

**Más allá de la RM:**

**TC espectral en cáncer de próstata**

Emilia Sol Tumbarello, Julia Oliva Lozano, Teresa Mateo Soler - Elena  
Sansano Muñoz - Enrique Montiel Miralles - Rocio Cutillas Armenteros  
- Olatz Lopetegui Bonachea.

Hospital General Universitario Dr Balmis - Alicante.

# ÍNDICE:

- Introducción
  - Material y métodos
  - Resultados
  - Discusión
  - Conclusión
-

# INTRODUCCIÓN

El cáncer de próstata es una de las neoplasias masculinas más frecuentes.

## RM estándar de referencia:

- Detección y estadificación locorregional.
- Sensibilidad del 96%
- Integra datos anatómicos y funcionales a través de la clasificación PI-RADS.
- Desventajas: disponibilidad, costo, largo tiempo de examen, contraindicaciones.

## TC convencional:

- Estadificación metastásica.
- Escasa capacidad para diferenciar tejido tumoral, glándula normal e hiperplasia.

## TC espectral:

- Permite la descomposición del material y la reconstrucción de imágenes monoenergéticas virtuales (VMI), mejorando el contraste y la caracterización tisular.
- La implementación de parámetros cuantitativos de TC espectral sigue siendo limitada debido a la variabilidad relacionada con el equipo y a la insuficiencia de estudios de validación.



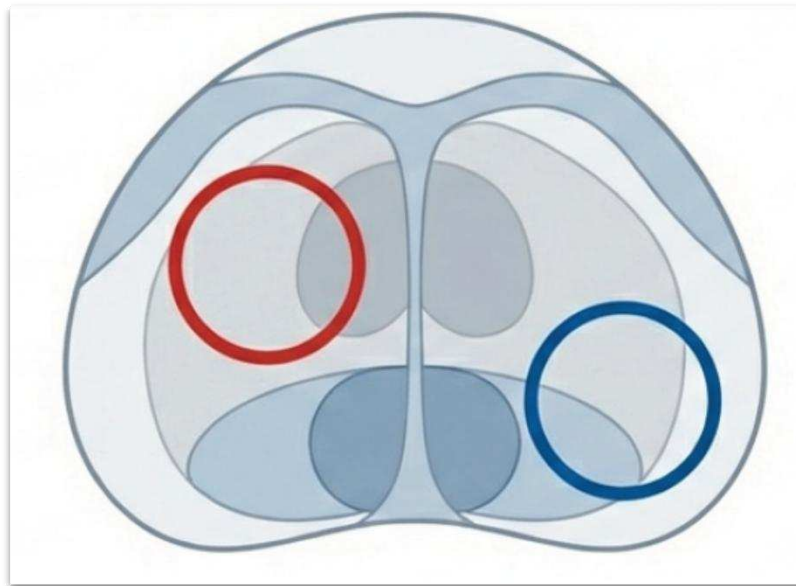
TC convencional a 70 keV



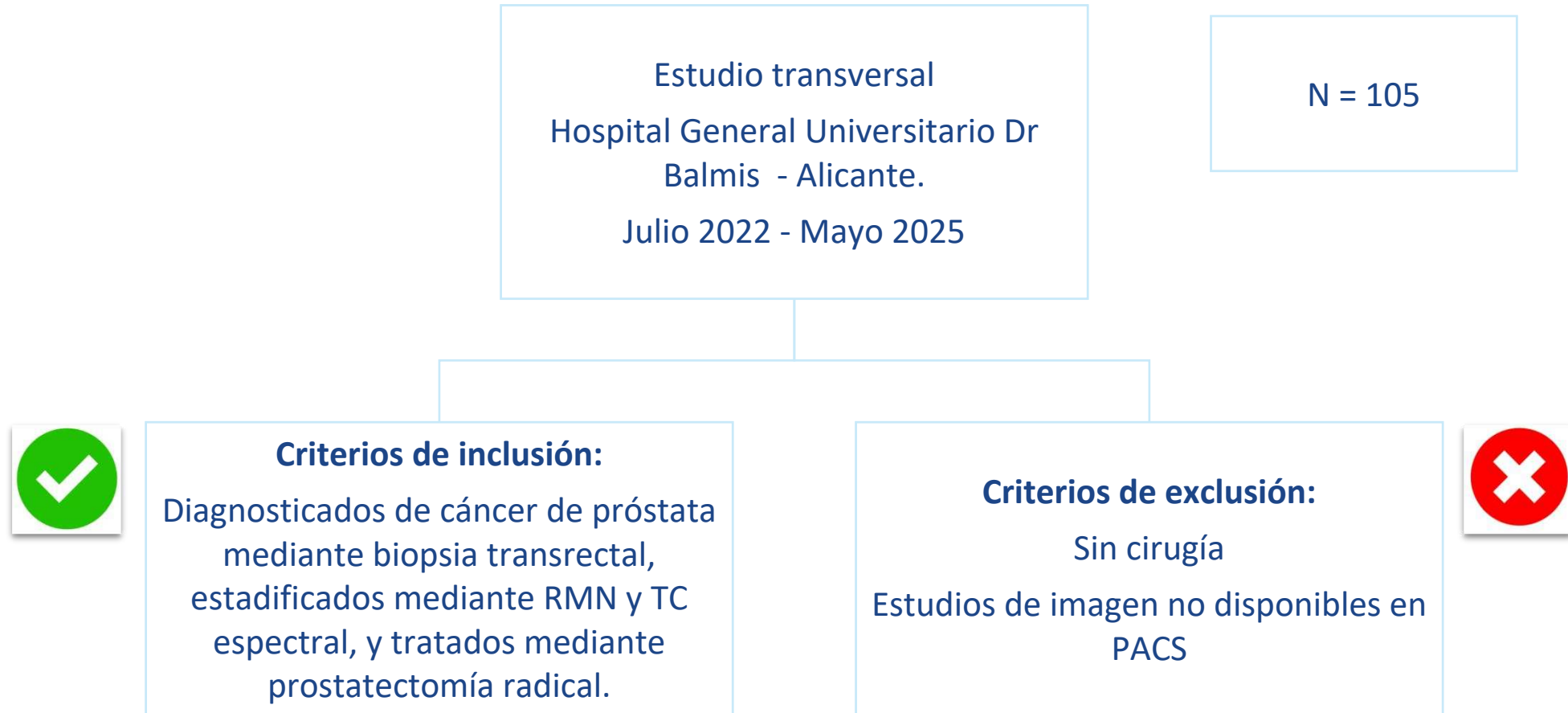
TC espectral a 45 keV



Este estudio comparó los parámetros de TC espectral de tejido prostático maligno y normal en hombres con cáncer de próstata confirmado y estableció valores de corte óptimos para predecir la malignidad.



# MATERIAL Y MÉTODOS



## Desarrollo del estudio y variables:



## Protocolos de adquisición y análisis de imágenes:

RM: ayuno 4 - 6 hs + microenema  
para limpieza rectal + hioscina 10  
mg VO o IV.

- T2
- DWI
- ADC
- Contraste dinámico

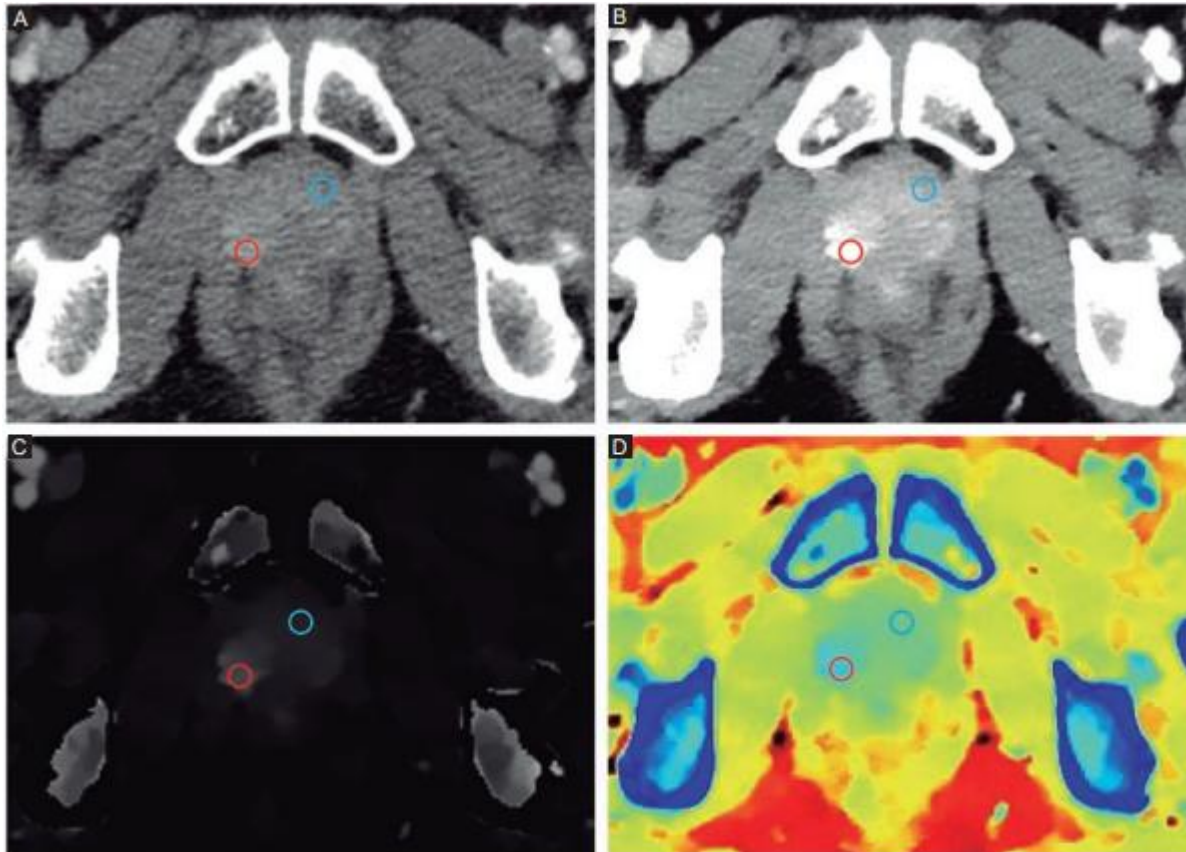
Evaluación según criterios PI-RADS.

TC espectral abdominopélvico  
con contraste 70 segundos  
después de la administración de  
contraste iv (iomeron 300 mg/ml).

**Parámetros medidos:** UH en mapa convencional y en el VMI de baja energía (45 keV), ICD en mg/ml, valor z efectivo; UH normalizado en VMI de baja energía (45 keV) e ICD normalizado, ambos obtenidos al dividir los valores de la lesión hiperrealzante por los de la arteria femoral.

---

Se colocó ROIs manuales sobre lesiones prostáticas malignas con hiperrealce en mapas espectrales de TC y sobre tejido prostático normal según los hallazgos de RMN y los informes del examen histológico de la pieza de prostatectomía.



Mientras que en TC convencional (A) no es claramente visible el cáncer de próstata, el hiperrealce en VMI de baja energía a 45 keV (B), la mayor densidad en ICD (C) y el mayor número atómico en mapa Z efectivo (D) permiten una clara delimitación del cáncer de próstata (círculo rojo) frente al tejido sano (círculo azul).

## Análisis estadístico:

- Comparación de Métodos (TC Espectral vs. RMN): Prueba de McNemar ( $p < 0,05$ ).
  - Análisis de Tejidos (Cáncer vs. Normal): Prueba t pareada o Wilcoxon (según normalidad vía Shapiro-Wilk).
  - Rendimiento Diagnóstico: Curvas ROC y punto de corte óptimo (Índice de Youden). Cálculo de Sensibilidad, Especificidad, Precisión y AUC.
  - Validación: Remuestreo Bootstrap (1,000 iteraciones) para IC 95%.
  - Software: Python 3.10.5 (NumPy, Pandas, Scikit-learn, Seaborn).
-

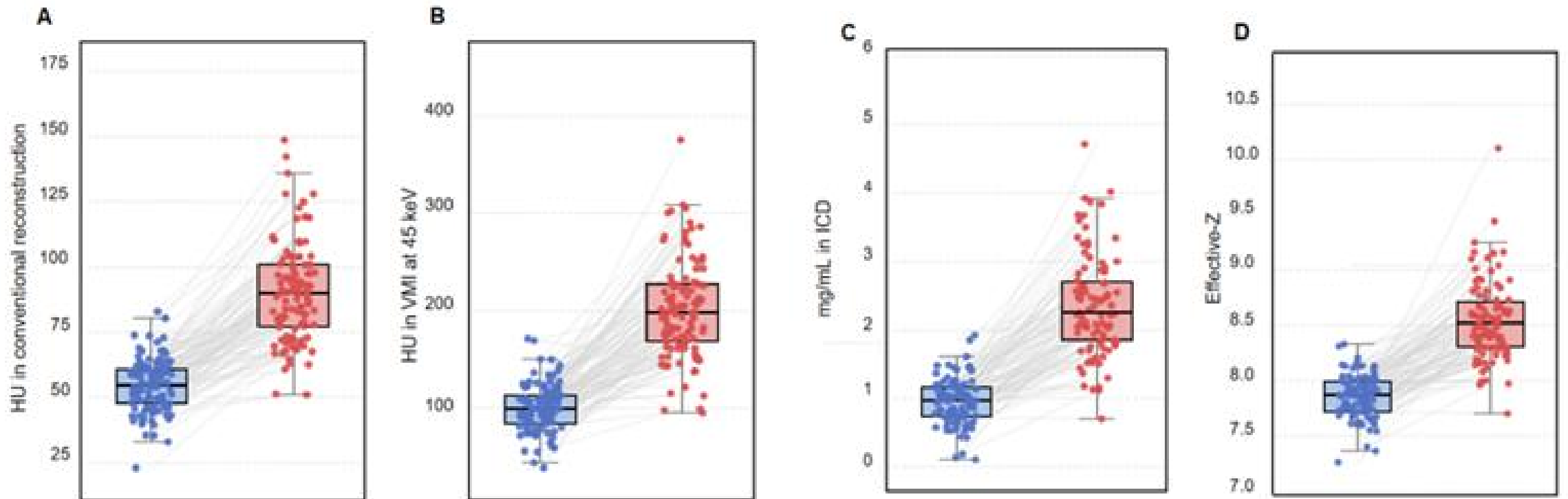
## RESULTADOS. Perfil de la cohorte.

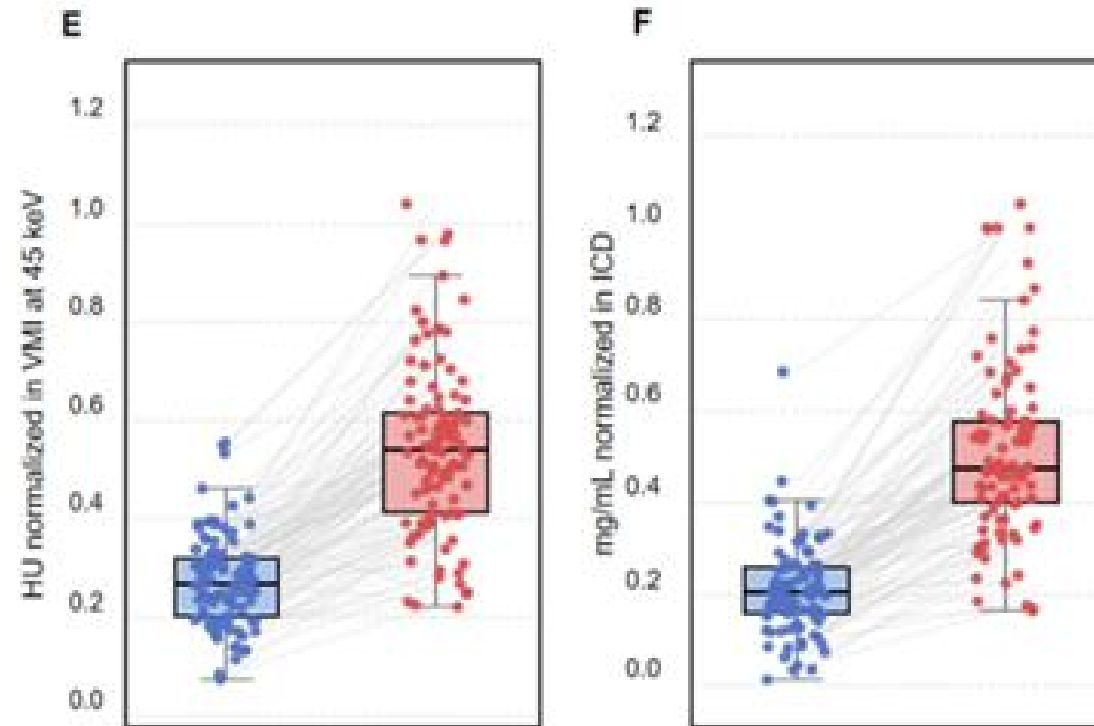
Edad media:  $65,5 \pm 6,1$  años  
PSA total  
prequirúrgico:  $11,9 \pm 6,4$  ng/mL

PI-RADS  $\geq 3$  n=97,  
92.4%  
Puntuación  
Gleason:3+4 n=44,  
41.8%  
T2N0: n=81, 77.2%

La ubicación de las lesiones hiperrealizadas de cáncer de próstata en la VMI de baja energía a 45 keV de la TC espectral se correlacionó con los hallazgos de la RM en el 89,7 % (n = 94) de los 105 casos.

## Comparación de los parámetros espectrales de TC de lesiones malignas de próstata y tejido prostático normal





El cáncer de próstata exhibió valores significativamente más altos que el tejido prostático normal para todos los parámetros de TC espectral: HU en reconstrucción convencional, HU en VMI a 45 keV, ICD, valor Z efectivo, VMI normalizado a 45 keV y ICD normalizado ( $p < 0,001$ ).

---

## Análisis ROC para obtener valores de corte óptimos para predecir lesiones malignas de próstata

Valor de corte para cada parámetro de TC espectral utilizado para diferenciar tejido prostático normal (por debajo del valor de corte) de las lesiones prostáticas malignas (por encima del valor de corte).

UH en VMI a 45 keV:

**137,8**

Sensibilidad: 94,3

Especificidad 94,3

AUC: 94,3

ICD:

**1,5 mg/ml**

Sensibilidad: 91,7

Especificidad: 96,9

AUC: 94,3

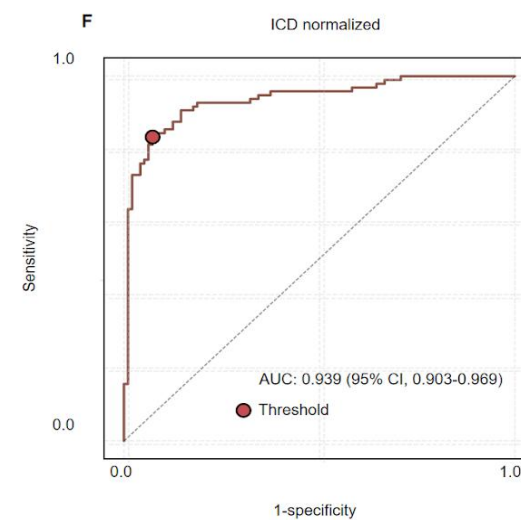
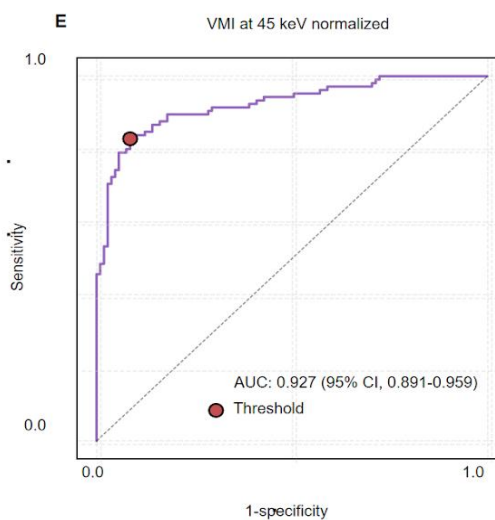
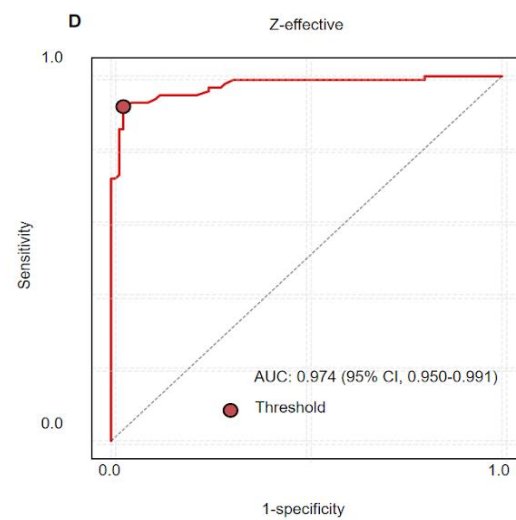
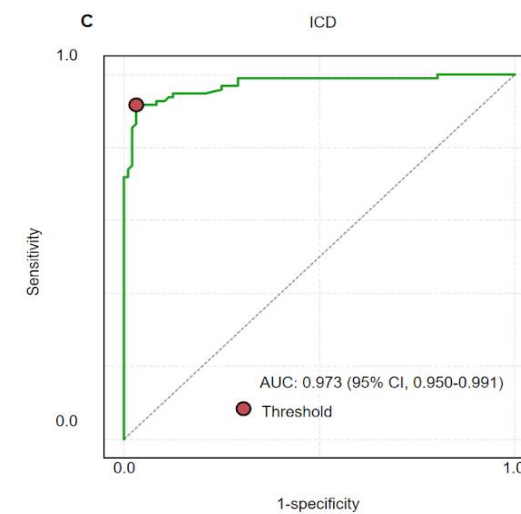
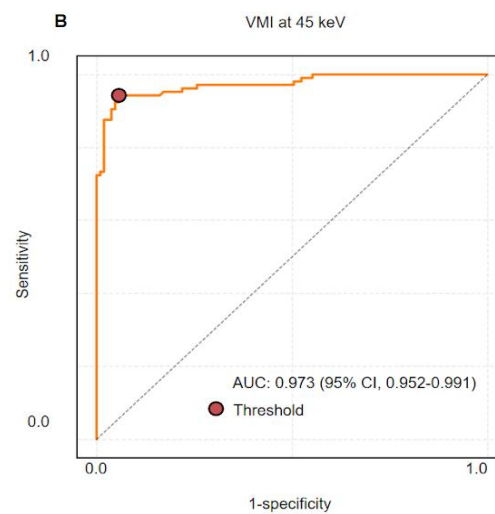
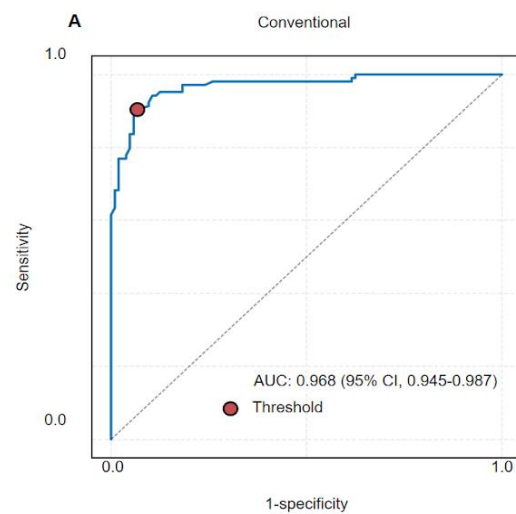
Z-efectivo:

**8,2**

Sensibilidad 91,7

Especificidad 97,4

AUC: 94,3



Curvas ROC de los parámetros espectrales de TC para la predicción de cáncer de próstata.

A: reconstrucción convencional;

B: VMI a 45 keV;

C: ICD; D: Z efectivo;

E: HU normalizado a VMI a 45 keV;

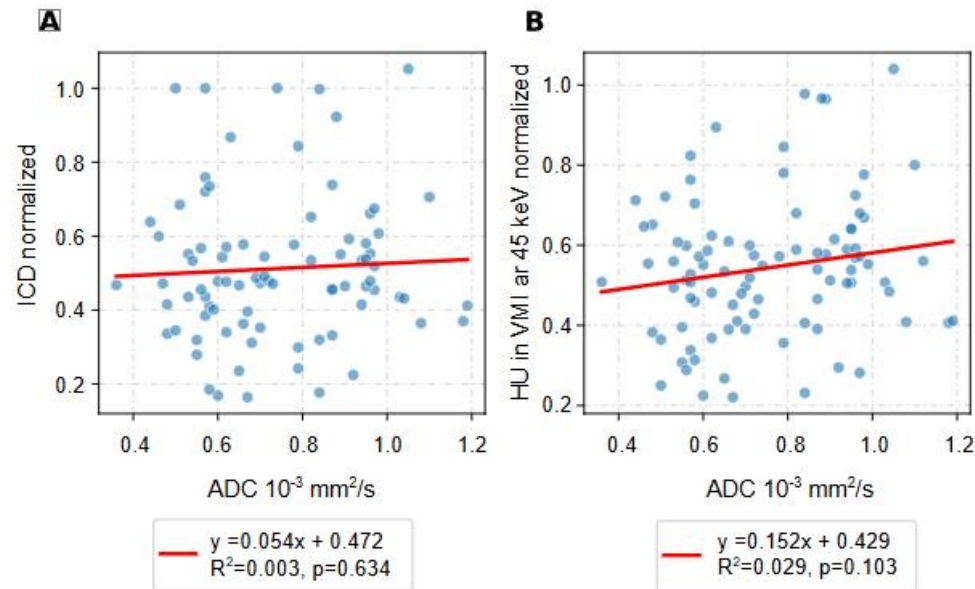
F: ICD normalizado.

Se muestran el AUC y los puntos umbral óptimos para cada parámetro. El VMI a 45 keV, el ICD y el valor Z efectivo presentaron los valores más altos de AUC y un alto rendimiento discriminante.

---

## Correlación entre los parámetros espectrales de TC y los valores de ADC de MRI

No se observó correlación estadísticamente significativa entre los parámetros espectrales de TC analizados y los valores de ADC de RM.



## DISCUSIÓN

La **TC espectral** mostró **alto rendimiento diagnóstico** para diferenciar cáncer de próstata clínicamente significativo del tejido prostático normal.

Las **imágenes monoenergéticas virtuales (VMI)** a 45 keV mejoraron la visibilidad y caracterización de las lesiones. Un valor de corte de **137.8 UH** fue el parámetro más preciso, con **sensibilidad y especificidad del 94.3%**.

La TC espectral puede ser **útil como complemento a la RM**, especialmente en pacientes con contraindicaciones para RM o en hallazgos incidentales.

---

## Fortalezas:

- Diseño sistemático con inclusión de pacientes con cáncer de próstata confirmado.
- Evaluación cuantitativa de parámetros de TC espectral mediante mapas postprocesados, con resultados consistentes y reproducibles.
- Protocolo de adquisición de imágenes estandarizado, que refuerza el rigor metodológico y la validez interna.

## Limitaciones:

- Estudio monocéntrico y realizado con un único equipo de TC espectral, lo que puede limitar la generalización y generar variabilidad entre fabricantes.
  - Selección retrospectiva de ROI, dibujadas manualmente en lesiones previamente identificadas por RM.
  - La medición de HU en áreas ya conocidas como malignas podría haber optimizado el rendimiento diagnóstico y reducido la diferencia con la TC espectral.
  - Ausencia de grupo control sano, ya que la comparación se realizó entre lesión maligna y tejido prostático normal del mismo paciente.
-

## CONCLUSIÓN:

- Los parámetros cuantitativos de TC espectral mostraron alto rendimiento diagnóstico para diferenciar tejido prostático maligno del normal.
  - Los puntos de corte óptimos (ej. 137.8 HU en VMI 45 keV) permiten predecir malignidad con alta sensibilidad y especificidad.
  - La TC espectral es un complemento útil a la RM, especialmente en pacientes con contraindicaciones o hallazgos incidentales.
  - La RM multiparamétrica continúa siendo el estándar de referencia.
  - Se requieren estudios multicéntricos con cohortes más amplias y diversos equipos para validar los valores de corte hallados, evaluar su reproducibilidad y comparar los resultados con grupos de control sanos.
-

# BIBLIOGRAFÍA

- Cornford P, van der Bergh RCN, Briers E, van der Broeck, Brunckhorst O, Darraugh J, et al. Guía EAU-EANM-ESTRO-ESUR-ISUP-SIOG sobre cáncer de próstata - Actualización 2024. Parte I: Detección, Diagnóstico y Tratamiento Local con Intención Curativa. Euro Urol. 2024. 86(2):148-163. doi: 10.1016/j.eururo.2024.03.027.
- Korevaar S, Tennakoon R, Page M, Brothie P, Thangarajah J, Florescu C, et al. Detección incidental de cáncer de próstata mediante tomografía computarizada. Representante de ciencia 2021;11,7956. doi: 10.1038/s41598-021-86972-y.
- García-Figueiras R, Baleato-González S. TC cuantitativa multienergética en oncología: estado del arte y direcciones futuras. Eur J Radiol. 2025;182:111840. doi: 10.1016/j.ejrad.2024.111840.
- García-Figueiras R, Oleaga L, Broncano J, Tardáguila G, Fernández-Pérez G, Vañó, et al. ¿Qué esperar (y qué no) de la tomografía computarizada de doble energía ahora y en el futuro? J Imaging. 2024;10(7):154. doi.org/10.3390/jimaging10070154.
- Greffier J, Villani N, Defez D, Dabli D, Si-Mohamed S. Imágenes espectrales por TC: Principios técnicos de la TC de energía dual y la TC de conteo de fotones multienergía. Diagn Interv Imaging. 2023;104(4):167-177. doi: 10.1016/j.diii.2022.11.003.
- Atención sanitaria de Philips. Espectral CT 7500: Manual de usuario. 2021. Koninklijke Philips NV
- Fan N, Chen X, Li Y, Zhu Z, Chen X, Yang Z, et al. La tomografía computarizada de energía dual con nueva reconstrucción de imagen monoenergética virtual mejora la calidad de la imagen de lesiones prostáticas y la eficacia diagnóstica del cáncer de próstata. BMC Med Imaging. 2024;24(1):212. doi:10.1186/s12880-024-01393-3.
- Chen A, Liu A, Liu J, Tian S, Wang H, Liu Y. Aplicación de la tomografía computarizada espectral de energía dual en el diagnóstico diferencial del cáncer de vejiga y la hiperplasia prostática benigna. Medicina. 2016;95(52):e5705. doi: 10.1097/MD.0000000000005705.
- Turkbey B, Rosenkrantz AB, Haider MA, Padhani AR, Villeirs G, Macura KJ, et al. Sistema de informes y datos de imágenes de próstata, versión 2.1: Actualización de 2019 del Sistema de informes y datos de imágenes de próstata, versión 2. Eur Urol. 2019;76(3):340-351. doi: 10.1016/j.eururo.2019.02.033.
- Patel BN, Vernuccio F, Meyer M, Godwin B, Rosenberg M, Rudnick N, et al. Cuantificación de la densidad de yodo en TC de energía dual para distinguir lesiones renales vasculares de no vasculares: La normalización reduce la variabilidad del umbral entre fabricantes. AJR Am J Roentgenol. 2019; 212 (2):366–376. doi:10.2214/AJR.18.20115.

- Zhu Q, Sun J, Zhu W, Chen W, Ye J. Imágenes de TC espectrales frente a la técnica de posprocesamiento de TC convencional para la diferenciación de tumores renales malignos y benignos. Br J Radiol. 2023;3;96(1151):20230147. doi: [10.1259/bjr.20230147](https://doi.org/10.1259/bjr.20230147).
- Wang X, Liu D, Zeng X, Jiang S, Li L, Yu T, et al. Parámetros cuantitativos de TC de energía dual para la diferenciación de lesiones benignas y malignas y la predicción de subtipos histopatológicos y moleculares en el cáncer de mama. Quant Imaging Med Surg. 2021;11(5):1946–1957. doi: [10.21037/qims-20-825](https://doi.org/10.21037/qims-20-825).
- Jacobsen MC, Cressman ENK, Tamm EP, Baluya DL, Duan X, Cody DD, et al. TC de energía dual: límites inferiores de detección y cuantificación de yodo. Radiología. 2019;292(2):414–419. doi: [10.1148/radiol.2019182870](https://doi.org/10.1148/radiol.2019182870).
- Klein K, Schafigh DG, Schömig-Markiefka B, Campbell GM, Weiss K, Malter W, et al. Correlación intermodal de datos cuantitativos de TC y biomarcadores de RMN derivados de mapas espectrales de TC sincrónicos y exámenes de RMN mamaria con biomarcadores moleculares en carcinomas ductales invasivos de mama. Eur J Radiol. 2023;165:110919. doi: [10.1016/j.ejrad.2023.110919](https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2023.110919).
- De Cobelli F, Ravelli S, Esposito A, Giganti F, Gallina A, Montorsi F, et al. Valor y razón del coeficiente de difusión aparente como posibles biomarcadores no invasivos para predecir la gradación del cáncer de próstata: comparación con muestras de biopsia de próstata y de prostatectomía radical. AJR Am J Roentgenol. 2015;204(3):550-557. doi: [10.2214/AJR.14.13146](https://doi.org/10.2214/AJR.14.13146).
- Buss A, Radzina M, Liepa M, Birkenfelds E, Saule L, Miculis K, et al. Función del valor del coeficiente de difusión aparente y la razón del coeficiente de difusión aparente como factores pronósticos de la agresividad del cáncer de próstata. Diagnostics (Basilea). 2024;14(21):2438. doi: [10.3390/diagnostics14212438](https://doi.org/10.3390/diagnostics14212438).
- Hambrock T, Somford DM, Huisman HJ, van Oort IM, Witjes JA, de Kaa CAH-V, et al. Relación entre los coeficientes de difusión aparente en imágenes de RM de 3,0 T y el grado de Gleason en el cáncer de próstata de la zona periférica. Radiología. 2011; 259 (2) 453–461. doi:[10.1148/radiol.11091409](https://doi.org/10.1148/radiol.11091409).
- Li J, Xu S, Wang Y, Ma F, Chen X, Qu J. TC espectral vs. imágenes ponderadas por difusión para la predicción cuantitativa de la respuesta patológica a la quimioterapia neoadyuvante en cáncer gástrico localmente avanzado. Eur Radiol. 2024;34(9):6193-6204. doi: [10.1007/s00330-024-10642-6](https://doi.org/10.1007/s00330-024-10642-6).
- Hötter AM, Mazaheri Y, Aras Ö, Zheng J, Moskowitz CS, Gondo T, et al. Evaluación de la agresividad del cáncer de próstata mediante la combinación de DWI cuantitativa y resonancia magnética con contraste dinámico. Am J Roentgenol. 2016; 206 (4): 756–763. doi:[10.2214/AJR.15.14912](https://doi.org/10.2214/AJR.15.14912).
- Huang G, Lebovic G, Vlachou PA. Valor diagnóstico de la TC en la detección del cáncer de próstata en la zona periférica. AJR Am J Roentgenol. 2019;213(4):831-835. doi: [10.2214/AJR.18.21013](https://doi.org/10.2214/AJR.18.21013).