

37 Congreso
Nacional
CENTRO DE
CONVENCIONES
INTERNACIONALES

Barcelona
22/25
MAYO 2024

seram
Sociedad Española de Radiología Médica

FERM
FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE RADIOLOGÍA MÉDICA

RC | RADIOLEGS
DE CATALUNYA

TC espectral en la patología biliopancreática

Carla Suárez Silva¹, Bárbara Saiz Abad¹,
Laura Flores Fuciños¹, Pilar Velarde Nañez¹,
Antonio Núñez Soto¹, Luis Porto Mato¹, Silvia Durán Lojo¹,
Concepción Crespo García¹

¹Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña,
A Coruña

Objetivos:

- Evaluar la utilidad y limitaciones de la tomografía computarizada (TC) con energía dual en la patología bilio-pancreática aguda y no aguda.
- Mostrar nuestra experiencia en la aplicación y utilidad de las herramientas de post-procesado que proporciona esta tecnología en la detección, caracterización y extensión de las lesiones focales del páncreas.
- Evaluar el papel de la tecnología espectral en la patología de la vía biliar.

Revisión del tema:

1. Principios técnicos de la TC espectral.

- La tomografía *mono-energética* utiliza un espectro simple de rayos X con un único pico de energía. La diferenciación de tejidos depende de la atenuación de fotones expresada en Unidades Hounsfield (UH), cuyos valores se solapan en diferentes tejidos con un número atómico similar.
- El principio básico de la tecnología espectral es que los tejidos y materiales se comportan de diferente forma cuando se exponen a rayos X con fotones de diferentes energías.

- Los fotones interactúan con los diferentes tejidos mediante dos efectos fundamentales: el efecto fotoeléctrico que depende del número atómico de un material y predomina en las bajas energías y el efecto Compton que depende de la densidad de electrones y predomina en las altas energías. Esto permite mediante cálculos matemáticos la separación de tejidos con similar atenuación en un único nivel de energía.
- Con esta tecnología cada haz de rayos X es polienergético: contiene fotones de múltiples energías. El término espectral se refiere a la frecuencia de los fotones y se expresa en keV (kilo-electronvoltios).
- Las principales herramientas de postproceso son las imágenes virtuales sin contraste, reconstrucciones monoenergéticas a diferentes KeV, mapas de concentración de yodo, imágenes de número atómico efectivo y otras imágenes de densidad de materiales. Las tres primeras son las que presentan utilidad en la patología biliopancreática.

2. Herramientas de postprocesado en la patología biliopancreática.

2.1. Imágenes monocromáticas a diferentes energías.

Las imágenes monoenergéticas simulan la adquisición con un haz monocromático teórico. Las imágenes virtuales de baja energía, aportan un mayor contraste entre las estructuras y permiten identificar tejidos con alta captación de yodo lo que aumenta la sensibilidad para la detección de lesiones. Las imágenes virtuales de alta energía presentan menor resolución de contraste y menor ruido, lo que reduce significativamente los artefactos metálicos (*Figura 1*) y permiten diferenciar con seguridad captaciones de contraste de depósitos de calcio.



Figura 1. Prótesis en la vena esplénica. 1a. Imagen axial monocromática de 52KeV adquirida en fase venosa. **1b.** Reconstrucción promedio del mismo corte (equivalente a un estudio convencional 120kV). **1c.** Reconstrucción de alta energía (90 keV) del mismo estudio. Ejemplo que ilustra las utilidades de las diferentes energías: con las bajas energías (1a) se incrementa el contraste entre diferentes estructuras, pero es en la imagen virtual con altas energías (1c) donde se constata la permeabilidad de la prótesis.

2.2. Mapas de atenuación de yodo.

Son una representación selectiva del contenido de yodo de los tejidos y aumentan la fiabilidad para cuantificar el realce de contraste independientemente de la fase de adquisición o la concentración del mismo.

2.3. Imágenes virtuales sin contraste.

Mediante la sustracción de tejidos realzados permite la reducción de las dosis de radiación eliminando, en casos seleccionados, la adquisición de series sin contraste. Pueden contribuir a evaluar hallazgos incidentales en estudios monofásicos: calcificaciones, litiasis, sangrados, suturas, contenido intestinal...

3. Aplicaciones de la energía espectral en la patología biliopancreática.

3.1 Aplicaciones en patología oncológica biliopancreática:

La principal aportación de la energía espectral es mejorar la detección precoz de pequeñas lesiones o tumores isoatenuantes, evaluar su extensión, así como mejorar la detección de la infiltración vascular y por tanto su potencial resecabilidad.

- **Adenocarcinoma pancreático.**

Es el tumor maligno del páncreas más frecuente, representando el 90% de los tumores pancreáticos. En el momento del diagnóstico, sólo el 10-20% de los tumores son resecables, y entre el 50-60% presentan metástasis o enfermedad sistémica.

La TC es la técnica de elección para la detección, estadiaje, planificación quirúrgica y eventual seguimiento. Se presentan como una lesión focal única, discretamente hipodensa o isodensa, con escaso realce tras la administración de contraste debido a su pobre vascularización y generalmente con márgenes infiltrativos, debido a la reacción estromal desmoplásica. En la fase arterial, el parénquima sano muestra el máximo realce lo que facilita la detección del tumor, escasamente vascularizado.

No obstante, aún a pesar de una óptima adquisición hasta el 10% de los **adenocarcinomas pancreáticos** son isoatenuantes, lo que dificulta su detección. Tienen mejor pronóstico debido a que contienen menos estroma desmoplásico, por lo tanto, el papel del radiólogo es fundamental en su detección temprana.

El uso de la energía espectral con reconstrucciones de baja energía y mapas de yodo incrementan el contraste entre el tumor y el parénquima normal, facilitando su detección, la delimitación de sus márgenes y mejorando la reproducibilidad de su medición (*Figuras 2, 3, 4 y 5*).

En algunas ocasiones, las **pancreatitis crónicas** formadoras de masas muestran una apariencia similar al adenocarcinoma pancreático. Algunos autores sugieren que estas “seudomasas” presentan mayor captación de yodo en comparación con el adenocarcinoma pancreático. Algunos estudios concluyen que la determinación de la *concentración de yodo* normalizada (referenciada a la concentración de yodo en la aorta) presenta una sensibilidad del 93% y una especificidad del 89.5% para distinguir ambas, comparable con la RM.

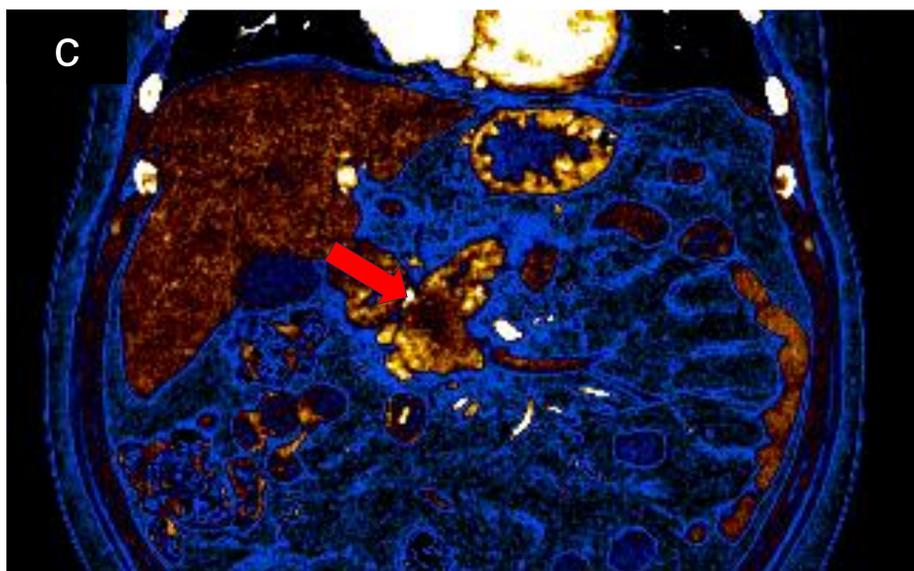
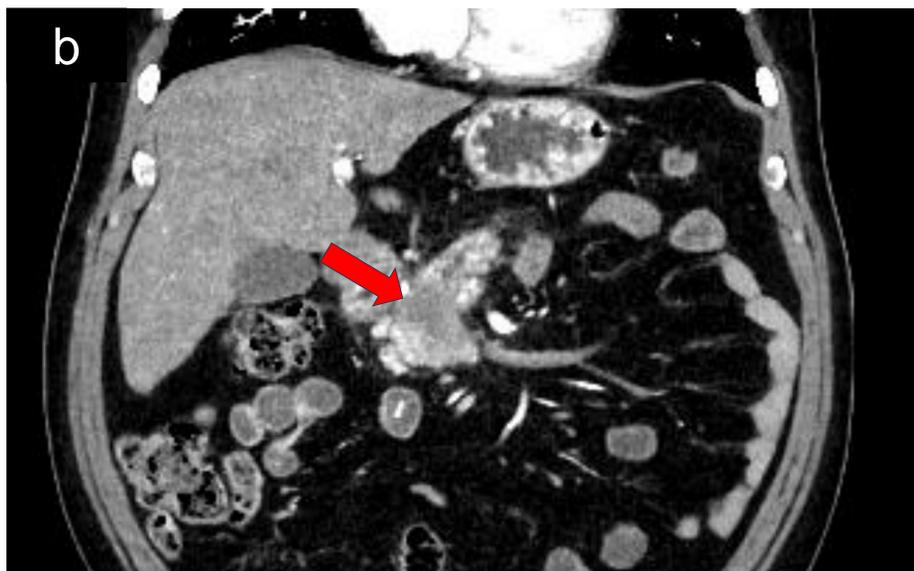
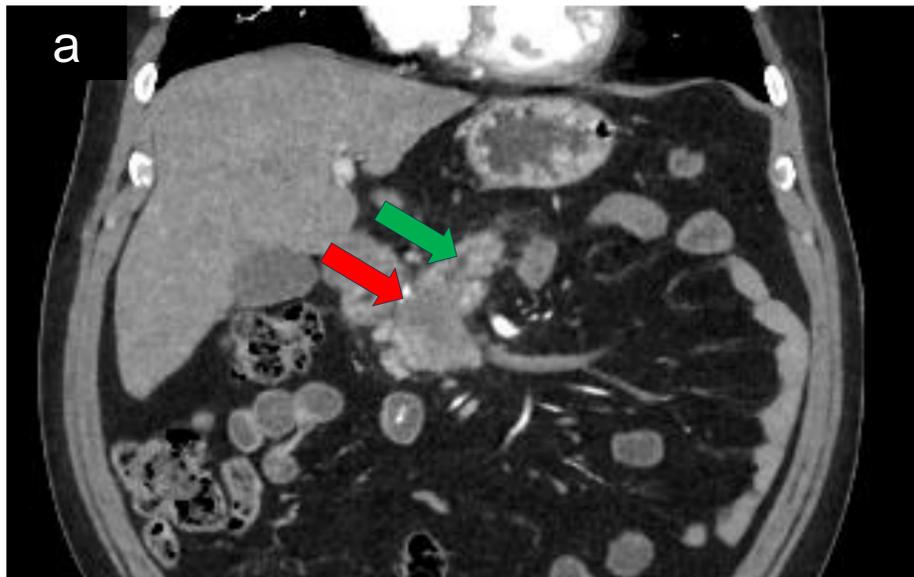


Figura 2. Adenocarcinoma de páncreas.

2a. Reconstrucción coronal media ponderada (equivalente a convencional 120kV) adquirida en fase arterial. En la cabeza pancreática se observa una lesión discretamente hipodensa (flecha roja) respecto al resto de la glándula que condiciona dilatación del ducto de Wirsung (flecha verde). **2b.** Reconstrucción monocromática de baja energía 52keV y **2c.** Mapa de yodo/agua a 52 keV. Ambas mejoran la detección, la definición de sus márgenes y la extensión de la lesión.

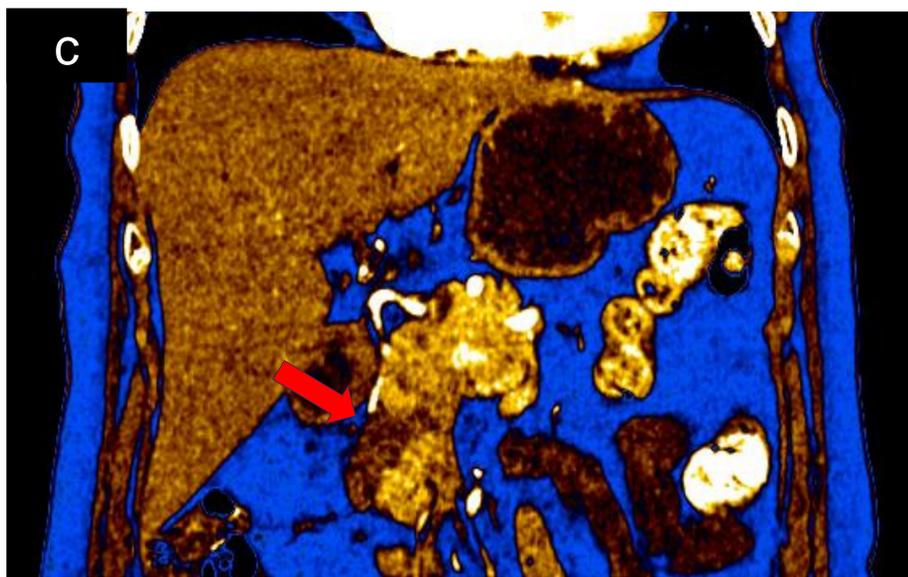


Figura 3. Adenocarcinoma de páncreas.

3a. Reconstrucción coronal media ponderada (equivalente a convencional 120kV) adquirida en fase arterial. En la cabeza pancreática se observa una lesión hipodensa (flecha roja) respecto al resto de la glándula que se extiende al surco duodeno-pancreático **3b.** Reconstrucción monocromática de baja energía 52keV y **3c.** Mapa de yodo/agua a 52 keV. Ambas permiten una mejor delimitación de la lesión del resto del páncreas y su extensión.

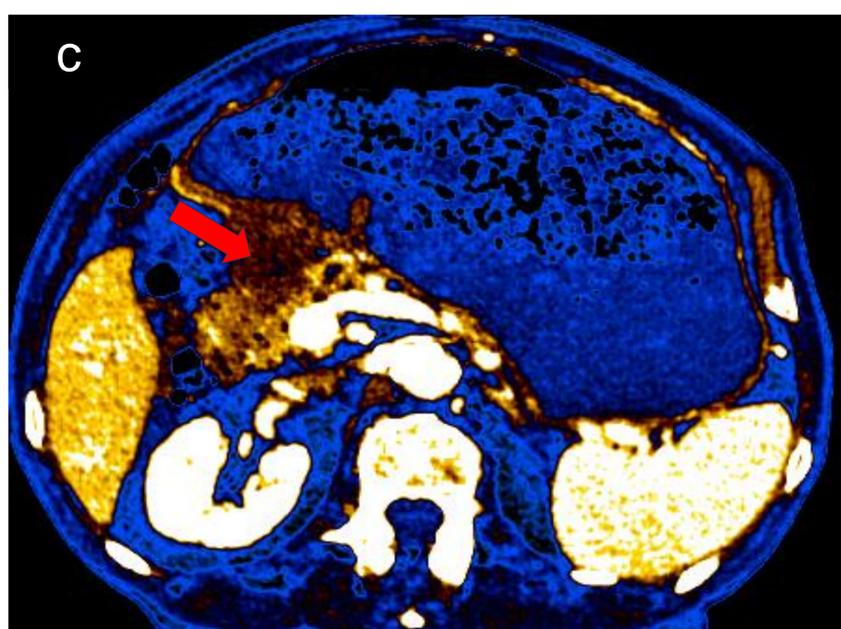


Figura 4. Adenocarcinoma de páncreas ya conocido en tratamiento quimioterápico con intolerancia alimentaria y vómitos.

4a. Reconstrucción axial media ponderada (equivalente a convencional 120kV) adquirida en fase arterial tardía. En la cabeza pancreática se observa una lesión discretamente hipodensa (flecha roja) que no se delimita de la región antro-pilórica y que ocasiona un estómago de retención, el cual dificulta la evaluación de la lesión. **4b.** Reconstrucción monocromática de baja energía 52keV. **4c.** Mapa de yodo/agua a 52 keV. Ambas permiten una mejor delimitación del tumor del resto del páncreas y su relación con el antro gástrico.

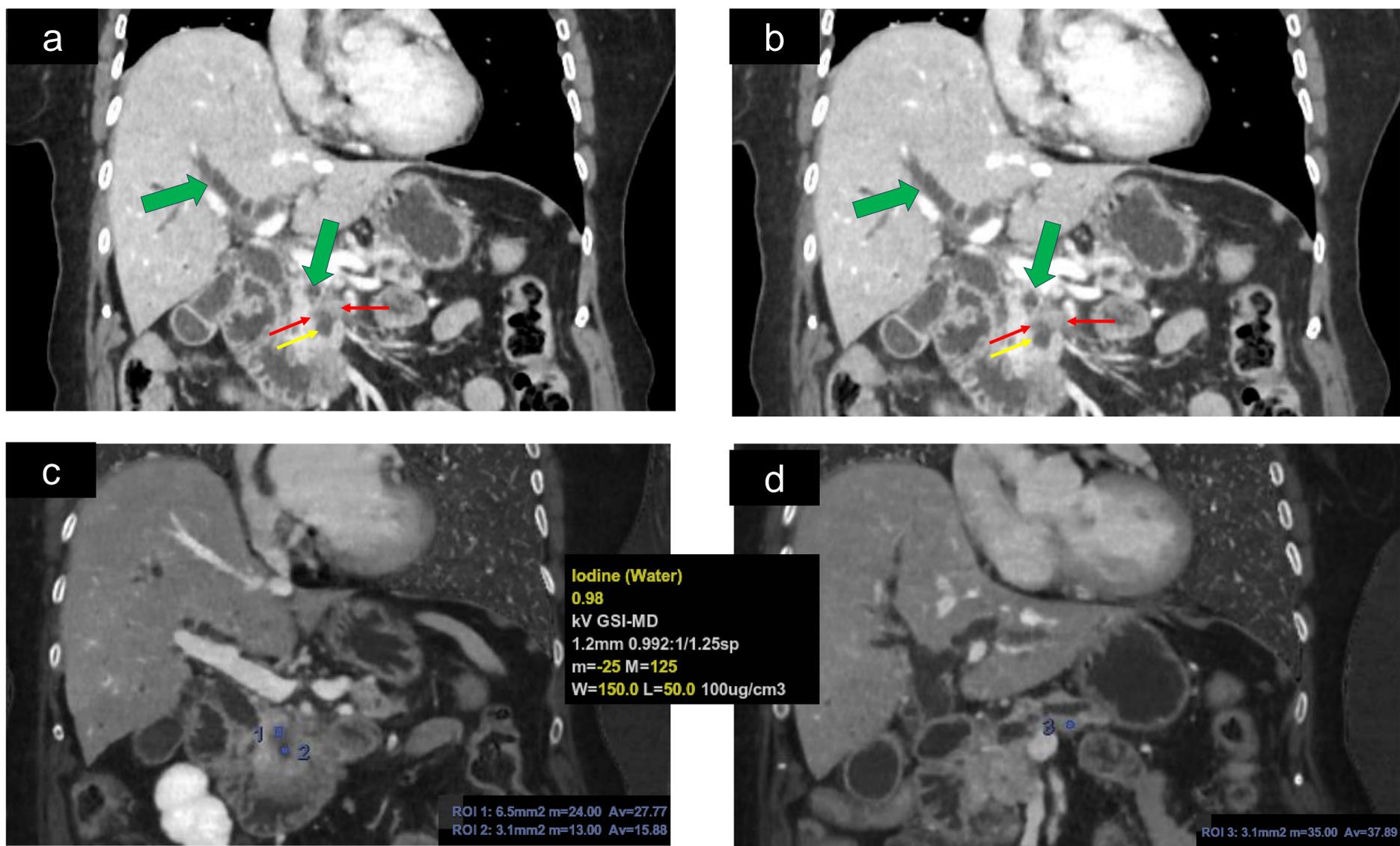


Figura 5. Adenocarcinoma de páncreas. 5a. Reconstrucción coronal media ponderada (equivalente a convencional 120kV) adquirida en fase arterial. En la cabeza pancreática se observa una lesión de aspecto quístico-necrótico (flecha amarilla) y una tenue lesión hipodensa periférica y mal delimitada (flechas rojas). Dilatación de la vía biliar y del ducto de Wirsung (flechas verdes). **5b.** Reconstrucción monocromática de baja energía 52keV. **5c-d.** Mapas de yodo/agua. Disminución en la captación de yodo del tumor (ROI 1: 2.7 mg/ml), comparado con el parénquima sano (ROI 3: 3.7 mg/ml). El ROI 2 muestra la escasa captación de yodo de la lesión quístico-necrótica (1.5 mg/ml)

- **Tumores neuroendocrinos del páncreas (TNE).**

Representan la segunda neoplasia sólida más frecuente del páncreas.

Son característicamente hiperémicos en fase arterial y persisten moderadamente hiperdensos en las fases venosa y tardía (*Figura 6.1*). Sin embargo algunos, en concreto el insulinoma, pueden ser isodensos o hipodensos respecto al resto del páncreas. En estos casos, las imágenes monocromáticas de baja energía o los mapas de yodo, incrementan la detección de estos tumores hasta en un 97.5% de los casos.

Las reconstrucciones monocromáticas de baja energía y los mapas de yodo serán también de gran utilidad para la detección de las metástasis hipervasculares (*Figura 6.2*).

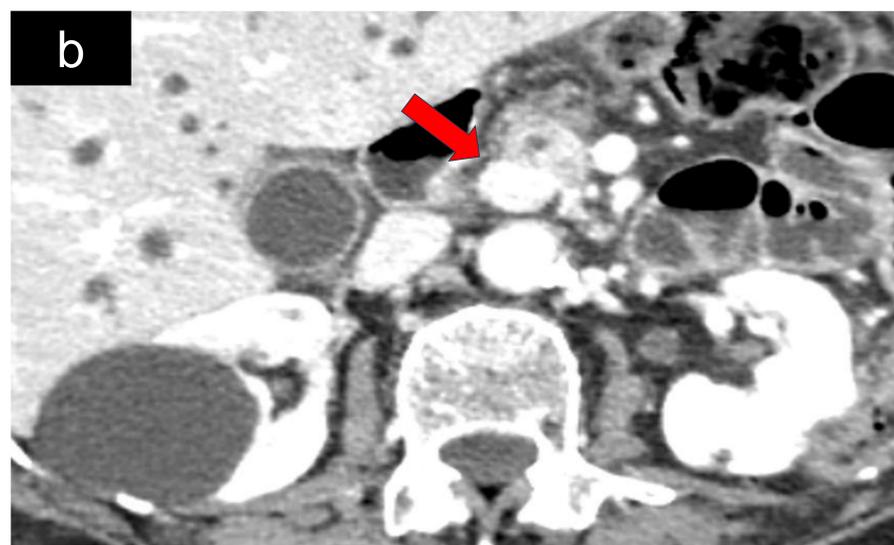
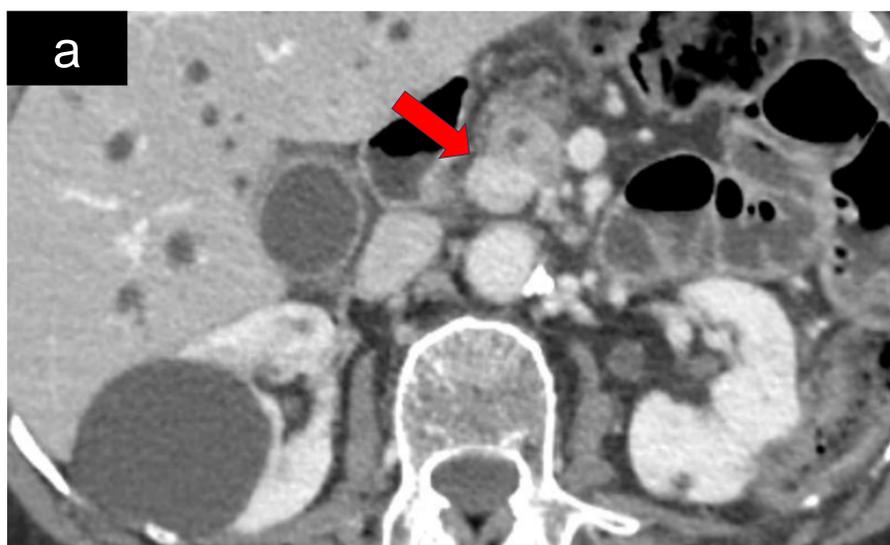


Figura 6.1. TNE de la cabeza pancreática. Paciente de 72 años con síndrome general e ictericia. **6.1.a.** Reconstrucción axial promedio (equivalente a convencional 120kV) en fase venosa. Lesión nodular hiperémica (flecha roja) bien delimitada en la cabeza pancreática. **6.1.b.** La misma imagen reconstruida con baja energía (52 keV) donde se acentúa el aspecto hiperémico de la lesión.

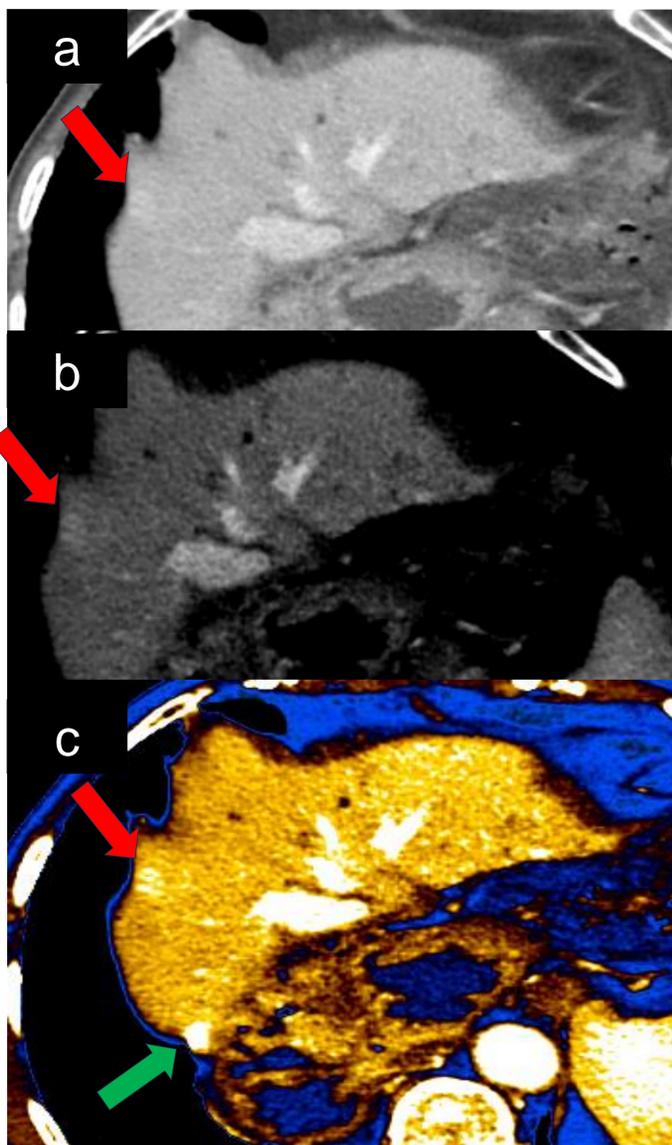


Figura 6.2. TNE de la cabeza pancreática, mismo paciente de la figura anterior. **6.2.a.** Imagen axial promedio (equivalente a 120kV) de un estudio en fase venosa. Tenue lesión nodular de 1 cm hiperémica subcapsular en la cúpula hepática (flecha roja). **6.2.b.** Reconstrucción monocromática de baja energía 52keV y **6.2.c.** Mapa de yodo/agua a 52 keV. Constatan el incremento de la detectabilidad de la metástasis. La flecha verde señala volumen parcial de un vaso.

- **Tumores quísticos del páncreas.**

Con frecuencia detectados de forma incidental, son un desafío para el radiólogo. Una evaluación sistemática del tamaño, número de quistes, la presencia de septos o nódulos, el realce del componente sólido y la relación con el ducto pancreático principal es necesaria para su caracterización.

La TC espectral facilita su detección (*Figura 7*). Las imágenes monocromáticas de baja energía y los mapas de yodo pueden contribuir a hacer el diagnóstico diferencial con los tumores sólidos e incluso entre los diferentes tipos de tumores quísticos (*Figura 8*). Algunos estudios han demostrado mayor concentración de yodo en los tumores mucinosos respecto a los serosos, aunque todavía no hay determinaciones estandarizadas.

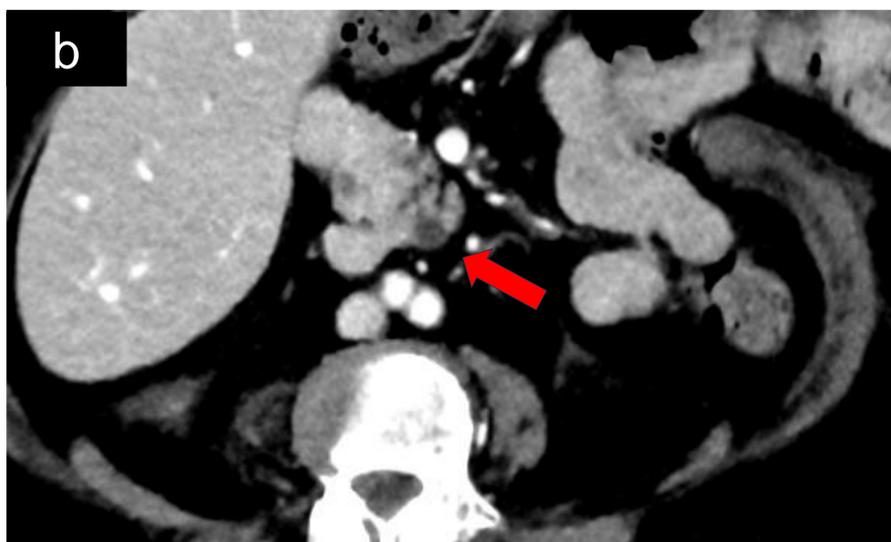
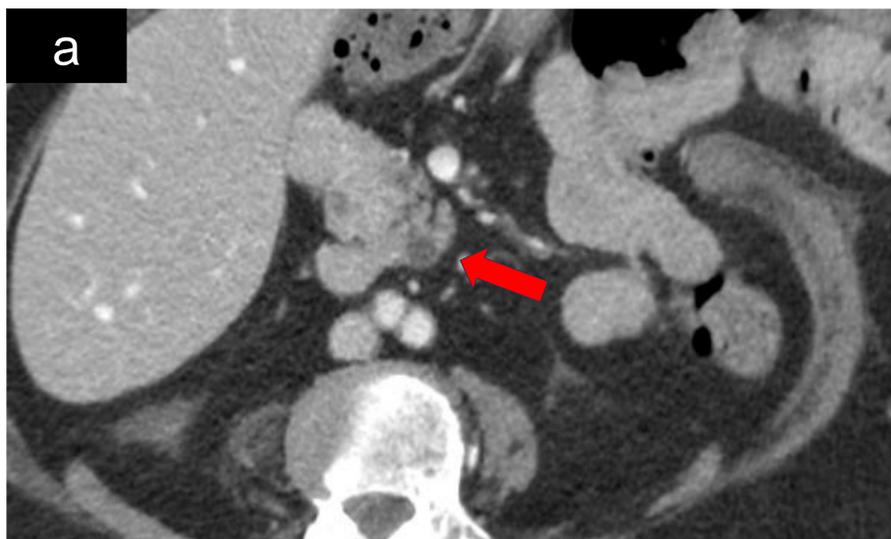


Figura 7. Pequeño tumor quístico en la cabeza del páncreas. Hallazgo incidental.
7a. Imagen axial promedio (equivalente a monoenergética de 120kV) adquirida en fase venosa que muestra una milimétrica lesión nodular hipodensa en la cabeza pancreática (flecha roja). **7b.** Reconstrucción monoenergética de 52keV donde se hace más evidente la lesión y su aspecto quístico.

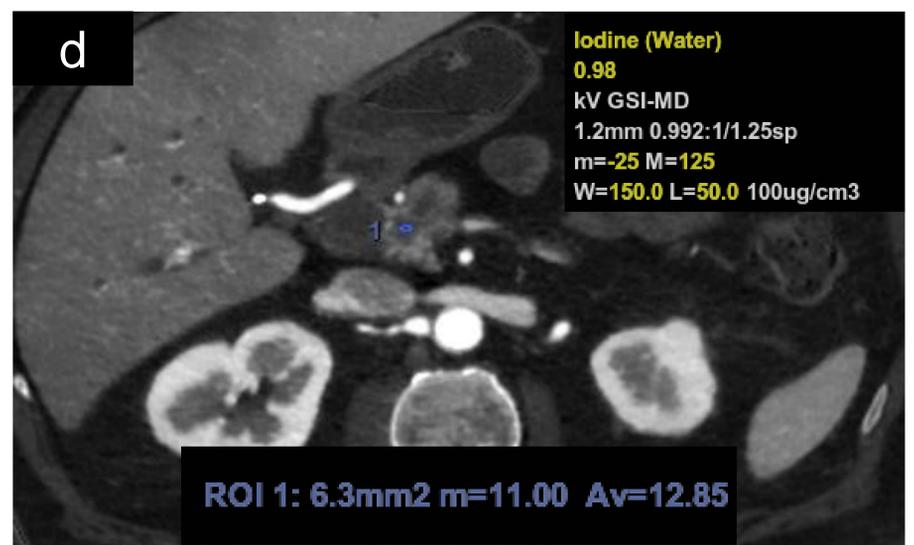
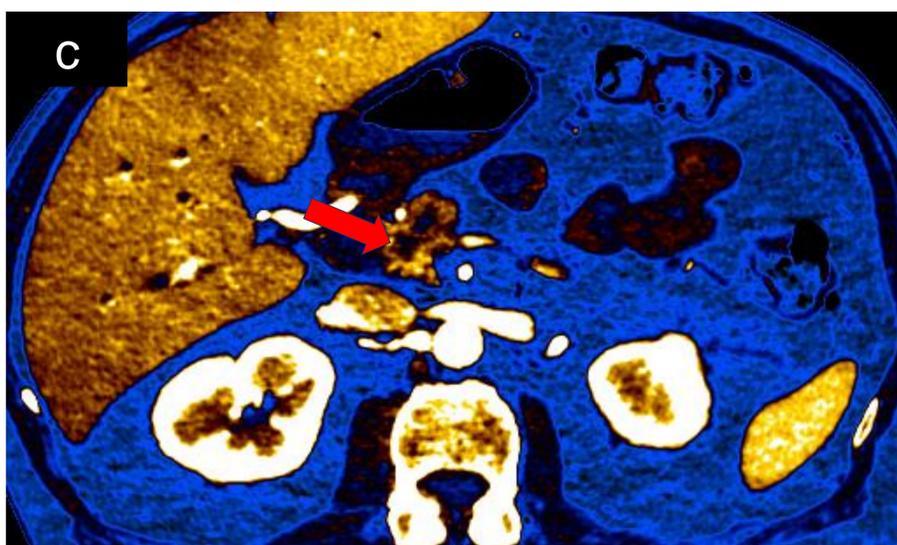
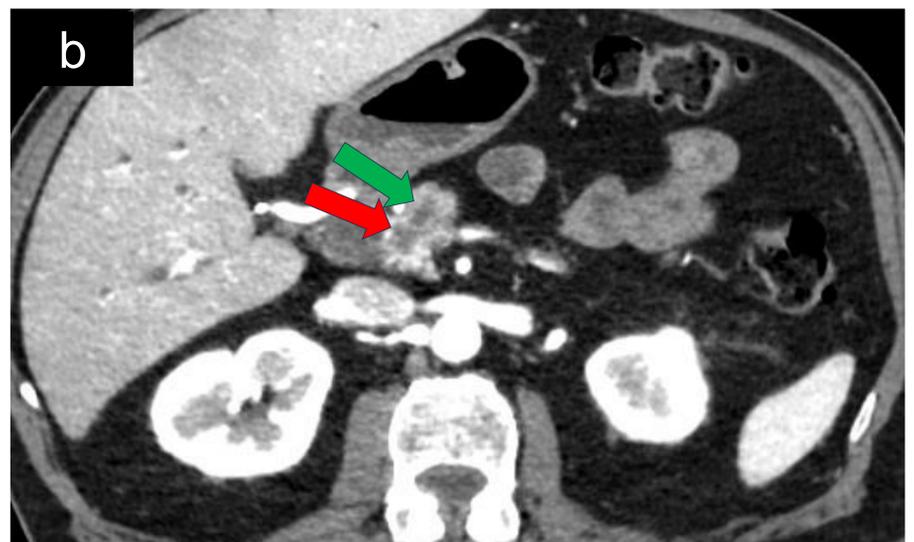


Figura 8. Tumor quístico mucinoso de páncreas. 8a. Reconstrucción coronal media ponderada (equivalente a convencional 120kV) adquirida en fase venosa. En la cabeza pancreática se observa una lesión nodular hipodensa (flecha roja) que condiciona dilatación del ducto de Wirsung (flecha verde). **8b.** Reconstrucción monocromática de baja energía 52keV y **8c.** Mapa de yodo/agua sobre 52 keV, mejoran la detección y la definición de la naturaleza quística del tumor. **8d.** Mapa de yodo/agua. La cuantificación del yodo (ROI 1: 1.2 mg/ml) define la naturaleza quística del tumor. Se confirma histopatológicamente tras la duodenopancreatectomía cefálica.

- **Otros tumores del área biliopancreática:**

- **Colangiocarcinoma:**

Es una neoplasia maligna que se origina en el epitelio de los ductos biliares. Según su patrón de crecimiento puede tratarse de un tumor formador de masa intrahepática, periductal infiltrante (se presenta como un engrosamiento difuso de la vía biliar), o intraductal (se detecta como una lesión polipoide intraductal) (*Figuras 9 y 10*).

- **Ampuloma:**

Son tumores que asientan en la ampolla de Vater, benignos o malignos, la mayoría originándose del epitelio biliar, pancreático o duodenal. Menos frecuentemente, pueden ser de origen neuroendocrino. Al igual que en el resto de los tumores pancreáticos, la energía espectral facilita su detección, normalmente nódulos o masas hipervasculares con márgenes bien definidos o una papila prominente e hiperémica (*Figuras 11 y 12*).

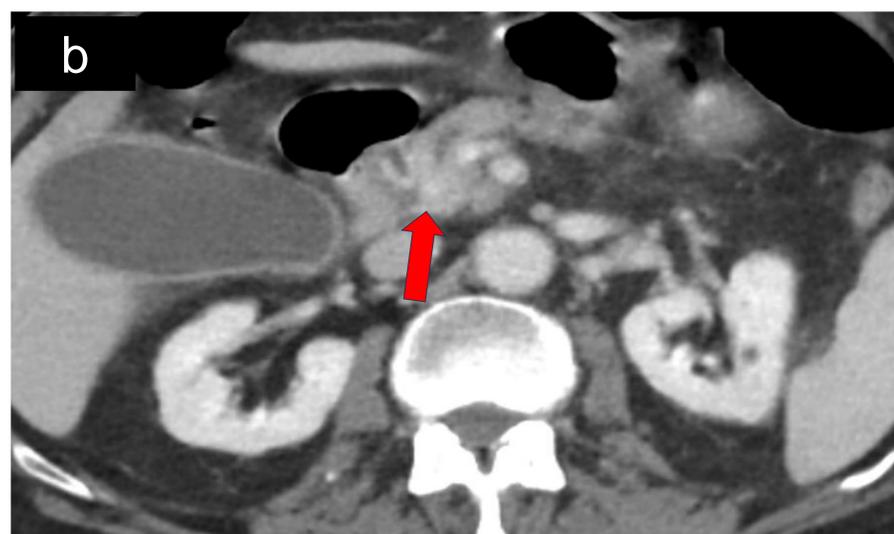
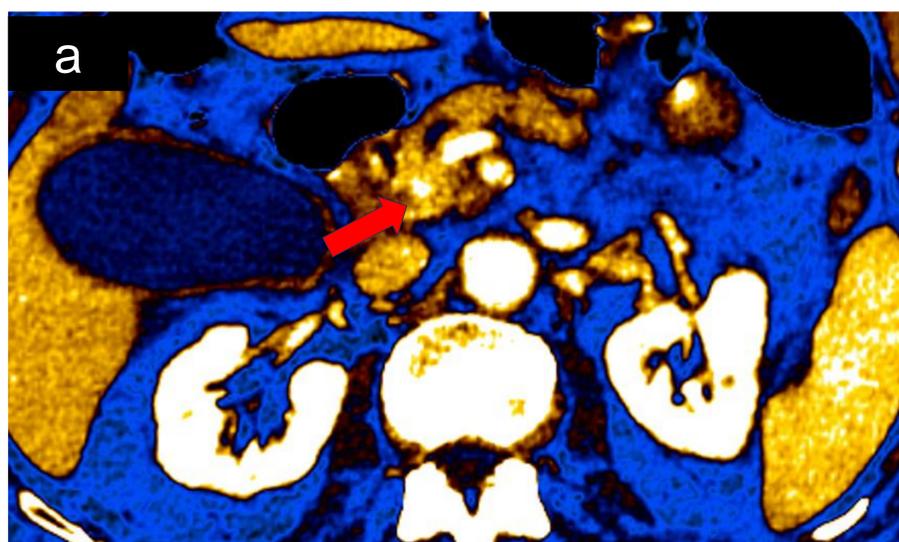


Figura 9. Colangiocarcinoma distal intraductal. 9a. Imagen axial mapa de yodo/agua sobre 52 keV adquirida en fase venosa en un paciente con ictericia obstructiva y dilatación de la vesícula, vía biliar y ducto pancreático que muestra una clara lesión intraductal con elevada captación de yodo en la porción intrapancreática del colédoco (flecha roja) compatible con un colangiocarcinoma. 9b. Imagen promedio (equivalente a monoenergética de 120kV) donde es menos apreciable la lesión.



Figura 10. Tumor de Klatskin. 10a. Imagen axial promedio (equivalente a monoenergética de 120kV) adquirida en fase venosa, muestra un engrosamiento mural concéntrico e hiperémico de la vía biliar extrahepática (flecha roja). 10b. Reconstrucción monocromática de baja energía 52keV, refuerza el aspecto hiperémico de la lesión, compatible con un colangiocarcinoma.



Figura 11. Ampuloma. 11a. Imagen axial de reconstrucción monocromática de baja energía 52ke adquirida en fase venosa que hace muy evidente la papila prominente e hiperémica (flecha roja). **11b.** Imagen promedio (equivalente a monoenergética de 120kV) que muestra la dilatación de la vía biliar y del conducto de Wirsung, con gran dificultad para identificar la causa.

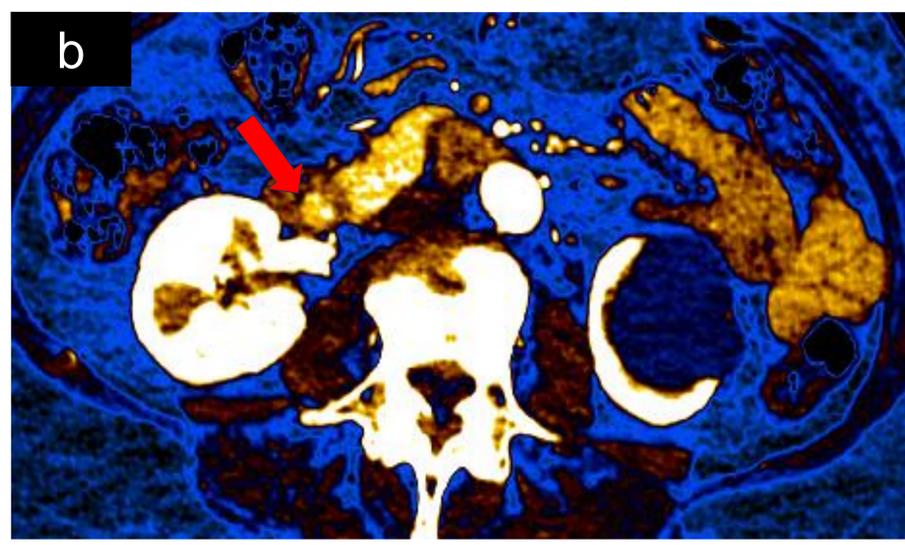
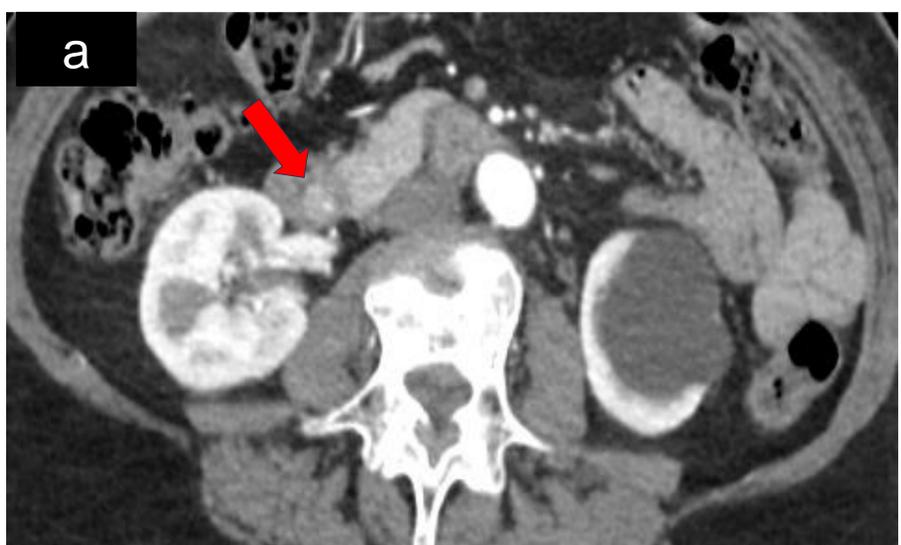


Figura 12. Ampuloma. 12a. Imagen axial promedio (equivalente a monoenergética de 120kV) adquirida en fase arterial que muestra una masa de 1 cm que protruye en la luz de la 2ª porción duodenal (flecha roja). **12b.** Mapa de yodo/agua a 52 keV, confirma la elevada captación de yodo de la lesión ampular.

3.2 Aplicaciones en patología inflamatoria-infecciosa biliopancreática:

○ **Pancreatitis aguda:**

- En la *detección temprana* de la pancreatitis aguda: recientes estudios muestran que la cuantificación de yodo podría contribuir a diferenciar el tejido normal del inflamado. Se ha postulado que usando un valor límite de concentración de yodo de 2.1 mg/mL para el diagnóstico de pancreatitis aguda, se incrementa la sensibilidad en el diagnóstico del 78% al 96% (*Figuras 13, 14 y 15*).
- En la extensión de la *necrosis glandular* (*Figura 15*) que supone un desarrollo crítico y ominoso en el curso de la pancreatitis aguda secundaria al vasoespasmo de las arterias intrapancreáticas. Los mapas de superposición de yodo pueden facilitar el diagnóstico al constatar la ausencia de yodo en las áreas necróticas.
- En el diagnóstico diferencial de las colecciones pancreáticas o peripancreáticas (*Figura 16*): la presencia de necrosis, hematoma, o parénquima residual preservado.
- En la detección de complicaciones vasculares y no vasculares (*Figuras 17 y 18*). Los imágenes monocromáticas de baja energía aumentan la sensibilidad en la detección de trombosis o pseudoaneurismas.

○ **Colecistitis aguda.**

- Hasta un 57% de las litiasis son isoatenuantes con la bilis y por tanto no detectadas en estudios convencionales. Los estudios espectrales contribuyen a su detección, en concreto las litiasis de colesterol son hiperatenuantes en las reconstrucciones de alta energía.
- Al igual que en otros tejidos la energía dual puede ser de utilidad en la evaluación de vascularización de la pared vesicular permitiendo la detección precoz de la gangrena mural en las colecistitis complicadas.
- En el íleo biliar puede facilitar la detección de las litiasis no calcificadas y las soluciones de continuidad de la pared vesicular.

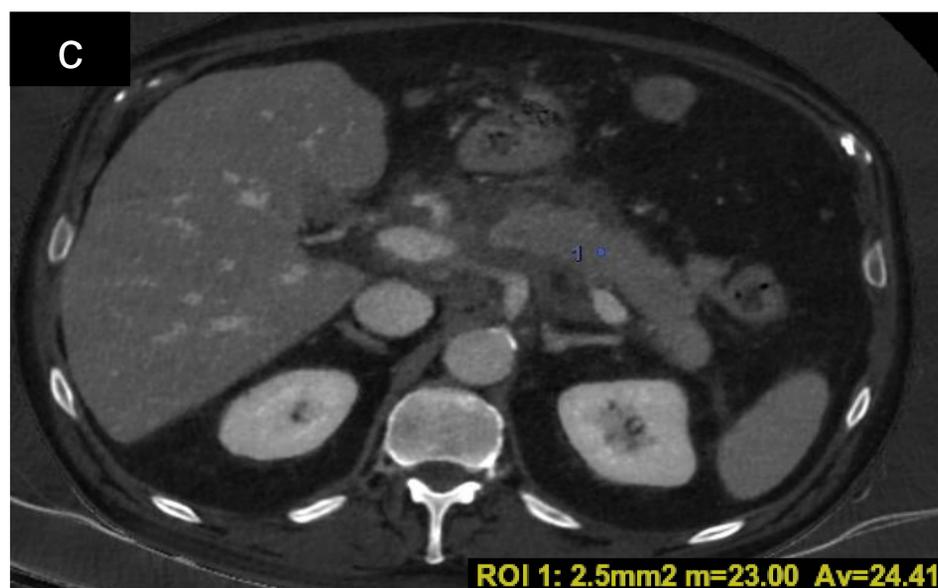
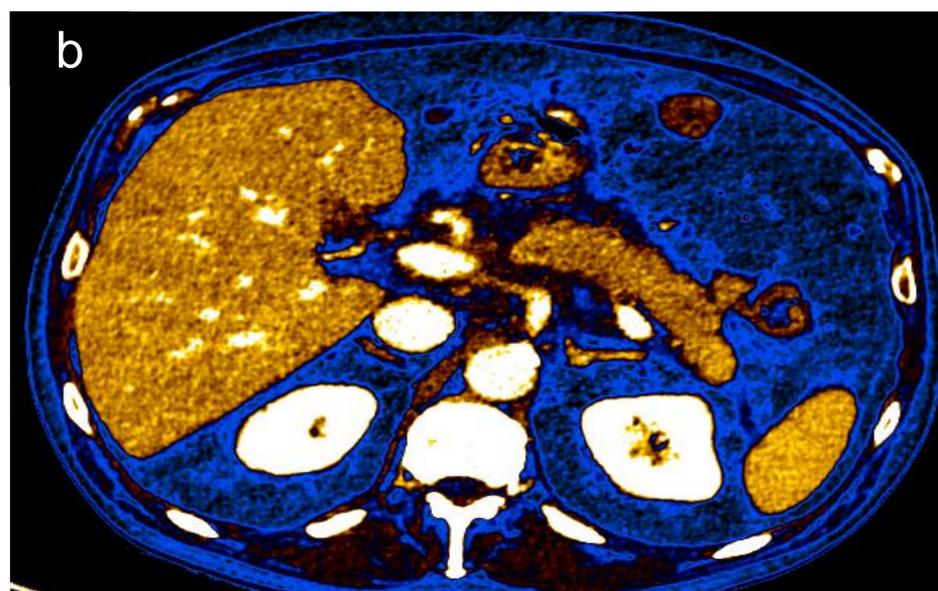
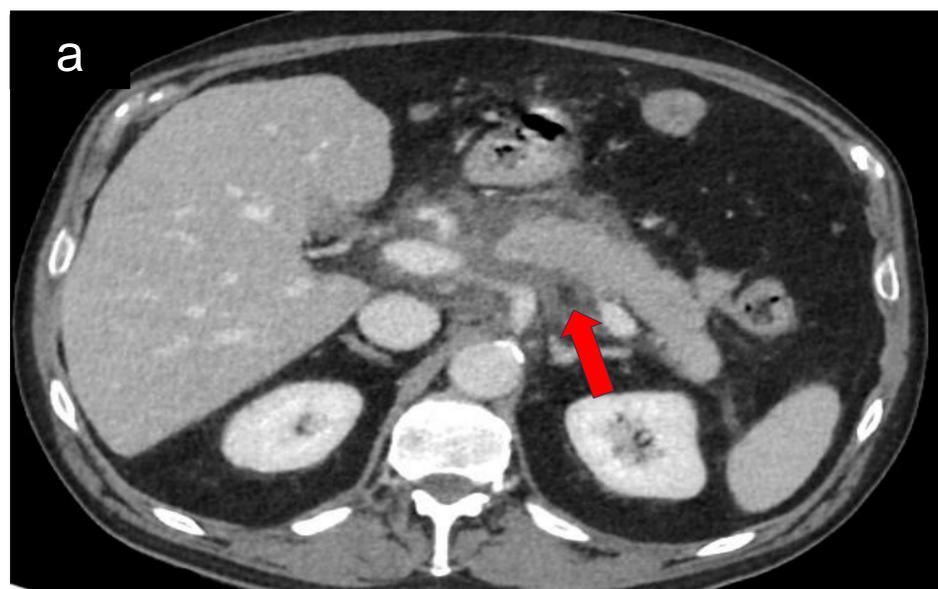


Figura 13. Pancreatitis aguda.

13a. Imagen axial promedio (equivalente a monoenergética de 120kV) adquirida en fase venosa. El cuerpo y cola pancreática muestran una atenuación homogénea y una colección necrótica aguda peripancreática (flecha roja). **13b.** Mapa de yodo/agua a 52 keV, confirma la captación de yodo homogénea de la glándula. **13c.** Mapa de yodo/agua, muestra una captación de yodo de 2.4 mg/ml, en este caso mayor que el punto de corte publicado en algún estudio (2.1 mg/ml).

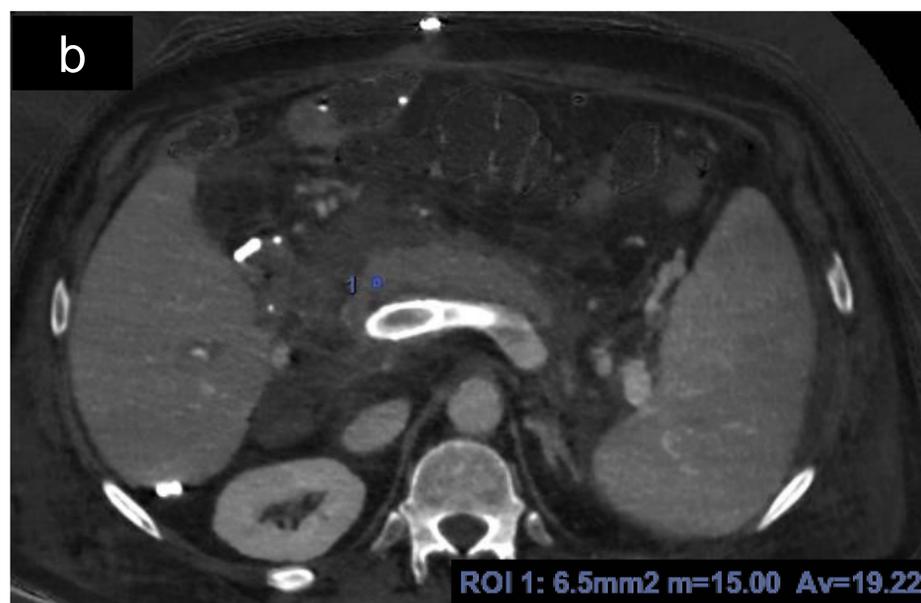


Figura 14. Pancreatitis aguda. 14a. Mismo paciente que Figura 1. Imagen axial promedio (equivalente a monoenergética de 120kV) adquirida en fase venosa muestra un aspecto globuloso del páncreas con fluido peripancreático. **14b.** Mapa de yodo/agua que demuestra una disminución en la captación de yodo del páncreas (ROI 1: 1.9 mg/ml), concordante con una pancreatitis aguda.



Figura 15. Pancreatitis aguda necrotizante. 15a. Imagen axial promedio (equivalente a monoenergética de 120kV) adquirida en fase venosa que muestra un páncreas globuloso y discretamente heterogéneo. Un área focal (flecha roja) en la cola del páncreas corresponde a una colección necrótica encapsulada, evolución de una pancreatitis aguda previa. **15b.** Mapa de yodo/agua, que constata una disminución difusa de la captación de yodo (ROI 2: 1.8mg/ml) y pequeñas áreas de menor captación (ROI 1: 0.8mg/ml), hallazgos que sugieren pancreatitis aguda con pequeñas áreas de necrosis intrapancreática.

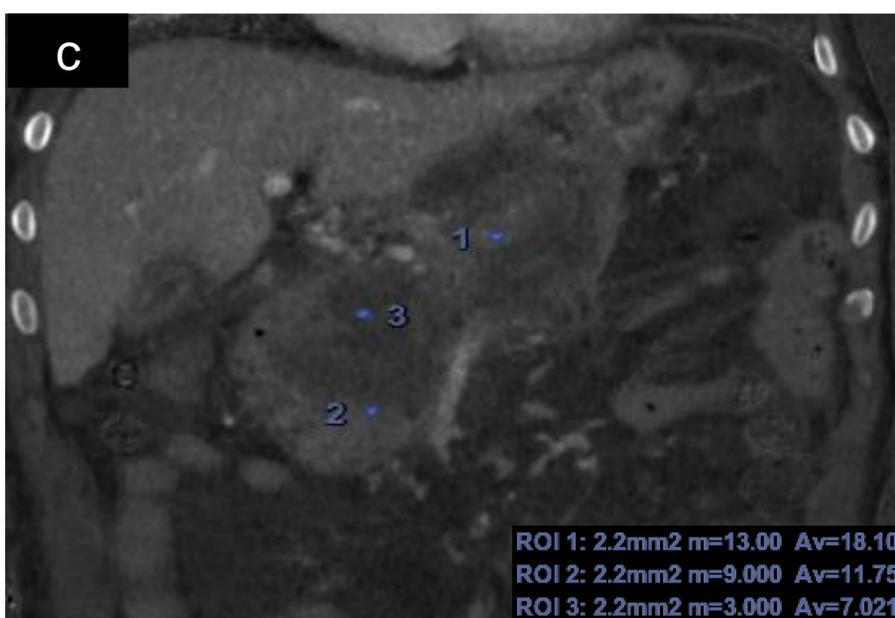
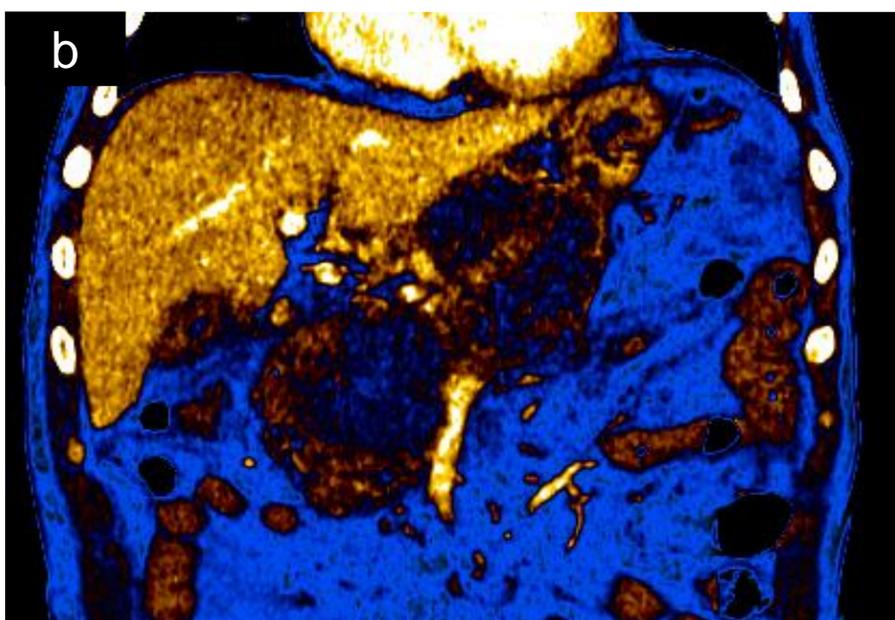
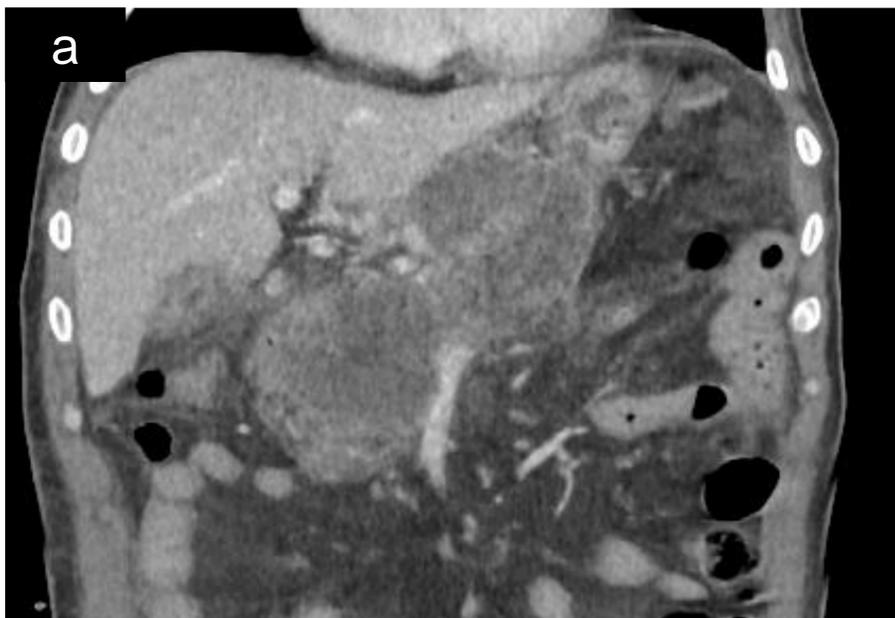


Figura 16. Pancreatitis aguda necrotizante.
16a. Reconstrucción coronal promedio (equivalente a monoenergética de 120kV) adquirida en fase venosa. Una extensa colección necrótica sustituye la práctica totalidad del páncreas.**16b.** Mapa de yodo/agua de 52 keV, confirma la extensa necrosis glandular. **16c.** Mapa de yodo/agua, muestra captación de yodo en aisladas áreas del parénquima (ROI 1: 1.8 mg/mL), con ausencia de yodo en la gran mayoría del páncreas (ROI 3: 0.7 mg/mL).



Figura 17. Pancreatitis necrotizante con afectación vascular. 17a. Reconstrucción axial promedio (equivalente a convencional 120kV) en fase venosa muestra compresión e irregularidad de la vena mesentérica superior y de la cólica derecha (flecha roja) secundaria a una extensa colección necrótica aguda pancreática-peripancreática, **17b.** La misma imagen reconstruida con baja energía (52 keV) confirma la permeabilidad venosa en todo su trayecto.

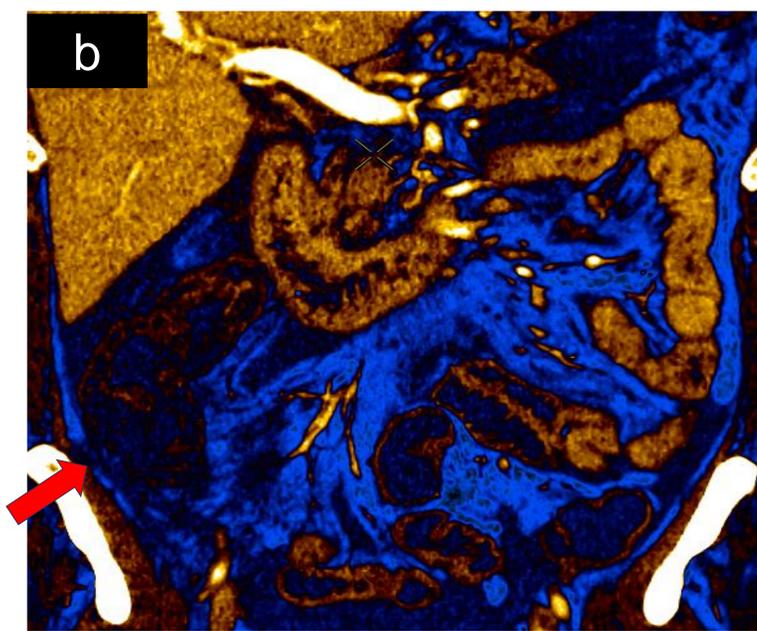


Figura 18. Pancreatitis necrotizante complicada con isquemia de colon derecho. 18a. Imagen coronal promedio (equivalente a monoenergética de 120kV) adquirida en fase venosa que muestra un ciego y colon ascendente de paredes engrosadas e hipoperfundido (flecha roja), en el contexto de una pancreatitis necrotizante. **18b.** Mapa de yodo/agua a 52 keV, constata la ausencia de captación de yodo en el colon derecho.

Conclusión:

- La tomografía computarizada con energía espectral es el avance más reciente en la TC. Es una tecnología prometedora que ya ha demostrado ventajas con relación a la TC monoenergética en muchas aplicaciones clínicas.
- En la evaluación de la patología biliopancreática, las imágenes monocromáticas y los mapas de yodo, incrementan la detectabilidad, facilitan la delimitación de los márgenes así como la afectación vascular o de estructuras adyacentes.
- No obstante, continúa su desarrollo y expansión tanto en aplicaciones oncológicas como no oncológicas.
- Desde 2017, la Sociedad Americana de TC y RM recomienda su utilización de forma rutinaria en pacientes con sospecha de neoplasia pancreática.
- Su papel es prometedor en la evaluación de las lesiones quísticas y en la cuantificación de la perfusión pancreática. No obstante, aun se requieren más estudios y experiencia para reducir la variabilidad entre los diferentes proveedores y establecer medidas clínicamente fiables y reproducibles del contenido de yodo.

Bibliografía:

1. Schawkat K; Manning MA; Glickman JN; et al. Pancreatic ductal adenocarcinoma and its variants: pearls and perils; Radiographics. 2020;40(5):1219-1239. DOI: 10.1148/rg.2020190184
2. Khanna L, Prasad SR, Sunnapwar A, et al. Pancreatic neuroendocrine neoplasms: 2020 update on pathologic and imaging findings and classification. Radiographics. 2020;40(5):1240–62. DOI: <http://dx.doi.org/10.1148/rg.2020200025>
3. Mastrodicasa D, Delli Pizzi A, et al. Dual-energy CT of the pancreas. Seminars in Ultrasound CT MR. 2019;40(6):509–14. DOI: <http://dx.doi.org/10.1053/j.sult.2019.05.002>
4. Murray N, Darras KE, Walstra FE, et al. Dual-energy CT in evaluation of the acute abdomen. Radiographics. 2019;39(1):264–86. DOI: <http://dx.doi.org/10.1148/rg.2019180087>
5. Agrawal MD, Pinho DF, Kulkarni NM, et al. Oncologic applications of dual-energy CT in the abdomen. Radiographics. 2014;34(3):589–612. DOI: <http://dx.doi.org/10.1148/rg.343135041>
6. Adam SZ, Rabinowich A, Kessner R, Blachar A. Spectral CT of the abdomen: Where are we now? Insights Imaging. 2021;12(1). DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s13244-021-01082-7>
7. Nehra AK, Dane B, Yeh BM, Fletcher JG, et al. Dual-energy, spectral and photon counting computed tomography for evaluation of the gastrointestinal tract. Radiol Clin North Am. 2023;61(6):1031–49. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rcl.2023.06.002>
8. Wang S, Zhang Y, Xu Y, Yang P, Liu C, Gong H, et al. Progress in the application of dual-energy CT in pancreatic diseases. Eur J Radiol [Internet]. 2023;168(111090):111090. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrad.2023.111090>
9. Armiñana A, Montón-Gómez C, Puig-Chilet A, et al. Tomografía Computarizada Espectral y Unidades Hounsfield: bases para una correcta interpretación. An RANM. 2023;140(02): 101 – 113. DOI: 10.32440/ar.2023.140.02.rev01
10. Ratanaprasatporn L, Uyeda JW, Wortman JR, Richardson I, Sodickson AD. Multimodality imaging, including dual-energy CT, in the evaluation of gallbladder disease. Radiographics. 2018;38(1):75–89. DOI: <http://dx.doi.org/10.1148/rg.2018170076>