



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

Facultad de
MEDICINA

APORTES DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA DE DOBLE
ENERGÍA CON CONTRASTE EN EL DIAGNÓSTICO, TRATAMIENTO Y
SEGUIMIENTO DE PACIENTES ONCOLÓGICOS

CONTRIBUTIONS OF DUAL-ENERGY CONTRAST-ENHANCED
COMPUTED TOMOGRAPHY IN THE DIAGNOSIS, TREATMENT, AND
MONITORING OF ONCOLOGY PATIENTS

TRABAJO ACADÉMICO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE SEGUNDA
ESPECIALIDAD PROFESIONAL EN TECNOLOGÍA EN TOMOGRAFÍA
COMPUTARIZADA

AUTOR

ALÍ ELEODORO DÍAZ DÍAZ

ASESORA

SILVIA LLANTOY TABOADA

CO – ASESOR

CARLOS ANDRES HUAYANAY ESPINOZA

LIMA – PERÚ

2025

ASESORES DE TRABAJO ACADÉMICO

ASESORA

Mg. SILVIA LLANTOY TABOADA

Departamento Académico de Tecnología Médica

ORCID: 0009-0000-0402-6927

CO-ASESOR

MSc. CARLOS ANDRES HUAYANAY ESPINOZA

Departamento Académico de Tecnología Médica

ORCID: 0000-0002-8462-3218

Fecha de aprobación: 21 de abril de 2025

Calificación: Aprobado.

Dedicatoria

A mis queridos padres, por inculcarme valores y ser mi guía constante.

A mi amada esposa, por su amor y su apoyo incondicional.

A mis hijos, por ser fuente de inspiración y alegría diaria.

Este trabajo es para ustedes, con todo mi corazón.

Agradecimiento

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor, el MSc. Carlos Andres Huayanay Espinoza, por su invaluable guía y apoyo durante este proyecto.

Su experiencia y paciencia fueron fundamentales para superar los desafíos encontrados en esta investigación. Sus comentarios y su compromiso con la excelencia académica me inspiraron a esforzarme al máximo. Aprecio profundamente su disposición para aclarar mis dudas y su confianza en mis capacidades. Este trabajo no habría sido posible sin su dedicación y orientación. Le estaré eternamente agradecido por su contribución a mi desarrollo académico y profesional.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Este trabajo fue autofinanciado.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

El autor declara no tener conflictos de interés.

RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

Facultad de
MEDICINA

APORTES DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA DE DOBLE
ENERGÍA CON CONTRASTE EN EL DIAGNÓSTICO, TRATAMIENTO Y
SEGUIMIENTO DE PACIENTES ONCOLÓGICOS

CONTRIBUTIONS OF DUAL-ENERGY CONTRAST-ENHANCED
COMPUTED TOMOGRAPHY IN THE DIAGNOSIS, TREATMENT, AND
MONITORING OF ONCOLOGY PATIENTS

TRABAJO ACADÉMICO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE SEGUNDA
ESPECIALIDAD PROFESIONAL EN TECNOLOGÍA EN TOMOGRAFÍA
COMPUTARIZADA

AUTOR

ALÍ ELEODORO DÍAZ DÍAZ

ASESORA

SILVIA LLANTOY TABOADA

CO – ASESOR

CARLOS ANDRES HUAYANAY ESPINOZA

LIMA – PERÚ

2025

7% Similitud estándar
3 Exclusiones →

Fuentes
Mostrar las fuentes solapadas ⓘ

- 1 Internet**
catalonica.bnc.cat
4 bloques de texto 33 palabra coincid
- 2 Internet**
actitudsaludable.net
2 bloques de texto 17 palabra coincid
- 3 Internet**
www-rayos.medicina.uma.es
2 bloques de texto 16 palabra coincid
- 4 Internet**
jppres.com
... bloques de ... palabra

TABLA DE CONTENIDOS

Pág.

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
III. CUERPO	3
IV. CONCLUSIONES	14
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16

ANEXOS

RESUMEN

Introducción: La Tomografía computada de doble energía (TCDE) y sus algoritmos de descomposición y cuantificación son herramientas claves en el diagnóstico, seguimiento y tratamiento en pacientes oncológicos, mejorando la calidad y la diferenciación tisular de la tomografía convencional (TC). **Objetivo:** Describir los principales aportes de la TCDE con contraste para un mejor diagnóstico, tratamiento y seguimiento en los pacientes oncológicos. **Metodología:** Se realizó una revisión narrativa de artículos en inglés publicados entre el 2020 al 2025, estos fueron extraídos de Google Scholer y PubMed. **Descripción de hallazgos:** Se revisaron 445 artículos, según los criterios de inclusión y exclusión se incluyeron 20 artículos para la extracción de datos y por recomendación de expertos se agregaron 2 artículos en español y 1 en inglés de los cuales se encontraron, que los mapas de concentración de yodo (IC) y sin contraste (VNC), mejoran la precisión, reducen la dosis de radiación (DR) en un 65%. Las imágenes monocromáticas virtuales (VMI) y los mapas sin calcio (VNca), aumentan la sensibilidad hasta un 99% en la detección, caracterización de las lesiones tumorales y disminuyen la presencia de artefactos en tomografía. Además la TCDE supera al método RECIST en un 90% y optimiza la planificación en radioterapia con sus mapas Zeff y densidad electrónica (DE). **Conclusión:** La TCDE y sus algoritmos tiene una sensibilidad y especificidad > 90% en diagnóstico de lesiones oncológicas, reduce la DR, y de contraste (DC) entre un 50 – 70 % y permite una valoración funcional con múltiples parámetros.

Palabras claves: Pacientes de oncológico, CT doble energía, diagnóstico, planificación del tratamiento, seguimiento.

ABSTRACT

Introduction: Dual-energy computed tomography (DECT) and its decomposition and quantification algorithms are key tools in the diagnosis, follow-up, and treatment of cancer patients, improving the quality and tissue differentiation of conventional tomography (CT). **Objective:** To describe the main contributions of contrast-enhanced DECT for a better diagnosis, treatment, and follow-up of cancer patients. **Methodology:** A narrative review of articles in English published between 2020 and 2025 was carried out, these were extracted from Google Scholar and PubMed. **Description of findings:** 445 articles were reviewed, according to the inclusion and exclusion criteria, 20 articles were included for data extraction and, upon the recommendation of experts, 2 articles in Spanish and 1 in English were added, of which it was found that iodine concentration (IC) and non-contrast (NCV) maps improve accuracy and reduce radiation dose (RD) by 65%. Virtual monochromatic imaging (VMI) and calcium-free maps (VNca) increase sensitivity up to 99% in the detection and characterization of tumor lesions and reduce the presence of artifacts in tomography. In addition, DCET outperforms the RECIST method by 90% and optimizes radiotherapy planning with its Zeff and electron density (ED) maps. **Conclusion:** DCET and its algorithms have a sensitivity and specificity > 90% in the diagnosis of oncological lesions, reduces DR and contrast enhancement (CD) by 50 - 70% and allows a functional assessment with multiple parameters.

Keywords: Oncological patients, double energy, diagnosis, treatment planning, monitoring.

I. INTRODUCCIÓN

El cáncer es una de las principales causas de mortalidad global y plantea desafíos significativos para los sistemas de salud (1). En el Perú se registraron más de 66 mil nuevos casos y 33 mil muertes en 2018 (2). El acceso a la tomografía computarizada convencional (TC) en el Perú es mayor en las zonas urbanas que rurales, la TC se usa solo en el 7.3% de los diagnósticos confirmados de cáncer y el 4.8% de los tamizajes en el primer trimestre del 2024 (3,4), evidenciando la necesidad de métodos diagnóstico más precisos.

La TC es esencial en oncología para el diagnóstico, seguimiento y detección de metástasis, superando a otras técnicas en precisión anatómica y monitoreo (5). Sin embargo, su limitada caracterización tisular de la TC, derivada de que los valores en unidades Hounsfield se basan en coeficientes de atenuación lineal, debido a ello pueden enmascarar estructuras como el calcio y el yodo (6,7). Además el uso de medios de contraste yodados, incrementa los riesgos en pacientes con insuficiencia renal o descompensación cardiopulmonar (8), resaltando la necesidad de tecnología más avanzada y seguras.

Recientemente la tomografía computarizada de doble energía (**TCDE**) mejora la calidad de las imágenes, y la diferenciación tisular sin aumentar la radiación, al adquirir datos en 2 niveles de energía (9,10). En oncología, permite detectar lesiones pequeñas y resaltar la vascularidad tumoral mediante mapas virtuales sin contraste (VNC) e imagen monocromática virtuales (VMI) (11,12), y reduce la dosis de contraste hasta en un 50% - 70% (12). Por ello, esta revisión narrativa explora su aporte en el diagnóstico, tratamiento y seguimiento en pacientes oncológicos.

II. OBJETIVOS

Objetivo general

Describir los principales aportes de la TCDE con contraste en el diagnóstico, tratamiento y seguimiento en pacientes oncológicos.

Objetivos específicos

Describir la utilidad de la TCDE, en la reducción de la dosis de medio de contraste en pacientes oncológicos.

Describir la utilidad de la TCDE, en la reducción de la dosis de radiación en pacientes oncológicos.

III. CUERPO

CAPÍTULO I: ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

1.1 Bases de datos utilizados

Para la búsqueda de esta revisión narrativa, los artículos se revisaron en idioma inglés, en los buscadores de datos: PubMed y Google Scholar. La fecha de búsqueda fue el 13 de enero del 2025. Además se incluyó dos artículos en español y uno en inglés recomendados por expertos.

1.2 Términos utilizados

Inicialmente, se utilizaron términos provenientes de los tesauros MeSH y DeCS; sin embargo, los resultados obtenidos fueron limitados. En consecuencia, se procedió al análisis de artículos relacionados con la pregunta de investigación, a partir de los cuales se identificaron nuevas palabras claves. Estas se emplearon en búsquedas exploratorias que permitieron refinar y definir la estrategia final de búsqueda.

En esta revisión narrativa se incluyó los términos: oncology patient, ct dual energy, diagnosi, treatment plannin, follow – up.

1.3 Fórmula de búsqueda

Todas las fórmulas de búsqueda pueden revisarse en el **anexo 1**.

1.4 Criterio de inclusión y exclusión

Se incluyó artículos de revisión en inglés publicados entre 2020 al 2025 que aborden aspectos de TCDE en el diagnóstico, tratamiento y seguimiento oncológico. Se excluyeron aquellos estudios que no utilicen técnicas de TCDE, que no empleen contraste o que carezcan de un enfoque oncológico.

1.5 Elección de artículos

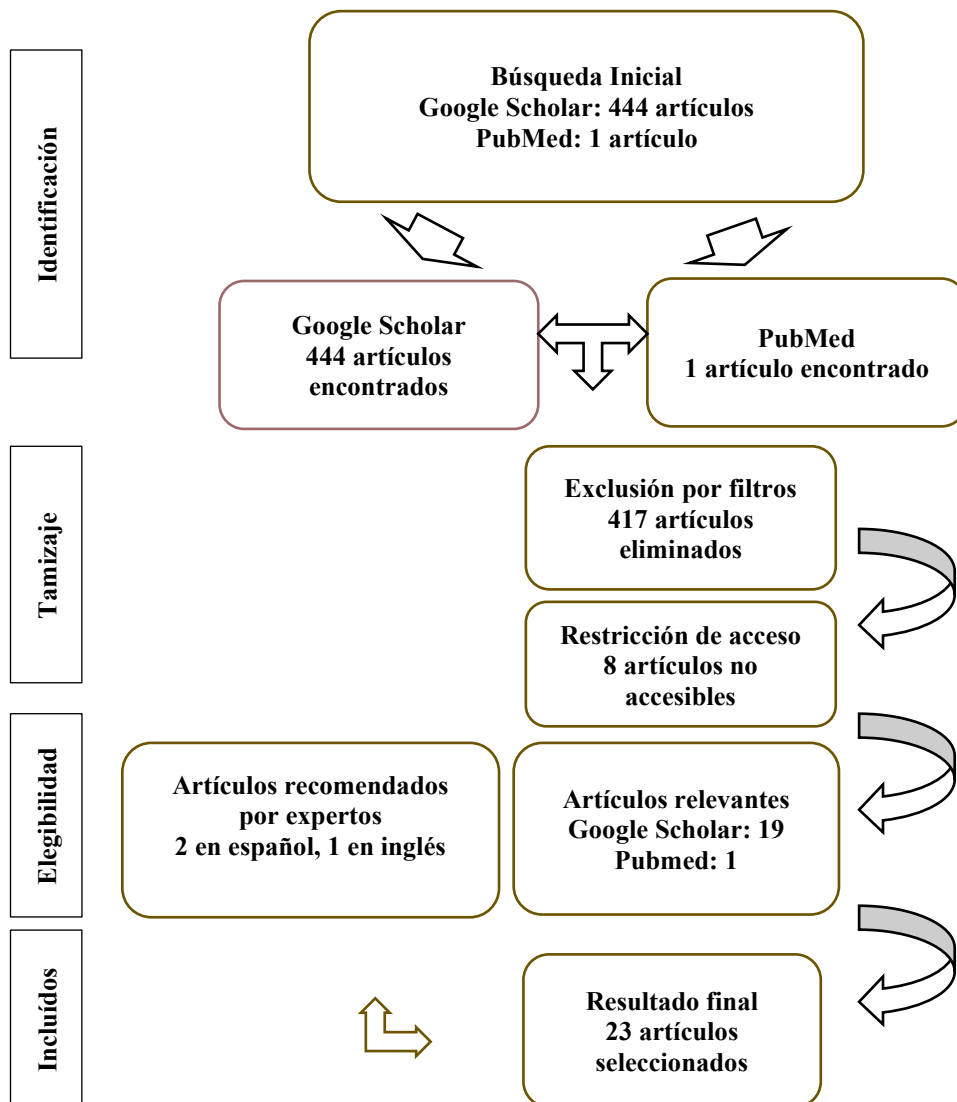
En esta revisión narrativa se seleccionó artículos publicados desde 2020 al 2025, con la finalidad de recopilar información actualizada, del aporte de la TCDE contrastada en el diagnóstico, tratamiento y seguimiento del paciente oncológico. No se tomaron en cuenta artículos que utilizaron técnicas de TCDE sin contraste, estudios que no hablen de enfermedad oncológica, estudios ajenos a la técnica de TCDE.

Los artículos se seleccionaron en idioma inglés y se utilizó el gestor de búsqueda Zotero para su revisión por títulos y resumen.

CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DE HALLAZGOS

En la búsqueda se encontraron según los filtros 444 artículos de revisión en Google Scholar y 1 de PubMed, en idioma inglés, fueron elegidos para revisión a texto completo donde se excluyeron 417 artículos que no cumplieron con los criterios de inclusión y 8 artículos que no contaban con acceso, se quedó con un total de 20 artículos seleccionados para la extracción de resultados, además se incluyeron 2 artículos en español y 1 en inglés por recomendación de experto para darle sustento en algunos puntos de esta revisión narrativa.

Flujograma del proceso de recopilación de información y resultados



Aspectos físicos y fundamentos de la imagen de la TCDE

Los Rayos X interactúan con la materia a través de dos procesos fundamentales; el “**Efecto Fotoeléctrico**”, donde predominan los fotones de baja energía , cuyo comportamiento depende del número atómico Z , en contraste, a altas energías se evidencia el “**Efecto Compton**”, que está determinado por la densidad electrónica o masa del material ρ , estos procesos se cuantifican en tomografía mediante el coeficiente de atenuación lineal (μ), y se representan en las imágenes mediante unidades Hounsfield “UH”(13,14).

El desarrollo de la TCDE surge para superar las limitaciones de la tomografía convencional, que utiliza una fuente de energía y tiene una discriminación pobre entre tejidos, esto provoca que estructuras con coeficientes de atenuación lineal similares como el yodo, el calcio y el sangrado se representen con los mismo valores de UH, dificultando su caracterización (6,13).

La TCDE utiliza 2 fuentes de energía distintas, que se representan en unidades **KeV**; las de baja energía < 70 KeV predominan el efecto fotoeléctrico, y de alta energía >140 KeV se evidencia el efecto Compton, esta técnica permite diferenciar estructuras con distinta composición molecular y caracterizarla de manera más efectiva (8,16).

Ver en el anexo 3, la tabla 1, donde se resumen los aportes del uso bajo y alto KeV en la imagen.

Para poder conocer la composición y caracterizar dicha lesiones la TCDE, utiliza 2 algoritmos de postproceso: descomposición y cuantificación de materiales (14).

Estos dos algoritmos son fundamentales para mejorar la precisión en el diagnóstico, seguimiento y tratamiento oncológico. Es esencial evaluarlos de manera conjunta para potenciar su efectividad en la toma de decisiones clínicas (14,17).

Los principales algoritmos de descomposición y cuantificación de materiales se describen en el anexo 3, ver las tablas 2 y 3.

La tabla 2 se detallan los principales algoritmos de descomposición que se utilizan en TCDE para la evaluación oncológica.

En la tabla 3, se resumen los principales parámetros cuantitativos que se utilizan en TCDE para la evaluación oncológica, ver en el anexo 3.

Modelos de TCDE:

Se identifican aproximadamente seis modelos de TCDE, de estos solo abordaremos tres de los modelos más utilizados en el entorno comercial y clínico:

- a. **Doble Fuente:** Utilizan dos tubos de Rayos X , uno emiten radiación de alta energía y el otro de baja energía, cada uno tiene un juego de detectores que están separados ortogonalmente 90° (18).
- b. **Conmutación rápida de Kilovoltaje:** Utiliza una única fuente de Rayos X que emite energía alta y baja de manera simultánea en un intervalo de 0.5 mseg, y la señal se recoge mediante un solo juego de detectores (19,20).
- c. **Doble capa de detectores:** Estos sistemas utiliza un juego de detectores con doble capa, la capa superior recoge las señales de baja energía y la capa inferior recoge las señales de alta energía, utilizando únicamente una fuente de Rayos X (21).

En el anexo 3, ver la tabla 4 donde se hablan de las principales ventajas y desventajas de estos 3 modelos de TCDE.

Aportes de la TCDE en el diagnóstico oncológico

En este trabajo, no se pretende analizar la TCDE en cada tipo específico de cáncer, si no resaltar los aportes de la TCDE y sus algoritmos en el diagnóstico oncológico. Los imágenes VMI de bajo KeV, y las imágenes de concentración de yodo (IC) caracterizan y limitan mejor los tumores malignos, estos mapas son buenos para describir la angiogénesis tumoral, y pueden remplazar a la perfusión por TC, tienen $r = 0.800$ y $p < 0.001(6,22,23)$, las imágenes IC tiene una sensibilidad y especificidad $> 95\%$ para el diagnóstico de lesiones renales (24).

En un estudio de adenomas suprarrenal evaluados con imágenes virtuales sin contraste (VNC), bajo el criterio de < 10 UH, se alcanzó una sensibilidad 91%, especificidad 100% y precisión del 81%, para distinguirlos de los adenomas malignos (16,25).

La tomografía convencional tiene limitaciones para evaluar el adenocarcinoma ductal de páncreas, pero la TCDE en fase pancreática con sus mapas VMI de bajo KeV y las imágenes IC mejoran su diagnóstico, alcanzando valores de AUC altos 0.92 y 0.85 (16,26).

En la **figura 1** se visualiza la representación VNC, imágenes de bajo KeV en fase arterial y pancreática para evaluar la lesión en páncreas, ver en el anexo 4.

La TCDE, juega un papel crucial en el diagnóstico de los diferentes tipos de cáncer del sistema digestivo, logrando mejorar la visualización de estas lesiones mediante la utilización de imágenes VMI de bajo KeV, IC y la imagen de concentración de yodo normalizado (NIC) (9,26).

Las lesiones tumorales con alto contenido óseo que fueron evaluados con los mapas virtuales sin calcio (VNca) demostraron tener una superioridad del 96%, comparado con el 64% de la tomografía convencional (12).

Los artefactos en el diagnóstico oncológico, originados por metales y el endurecimiento de haz, dificultan la evaluación de las lesiones oncológicas. Las imágenes VMI de alto KeV y los filtros para reducir artefactos, permite suprimir estos artefactos y mejorar la visualización de las lesiones tumorales (12,25,28).

La TCDE, tiene una limitación inherente, sus algoritmos son más efectivos al analizar únicamente dos elementos, lo que puede generar errores al evaluar aquellos estructuras con más de 2 valores Z similares, como el yodo, bario y calcio, para ello se requieren ser evaluados con distintos mapas de descomposición y así mejorar la caracterización y el diagnóstico oncológico (15,28).

En la tabla 5, nos habla de los principales aportes de las imágenes espectrales de la TCDE en el diagnóstico de los diferentes tipos de cáncer, ver en el anexo 3.

La TCDE importancia en el seguimiento de la enfermedad oncológica

En el seguimiento de los pacientes oncológicos se evalúan la presencia de metástasis, una variedad de cánceres infiltran la médula ósea, principalmente a la columna vertebral, y a los huesos del aparato locomotor, la tomografía convencional tiene dificultad para evaluarlas, sin embargo las imágenes VMI de bajo KeV y las imágenes virtual sin calcio (VNca) ofrece una sensibilidad 85% mayor que la tomografía convencional, en lesiones asociadas al mieloma múltiple, las imágenes VNca tienen una precisión entre el 93% y 99% (12,18).

La TCDE comparada con otras técnicas de imagen, tiene una mayor eficacia en la detección de ganglios linfáticos metastásicos, logrando una sensibilidad 92.9%, especificidad 86.2% y precisión 90.9%, comparado con la ecografía y no encontrando diferencias con la resonancia magnética (17), estas lesiones evaluadas con mapas NIC y curva de captación arterial poseen una sensibilidad 94% y especificidad 74% (29). En la figura 2 se representa la caracterización de las metástasis evaluadas en diferentes KeV, ver en el anexo 4.

La TCDE importancia en el tratamiento de la enfermedad oncológica

Las imágenes TCDE permiten una planificación y seguimiento más preciso del tratamiento oncológico al evaluar la extensión y viabilidad tumoral, guía las terapias específicas y distingue las recidivas de los cambios posquirúrgicos mediante las imágenes VMI de bajo KeV y las imágenes IC (6,14,18).

La disminución del tamaño tumoral, es un buen indicador de la buena respuesta al tratamiento oncológico, en un estudio se evaluaron el tamaño de las metástasis de melanomas con el método RECIST y las imágenes IC, NIC, estos últimos demostraron ser mejores en un 90% que el método RECIST (27).

Los parámetros cuantitativos Z efectivos (Z_{eff}) y las imágenes de densidad de electrones (DE), permiten visualizar y delimitar mejor las lesiones tumorales, estima de manera más precisa la dosis de tratamiento en radioterapia (braquiterapia, terapia de protones) (15).

Los reparos metálicos dejados tras la biopsia de mamas son un factor limitante para cuantificar la dosis de tratamiento en radioterapia, el uso de las imágenes VMI de alto KeV mejoran la visualización del tumor y permite cuantificar mejor la dosis de

tratamiento (21), en la figura 3, se presenta la utilidad de los mapas de densidad de electrones (DE) en la cuantificación de la dosis en radioterapia, ver en el anexo 4.

En la **Tabla 6**, se resumen las principales utilidades de los mapas de reconstrucciones de imagen de la TCDE en la planificación, respuesta y la evaluación predictiva, en el tratamiento del paciente oncológico, ver en el anexo 3.

Importancia de la TCDE en la disminución de dosis de radiación y del medio de contraste iodado

La utilización de las VNC, nos permiten reducir la dosis de radiación en un 61% sin perder la calidad diagnóstica, al evitar realizar la fase sin contraste en los estudios de TC, muy importante para la evaluación en pacientes jóvenes con un buen pronóstico de su enfermedad (8,15).

La TCDE incrementa la sensibilidad al yodo, permitiendo reducir la dosis de contraste intravenoso en un 50% y 70% y disminuye el daño renal en los pacientes oncológicos, analizados con las imágenes VMI de bajo KeV (12,16,30).

También se observó en un estudio de TCDE; en donde se usó al menos 50 ml de contraste y se utilizó las imágenes VMI de baja energía (40 – 60 KeV), se logró reducir la dosis de contraste en un 50%, manteniendo la calidad diagnóstica, comparado con TC convencional (20).

En un estudio retrospectivo con 111 pacientes, realizado en Australia, se comparó 3 protocolos de seguimiento oncológico para tórax, abdomen y pelvis: un protocolo clásico usando TC convencional con contraste en fase venosa, un protocolo en fase venosa con TCDE y otro con fase arterial en tórax y abdomen seguida de una fase venosa de abdomen y pelvis con TC convencional, mostraron una disminución de dosis de radiación en el protocolo venoso de TCDE, evaluados con imágenes VMI

de 50 KeV , $\rho < 0.001$, sin variar la calidad de la imagen (10), en la **tabla 7**, se resumen los principales valores DLP y CTDLvol de los tres protocolos estudiados, ver en el anexo 3.

En otro estudio prospectivo que incluyó 111 participantes , se llevó a cabo una tomografía de tórax , abdomen y pelvis, de estos, 52 se sometieron a tomografía convencional con una dosis de contraste entre 102 - 125 ml, mientras que 59 recibieron TCDE con una dosis de contraste entre 66 - 77 ml, se compararon ambos grupos para evaluar la dosis de radiación y la dosis de contraste recibidos, se utilizaron las imágenes VMI a 40 KeV con algoritmos de reconstrucción DLIR (reconstrucción iterativa con Deep learning), para disminuir el ruido en la imagen, se demostró una disminución de la dosis de radiación y la dosis de contraste recibido en el grupo TCDE (31), los resultados se resumen en la **tabla 8**, ver en el anexo 3.

IV. CONCLUSIONES

En esta revisión narrativa se ha logrado analizar los principales aportes de la TCDE con contraste en el manejo de los pacientes oncológicos, teniendo un gran impacto en el diagnóstico, tratamiento y seguimiento en los pacientes oncológicos.

Hemos encontrados que la TCDE tiene una sensibilidad y especificidad mayor al 90% que la TC convencional en la caracterización de los tejidos y la detección de lesiones oncológicas, permitiéndonos un mejor diagnóstico, en el paciente oncológico.

La capacidad que tiene la TCDE junto con sus algoritmos de generar imágenes virtuales sin contraste y sus mapas de iodo, nos permite realizar una evaluación más precisa de la vascularidad tumoral y evaluar mejor las respuestas al tratamiento, contribuyendo a un seguimiento más eficaz en los pacientes oncológicos.

En cuanto a la reducción de la dosis de contraste la TCDE junto con el análisis de sus imágenes de bajo KeV incrementa la señal de iodo mejorando la visualización de los vasos sanguíneos y de las lesiones hipercaptantes, en esta revisión narrativa se ha encontrado una disminución en el uso de la dosis de contraste en un 50% y 70 %, mejorando la seguridad del paciente oncológico.

Asimismo la TCDE ha demostrado favorecer en la disminución de la dosis de radiación al utilizar las imágenes virtuales sin contraste, evitando realizar la fase sin contraste, permitiendo reducir la dosis de radiación en un 61%, que es de mucha importancia en pacientes que requieren estudios frecuentes durante el seguimiento de la enfermedad oncológica.

La TCDE es un gran avance en las imágenes oncológicas, mejorando el diagnóstico, tratamiento y seguimiento en los pacientes oncológicos, disminuye el uso de

grandes dosis de contraste y la dosis de radiación. La implementación de esta técnica puede mejorar el manejo clínico y seguridad del paciente oncológico.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agrawal MD, Pinho DF, Kulkarni NM, Hahn PF, Guimaraes AR, Sahani DV. Oncologic Applications of Dual-Energy CT in the Abdomen. *RadioGraphics*. mayo de 2014;34(3):589-612.
2. Vallejos-Sologuren CS. Situación del Cáncer en el Perú. *Diagnóstico*. 10 de noviembre de 2020;59(2):77-85.
3. Salcedo KJP, Cardenas AJM, Aquije DAR, Aquije AJZ. Coyuntura de las sesiones de tomografías. Inducción y conceptos relevantes. *Religacion Press*; 2024. 77 p.
4. Ministerio de Salud (MINSA). Sala Situacional del Cáncer en el Perú I trimestre 2024. 2024.
5. Hussain S, Mubeen I, Ullah N, Shah SSUD, Khan BA, Zahoor M, et al. Modern Diagnostic Imaging Technique Applications and Risk Factors in the Medical Field: A Review. *BioMed Res Int*. 2022;2022(1):5164970.
6. Fernández-Pérez GC, Fraga Piñeiro C, Oñate Miranda M, Díez Blanco M, Mato Chaín J, Collazos Martínez MA. Energía Dual en TC. Consideraciones técnicas y aplicaciones clínicas. *Radiología*. septiembre de 2022;64(5):445-55.
7. McCollough CH, Leng S, Yu L, Fletcher JG. Dual- and Multi-Energy CT: Principles, Technical Approaches, and Clinical Applications. *Radiology*. septiembre de 2015;276(3):637-53.
8. Guerrini S, Bagnacci G, Perrella A, Meglio ND, Sica C, Mazzei MA. Dual Energy CT in Oncology: Benefits for Both Patients and Radiologists From an Emerging Quantitative and Functional Diagnostic Technique. *Semin Ultrasound CT MRI*. 1 de junio de 2023;44(3):205-13.

9. Xu JJ, Taudorf M, Ulriksen PS, Achiam MP, Resch TA, Nielsen MB, et al. Gastrointestinal Applications of Iodine Quantification Using Dual-Energy CT: A Systematic Review. *Diagnostics*. octubre de 2020;10(10):814.
10. Seah HM, Choi HC, Bajic N, Oakden-Rayner L, Gormly KL. Assessment of a single-pass venous phase CT chest, abdomen and pelvis and dual-energy CT in general oncology outpatients. *J Med Imaging Radiat Oncol*. 2023;67(4):349-56.
11. Albrecht MH, Vogl TJ, Martin SS, Nance JW, Duguay TM, Wichmann JL, et al. Review of Clinical Applications for Virtual Monoenergetic Dual-Energy CT. *Radiology*. noviembre de 2019;293(2):260-71.
12. Foti G, Ascenti G, Agostini A, Longo C, Lombardo F, Inno A, et al. Dual-Energy CT in Oncologic Imaging. *Tomography*. marzo de 2024;10(3):299-319.
13. Wang T, Fan Z, Zou L, Hou Y. Can quantitative parameters of spectral computed tomography predict lymphatic metastasis in lung cancer? a systematic review and meta-analysis. *Radiother Oncol* [Internet]. 1 de junio de 2023 [citado 24 de enero de 2025];183. Disponible en: [https://www.thegreenjournal.com/article/S0167-8140\(23\)00181-0/fulltext](https://www.thegreenjournal.com/article/S0167-8140(23)00181-0/fulltext)
14. Canales Lachén E, Villanueva Campos A, García Latorre R, Sigüenza González S, Almeida Arostegui N. Tomografía computarizada espectral en patología abdominopélvica. Una guía práctica. *Radiología*. noviembre de 2024;66(6):564-76.
15. García-Figueiras R, Oleaga L, Broncano J, Tardáguila G, Fernández-Pérez G, Vañó E, et al. What to Expect (and What Not) from Dual-Energy CT Imaging Now and in the Future? *J Imaging*. julio de 2024;10(7):154.

16. Gentili F, Guerrini S, Mazzei FG, Monteleone I, Di Meglio N, Sansotta L, et al. Dual energy CT in gland tumors: a comprehensive narrative review and differential diagnosis. *Gland Surg.* diciembre de 2020;9(6):2269-82.
17. Chen M, Jiang Y, Zhou X, Wu D, Xie Q. Dual-Energy Computed Tomography in Detecting and Predicting Lymph Node Metastasis in Malignant Tumor Patients: A Comprehensive Review. *Diagnostics.* enero de 2024;14(4):377.
18. Wang X, Shen H, Zhang J, Liu D, Tao J, Luo Y, et al. Dual-energy CT: A new frontier in oncology imaging. *Meta-Radiol.* 1 de noviembre de 2023;1(3):100044.
19. Zheng J, Fu F, Shen D, Qing W, Bo X. Progress in the Application of Energy-spectrum CT Imaging and Radiomics for the Diagnosis of Lung Cancer and Subtype Differentiation. *Adv Eng Technol Res.* 2022;1(3):596-596.
20. Lennartz S, Zopfs D, Hokamp NG. Dual-energy CT revisited: a focused review of clinical use cases. *RöFo - Fortschritte Auf Dem Geb Röntgenstrahlen Bildgeb Verfahr.* agosto de 2024;196(8):794-806.
21. Guo S, Liu T, Qu G, Xu J, Liu Q, Zhao Q, et al. Dual-Energy CT in Breast Cancer: Current Applications and Future Outlooks. *Precis Radiat Oncol.* 2023;7(4):286-94.
22. Fan L, Yang W, Tu W, Zhou X, Zou Q, Zhang H, et al. Thoracic Imaging in China: Yesterday, Today, and Tomorrow. *J Thorac Imaging.* noviembre de 2022;37(6):366.
23. Sauerbeck J, Adam G, Meyer M. Spectral CT in Oncology. *RöFo - Fortschritte Auf Dem Geb Röntgenstrahlen Bildgeb Verfahr.* enero de 2023;195(1):21-9.

24. Coppola A, Tessitore L, Fontana F, Piacentino F, Recaldini C, Minenna M, et al. Dual-Energy Computed Tomography in Urological Diseases: A Narrative Review. *J Clin Med.* enero de 2024;13(14):4069.
25. Kim C, Kim W, Park SJ, Lee YH, Hwang SH, Yong HS, et al. Application of Dual-Energy Spectral Computed Tomography to Thoracic Oncology Imaging. *Korean J Radiol.* julio de 2020;21(7):838-50.
26. Hong Y, Zhong L, Lv X, Liu Q, Fu L, Zhou D, et al. Application of spectral CT in diagnosis, classification and prognostic monitoring of gastrointestinal cancers: progress, limitations and prospects. *Front Mol Biosci* [Internet]. 25 de octubre de 2023 [citado 13 de enero de 2025];10. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/molecular-biosciences/articles/10.3389/fmolb.2023.1284549/full>
27. Ersahin D, Rasla J, Singh A. Dual energy CT applications in oncological imaging. *Semin Ultrasound CT MRI.* 1 de agosto de 2022;43(4):344-51.
28. Parakh A, Lennartz S, An C, Rajiah P, Yeh BM, Simeone FJ, et al. Dual-Energy CT Images: Pearls and Pitfalls. *RadioGraphics.* enero de 2021;41(1):98-119.
29. Kong D, Chen X, Gao P, Zhao K, Zheng C, Zhou H. Diagnostic accuracy of contrast-enhanced dual-energy computed tomography for detecting metastatic lymph nodes in patients with malignant tumors: a systematic review and meta-analysis. *Quant Imaging Med Surg.* mayo de 2023;13(5):3050-65.
30. Perrella A, Bagnacci G, Di Meglio N, Di Martino V, Mazzei MA. Thoracic Diseases: Technique and Applications of Dual-Energy CT. *Diagnostics.* enero de 2023;13(14):2440.

31. Noda Y, Kawai N, Kawamura T, Kobori A, Miyase R, Iwashima K, et al. Radiation and iodine dose reduced thoraco-abdomino-pelvic dual-energy CT at 40 keV reconstructed with deep learning image reconstruction. *Br J Radiol.* 1 de junio de 2022;95(1134):20211163.

ANEXOS

ANEXO 1. TÉRMINOS UTILIZADOS.

TABLA DE ACUERDO A LA PREGUNTA PCC

POBLACIÓN	CONCEPTO	CONTEXTO
Pacientes con antecedentes de una enfermedad oncológicas.	Tomografía computarizada de doble energía (TCDE), como método para evaluación del paciente oncológico.	Aportes de la TCDE, en diagnóstico, tratamiento y seguimiento del paciente oncológico.
¿Cuáles son los principales aportes de la TCDE con contraste, en el diagnóstico, tratamiento y seguimiento en los pacientes oncológicos?		

Fuente: Propia del autor.

Palabras claves/Descriptores/Operadores Booleanos

Población: ("cancer patients" OR "oncology patients").

Concepto: ("dual-energy computed tomography" OR "spectral CT").

Contexto: ("diagnosis" OR "treatment" OR "follow-up").

Palabras claves de búsqueda final:

("dual-energy computed tomography" OR "spectral CT") AND ("cancer patients" OR "oncology patients") AND ("diagnosis" OR "treatment" OR "follow-up").

ANEXO 2: FÓRMULAS DE BÚSQUEDAS UTILIZADAS.

Tabla de búsqueda de Google Scholar

Número	Búsqueda Google Scholar	Cantidad
# 1	("dual-energy computed tomography" OR "spectral CT")	13100
#2	("dual-energy computed tomography" OR "spectral CT") AND ("cancer patients" OR "oncology patients")	1830
#1 and #2 and # 3	("dual-energy computed tomography" OR "spectral CT") AND ("cancer patients" OR "oncology patients") AND ("diagnosis" OR "treatment" OR "follow-up")	444

Fuente: Propia del autor.

Tabla de búsqueda de Pubmed

Número	Búsqueda PuMed	Cantidad
# 1	("dual-energy computed tomography" OR "spectral CT")	165
#2	("dual-energy computed tomography" OR "spectral CT") AND ("cancer patients" OR "oncology patients")	4
#1 and #2 and # 3	("dual-energy computed tomography" OR "spectral CT") AND ("cancer patients" OR "oncology patients") AND ("diagnosis" OR "treatment" OR "follow-up")	1

Fuente: Propia del autor.

ANEXO 3: TABLAS

Tabla 1: Aportes del uso bajo y alto KeV en la TCDE

Aportes	
Bajo KeV	✓ Predomina interacción fotoeléctrica.
	✓ Resalta el número atómico Z altos de los tejidos.
	✓ Alto contraste.
	✓ Baja dosis de radiación.
	✓ Aumenta el valor UH en la imagen.
Alto KeV	✓ Aumento del ruido.
	✓ Predominan el efecto Compton.
	✓ Resalta la densidad electrónica del tejido.
	✓ Menor ruido.
	✓ Incrementa la dosis de radiación.
	✓ Menos contraste en la imagen.
	✓ Disminución de valor UH en la imagen.

Elaboración propia traducido al español y adaptado de García – Figueiras R, et al (15)

Tabla 2: Algoritmo de descomposición de materiales

Mapas de descomposición de material	Definición
Mapas de Iodo	Muestran las características de atenuación atribuibles al iodo, sirven, como indicadores cuantitativos del suministro de sanguíneo a los tejidos, proporcionan información sobre la angiogénesis y el estado hemodinámico de las lesiones.
Mapas Z eff	Nos da un enfoque cuantitativo, proporcionan no solo densidad, sino también información elemental de las muestras, basados en su número Z
Mapas de densidad electrónica	Son utilizadas por softwares para calcular las distribuciones de dosis en tumores para el tratamiento en radioterapia.
Imagen virtual monoenergéticas (VMI)	También se conoce como "imágenes monoenergéticas", generadas dentro del rango de 40-190 keV, reconocidas por su capacidad para optimizar el ruido y el contraste de la imagen al tiempo que permite mediciones precisas de la atenuación del contraste.
Imagen sin contraste virtual (VNC)	Se originan restando el mapa de iodo de la imagen de TCDE, puede reemplazar una exploración previa al contraste y reducir sustancialmente la exposición a la radiación.

Elaboración propia traducido al español y adaptado de Chen M, et al (17).

Tabla 3: Algoritmo de parámetro cuantitativos de la TCDE

Parámetros cuantitativos	Definición
Concentración de yodo (IC)	Reflejan el contenido de yodo de los tejidos y reflejan indirectamente el suministro de sangre a la lesión.
Concentración de yodo normalizado (NIC)	Evita el efecto de las diferencias individuales en comparación con IC. $\text{NIC} = \text{IC tejido} / \text{IC vaso.}$
Pendiente espectral de la curva de unidad Hounsfield (λ_{HU})	Determina la naturaleza física y química de la sustancia evaluada. $\lambda_{\text{HU}} = \frac{\text{CT value } 40\text{keV} - \text{CT value } 60\text{keV}}{60}$
Densidad electrónica	Se define como el número promedio de electrones en una unidad de volumen (típicamente expresado en e/cm^3), varía con la ubicación de los electrones, la composición del elemento y la estructura del tejido.
Número atómico efectivo Z_{eff}	Las secciones transversales de interacción para el efecto fotoeléctrico y la dispersión Compton pueden expresarse aproximadamente como proporcionales a Z_{eff}^n , donde N

está entre 4 y 5 para el efecto fotoeléctrico y 1 para Compton.

Fracción de volumen extracelular (ECV)

Cuantifica el contraste de yodo en los espacios intravascular y extravascular -extracelular.

Fracción de mejora arterial (AEF)

Mide la absorción de yodo en fase arterial /absorción de yodo en fase venosa $\times 100\%$.

Elaboración propia traducido al español y adaptado de Chen M, et al (17).

Tabla 4: Principales ventajas y desventajas de los 3 modelos de TCDE

Modelo de TCDE	Ventajas	Desventajas
Conmutación rápida de KV	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Excelente resolución temporal. ✓ Estrecho registro espacial entre ambas energías. ✓ Imagen espectral con campo de visión completo. ✓ Descomposición de material en el dominio del espacio de proyección. ✓ Modulación de dosis en los sistemas modernos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumenta el tiempo de rotación en muchos protocolos de adquisición espectral. ✓ Número reducidos de vistas por rotación. ✓ Separación espectral reducida. ✓ Modulación de corrientes limitado, en equipos modernos con inteligencia artificial han mejorado mucho este aspecto.
Doble fuente	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Rápidos tiempos de adquisición. ✓ Adquisición simultaneas de ambas energías. ✓ Ajuste de voltaje y corriente de forma independiente en cada tubo de Rx. ✓ Uso de filtros. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Campo de visión reducido en uno de los tubos de Rx. ✓ Datos de proyección no emparejados debido a un desplazamiento de 90 grados entre ambos tubos de Rx. ✓ Descomposición de materiales en el

		dominio del espacio de imagen.
		✓ Requisitos de hardware avanzados.
	✓ Tiempos de rotación cortos.	
	✓ Excelente resolución espacial y temporal.	✓ Discriminación de energía incompleta.
Doble capa de detectores	✓ Adquisición espectral en tiempos completos.	✓ Requisitos de hardware importantes.
	✓ Técnicas para la reducción de dosis.	✓ Dispersión cruzada entre las capas de detectores.
	✓ Adquisición espectral en campo de visión completo.	
	✓ Descomposición de material en el dominio del espacio de proyección.	✓ Baja separación espectral a bajas energías .

Elaboración propia traducido al español y adaptado de García – Figueiras R, et al (15)

Tabla 5: Principales aplicaciones de reconstrucción de imagen por TCDE en el diagnóstico de algunos tipos de cáncer.

Aplicación: Detección y caracterización	Descripción	Imagen de reconstrucción
	✓ Mejora la detección de lesiones hepáticas hiper vasculares, hipo vascular.	
<u>Hígado</u>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Caracterización entre lesiones hepáticas benignas y malignas. ✓ Caracterización de pequeñas lesiones hepáticas hipos atenuantes. ✓ Diferenciación de la metástasis hepática de los abscesos de CHC necróticos o pequeños colangiocarcinomas de masa intrahepática formadora de masa. 	VMI de bajo KeV, λ HU y mapa de iodo.
<u>Riñones</u>	✓ Caracterización de lesiones renales ej. el carcinoma de células renales.	VNC y mapa de iodo.
<u>Glándulas supra renales</u>	✓ Caracterización entre adenomas ricos en lípidos y otros nódulos pobres en lípidos (tumores malignos).	VNC y mapa de iodo.
<u>Páncreas</u>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mejora la caracterización del adenocarcinoma ductal pancreático. ✓ Mejora la detección de otras masas pancreáticas. 	VMI de bajo KeV, VNC y mapa de iodo.

Trombosis

- ✓ Caracteriza mejor la detección de VMI de bajo KeV, la trombosis venosa portal benigno mapa de yodo de la maligna.

Elaboración propia traducido al español y adaptado de Wang X, et al (18).

tratamiento en el los
tumores de estroma
gastrointestinal
metastásico, no son
diferentes de los
criterios del PET
Organización Europea
para la Investigación y
el Tratamiento del
Cáncer.

- ✓ Superan los criterios
RECIST. Evalúa la
respuesta terapéutica a
la ablación por
radiofrecuencia para
los carcinomas de
células renales.
 - ✓ Es un buen Predictor
de la respuesta al
tratamiento después
de la quimio
radioterapia para el
cáncer de páncreas.

 - ✓ Predice la invasión
microvascular del
carcinoma
hepatocelular y la
recurrencia temprana
después de la
resección del
-

<u>Evaluación predictiva</u>	carcinoma	Mapas de iodo , y mapas
	hepatocelular.	de evaluación del
	✓ Predice la enfermedad	volumen extracelular
	hepática progresiva en	
	pacientes con	
	carcinoma	
	hepatocelular después	
	de la cirugía.	
	✓ Predice la	
	supervivencia del	
	adenocarcinoma	
	ductal pancreático	
	tratado con	
	quimioterapia.	

Elaboración propia traducido al Español y adaptado de Wang X, et al (18).

Tabla 7: Comparación de la dosis de radiación entre la TC convencional y TCDE

	TC	TCDE	TC
DOSIS	FASE VENOSA	FASE VENOSA	FASE ARTERIAL Y VENOSA
DLP (mGy 8*cm)	788	722	1112
CTDL vol. (mGy)	11.9	10.3	24.9

Nota: Datos extraídos y traducidos al Español de Seah HM, et al (10).

Tabla 8 : Comparación de la dosis de radiación y del contraste iodado entre la TC convencional y TCDE

PARÁMETROS	TC CONVENCIONAL	TCDE	ρ - VALUE
CTDLvol (mGy)	10	4	< 0.001
DLP (mGy * cm)	807	298	< 0.001
Volumen de contraste	115	66	< 0.001
Concentración de iodo	35	16	< 0.001

(g)

Nota: Datos extraídos y traducidos al Español de Noda Y, et al (31).

ANEXO 4

Figura 1: Tumoración del páncreas evaluado por TCDE

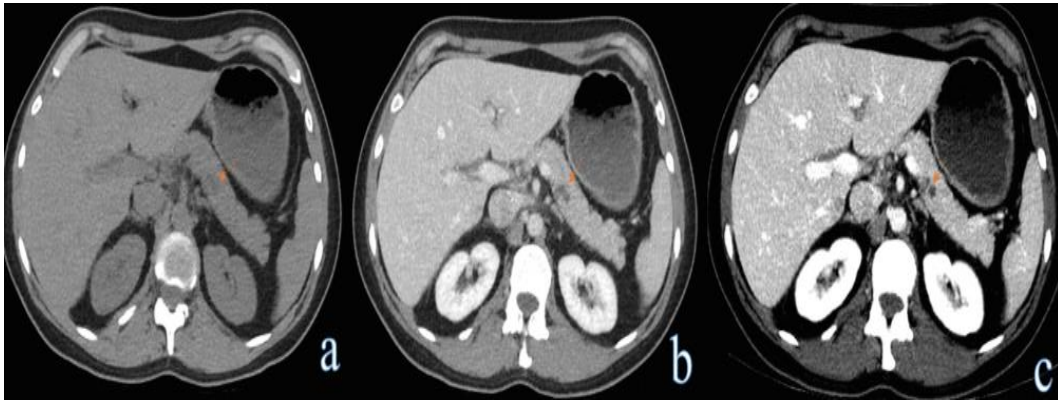
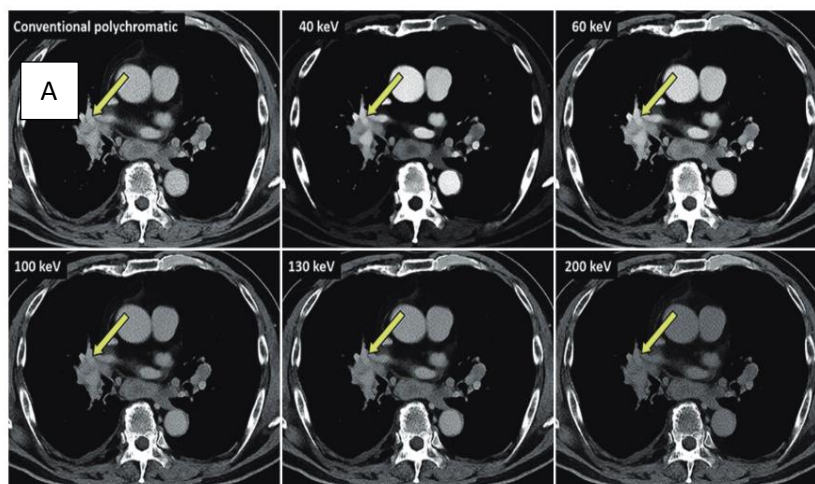


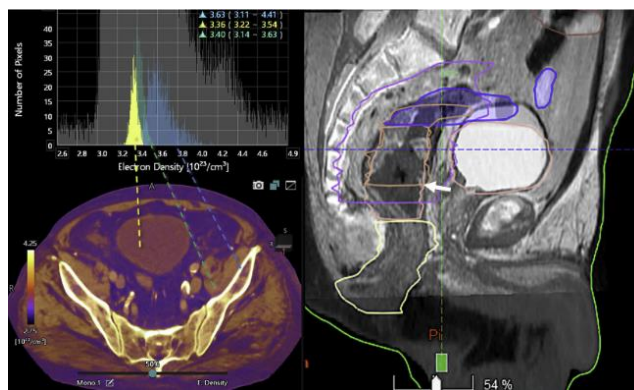
Imagen de TCDE ♀ de 50 años, con hematuria, a) imagen axial VNC de 70 KeV, se evidencia una lesión hipo atenuante en el cuerpo del páncreas, flecha naranja b) imagen axial en fase arterial a 70 KeV y c) imagen axial en fase arterial a 40 KeV que demuestra una lesión pancreática bien caracterizada. Elaborado por Devrim Ersahin et al. (27), traducción propia de este trabajo.

Figura 2: Valoración de las imágenes VMI en el seguimiento de metástasis en el Ca de pulmón



Paciente varón de 71 años con ca de pulmón, imágenes TCDE de seguimiento evaluados con diferentes niveles de energía KeV con metástasis Inter lobares , hiliares y mediastínicas (flecha amarilla) comparados con una TC (A). Cherry Kim et al (25). Traducción propia de este trabajo.

Figura 3: Mapa de densidad de electrones codificada por colores basado en DECT para la planificación del tratamientos y dosis en radioterapia



Análisis de histograma de valores de DE en diferentes ubicaciones, luz de la vejiga (agua, amarillo), músculo (verde) y hueso (azul). Imagen fusionada CT y RM (50% de transparencia) para la planificación de la terapia, demuestra el tumor (flecha blanca, imagen derecha). Roberto García-Figueiras et al (15). Traducción propia de este trabajo.