

HALLAZGOS RADIOLÓGICOS RELACIONADOS CON LA RADIACIÓN ESTEREOTÁCTICA CORPORAL (SBRT) EN TUMORES PULMONARES

Adriana Carrasco Fernández¹, Pablo Castañón Remy²,

Adriana Patricia Ortiz Barbosa³, José Tomás Cárdenas Gómez⁴, María Victoria Montero Cuadrado⁵

^{1,2,3,4} Servicio de Radiodiagnóstico del Hospital de Mérida, ⁵ Servicio de Oncología Radioterápica del
Hospital de Mérida.

Objetivos

Describir los hallazgos radiológicos que provoca la radiación esterotáctica corporal (SBRT) en la patología tumoral pulmonar, con el fin de diferenciar estos hallazgos de lesiones residuales o recurrencia.

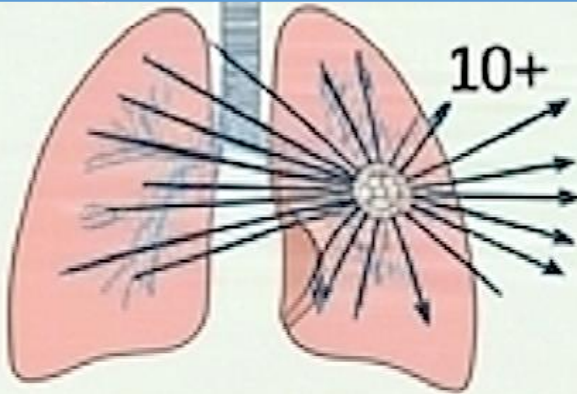
Radioterapia corporal estereotáctica (SBRT)

Radioterapia (RT) usada fuera del cráneo (**corporal**) que, a diferencia de la radioterapia convencional, usa altas dosis de fracción con alta precisión e intención ablativa. Guiada por sistema de coordenadas de alta precisión (**estereotáctica**)

Ventajas

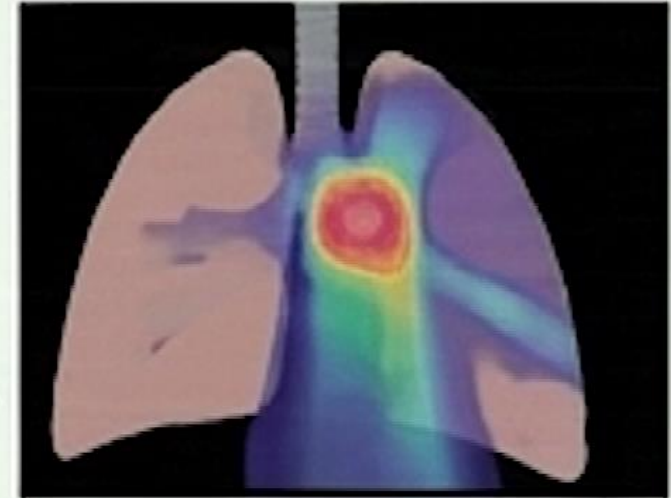
- ✓ Mayor control local: ausencia de recidiva < 90% en tumores <3cm
- ✓ Tratamiento más corto con mayor precisión (3-8 sesiones)
- ✓ Menor toxicidad global

TECNICA DEL TRATAMIENTO



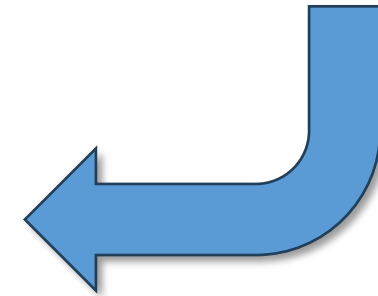
Dosis ablativa y focalizada.

Muchos haces finos convergen en un punto.



**CAMBIOS
NODULARES /
EN MASA.**

Refleja el área
de dosis alta y
necrosis focal.



*Bases del funcionamiento del SBRT-
Elaboración propia (A. Carrasco)*

Indicada en pacientes que **rechazan cirugía o esta no es viable** (alto riesgo quirúrgico por comorbilidades o función pulmonar deteriorada), y reúnen uno de estos dos criterios:

1. Ca. Pulmonar Estadío I (T1-T2a, N0 M0)

- **< 5 cm**
- Preferible en lesiones **PERIFÉRICAS** (>2 cm de bronquios principales)

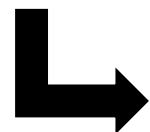
2. Tumores pulmonares oligometastásicos

Máximo 3 lesiones, cuando el control local del tumor primario es importante para la supervivencia (**colon, mama, melanoma, sarcoma**)

Limitaciones de SBRT

LOCALIZACIÓN	ESTRUCTURA LIMITANTE	RIESGO PRINCIPAL
Central	Bronquios principales	Hemoptisis
Paramediastínica	Esófago	Perforación y fístula traqueoesofágica
Inferior izquierda	Corazón	Toxicidad Cardíaca
Periférica	Costillas	Fractura, fibrosis, lesiones hepáticas
Parahiliar	Grandes vasos	Hemorragia
Apical	Plexo braquial	Plexopatía

Seguimiento post-SBRT



TC DE ELECCIÓN

Valorar
complicaciones



Neumonía organizada
Infección
Recidiva
Cambios post-SBRT

0-3 m	3-12 m	12-24 m	3-5 años
NO TC	TC cada 3 m	TC cada 3-6 m	TC cada 6 m

PET-TC: NO de primera elección. Indicado solo si sospecha de recidiva por TC después de los 12 meses (falsos + antes de 18 meses por cambios de neumonitis)

Cambios radiológicos post-SBRT pulmonar

< 3 meses

- No suelen existir cambios en el parénquima pulmonar.
- **No se recomienda realizar estudios de imagen** en este periodo.

3 - 12 meses

- La lesión se hace **más grande y más densa**.
- Los nódulos en vidrio deslustrado tratados pueden convertirse en **semisólidos, sólidos o masas**.
- Estos cambios son **esperados** y forman parte de la evolución normal.



Estos hallazgos **no deben confundirse con recurrencia**. El PET-TC no suele **ser útil** en esta fase, ya que las áreas de neumonitis suelen ser hipermetabólicas y pueden dar falsos positivos. **PET no útil**

12-18 meses

- Suele iniciarse un periodo de **estabilización del tamaño** de las lesiones. No obstante, se ha observado aumento tardío de fibrosis y de tamaño de lesiones sin recurrencia (hasta los primeros 5 años).
- Las lesiones fibróticas pueden ser **hipermetabólicas con SUV bajo (2–5)**.
- El PET-TC tiene utilidad limitada por este motivo.

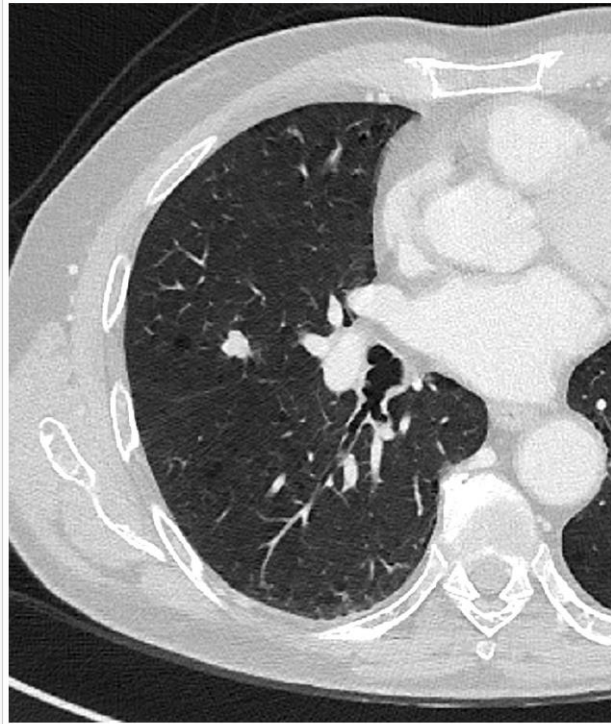
 Si aparece crecimiento en este periodo, se recomienda **seguimiento estrecho y/o PET-TC** para diferenciarlo de recurrencia. Sin embargo, tener en cuenta el riesgo de **falsos positivos** en el PET-TC por el hipermetabolismo fibrótico residual. **PET cautela**

> 18 meses

- El **PET-TC** es más útil: la fibrosis consolidada generalmente **no es hipermetabólica**.
- No obstante, pueden aparecer **neumonitis y fibrosis tardías** incluso en este periodo.

 Persiste el riesgo de **falsos positivos** si existe neumonitis o fibrosis tardía activa. El PET-TC es más fiable para diferenciar cambios post-RT de recurrencia. **PET más fiable**

CAMBIOS DEL PARÉNQUIMA PULMONAR POSTERIOR A SBRT



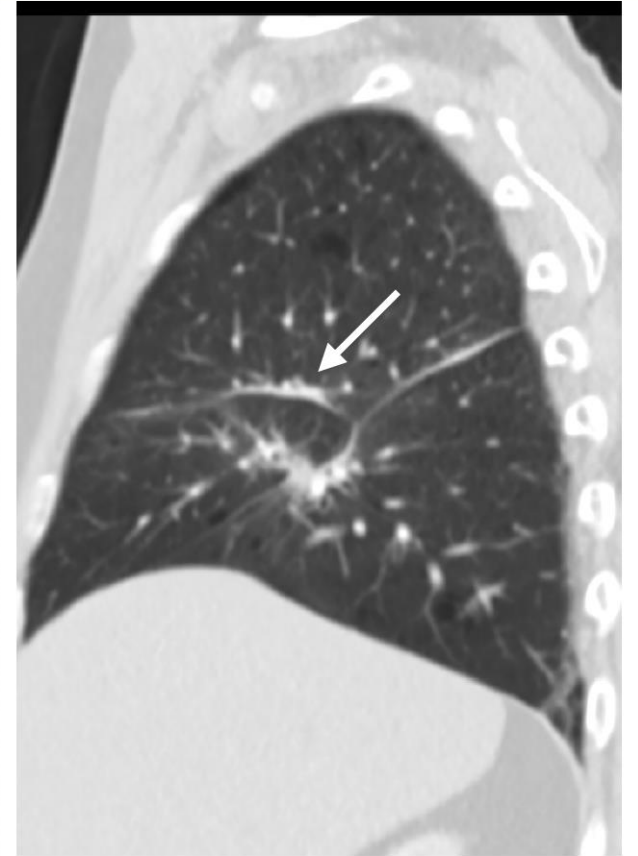
Pre tratamiento



3 meses post SBRT



8 meses post SBRT



Pretratamiento: En TC de seguimiento aparece nódulo pulmonar en LM. Biopsia: metástasis de adenocarcinoma de colon.
3 meses post SBRT prácticamente **no hay cambios.**

8 meses post SBRT: Aparece zona de **neumonitis** con morfología redondeada en eje axial pero aplanada en sagital. A pesar de que el nódulo tratado se encuentra en LM, los cambios post radioterapia son mayores en el lóbulo adyacente (LSD) (Flecha blanca en sagital). Esto se explica por la variabilidad en la radiosensibilidad del parénquima pulmonar.

CAMBIOS DEL PARÉNQUIMA PULMONAR POSTERIOR A SBRT



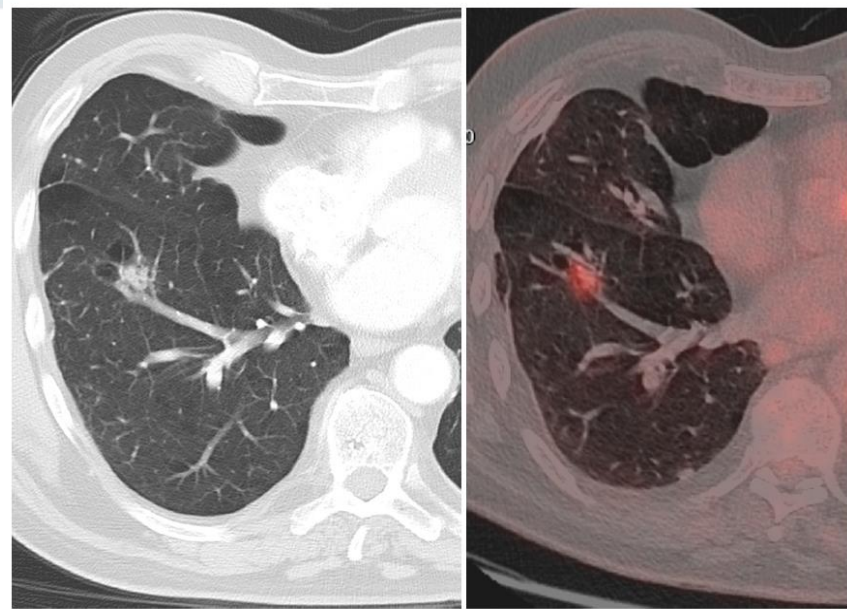
12 meses post SBRT

19 meses post SBRT

12 meses post SBRT: Estabilización de cambios post radioterapia.

19 meses post SBRT: Disminución de tamaño de los cambios post radioterapia

CAMBIOS DEL PARÉNQUIMA PULMONAR POSTERIOR A SBRT



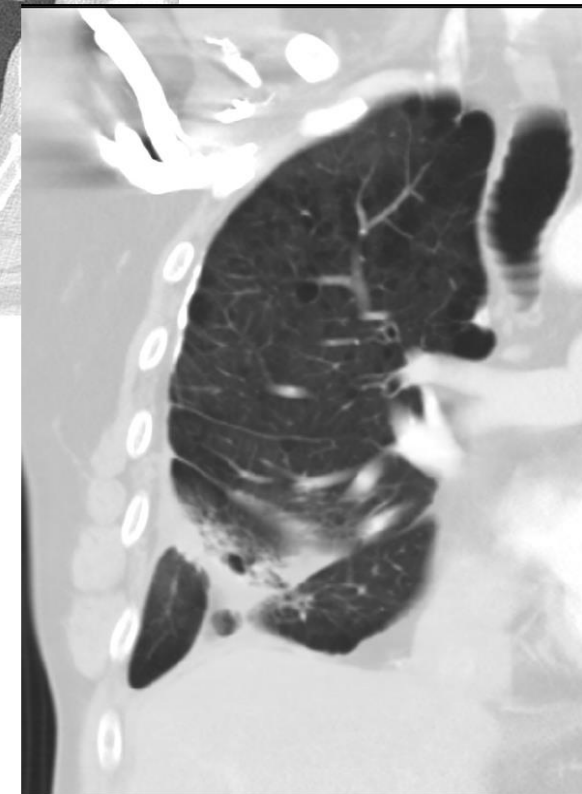
Pretratamiento.



4 meses post SBRT



8 meses post SBRT



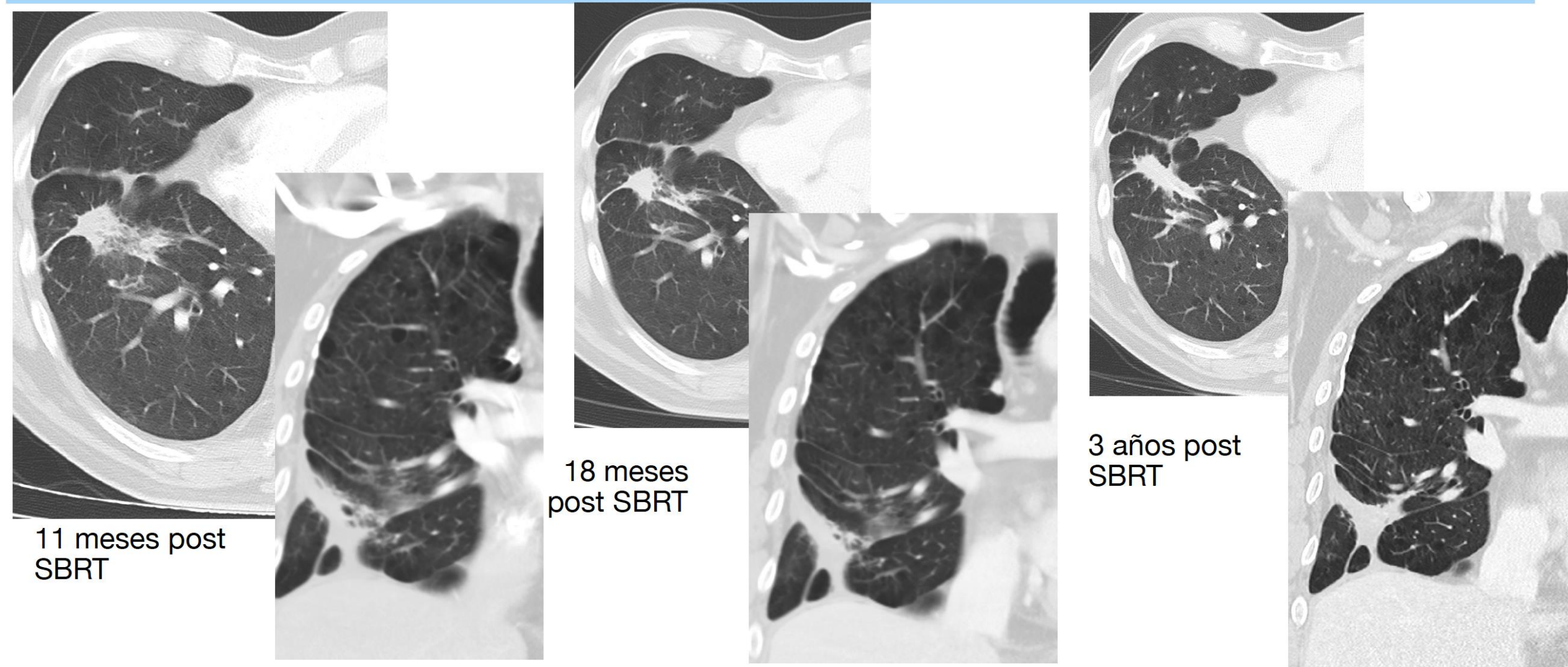
Paciente con antecedente de lobectomía superior izquierda

Pretratamiento: Nódulo de aparición reciente en LID hipermetabólico en PET.

4 meses post SBRT: no hay cambios

8 meses post SBRT: Cambios post radioterapia opacidad por ocupación de espacio aéreo y en vidrio deslustrado (**neumonitis/fibrosis**). Aunque en plano axial tiene morfología redondeada en coronal adopta morfología lineal

CAMBIOS DEL PARÉNQUIMA PULMONAR POSTERIOR A SBRT

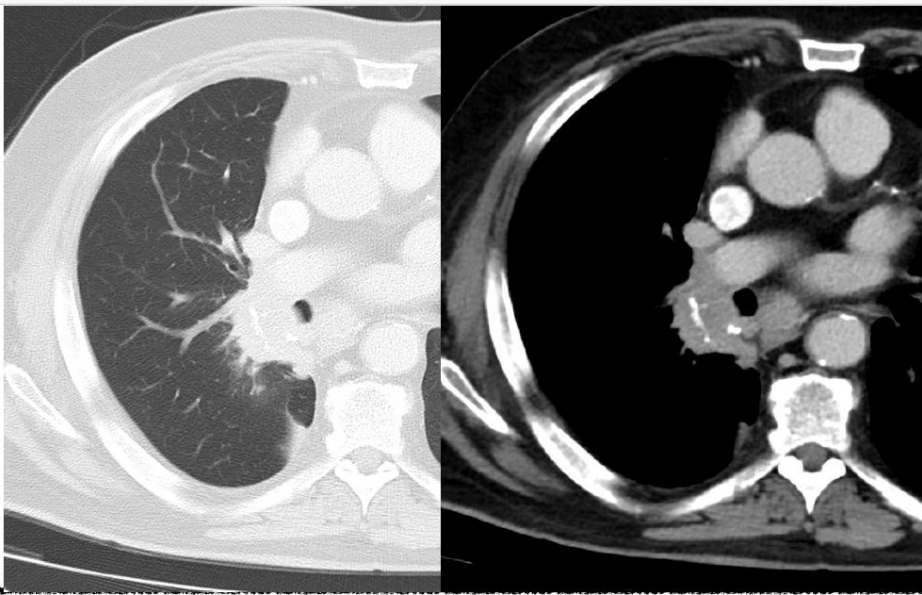


A los 12 meses hay estabilización de cambios post radioterapia. Sin nuevo crecimiento a los 18 meses y 3 años de seguimiento

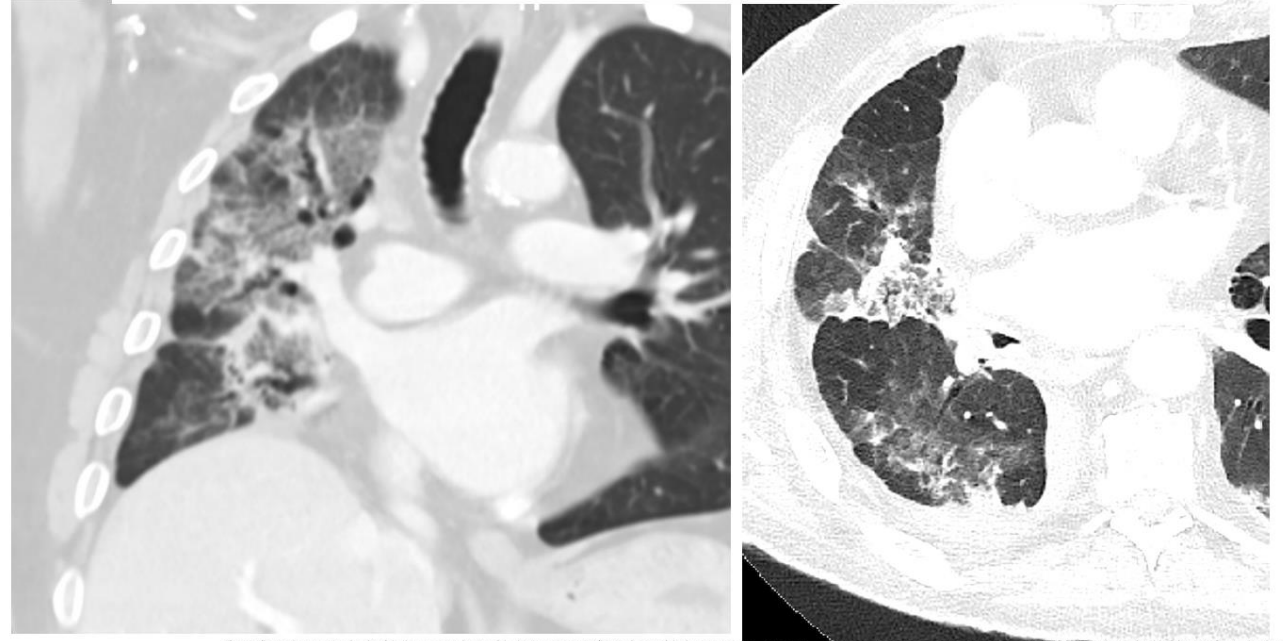
Diferencias de hallazgos radiológicos pulmonares posteriores a SBRT Vs RDT convencional

Característica	RT convencional	SBRT
Neumonitis	A las 4 semanas	A partir de los 4 meses
Fibrosis	Temprana	Tardía, puede simular recidiva
Morfología de la fibrosis	Márgenes lineales	<i>Nodular/masa</i>

CAMBIOS POST-RADIOTERAPIA CONVENCIONAL



Pre tratamiento: Masa hiliar derecha por ca. pulmonar. Tratamiento con **RT convencional**.



2 meses post SBRT: Extensa **neumonitis** de aparición temprana



7 meses post SBRT: respuesta parcial con disminución de tamaño de la masa hiliar. Fibrosis post radioterapia con bronquiectasias y **márgenes lisos** en relación. Derrame pleural

Consideraciones especiales de la SBRT

Diferencias de Radiosensibilidad

Los cambios característicos en SBRT se explican porque hay áreas de tejido pulmonar más vulnerables al daño por radiación. Hay diferencias entre ambos pulmones, entre lóbulos e incluso dentro del mismo lóbulo.

Fibrosis y neumonitis de aparición tardía

A diferencia de la RT convencional, la neumonitis aparece tardíamente (usualmente después de los 4 meses), y puede aparecer fibrosis tardía (después de los 12 meses).

Evolución de la neumonitis a fibrosis

Las áreas de neumonitis evolucionan a fibrosis (se retraen y se hacen más densas).

Morfología redondeada de fibrosis

Como la SBRT se ajusta al volumen tumoral, los cambios post-RT tienen una morfología más redondeada a diferencia de la RT convencional.

Diferencias de Radiosensibilidad

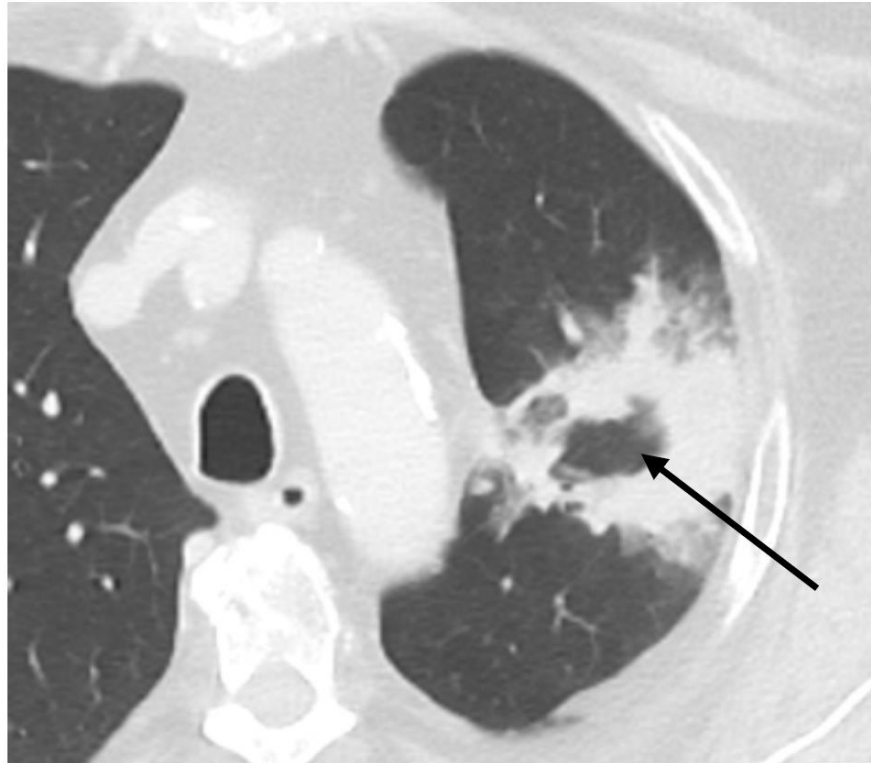
La diferente vulnerabilidad del parénquima pulmonar a la RT, explica que exista áreas de parénquima respetado de localización central, zona que recibe más radiación y que paradójicamente en la periferia del campo de RT existe más neumonitis y fibrosis.

Pre tratamiento: Nódulo pulmonar en LSI (adenocarcinoma)

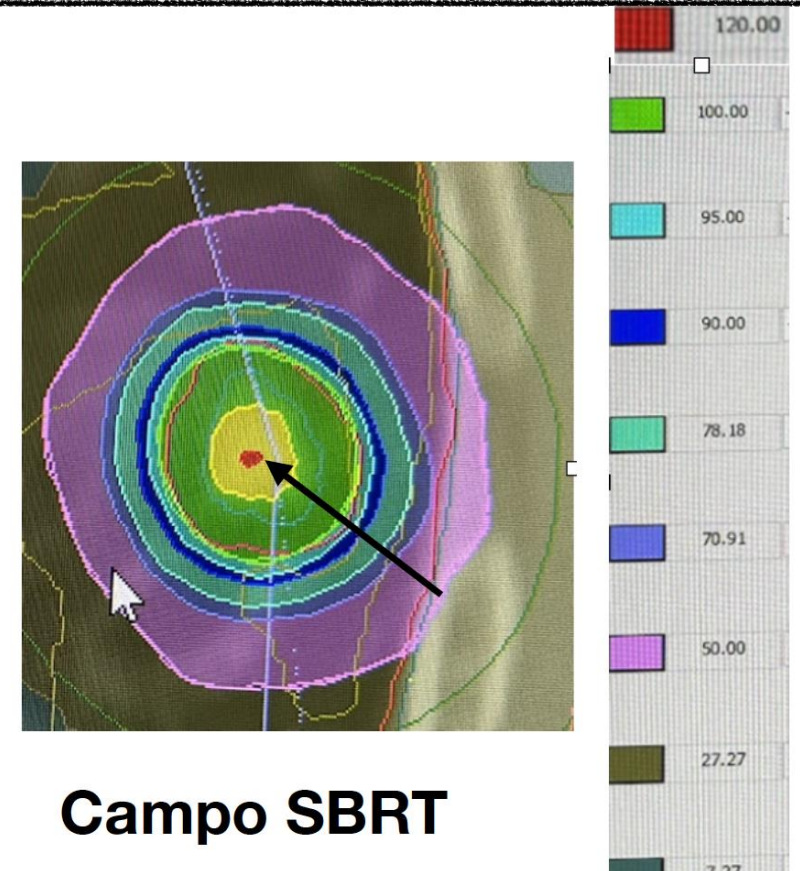
8 meses post SBRT : A pesar de que la zona central (flecha negra) recibe más dosis de radiación presenta parénquima respetado. Se muestra campo de planificación para SBRT y escala de dosis



Pre tratamiento



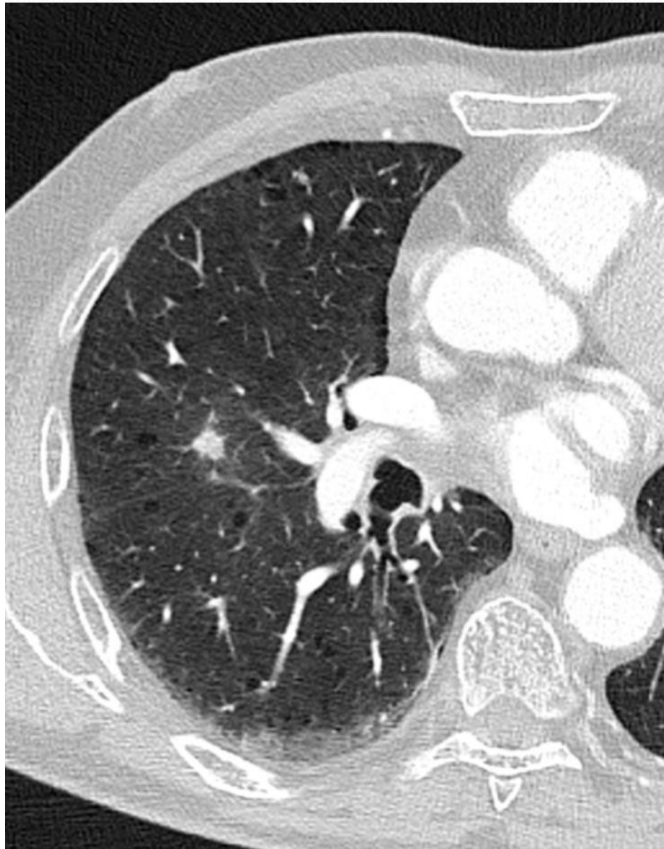
8 meses post SBRT



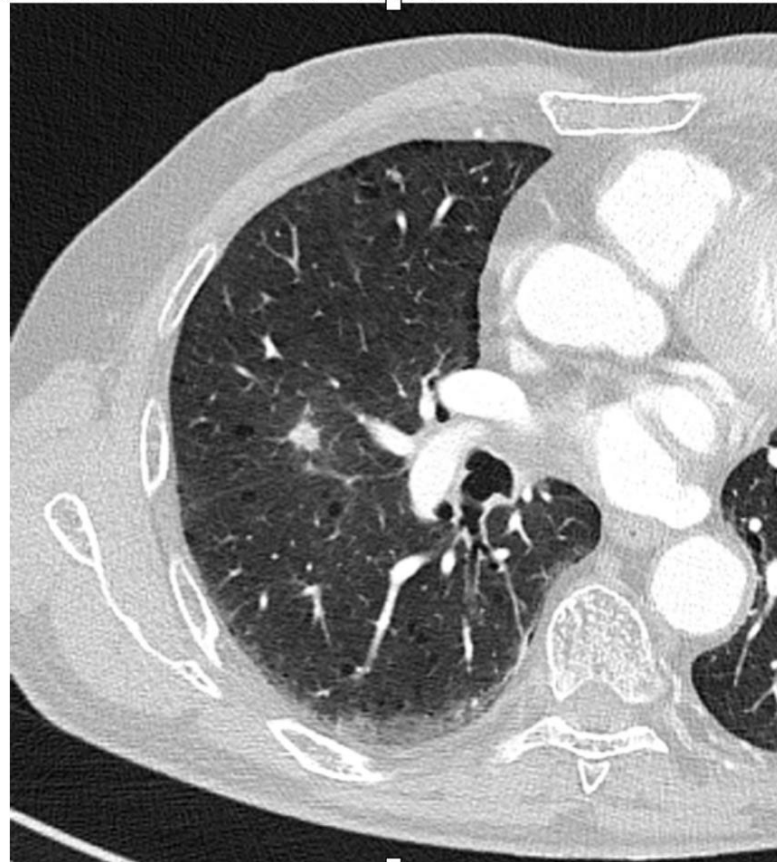
Campo SBRT

Neumonitis de aparición tardía

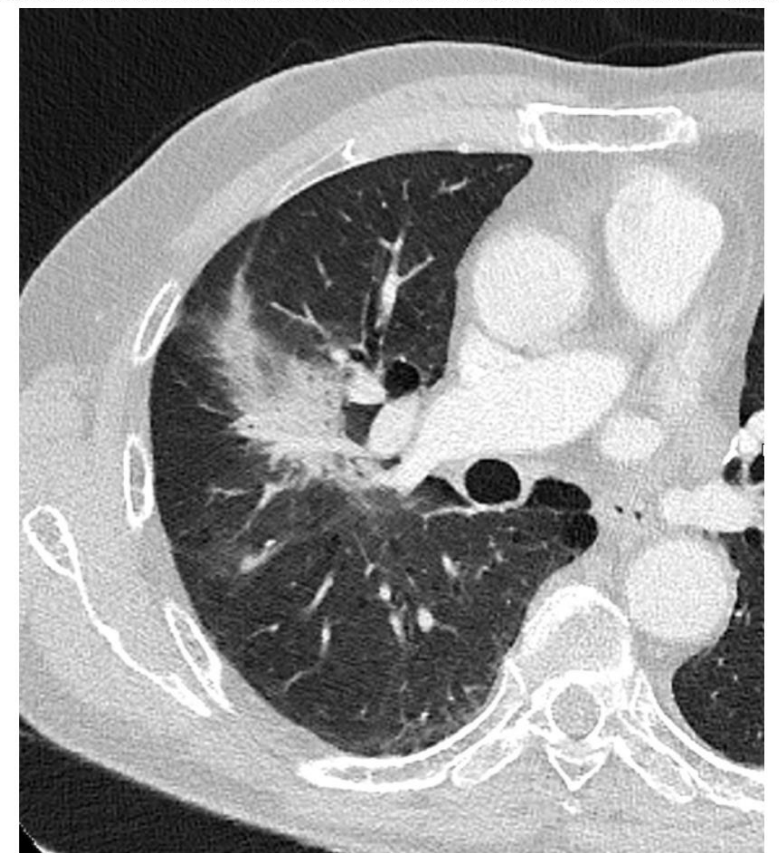
Paciente con antecedente de lobectomía superior izquierda. Presenta nódulo en lóbulo medio (LM) de aparición reciente que aumenta de tamaño. PET (+). No accede a realización de biopsia se trata con SBRT. **Pre tratamiento:** Nódulo en LM. **3 meses post SBRT:** Prácticamente sin cambios. **8 meses:** Neumonitis de aparición tardía (aparece usualmente después de los 4 meses), a diferencia de RT convencional en donde la neumonitis aparece al rededor de las 4 semanas



Pretratamiento

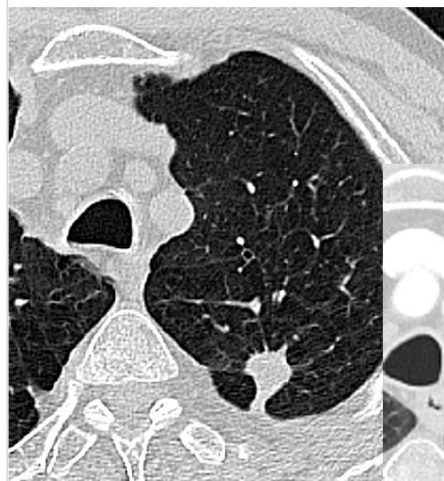


3 meses post SBRT

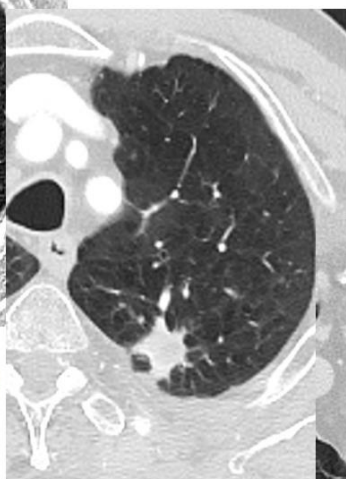


8 meses post SBRT

Fibrosis de aparición tardía



Pre tratamiento



8 meses



12 meses



2 años



2 años 6 meses

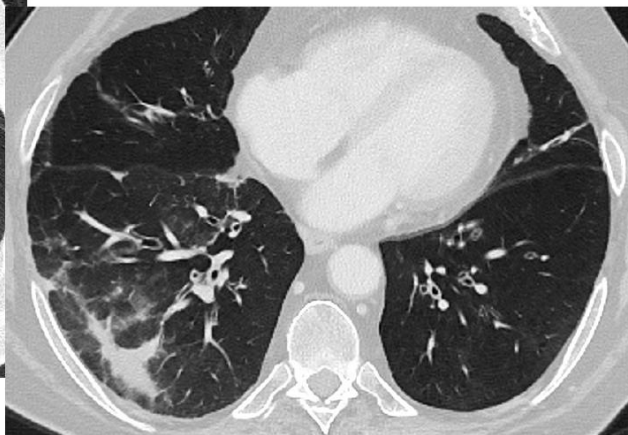
Las lesiones tratadas con SBRT presentan cambios parenquimatosos cuyo crecimiento se estabiliza al rededor de los 12 meses. No obstante pueden presentar neumonitis o fibrosis de aparición tardía. Para diferenciar de recidiva se puede usar el PET TC.

Pretratamiento: Nódulo en LSI. **8 meses:** ligero crecimiento por cambios post SBRT adyacentes **12 meses:** Estabilización de fibrosis. **2 años:** Nuevo crecimiento (mayor densidad y tamaño con área de vidrio deslustrado en periferia), en este punto se sospecho recidiva. PET TC y biopsias negativas para malignidad. **2 años y 6 meses:** Estabilización de hallazgos

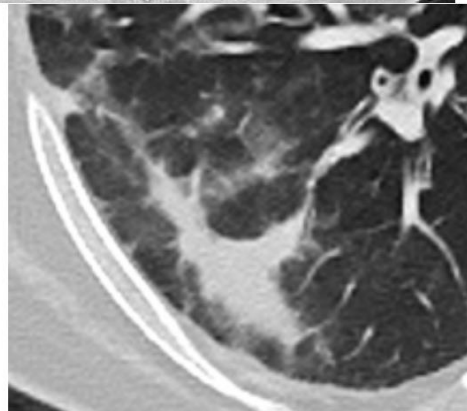
Evolución de la neumonitis a fibrosis



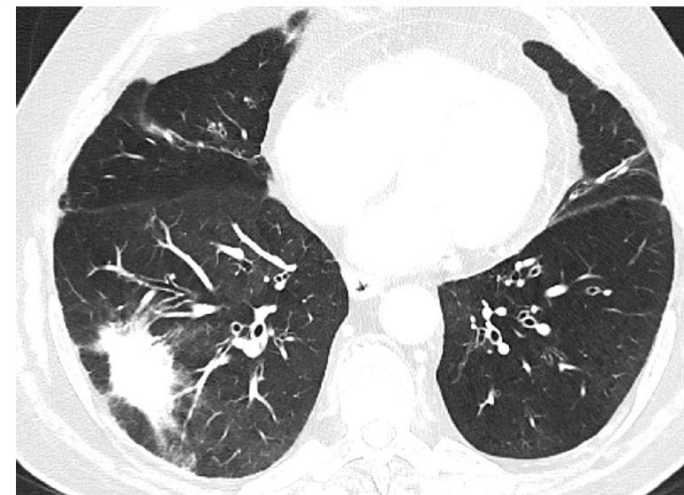
Pre tratamiento



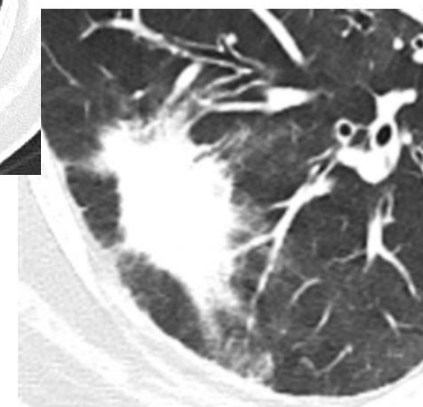
6 meses post SBRT



Las áreas de neumonitis invariablemente evolucionan a fibrosis: se hacen más densas y se retraen con aumento de su tamaño



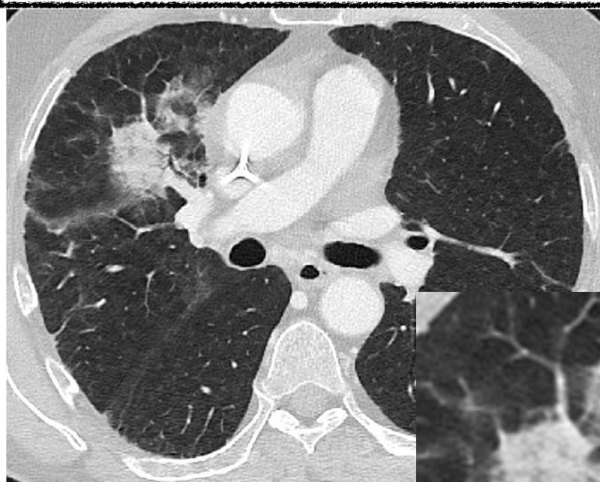
12 meses post SBRT



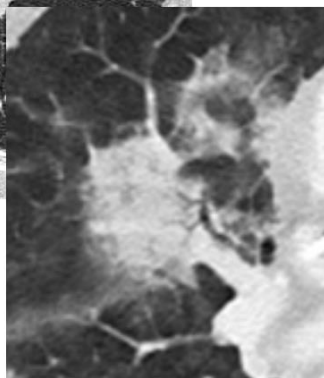
Pre tratamiento: Nódulo en LID (metastasis de adenocarcinoma de colon diagnosticado mediante BAG. **6 meses:** Aparece área de neumonitis (consolidación y vidrio deslustrado) **12 meses:** Las opacidades en vidrio deslustrado por neumonitis se transforman en fibrosis

Morfología redondeada

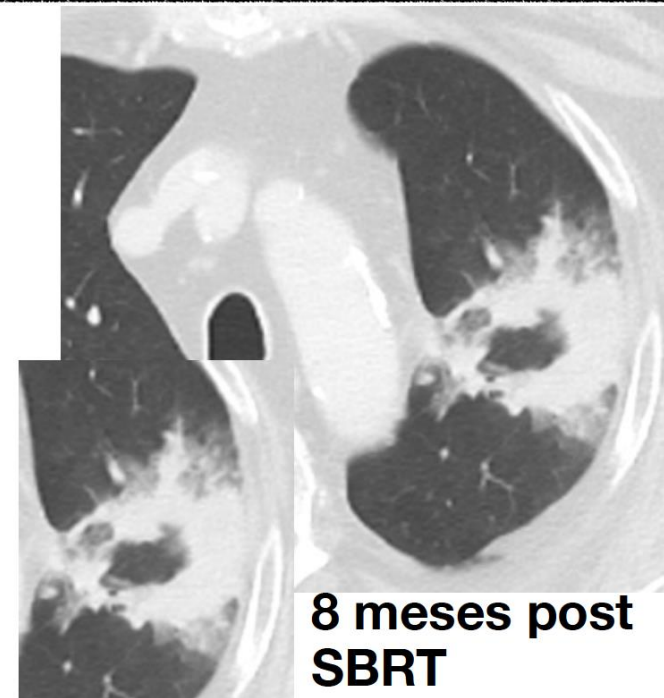
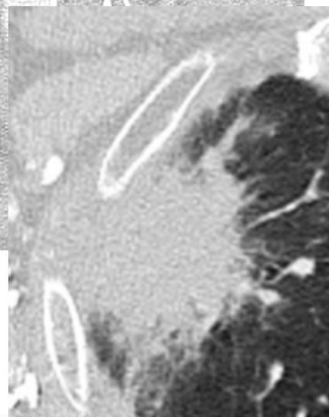
La radiación administrada en SBR, se ajusta al volumen tumoral, por esta razón y a diferencia de la RT convencional los cambios post radioterapia tienen una morfología similar al tumor tratado (morfología redondeada). Esto ocasiona dificultades en la diferenciación con recidiva



8 meses post
SBRT



11 meses post SBRT



8 meses post
SBRT

Diferentes pacientes tratados con SBRT, se muestran imágenes en periodo de máximo crecimiento de cambios post RT (8 a 12 meses). Destaca en todos la **morfología redondeada** que se ilustra en magnificaciones a pie de imagen.

Patrones radiológicos post-SBRT

Cambios tempranos (primeros 6 meses)

Ningún cambio

Patrón de consolidación

Consolidaciones peribronquiales irregulares

Patrón con morfología irregular de vidrio
deslustrado

Patrón de vidrio deslustrado difuso

Nódulo sólido

Cambios tardíos (después de 6 meses)

Ningún cambio

Similar a cicatriz

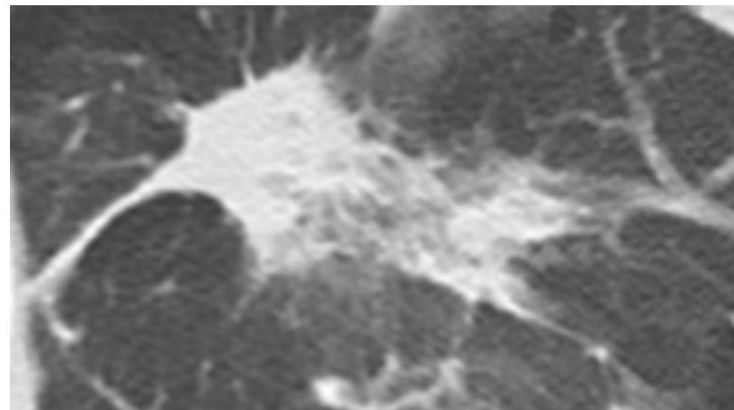
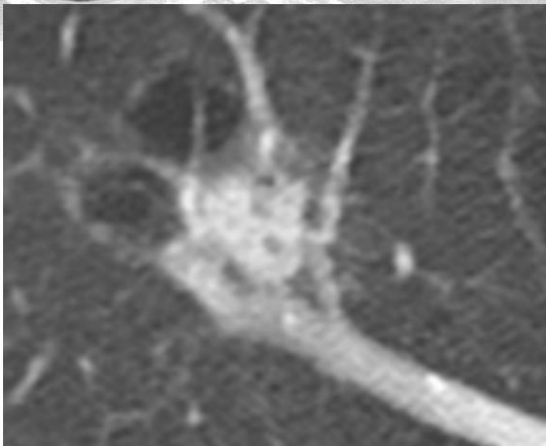
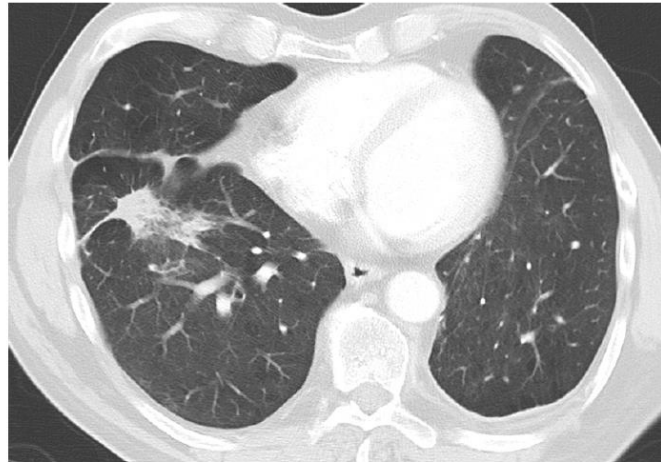
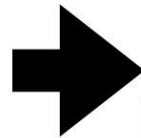
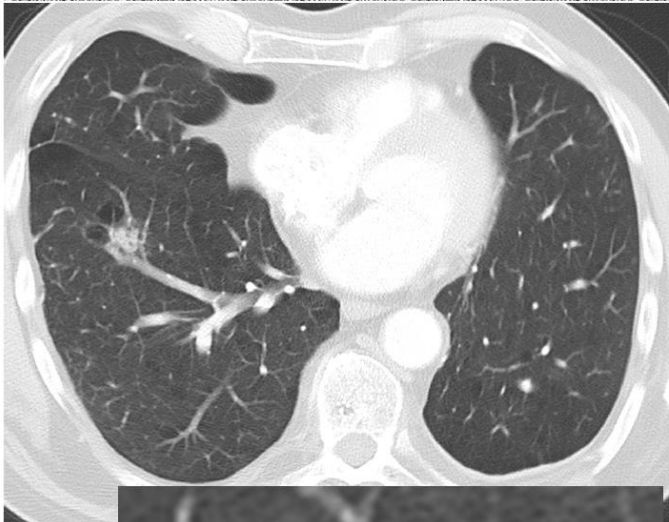
Similar a masa

Patrón convencional modificado

Patrón similar a la órbita

PATRÓN DE CONSOLIDACIÓN : Aumento homogéneo de atenuación del parénquima que oscurece los márgenes de los vasos y las paredes de la vía respiratoria, asocia edema de vía aérea. No hay áreas de parénquima respetado dentro de ella

PATRÓN DE VIDRIO DESLUSTRADO IRREGULAR O PARCHEADO: Aumenta la atenuación sin oscurecer vasos y paredes bronquiales



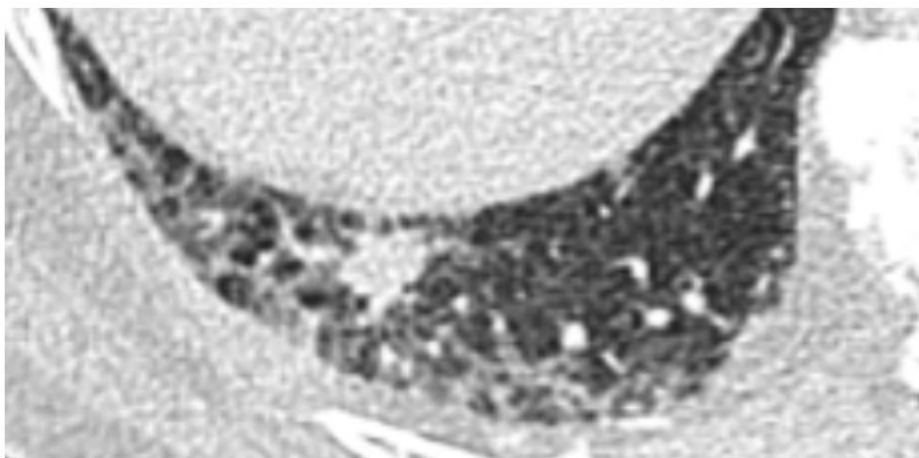
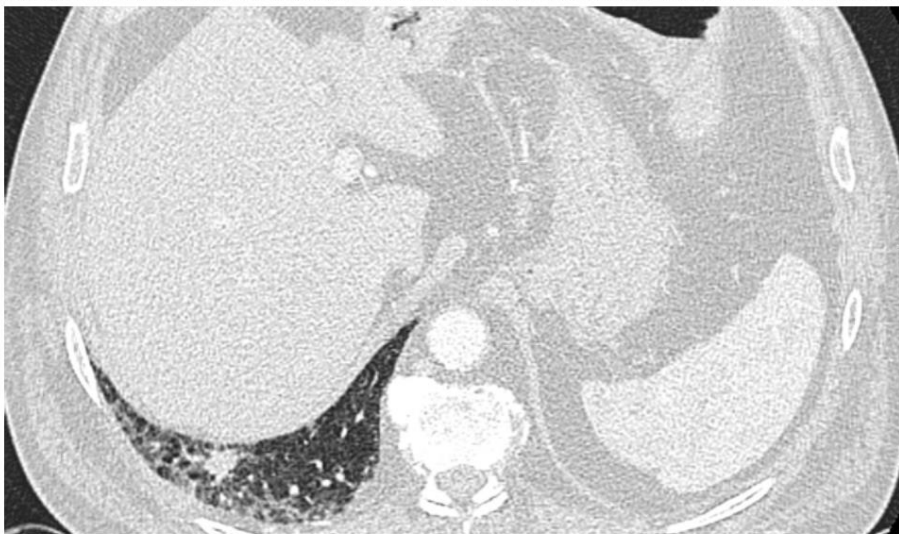
Pre tratamiento

8 meses post SBRT

Pretratamiento: Paciente con antecedente de lobectomía superior izquierda con nódulo subsólido en seguimiento, hipermetabólico por ca. Pulmonar (segundo primario).
8 meses post SBRT: Donde previamente se observaba el nódulo se objetiva aumento con morfología redondeada de la densidad del parénquima con patrón mixto de consolidación y en el aspecto lateral área de vidrio deslustrado.

CONSOLIDACIONES PERIBRONQUIALES

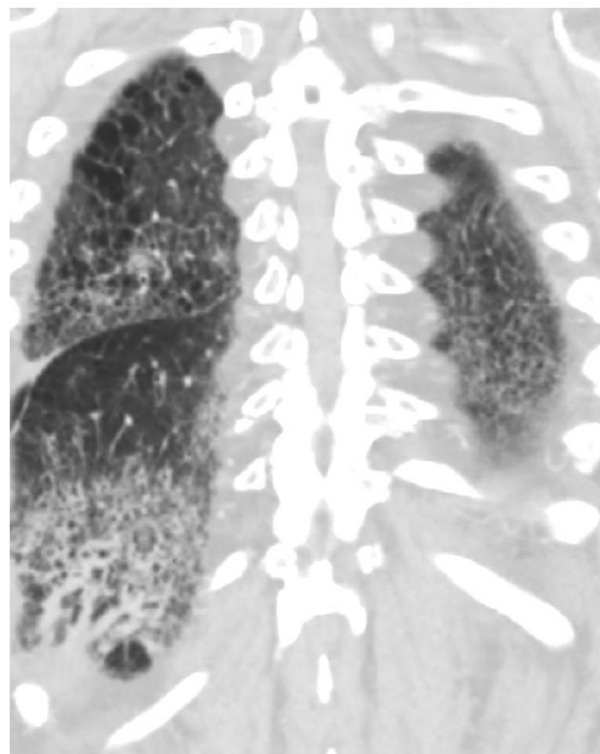
IRREGULARES : Consolidaciones que rodean los haces peribroncovasculares con áreas de parénquima respetado dentro de ellas



Pretratamiento

AUMENTO DIFUSAS EN VIDRIO

DESLUSTRADO, OPACIDADES PARCHEADAS EN VIDRIO DESLUSTRADO (Con áreas de parénquima respetado entre ellas)

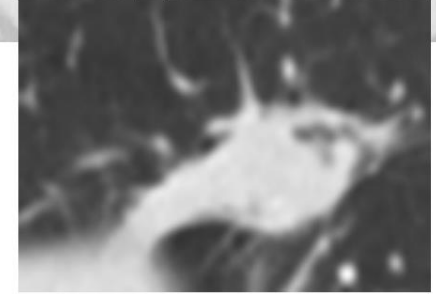
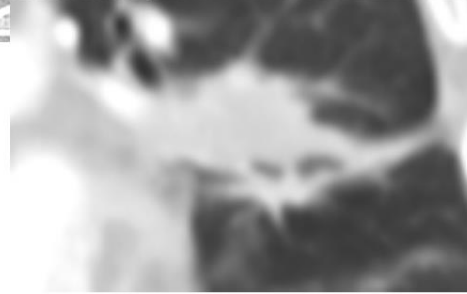
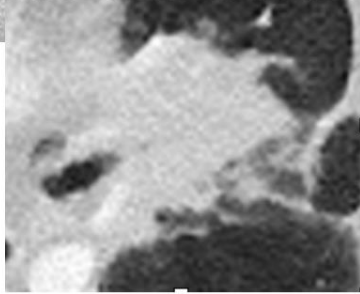
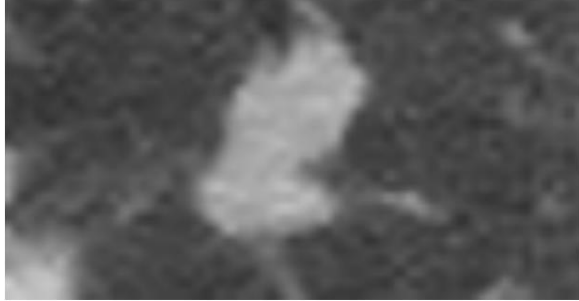
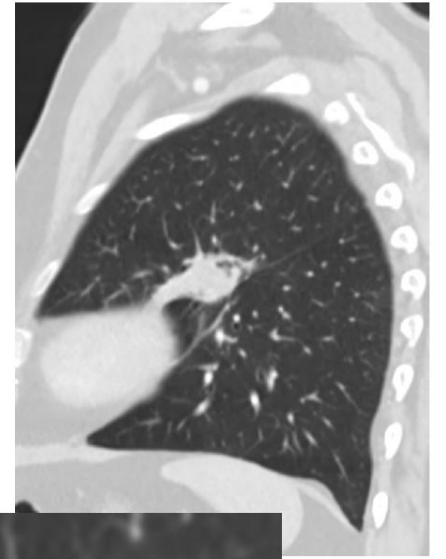
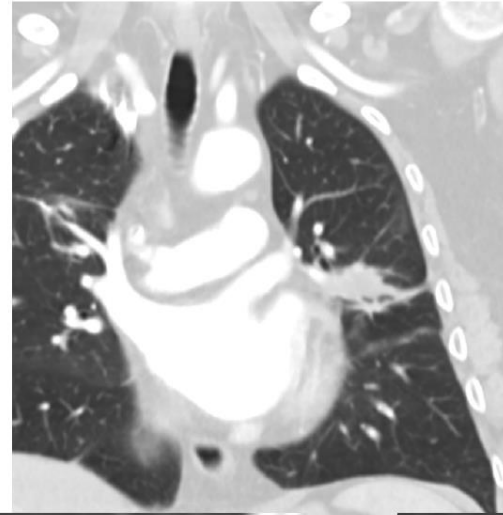
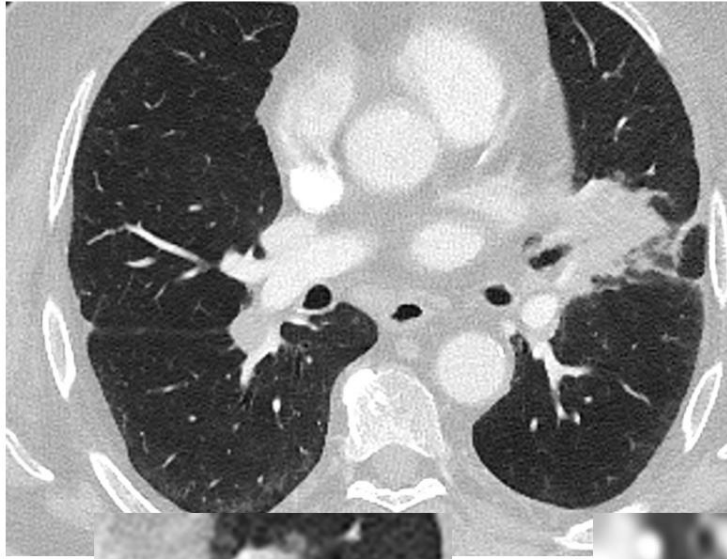
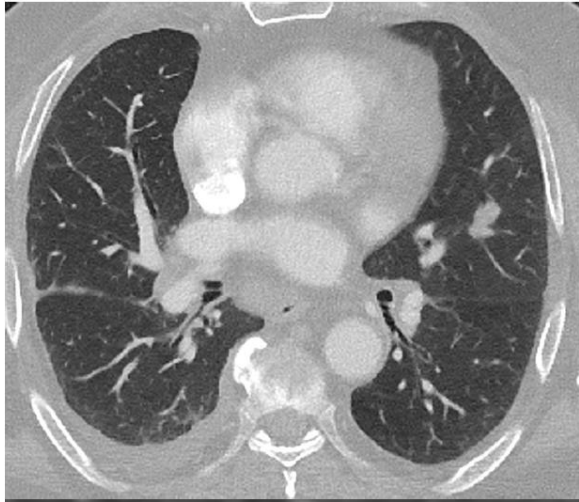


5 meses post SBRT

Pretratamiento: Paciente con fibrosis pulmonar idiopática. Desarrolla nódulo sospechoso de malignidad en LID supradiagmático, hipermetabólico en PET TC.

5 meses post SBRT: Patrón mixto de opacidad difusa en vidrio deslustrado y consolidaciones irregulares peribronquiales

PATRÓN NÓDULO/ MASA: Opacidad limitada alrededor del tumor tratado, con márgenes irregulares o bien definidos y morfología redondeada menor de 3cm (nódulo) o masa (mayor de 3 cm). Su morfología es redondeada en los 3 ejes: coronal, axial y sagital

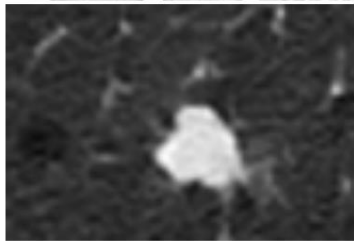
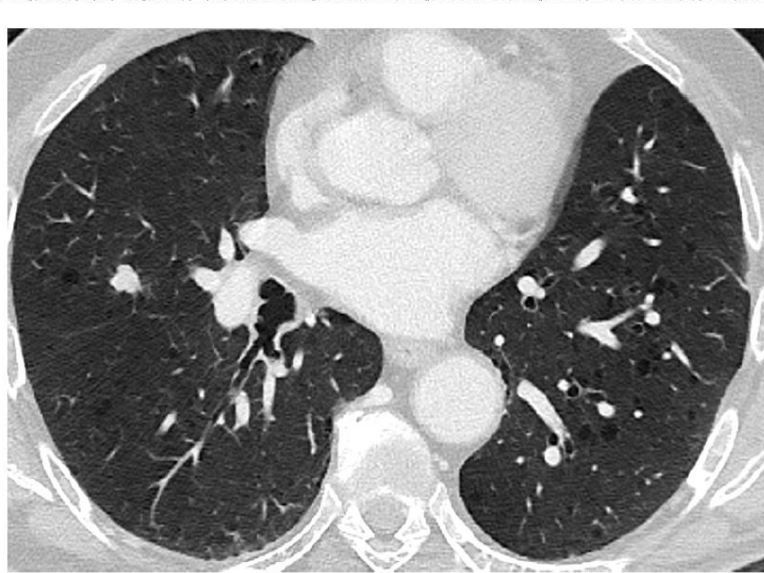


**9 meses
post SBRT**

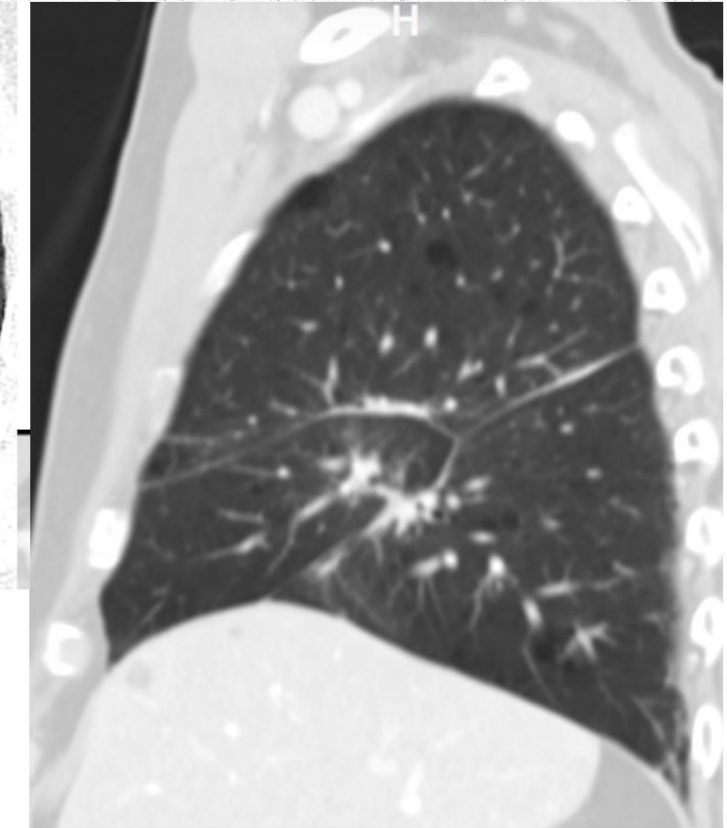
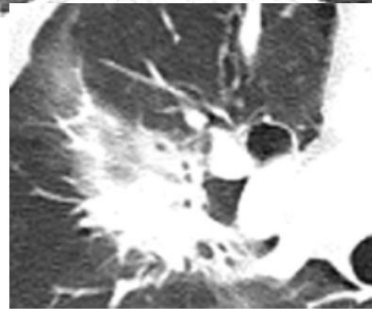
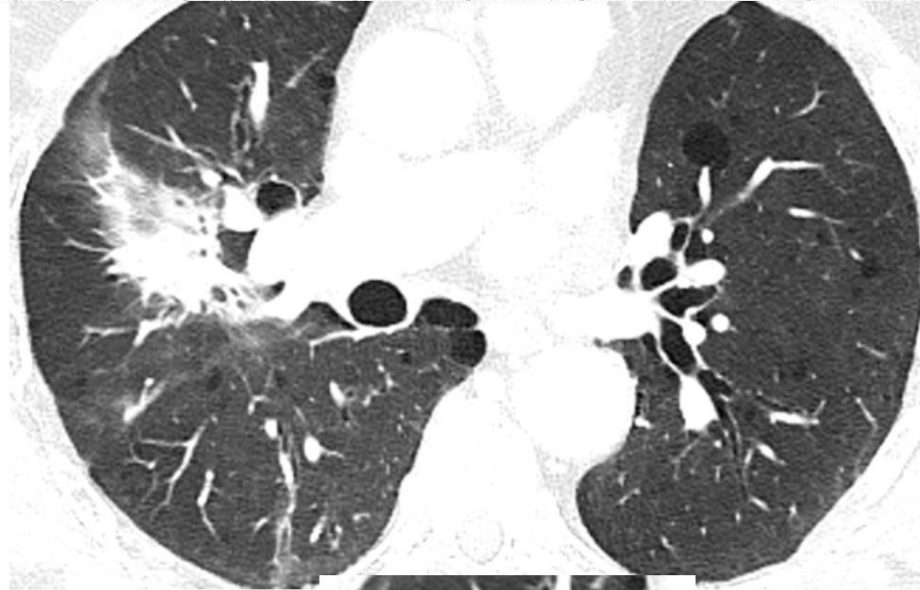
Pretratamiento

Pretratamiento: Nódulo en língula (metástasis de adenocarcinoma- Primario en colon). **9 meses post SBRT:** Aumento de tamaño, actualmente masa (3cm), tiene márgenes irregulares pero convexos en los 3 planos, lo que se relaciona con patrón tipo masa, como respuesta a SBRT

PATRÓN SIMILAR A CICATRIZ: Banda o línea en región de L tumor tratado con pérdida de volumen. Se considera cicatriz si se ve plana en uno de los planos ortogonales



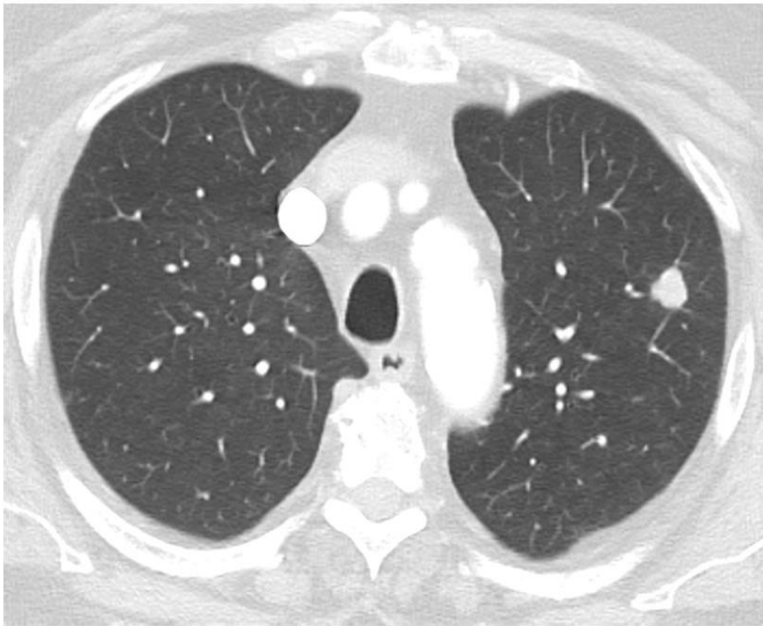
Pretratamiento



12 meses post SBRT

Pre tratamiento : Paciente con nódulo sólido en llingula sospechoso de malignidad de contornos lobulados. **12 meses post SBRT:** Patron mixto consolidación/ cicatriz con morfología aplanada en corte sagital.

PATRÓN CONVENCIONAL MODIFICADO : Consolidación con pérdida de volumen, bronquiectasias de tracción, distorsión de la arquitectura similar pero menos extensa que la fibrosis por radiación



Pretratamiento

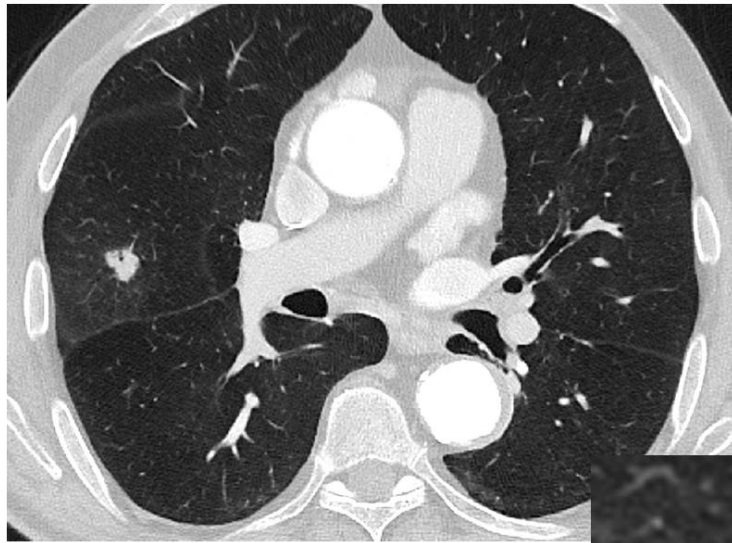


8 meses post SBRT

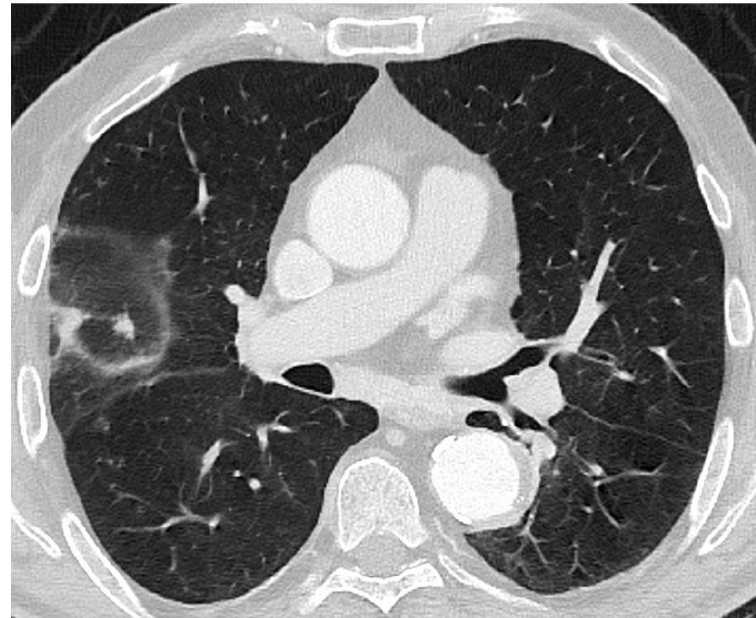
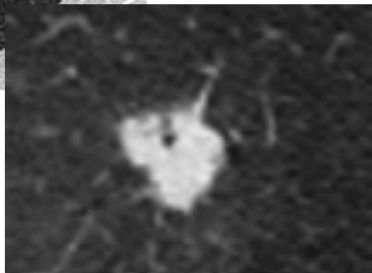
Pre tratamiento : Paciente con nódulo pulmonar con BAG (adenocarcinoma pulmonar primario). **8 meses post SBRT**: Patrón convencional modificado. Consolidación con pérdida de volumen y bronquiectasias de tracción



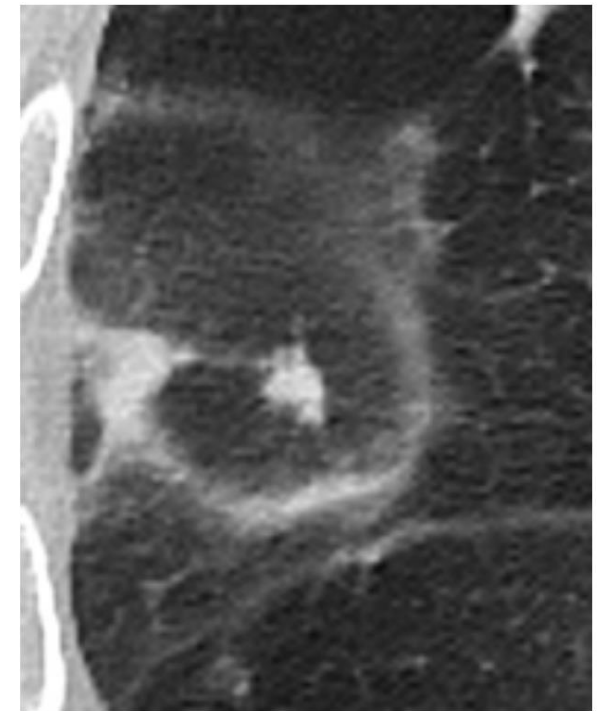
PATRÓN SIMILAR A ÓRBITA: Nódulo central rodeado de parénquima con densidad normal que presenta consolidación o vidrio deslustrado en la periferia. Esta consolidación permanece a corta distancia del isocentro. Se ha descrito que se presenta al rededor de los 8 meses, pero puede encontrarse antes. Se presenta por las diferencias de radiosensibilidad del parénquima en un mismo lóbulo pulmonar



Pretratamiento



4 meses post SBRT

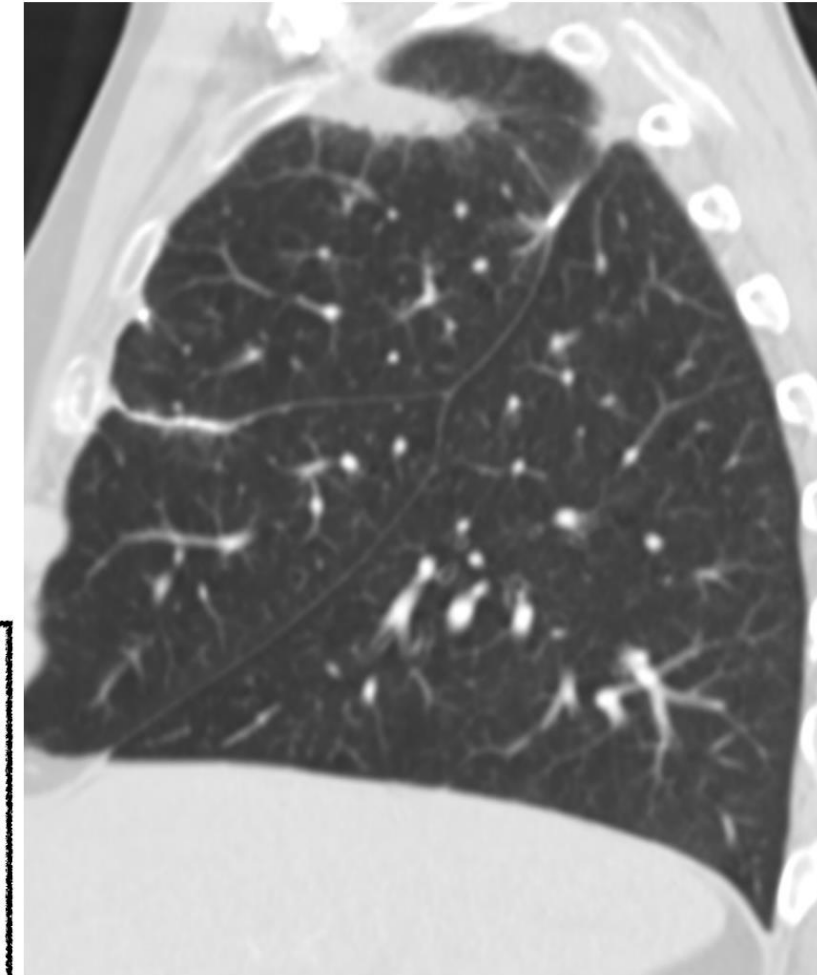


Pre tratamiento : Paciente con nódulo pulmonar con BAG (adenocarcinoma) . **4 meses post SBRT:** Patron similar a órbita: Nódulo solido central, rodeado de parénquima pulmonar respetado y en la periferia aumento de la densidad por cambios post SBRT

RECOMENDACIÓN:

Valorar las lesiones en los 3 planos ortogonales

Valorar el crecimiento en eje cráneo caudal



Pretratamiento :
Paciente con
neumonectomía
izquierda. Nódulo
sospechoso en LSD

11 meses post SBRT: Los cambios post radioterapia adoptan morfología redondeada que en el eje axial parece masa. No obstante en plano sagital tiene morfología más aplanada. Corresponde más a cicatriz.

Signos sugestivos de recidiva post-SBRT

Factores que aumentan el riesgo

- Lesiones > 3 cm
- **Dosis insuficiente (<100 Gy)** o subdosificación por limitaciones anatómicas
- **Tumores centrales complejos**
- **Histología radiorresistente del primario** (melanoma, sarcoma)

**Ser cauteloso al declarar recurrencia antes de los 12 meses.
Más que el tiempo aislado, importa el patrón de evolución.**

Signos de recidiva

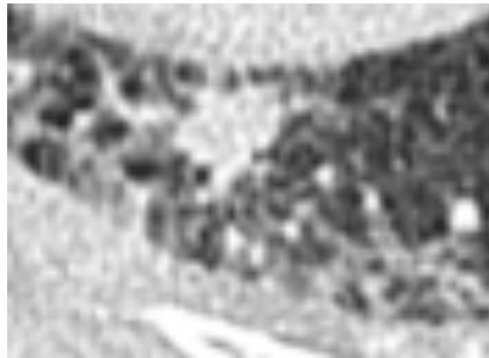
- Aumento de tamaño en **2 TC consecutivos después de los 12 meses o crecimiento tras periodo de estabilidad**
- **Margen abultado** tras estabilización
- Desaparición del **margen lineal tipo cicatriz**, comenzando a presentar margen convexo.
- Desaparición del **broncograma aéreo** en consolidación preexistente.
- **Derrame pleural ipsilateral**
- **Adenopatías nuevas o aumentadas**
- **Aumento metabólico en PET-TC** en controles seriados

La SBRT asocia buen control local de las neoplasias pulmonares primarias (90%) y en menor proporción de las metástasis (75-85%).

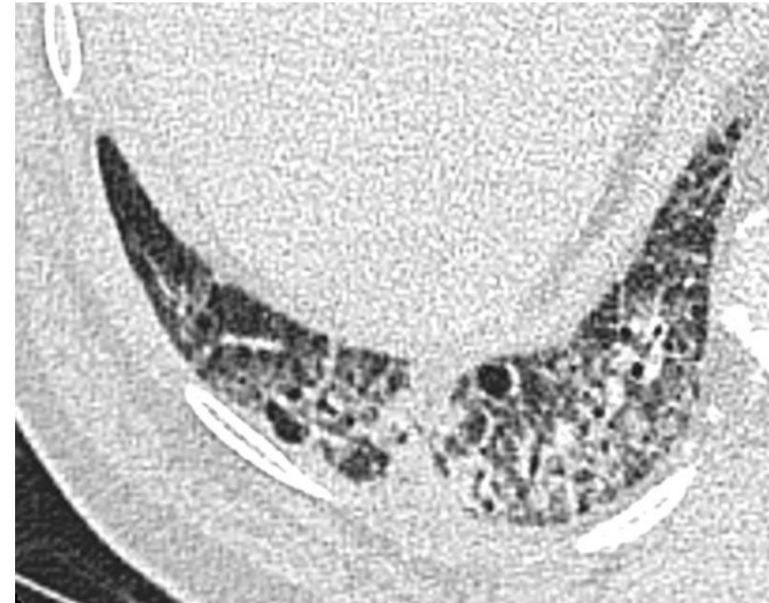
En muchos casos la recurrencia tumoral se produce porque las lesiones han quedado por fuera del campo o por la presencia de tumores metacrónicos.



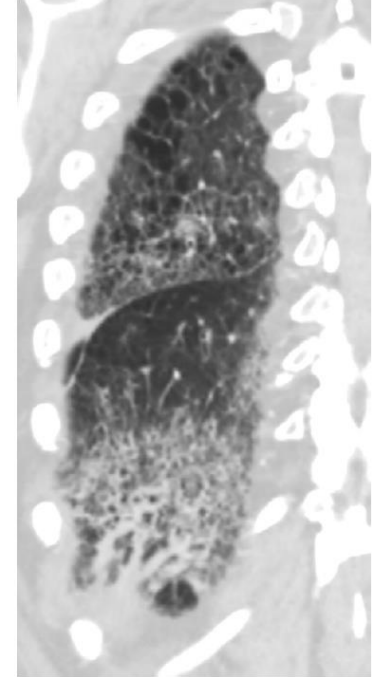
Pre tratamiento



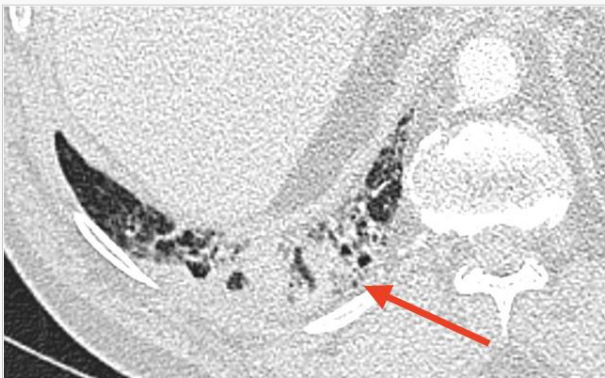
Pretratamiento: Paciente con NIU por fibrosis pulmonar idiopática, en estudio de seguimiento aparece nódulo pulmonar hipermetabolico e PET TC sospechas de proceso neoplásico pulmonar primario. Por deterioro de pruebas de función pulmonar se trata con SBRT



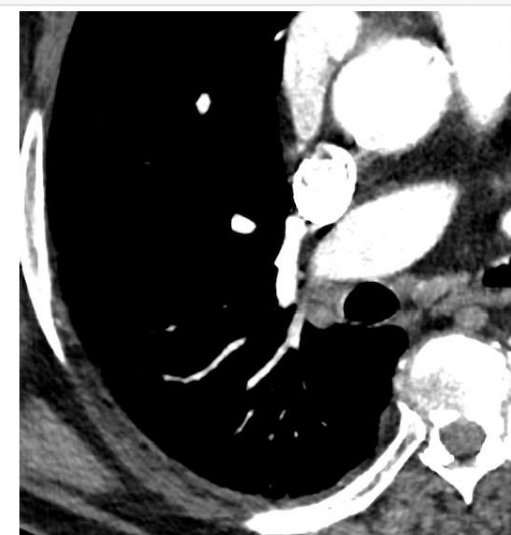
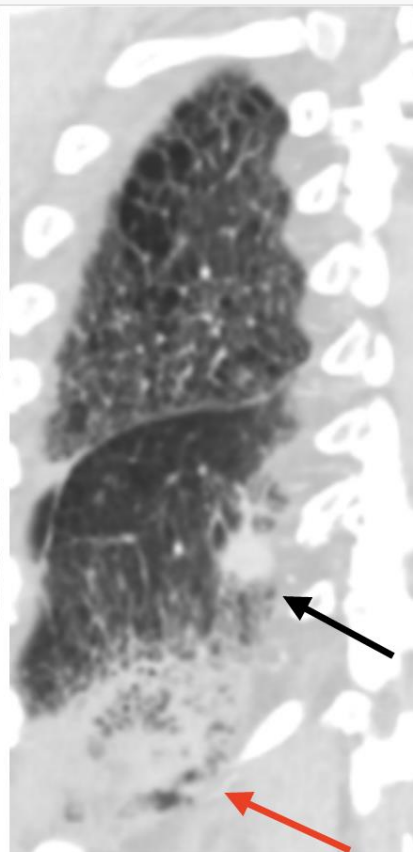
4 meses post SBRT



4 meses post SBRT: Extensa y temprana área de neumonitis post SBRT : Patrón mixto en vidrio deslustrado / consolidaciones peribronquiales irregulares



10 meses post SBRT



10 meses post SBRT

- * Cambios post SBRT en segmento posterior de LID donde se encontraba nódulo tratado. (Flecha roja)
 - * En segmento superior se observa nódulo de aparición reciente (flecha negra)
 - * Aparecen adenopatías para hiliares
 - * Las lesiones nuevas son hipermetabólicas en PET TC
- La zona donde se encontraba el nódulo presentaba metabolismo normal en PET TC

Buen control local de nódulo tratado con SBRT pero recidiva por proceso neoplásico metacrónico en zona fuera del campo de radioterapia

CONCLUSIONES

1. El seguimiento de pacientes con tratamiento post SBRT se hace con TC. El PET TC antes de 12 meses presenta elevado número de falsos positivos
2. Debemos ser cautelosos al diagnosticar recurrencia antes de los 12 meses post SBRT basándonos únicamente en el aumento de tamaño de las lesiones (período de máximo crecimiento de las lesiones).
3. Es importante entender las diferencias entre cambios post SBRT y RT convencional y los diferentes patrones de respuesta a la SBRT
4. Son características que sugieren recidiva: aumento de tamaño en 2 TC consecutivos después de los 12 meses, aparición de margen abultado o convexo que previamente era lineal, desaparición de broncograma aéreo en consolidación pre existente, derrame pleural, adenopatías, aumento metabólico en el PET TC

BIBLIOGRAFÍA

1. De Ruyscher D, Belderbos J, Reymen B, van Baardwijk A, Ollers M, Dingemans AM, et al. State of the art in lung cancer radiation therapy. Rep Pract Oncol Radiother. 2024;29(6):734-45.
2. Cheng J, Han G, Tan L, Chen J, Yan G, Li H, et al. Imaging changes after stereotactic body radiotherapy for lung cancer: a review. Front Oncol. 2022;12:831201.
3. Nambu A, Onishi H, Araki T. Fibrosis after stereotactic body radiotherapy: a review of the CT appearance. J Med Imaging Radiat Oncol. 2018;62(4):460-7.
4. Nambu A, Onishi H, Araki T, Maruyama K, Tago M, Yamashita H, et al. CT appearances of post-radiation lung changes and their distinction from local tumor recurrence after stereotactic body radiotherapy. Keio J Med. 2017;66(3):41-52.
5. Kimura T, Matsuura K, Murakami Y, Kenjo M, Kaneyasu Y, Yoshimitsu K, et al. CT appearance of radiation-induced lung injury after stereotactic body radiotherapy for lung tumors: a systematic review. J Radiat Res. 2014;55(4):783-93.
6. Huang K, Palma DA. Stereotactic body radiation therapy for early-stage lung cancer: a review. J Thorac Dis. 2013;5(3):360-6.
7. Dahele M, Palma D, Federick A, Lagerwaard F, Slotman B. Radiological changes after stereotactic radiotherapy (SBRT) for stage I lung cancer. J Thorac Oncol. 2011;6(1):115-21.