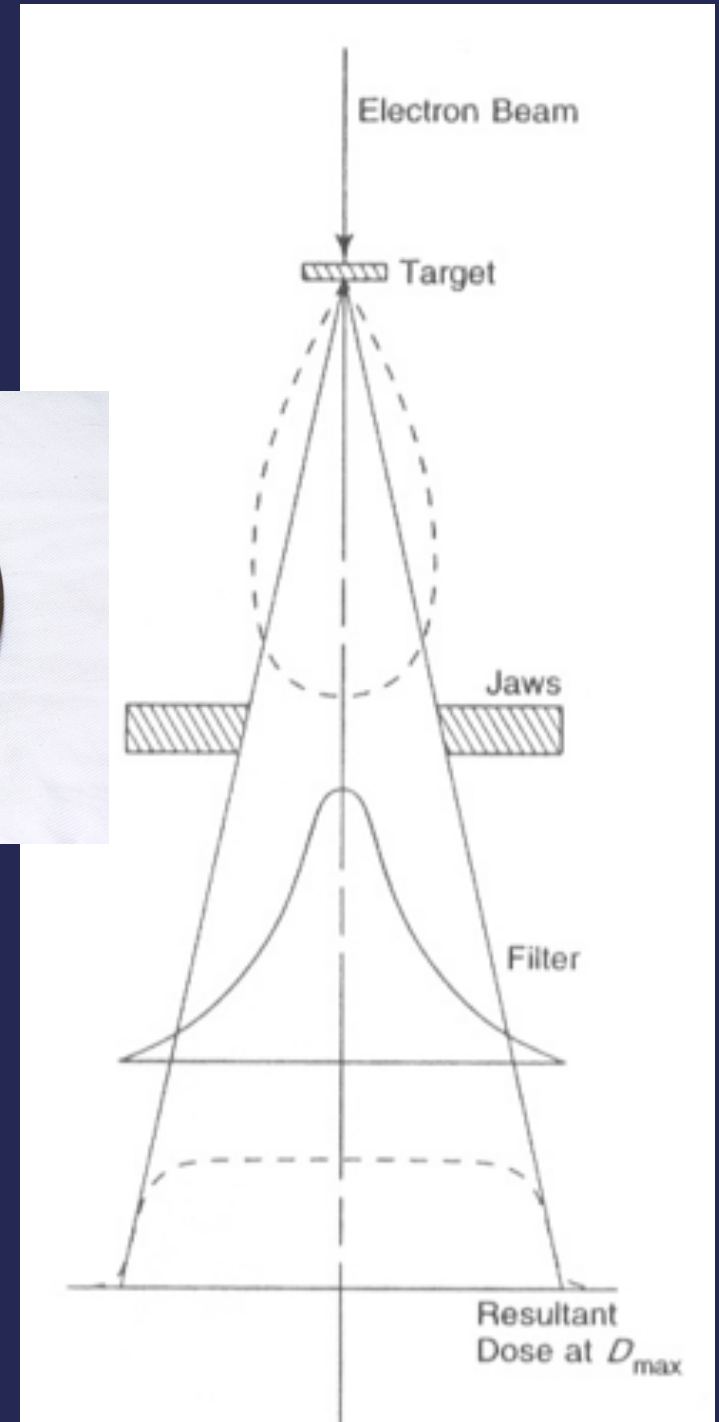


9. Establecer protocolo de imageria - IGRT

Que pasa cuando tenemos dos PTVs cuando uno no se alinea??



10. Haz FFF



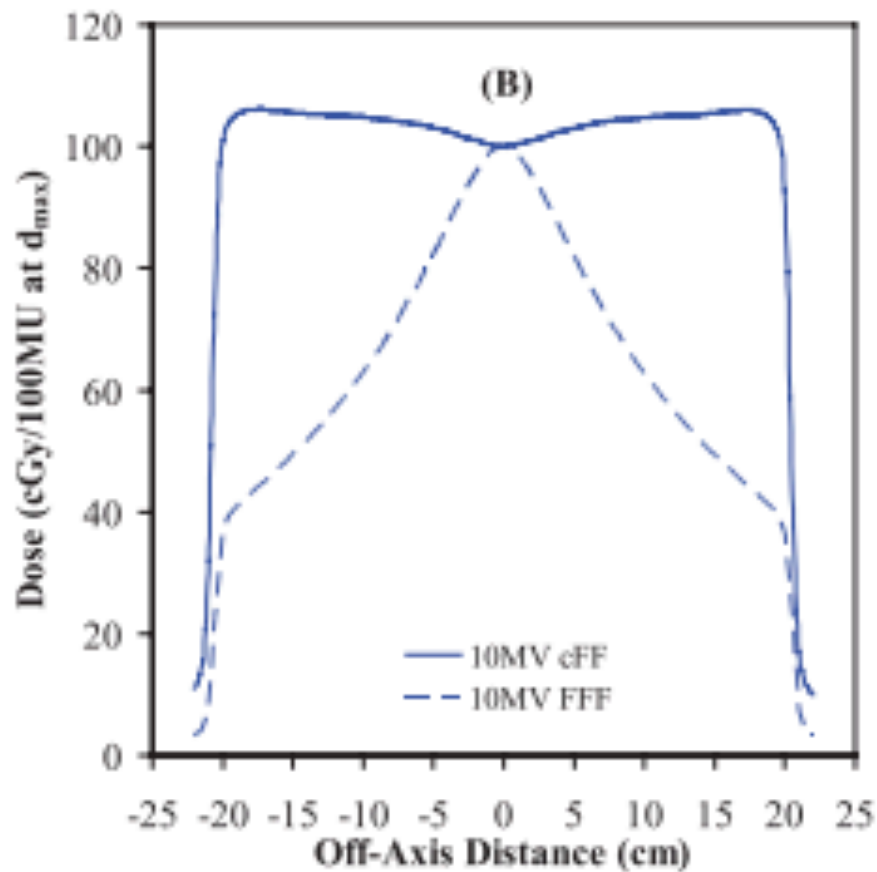
Sin filtro igualador la tasa de dosis monta de manera importante:

Varian 10 MV 6 Gy/minuto
Varian 10 MV FFF 24 Gy/minuto

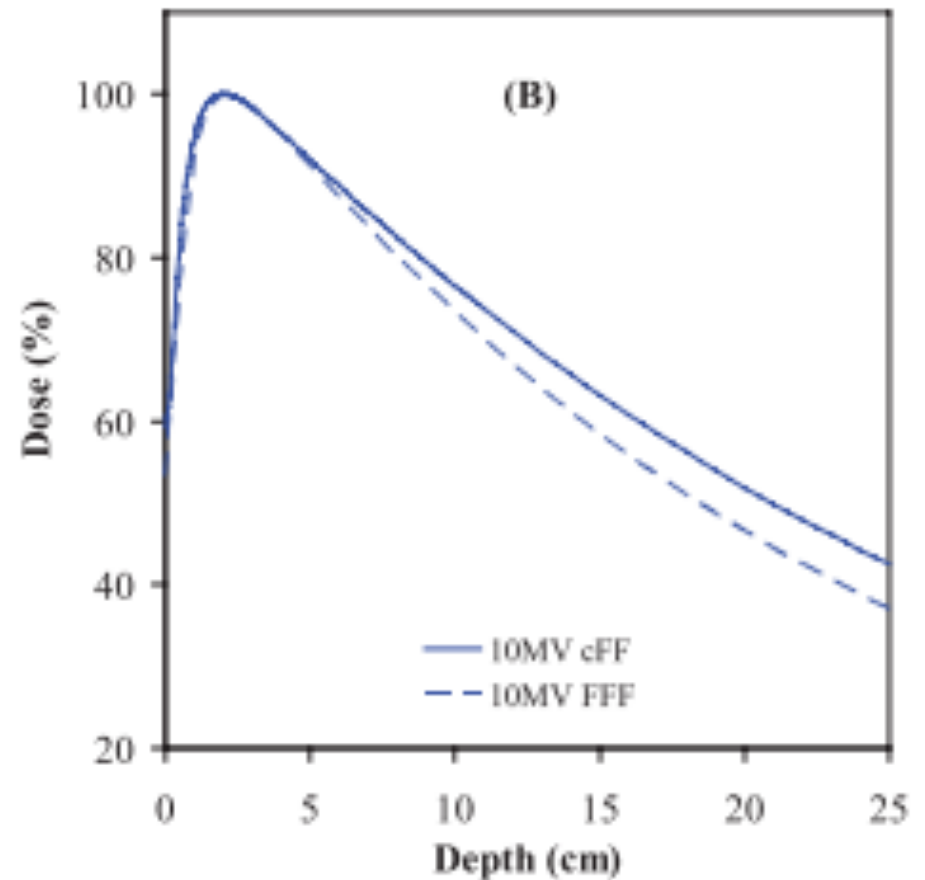
Resulta en tratamientos muy rapidos.

10. Haz FFF

G Budgell *et al*

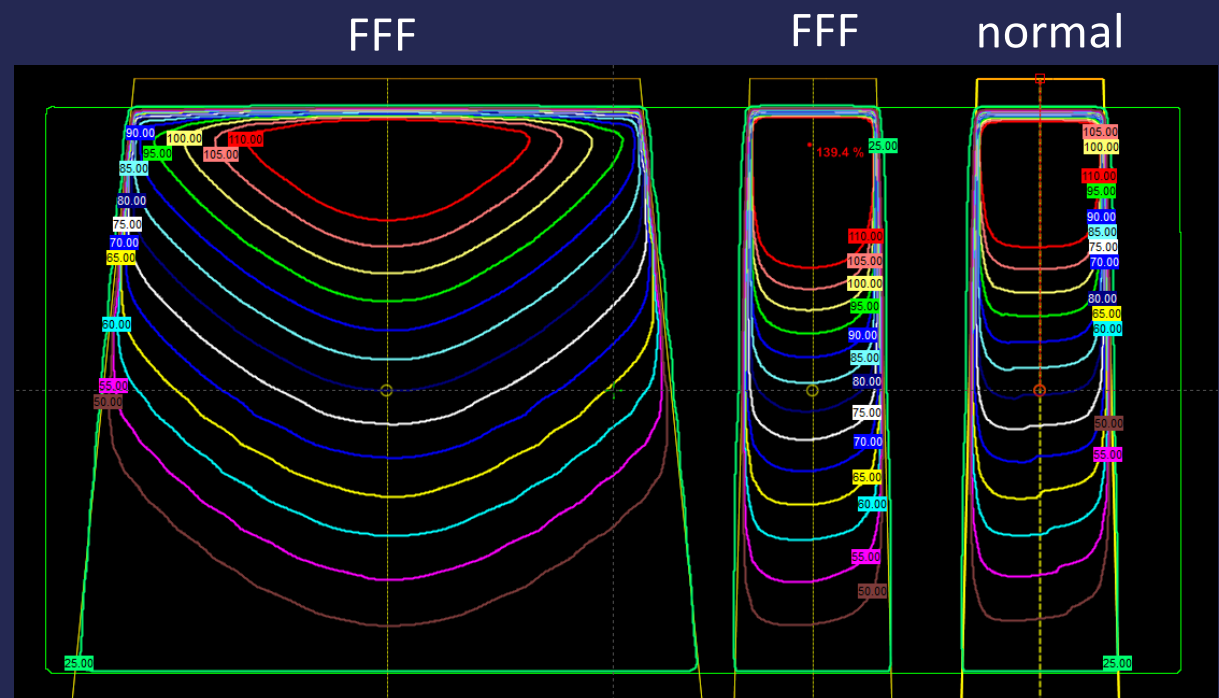
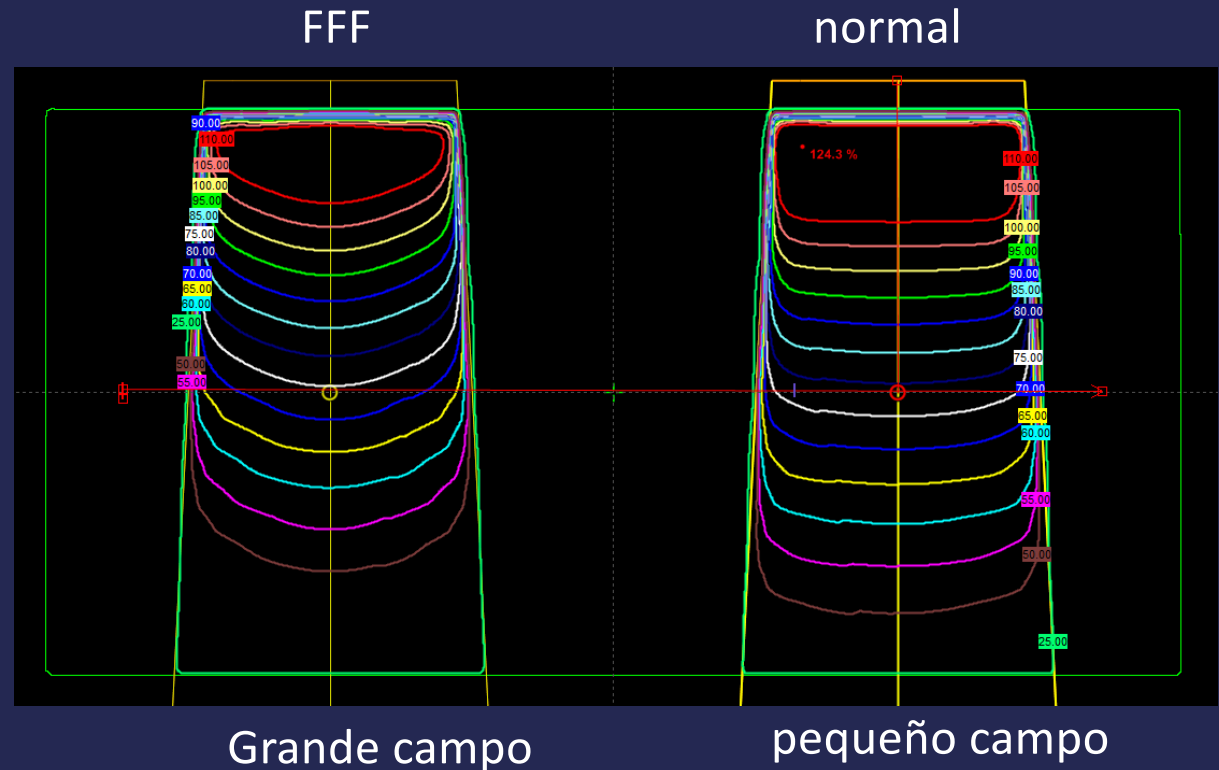


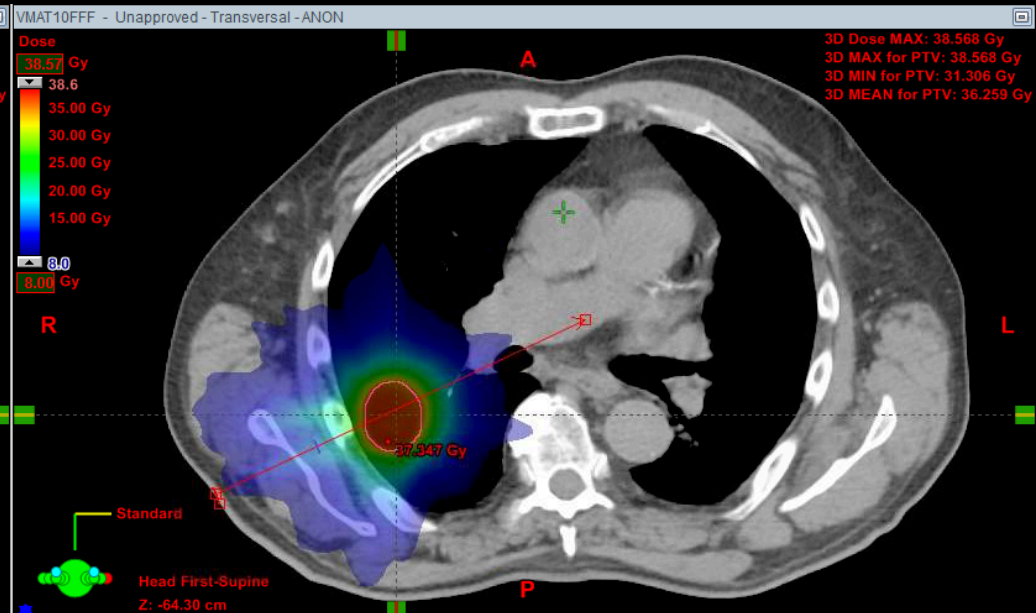
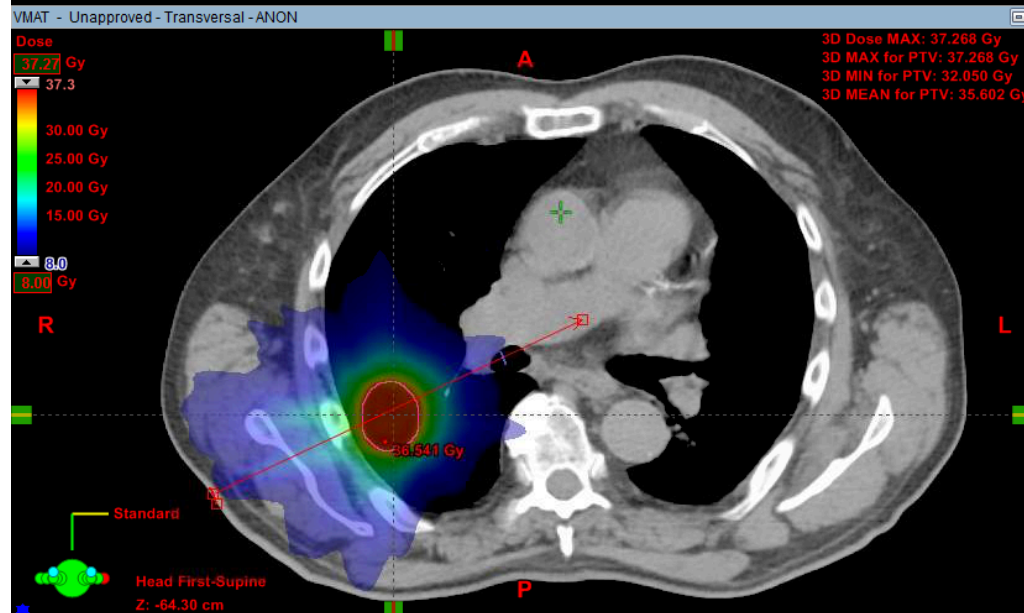
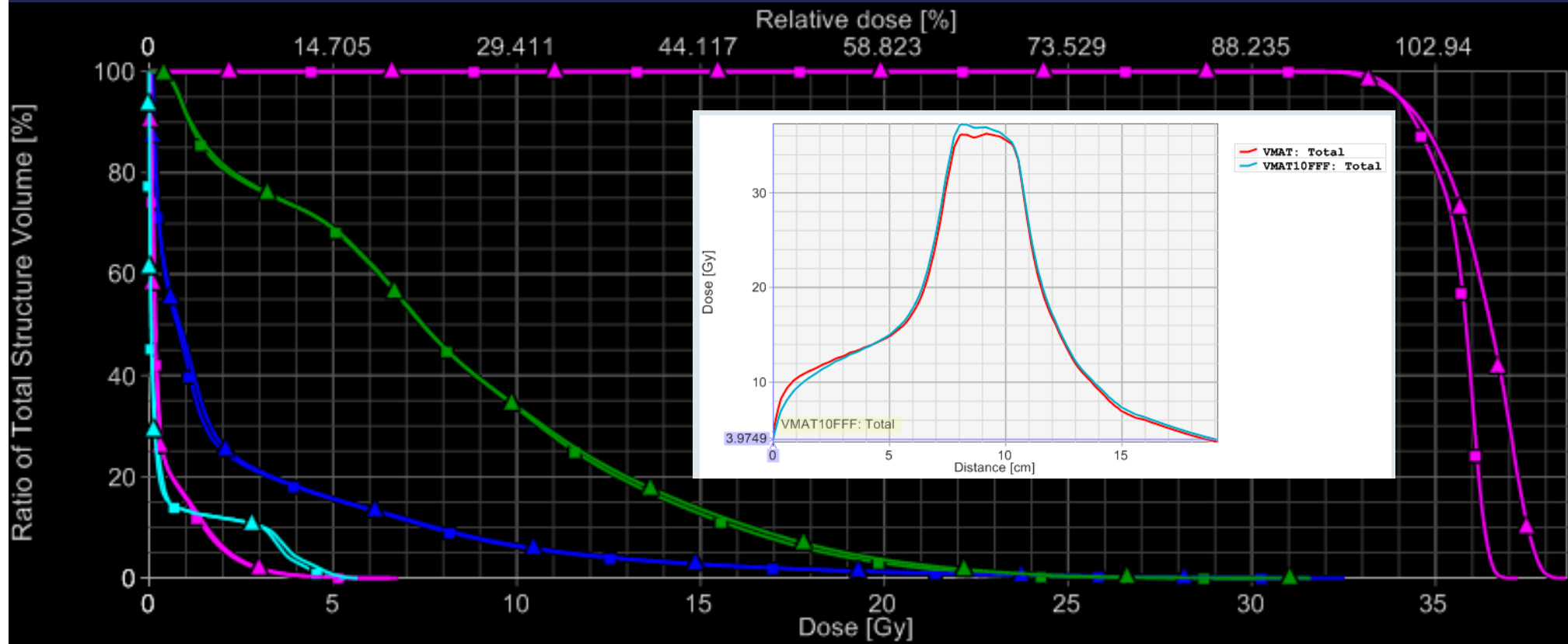
G Budgell *et al*



10. Haz FFF

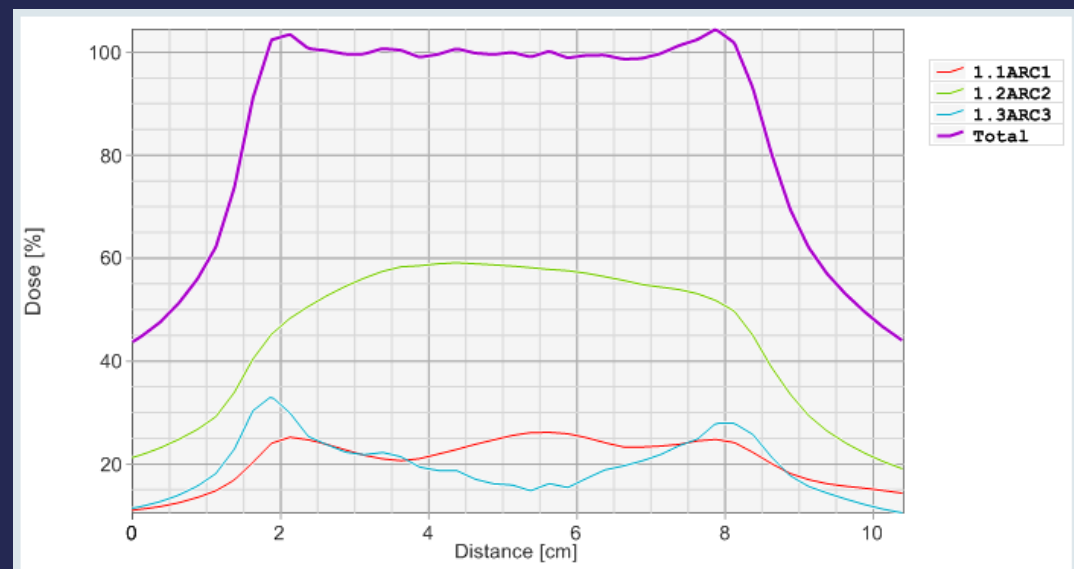
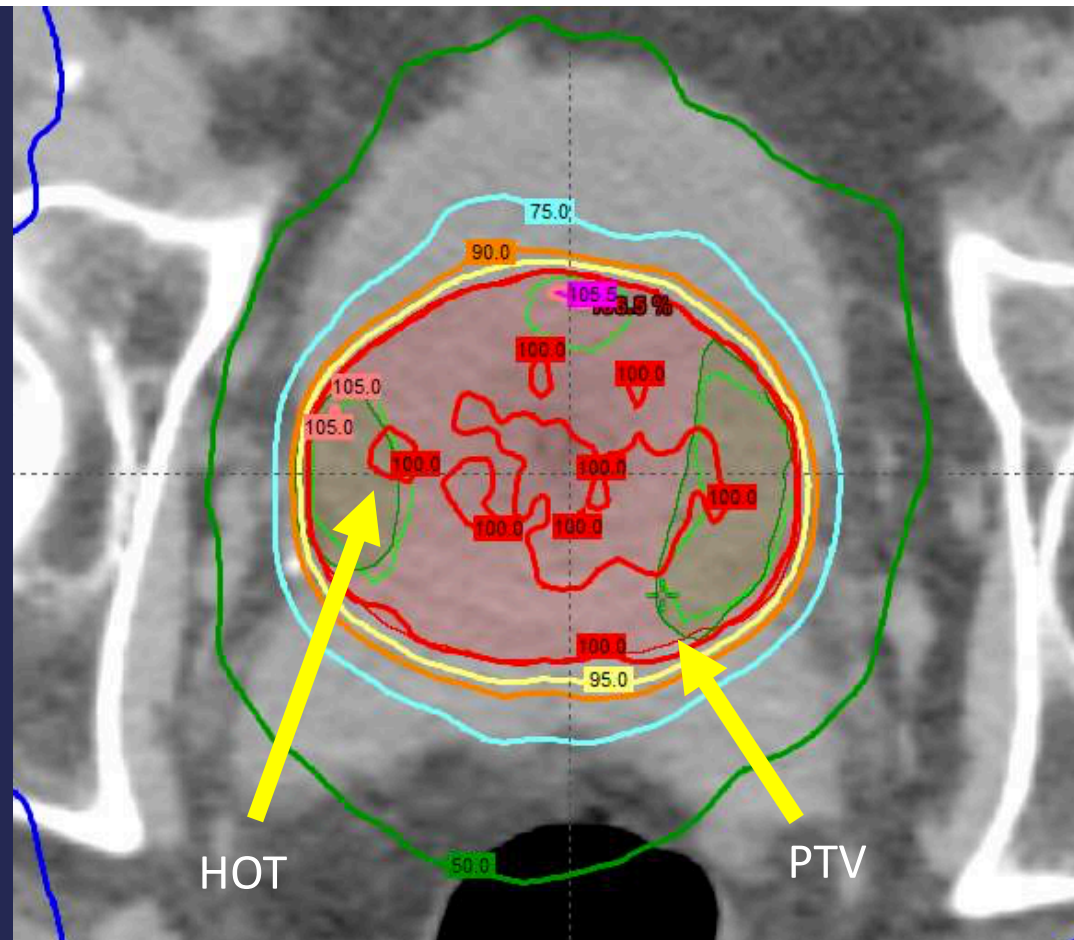
- Por campos pequeños, el campo es plano, la distribución no es afectada de manera importante
- TPS pueden optimizar la dosis teniendo cuenta del perfil si utilizado en modo IMRT





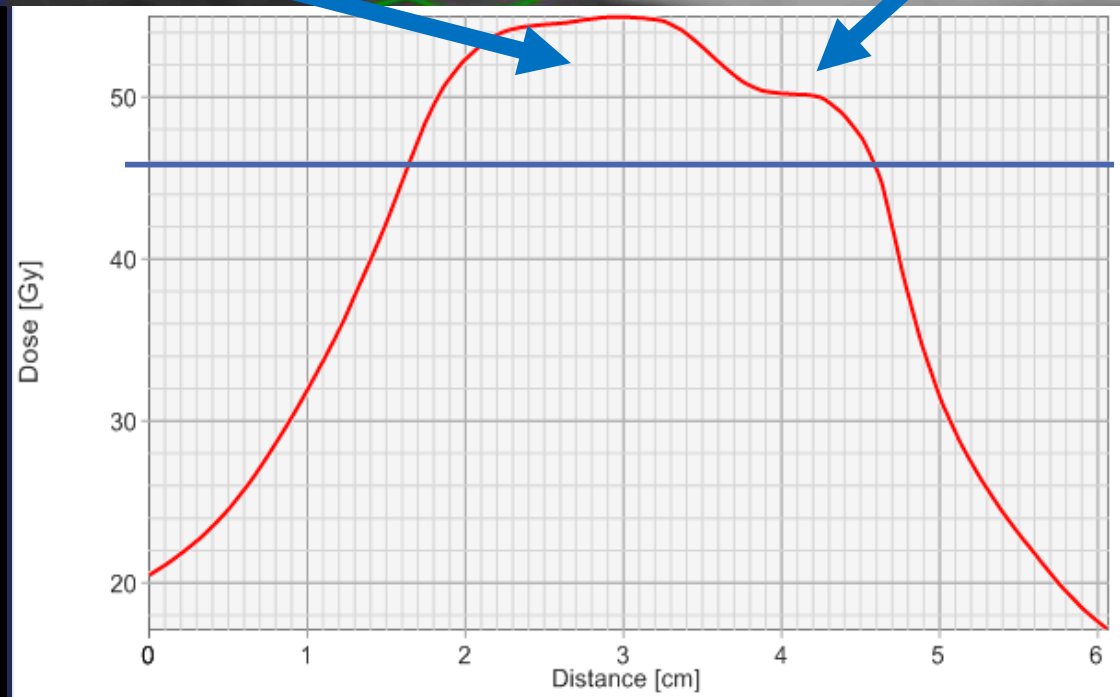
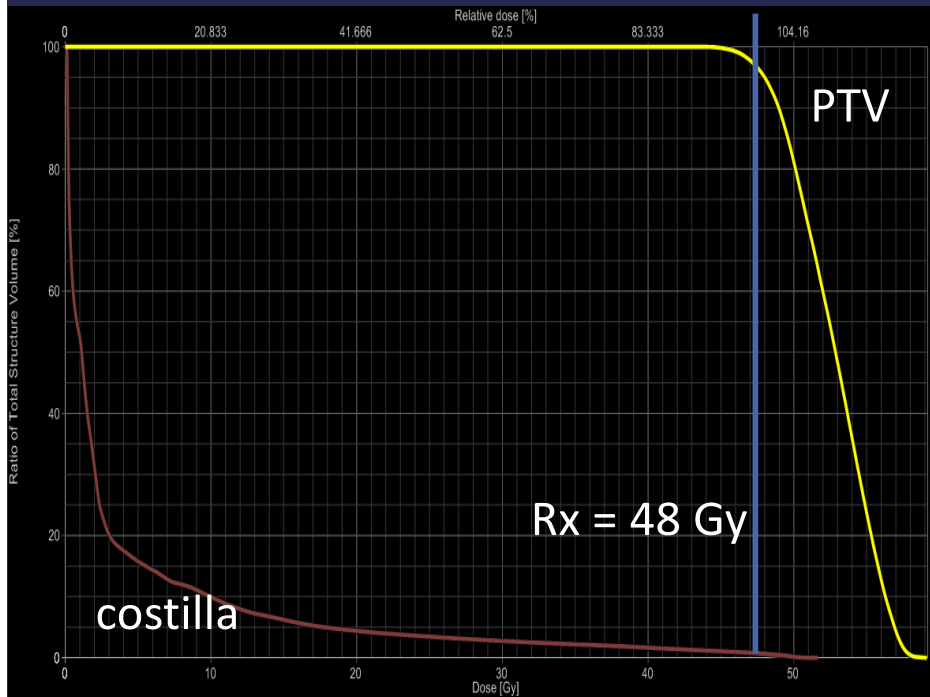
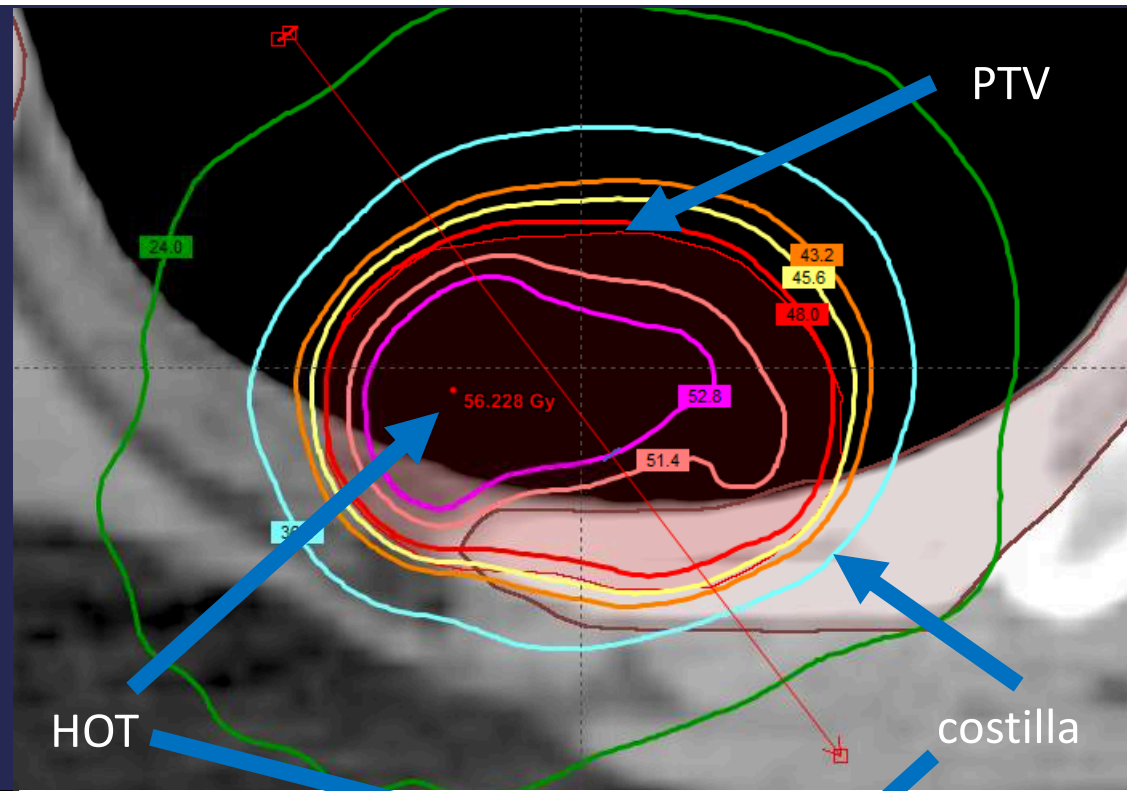
11. Intangibles

- No queremos dosis alta in el medio (uretra)
- Pero se SRS (19/1)
- Empujamos los “hotspots” a la periferia de el PTV
- Ablativa?

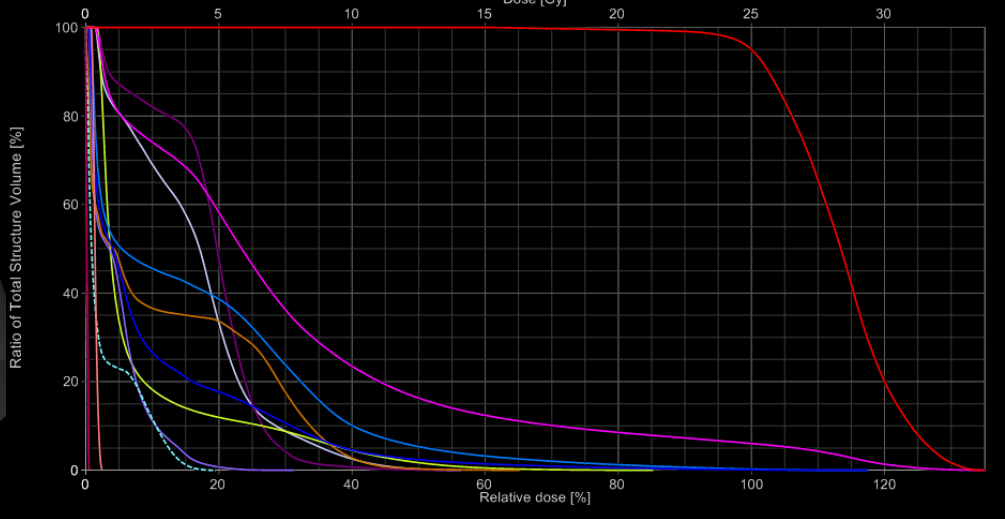
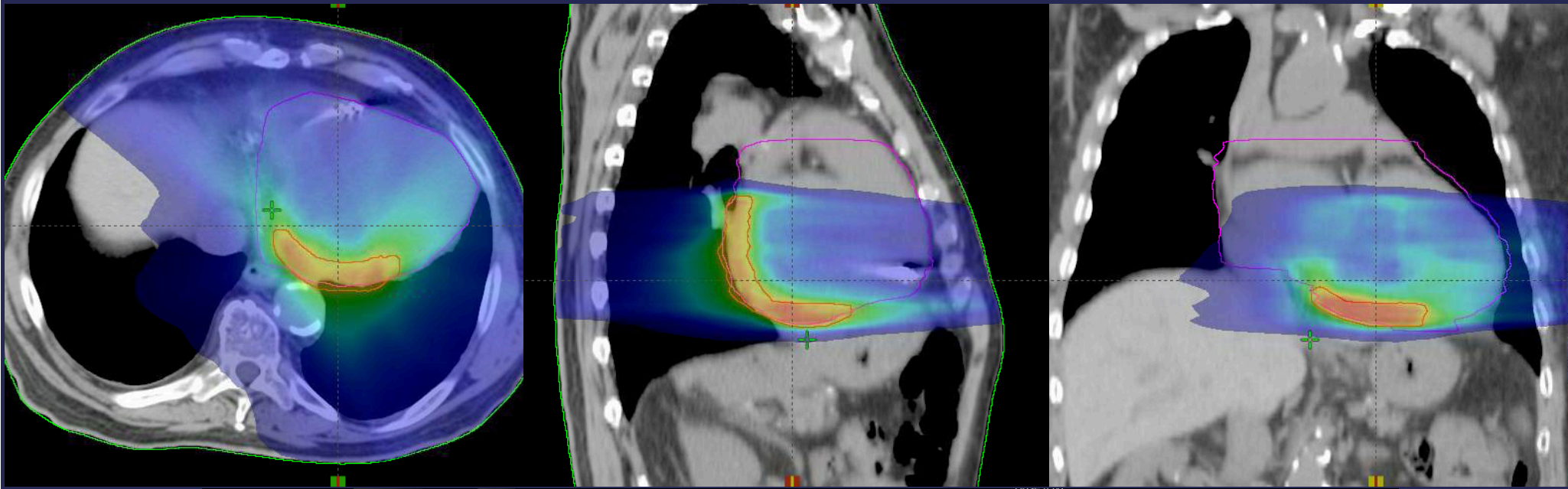


11. Intangibles

- No se ve en DVH!
- Costilla en PTV?
- Empujamos dosis máxima afuera de la costilla
- Inspección visual



12. SBRT otras realizaciones...



Gracias, preguntas?

