



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

Facultad de
MEDICINA

TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA DE ENERGÍA DUAL EN EL
DIAGNÓSTICO DEL CARCINOMA HEPATOCELULAR: BENEFICIOS,
LIMITACIONES Y COMPARACIÓN CON OTRAS TÉCNICAS
DIAGNÓSTICAS

DUAL ENERGY COMPUTED TOMOGRAPHY IN THE DIAGNOSIS OF
HEPATOCELLULAR CARCINOMA: BENEFITS, LIMITATIONS AND
COMPARISON WITH OTHER DIAGNOSTIC TECHNIQUES

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

AUTORA

DORA CERVANTES MACIZO

ASESORA

NATALIA ISABEL MOSQUERA VERGARAY

CO-ASESOR

ALEJANDRO KLÜVER VASQUEZ

LIMA – PERÚ

2025

ASESORES DE TRABAJO ACADÉMICO

ASESORA

Dra. NATALIA ISABEL MOSQUERA VERGARAY

Departamento Académico de Tecnología Médica

ORCID: 0000-0003-1372-4449

CO-ASESOR

Mg. ALEJANDRO KLÜVER VASQUEZ

Departamento Académico de Tecnología Médica

ORCID: 0009-0002-3805-8577

Fecha de aprobación: 16 de abril de 2025

Calificación: Aprobado.

DEDICATORIA

A mis queridos padres, por acompañarme siempre en cada una de mis decisiones;
a mi hermano, por su abnegación y fuerza de voluntad que me sirvió de ejemplo en
todo momento; y a mi amado esposo, por creer siempre en mí.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por acompañarme siempre en cada paso que doy y ser mi fortaleza para cumplir con mis metas; a nuestros estimados docentes, que con mucha eficiencia y dedicación nos han guiado en el proceso de la investigación y la elaboración del presente trabajo académico para conseguir el título profesional.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Este trabajo fue autofinanciado.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

La autora declara no tener conflictos de interés.

RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

Facultad de
MEDICINA

TOMOGRFIA COMPUTARIZADA DE ENERGIA DUAL EN EL
DIAGNOSTICO DEL CARCINOMA HEPATOCELULAR. BENEFICIOS,
LIMITACIONES Y COMPARACION CON OTRAS TECNICAS
DIAGNOSTICAS

DUAL ENERGY COMPUTED TOMOGRAPHY IN THE DIAGNOSIS OF
HEPATOCELLULAR CARCINOMA: BENEFITS, LIMITATIONS AND
COMPARISON WITH OTHER DIAGNOSTIC TECHNIQUES

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

AUTORA

DORA CERVANTES MACIZO

ASESORA

NATALIA ISABEL MOSQUERA VERGARAY

CO-ASESOR

ALEJANDRO KLÜVER VÁSQUEZ

LIMA - PERÚ

2025

17% Similitud estándar Filtros

3 Exclusiones →

Fuentes

Mostrar las fuentes solapadas

1	Internet	repositorio.upch.edu.pe	4%
10	bloques de texto	187	palabra que coinciden
2	Internet	dspace.ucuenca.edu.ec	2%
9	bloques de texto	111	palabra que coinciden
3	Internet	digibug.ugr.es	2%
5	bloques de texto	109	palabra que coinciden
4	Internet	www.researchgate.net	2%
9	bloques de texto	89	palabra que coinciden

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
RESUMEN	
ABSTRACT	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. CUERPO.....	4
IV. CONCLUSIONES	18
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19
ANEXOS	

RESUMEN

Introducción: El Carcinoma Hepatocelular (CHC) es una de las neoplasias malignas más frecuentes del hígado y requiere de métodos de diagnóstico precisos para su estudio, como la Tomografía Computarizada de Energía Dual (TCED), que aporta información detallada de la composición tisular y vascularización de las lesiones. **Objetivo:** Analizar los beneficios, limitaciones y la eficacia diagnóstica de la Tomografía Computarizada de Energía Dual en el diagnóstico del Carcinoma Hepatocelular comparándola con otras técnicas diagnósticas. **Metodología:** Esta revisión narrativa empleó artículos en inglés publicados del 2014 al 2024, extraídos de PubMed. Inicialmente, se seleccionó artículos en base a título y abstract, luego sólo los de texto completo. Finalmente, se aplicaron criterios de elegibilidad. **Descripción de hallazgos:** Se revisaron 56 artículos según criterios de inclusión y exclusión, quedándose 18 artículos para extracción de datos y por recomendación de expertos se agregaron 2 artículos en inglés y 1 en español, que evidencian que al evaluar el CHC empleando la TCED y sus algoritmos de posprocesamiento hubo una reducción de dosis de radiación al paciente y del volumen de contraste yodado en un 50 %, disminución de artefactos de endurecimiento del haz; incrementa la relación contraste-ruido, mejorando la visualización de lesiones, en comparación a Resonancia Magnética y Tomografía. **Conclusiones:** La TCED en el diagnóstico del CHC e identificación de ganglios metastásicos, presentan una sensibilidad y especificidad de 90,5% y 81,2%; y de 83,9% y 84,1% respectivamente. Empero, varios artículos sugieren realizar estudios clínicos multicéntricos para estandarizar parámetros cuantitativos entre diferentes modelos y marcas de TCED. **Palabras claves:** Tomografía Computarizada de energía Dual; Carcinoma Hepatocelular; modalidades de imagen; eficacia diagnóstica; beneficios; limitaciones.

ABSTRACT

Introduction: Hepatocellular carcinoma (HCC) is one of the most common malignant neoplasms of the liver and requires precise diagnostic methods for its study, such as Dual-Energy Computed Tomography (DECT), which provides detailed information on the tissue composition and vascularization of the lesions.

Objective: To analyze the benefits, limitations, and diagnostic efficacy of Dual-Energy Computed Tomography in the diagnosis of Hepatocellular Carcinoma compared to other diagnostic techniques. **Methodology:** This narrative review used

articles in English published from 2014 to 2024, extracted from PubMed. Initially, articles were selected based on title and abstract, then only full-text articles. Finally,

eligibility criteria were applied. **Description of findings:** 56 articles were reviewed according to inclusion and exclusion criteria, leaving 18 articles for data extraction.

Upon recommendation of experts, 2 articles in English and 1 in Spanish were added.

These articles show that when HCC was evaluated using DECT and its post-processing algorithms, there was a 50% reduction in radiation dose to the patient and iodinated contrast volume, a decrease in beam hardening artifacts, and an increase in the contrast-to-noise ratio, improving lesion visualization, compared to

MRI and CT. **Conclusions:** DECT in the diagnosis of HCC and the identification of metastatic lymph nodes has a sensitivity and specificity of 90.5% and 81.2%, and

83.9% and 84.1%, respectively. However, several articles suggest conducting multicenter clinical studies to standardize quantitative parameters among different DECT models and brands.

Keywords: Dual-energy computed tomography; Hepatocellular carcinoma; imaging modalities; diagnostic efficacy; benefits; limitations.

I. INTRODUCCIÓN

El carcinoma hepatocelular (CHC) es el tipo más común de cáncer de hígado y está asociado principalmente con enfermedades hepáticas crónicas como la cirrosis y las infecciones por los virus de la hepatitis B y C(1). A nivel global, es el sexto tumor más diagnosticado y la cuarta causa de mortalidad relacionada con el cáncer, con aproximadamente 841,000 casos nuevos y 782,000 fallecimientos anuales. Su distribución geográfica es desigual, con una alta concentración de casos en Asia y África, donde se reporta el 85% del total mundial. En la República Popular China se registran anualmente 137.000 casos (2). En Perú, el CHC representa el tercer tumor más frecuente del sistema digestivo y una de las principales causas de muerte oncológica, con una tasa de mortalidad de 17.7 por cada 100,000 habitantes. Esto refleja una carga significativa de la enfermedad, comparable con los países de alta incidencia en América Latina. Además, tiene características únicas, como la alta prevalencia de casos de CHC en pacientes jóvenes con hepatitis B y sin cirrosis previa, que lo distinguen de otros patrones globales (3). El diagnóstico precoz y la caracterización adecuada de la enfermedad son cruciales para determinar estrategias de tratamiento y mejorar el pronóstico. En este contexto, las tecnologías de imagen avanzadas juegan un papel de vital importancia.

La tomografía computarizada de energía dual (TCED) ha surgido como una herramienta innovadora en la evaluación del carcinoma hepático, gracias a su capacidad para adquirir imágenes utilizando dos energías diferentes (80 y 140 Kv), lo que permite una mayor diferenciación de tejidos y una caracterización más precisa de las lesiones(4). Además, esta técnica facilita la evaluación de propiedades funcionales, como la vascularización tumoral y la composición

química, ofreciendo ventajas significativas sobre los métodos diagnósticos convencionales, como lo son la Ultrasonografía (US), la Tomografía Convencional o de energía única (TC) y la Resonancia Magnética (RM)(5). Se ha demostrado que la TCED empleando parámetros técnicos de forma personalizada, aporta al diagnóstico precoz del CHC(6). Y a su vez, contribuye de manera eficaz en el estadiaje de este, ya que permiten la evaluación de los ganglios linfáticos regionales en pacientes con CHC, logrando distinguir los ganglios linfáticos benignos de los metastásicos(7).

Además de su utilidad en el diagnóstico y estadiaje del CHC, la TCED facilita el monitoreo postratamiento, permitiendo un control periódico de la enfermedad con imágenes de alta calidad y una reducción significativa en la dosis de radiación en comparación con la tomografía computarizada de energía única (TC) (8). Además, ofrece una alternativa viable frente a la RM, la cual, aunque cuenta con una alta resolución de contraste, presenta limitaciones en cuanto a accesibilidad debido a la menor disponibilidad de este equipo, mayor tiempo de adquisición y sus altos costos. En este contexto TCED combina precisión diagnóstica y rapidez, posicionándose como una técnica clave para la evaluación del CHC, especialmente en escenarios donde la RM no está disponible o resulta impráctica. Sin embargo, la TCED enfrenta limitaciones como el alto costo de los equipos y la complejidad en la interpretación de las imágenes (9), lo que puede dificultar su implementación en entornos con recursos limitados. Por lo tanto, la presente revisión narrativa tiene como objetivo describir como la TCED contribuye al diagnóstico, estadiaje del CHC, destacando sus beneficios y limitaciones.

II. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Describir los beneficios, limitaciones y la eficacia diagnóstica de la Tomografía Computarizada de Energía Dual (TCED) en el diagnóstico del carcinoma hepatocelular (CHC) comparándolas con otras técnicas diagnósticas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir los beneficios y limitaciones de la Tomografía Computarizada de Energía Dual en la evaluación del carcinoma hepatocelular en comparación con otras técnicas diagnósticas.
2. Describir la sensibilidad y especificidad de la Tomografía Computarizada de Energía Dual en la evaluación del carcinoma hepatocelular en comparación con otras técnicas diagnósticas.
3. Comparar la eficacia diagnóstica de la Tomografía Computarizada de Energía Dual en la evaluación del carcinoma hepatocelular en comparación con otras técnicas diagnósticas.
4. Examinar el impacto de la Tomografía Computarizada de Energía Dual en la evaluación del carcinoma hepatocelular.

III. CUERPO

CAPÍTULO I: ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

Bases de datos utilizadas

Los artículos de revisión se obtuvieron de la base de datos Pubmed, en idioma inglés. La fecha de búsqueda fue el 20 de enero del 2025. Además, se incluyó registros de artículos científicos identificados a partir de artículos incluidos.

Términos utilizados

En la búsqueda de literatura se incluyeron los siguientes términos: Hepatocellular Carcinoma; Dual energy computed tomography; diagnostic imaging; benefits; limitations. **ANEXO 1.**

Fórmula de búsqueda

Todas las fórmulas de búsqueda pueden verse en el **ANEXO 2.**

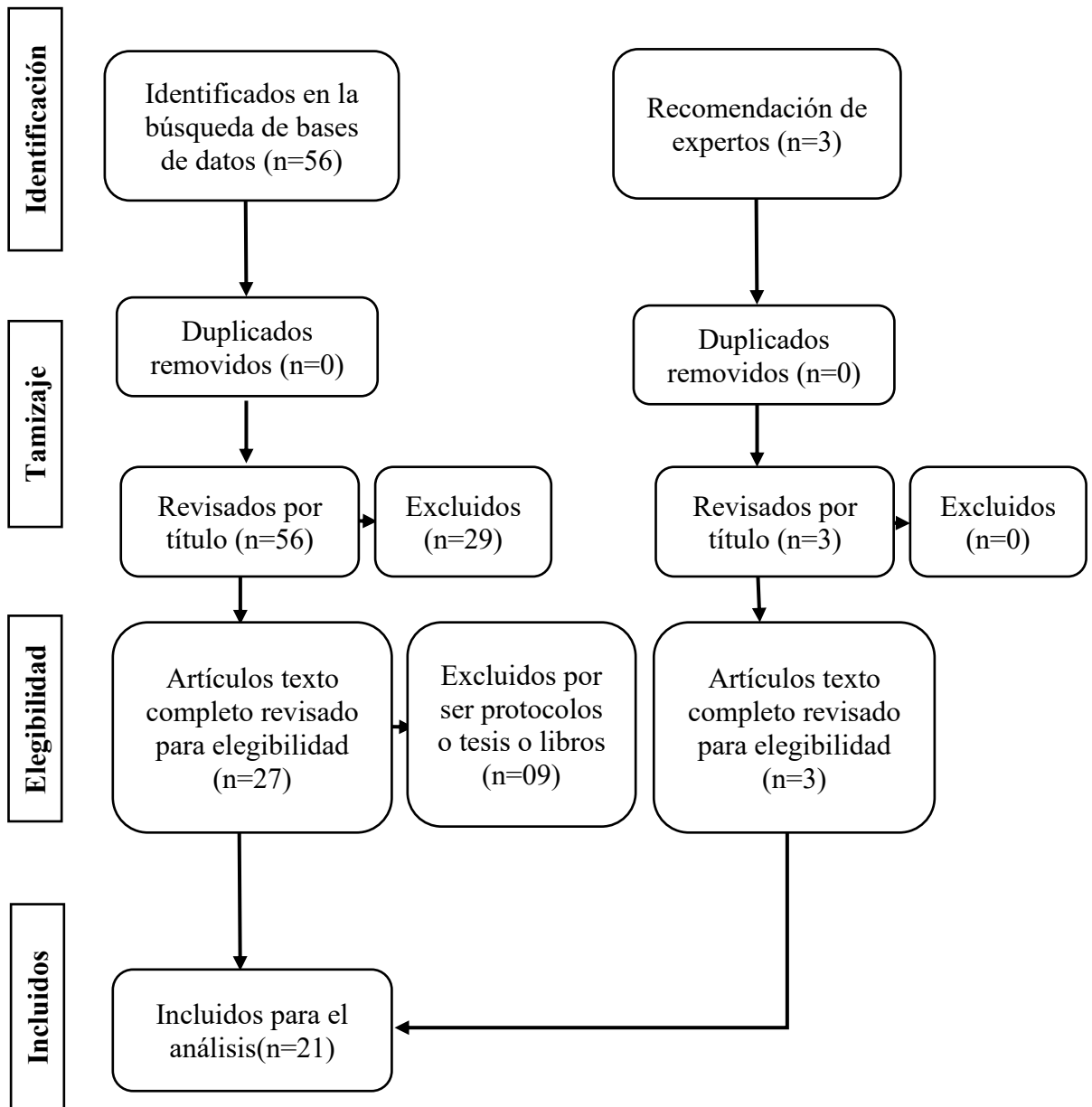
Elección de artículos

Para este estudio se incluyeron artículos de revisión en inglés publicados desde el 2014 hasta el 2024, con la finalidad de recopilar información reciente, relacionada a los beneficios y limitaciones de la Tomografía Computarizada de Energía Dual en el diagnóstico del Carcinoma Hepatocelular siendo estos artículos científicos de revistas académicas y de revisiones sistemáticas. Se excluyeron aquellos estudios relacionados a otro tipo de carcinomas. Además, se consideran artículos recomendados por expertos en inglés y español.

CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DE HALLAZGOS

En la búsqueda se encontraron 56 estudios entre inglés. De los cuales, 27 fueron elegidos para revisión a texto completo y de estos 18 fueron seleccionados para la extracción de resultados. Además, se incorporó por recomendación de expertos, de

los cuales sólo 3 fueron incluidos por cumplir los criterios de elegibilidad. Siendo 21 estudios, los considerados para la extracción de resultados final.



Flujograma del proceso de recopilación de información y resultados

1. Carcinoma Hepatocelular

El carcinoma hepatocelular (CHC) es el cáncer primario más común del hígado, originado en los hepatocitos, que son sus principales células funcionales. Su distribución mundial es heterogénea y está asociada a diversas etiologías, como la

hepatitis B y C (VHB, VHC), el consumo excesivo de alcohol y la enfermedad por hígado graso no alcohólico (EHGNA), entre otras.

El riesgo de CHC está directamente relacionado con la progresión de la fibrosis hepática, con tasas inferiores al 1% anual en hepatitis crónica sin fibrosis y de hasta 7% en pacientes con cirrosis establecida, lo que resalta la importancia del cribado oportuno (10).

Según un consenso de actualización de las guías de práctica clínica del 2016 realizado por la Asociación Española para el Estudio del Hígado (AEEH) y otras importantes Sociedades científicas españolas, existen métodos de cribado para pacientes con cirrosis y alto riesgo de desarrollar CHC. Entre ellos, destacan las pruebas serológicas como la α -fetoproteína (AFP) y las técnicas de imagen, siendo la ecografía abdominal la más utilizada debido a su accesibilidad y a que no emplea radiación ionizante. Cuando un nódulo hepático mide menos de 1 cm, se recomienda un seguimiento ecográfico cada 3-4 meses para evaluar su evolución. En contraste, los nódulos mayores a 1 cm presentan mayor riesgo de ser CHC y por ello, requiere de pruebas complementarias de mayor precisión como TC o RM con contraste dinámico multifase (arterial tardía, venosa y tardía), ya que el CHC muestra un patrón vascular típico caracterizado por una captación intensa en fase arterial tardía, seguida de un lavado de la lesión en las fases venosas, siendo estas las principales características empleadas para su evaluación (ver Tabla 1). Sin embargo, no se recomiendan para el cribado debido al uso de radiación y a la difícil disponibilidad del equipo respectivamente. En caso de que la lesión muestre hallazgos atípicos, se empleará a la biopsia para confirmar el diagnóstico(11).

El Sistema LI-RADS (Liver Imaging Reporting and Data System) fue propuesto en el 2011 por el American College of Radiology (ACR) con el objetivo de estandarizar la lectura o interpretación de los informes de TC y RM hepática en pacientes con hepatopatía crónica y realizar una recomendación clínica según el grado de sospecha de que la lesión detectada correspondiera a un CHC.(10) En la última actualización de LIRADS TC/RM para diagnóstico y estadificación publicada en 2018, se consideran 8 categorías: LR-NC (No categorizable), LR-1(Definitivamente benigno), LR-2 (Probablemente benignas), LR-3 (Probabilidad intermedia de CHC), LR-4(Probablemente CHC) Y LR-5(Definitivamente CHC), LR-TIV(CHC con tumor en vena) y LR-M (other malignancies: lesiones con alta probabilidad de ser neoplasias malignas diferentes de CHC)(12). Estas categorías diagnósticas presentan criterios característicos los cuales se detallan en la Tabla 2.

2. Tomografía computarizada de Energía Dual

También conocida como TC espectral, es una técnica novedosa cuyo concepto apareció en la década de 1970 con Godfrey Hounsfield. Es un método que nace de la limitación de la TC para la diferenciación de tejidos.

La TC emplea un tubo de Rayos x para emitir un único haz de rayos x policromático (que oscila entre 70 a 140 kVp, típicamente 120 kVp), que, al interactuar con el cuerpo humano, es atenuado por los diferentes materiales y recepcionado por un detector. En este proceso, el grado de atenuación dependerá de la composición del material del tejido expuesto, del nivel de energía del fotón incidente y de qué tan cerca se encuentra al borde k (energía de enlace de la capa electrónica interna) del material. Por ende, la atenuación de un tejido se podrá manipular al cambiar los niveles de energía del fotón. La TCED emplea dos niveles de energía diferentes; el

de baja energía (<70 keV), que, al interactuar con la materia, genera Efecto fotoeléctrico y depende del número atómico, y el de alta energía (> 140 keV), que desarrolla el Efecto Compton, y está determinado por la densidad electrónica o la masa del material, ambas interacciones brindan una amplia gama de información.

Tsurusaki M. y et al. (2021) menciona que la TCED emplea dos voltajes de rayos x diferentes brindándonos imágenes que mejoran el hallazgo de tumores hepáticos ya que existe una mayor relación contraste-ruido (CNR) entre el tumor y el hígado (5).

En la práctica clínica, las adquisiciones de TCED se realizan en las fases arterial y venosa, ya que estas son esenciales para el diagnóstico oncológico mediante tomografía computarizada. Esto aunado a su cualidad de adquirir imágenes con diferentes niveles de energía, posibilita la obtención de imágenes con mayor CNR(13).

Jinping Li et al. (2022), realizaron un estudio cuyo objetivo fue evaluar la TCED para una medición cuantitativa del carcinoma hepatocelular en un estadio temprano. Se adquirieron imágenes de energía dual en fases Arterial y Venosa, y al ser analizadas se mostró que estas tenían una mejor CNR siendo adquiridas a bajas energías, $(68,34\pm 3,2)$ keV y $(70,14\pm 2,01)$ keV respectivamente(6). A su vez, Jeong-in Yoo et al (2021), en su estudio para comparar la visibilidad del CHC y la calidad de imagen, de las imágenes obtenidas en Fase arterial, determinan que las imágenes de TCED de 40keV presentan una mayor CNR en comparación a la TC con kVp bajo, además de obtener las puntuaciones más altas en calidad de imagen y preferencia general por la imagen ($p < 0,001$)(14) . En estos estudios se evidencia

la mejora de la CNR y la calidad de la imagen empleando imágenes de energía dual con contraste multifase a bajo keV.

Algoritmos de postprocesamiento de la TCED

La TCED emplea 02 algoritmos de postproceso, importantes para determinar la composición molecular y la caracterización de la patología, las cuales son: la descomposición y la cuantificación de materiales(15).

Dentro de los algoritmos de descomposición de materiales están: Los mapas de yodo, los mapas de Zeff (Número atómico efectivo), los mapas de densidad electrónica, las Imágenes monoenergéticas virtuales (IMV), y la Imagen sin contraste virtual (SCV). Y en los algoritmos de parámetros cuantitativos de la TCED se tienen a: La concentración de Yodo (IC), la concentración de yodo normalizado (NIC), la pendiente espectral de la curva de Unidad Hounsfield (λ_{hu}), la densidad electrónica, Número atómico efectivo Zeff, la fracción de volumen extracelular (ECV) y la fracción de mejora arterial (AEF)(16). Los conceptos de estos algoritmos se detallan en la Tabla 3.

Las aplicaciones postprocesamiento más empleadas en la evaluación de los pacientes oncológicos son las Imágenes Monoenergéticas virtuales, los mapas de concentración de yodo y las Imágenes virtuales sin contraste (13).

- Las IMV son imágenes creadas virtualmente a partir de la adquisición de TCED y simulan a aquellas adquiridas con un haz monocromático configurado entre 40 y 190 keV.
- El mapa de yodo es una de las herramientas clave de la TCED y se genera al seleccionar al yodo (material) mediante un algoritmo de absorción. Son

imágenes que muestran la distribución y concentración de este, en los tejidos.

- Las SCV se obtienen al sustraer el material de yodo de las imágenes contrastadas, adquiridas previamente.

Modelos de Sistemas de TCED

En la actualidad se identifican seis modelos de TCED, de los cuales, los más empleados en el ámbito clínico y comercial son:

Sistemas basados en la fuente

- Doble fuente: Emplea dos tubos de Rayos x que generan radiación de alta y baja energía, están separados ortogonalmente en 90° uno de otro, y cuentan con sus propias filas de detectores.
- Conmutación rápida de Kilovoltaje: Emplea un único tubo de Rayos x que irradia energías de alto y bajo keV, en un intervalo de tiempo de 0.5 milisegundos, y cuya información es recibida por una única fila de detectores.

Sistema basado en el detector

- Doble capa de detectores. Emplea un único tubo de Rayos x, y tiene la peculiaridad de contar con dos juegos de detectores, dispuesto uno encima de otro, donde la capa superior recibe los haces de baja energía y la capa inferior la de alta energía(17).

3. Beneficios de la TCED en la evaluación del CHC

La TCED es una opción diagnóstica relevante en la evaluación del CHC, ya que al contar con las aplicaciones de postprocesamiento antes mencionadas, aportan

múltiples beneficios para la óptima adquisición de las imágenes y una adecuada evaluación del CHC.

Peiffer et al (2018), al realizar una evaluación cuantitativa de la captación y lavado del contraste en el CHC, observaron que las imágenes de mapas de yodo por TCED presentaban una mayor relación contraste ruido en comparación a la RM(18).

Así mismo, Nagayama et al (2018), menciona que las IMV con energías entre 40 a 55 keV obtenidas por un TCED con detector en doble capa, y empleando un 50 % menos de volumen de contraste yodado, proporcionaron una mayor calidad de imagen y visibilidad de la lesión en comparación a las imágenes obtenidas con Tomógrafo convencional a 120 kVp y con un volumen de contraste estándar. Además, mencionan que las imágenes adquiridas con 40 keV incrementan la visibilidad del carcinoma hepatocelular especialmente en la fase hepática-arterial(19).

Asimismo, Yamaguchi et al (2023) al estudiar la detección temprana de la hipervascularización del CHC, mencionaron que las IMV de 40-50 keV (TCED) fueron superiores a las de 80 kVp adquiridas por una TC(20), lo cual se muestra en la Figura 2.

Estos estudios destacan los beneficios de las imágenes monoenergéticas virtuales (IMV) de baja energía (<80 keV), entre los cuales sobresalen el aumento de la relación contraste-ruido (CNR), la mejora en la visibilidad de las lesiones y la reducción del volumen de contraste hasta en un 50 %. Este último beneficio resulta especialmente relevante en pacientes con nefropatía o antecedentes de alergia al medio de contraste yodado, ya que minimiza el riesgo de complicaciones.

Por otro lado, las IMV de alta energía (140 keV a más), permiten reducir los artefactos de endurecimiento del haz causado por estructuras de mayor densidad como el metal, especialmente si se combina con tecnologías de sistema de reducción de artefactos múltiples (MARS), brindando así una mayor calidad de imagen para el diagnóstico(21).

Foti et al (2024) menciona que tanto SCV como los mapas de yodo son las aplicaciones más importantes ya que resaltan eficazmente la vascularización tisular tanto en tumores como en metástasis. Es por esto por lo que presentamos algunos estudios para refrendar este enunciado(13).

Laroia et al (2016) menciona que en su estudio para evaluar las lesiones de CHC y predecir su aparición, emplearon los mapas de yodo de TCED, obteniendo una mayor visibilidad de la lesión en comparación a la TC, y a su vez al realizaron un análisis cuantitativo, con un valor de densidad de yodo (lesión) de $\geq 29,5$ mg/dl, obteniendo una sensibilidad del 90,5% con un intervalo de confianza (IC) del 95% (69,2-98,8%) y una especificidad del 81,2% con un intervalo de confianza del 95% (54,4-95,9%) en la predicción del CHC(22).

Anzidei et al (2015) en su estudio para evaluar la calidad de la imagen y dosis de radiación empleando TCED en pacientes con CHC mencionaron que las imágenes de 80 kVp fueron más sensibles para detectar CHC, y además que las SCV son adecuadas para reemplazar las imágenes sin contraste real(23).

Estos estudios plasman, los beneficios que brindan los mapas de yodo y las imágenes SCV en la evaluación del CHC; donde el primero nos permite una adecuada evaluación cuantitativa y cualitativa de la lesión, y la segunda, nos brinda la posibilidad de disminuir la dosis de radiación en el paciente ya que ya no hay

necesidad de adquirir imágenes sin contraste real, este beneficio es realmente relevante, principalmente para aquellos pacientes oncológicos que requieren ser reevaluados continuamente con Tomografía.

4. Limitaciones de la TCED en la evaluación del CHC

Dentro de las limitaciones que presenta la TCED, veremos las siguientes:

Limitaciones técnicas relacionadas al Hardware, donde vamos a ver que algunos equipos de TCED, presentan campos de visión limitado y una separación espectral reducida. A su vez, al realizar una TCED a pacientes obesos, se observa un incremento del ruido en la imagen al realizar adquisiciones con bajo kVp, dificultando la interpretación de las imágenes. Por último, el déficit de fotones en la región diafragmática genera pseudolesiones en la cúpula hepática.

Limitaciones relacionadas al Software, que se evidencia en la falta de estudios que comparen la variabilidad de la atenuación en SCV y la concentración de yodo en los mapas de yodo entre distintos equipos de TCED.

Limitaciones de Gestión, donde se presentan retos en el flujo del trabajo, debido a la demora en la reconstrucción de las imágenes, Además de requerir mayor almacenamiento de datos.(5)

5. Sensibilidad y especificidad de la TCED en la evaluación de CHC

Laroya et al (2016) menciona que en su estudio para evaluar las lesiones de CHC y predecir su aparición, emplearon los mapas de yodo de TCED, obteniendo una mayor visibilidad de la lesión en comparación a la TC, y a su vez al realizaron un análisis cuantitativo, con un valor de densidad de yodo (lesión) de $\geq 29,5$ mg/dl, obteniendo una sensibilidad del 90,5% con un intervalo de confianza (IC) del 95%

(69,2-98,8%) y una especificidad del 81,2% con un intervalo de confianza del 95% (54,4-95,9%) en la predicción del CHC(22).

A su vez, Zeng YR et al. (2022), realiza un estudio de la eficacia y precisión de la Tomografía computarizada de energía dual en la evaluación de pacientes con carcinoma hepatocelular confirmado y con hepatectomía parcial y linfadenectomía, donde mencionan que al evaluar a dichos pacientes con TCED multifase, la eficacia diagnóstica para distinguir ganglios linfáticos benignos de los metastásicos fue más alto en la adquisición en Fase portal, con una sensibilidad de 83,9 % y una especificidad de 84,1%(7).

En la figura 1 se observa la sensibilidad y especificidad de la TCED para la detección del CHC e identificación de los ganglios linfáticos metastásicos mencionados previamente.

Además, Xing et al (2015) en su estudio para investigar el valor cuantitativo de las imágenes de descomposición de material basadas en yodo-TCED en pacientes con CHC después de su quimioembolización transcatóter (TACE), adquirieron el valor medio del área bajo el ROC, de la diferencia de concentración del yodo, para la evaluación de los tejidos tumorales supervivientes siendo este de 0,804. Por lo que concluyen que las imágenes cuantitativas pueden mejorar la eficacia diagnóstica de las imágenes de TC para pacientes con CHC después del tratamiento con TACE(24).

Las imágenes de TCED empleando mapas de yodo muestran una sensibilidad y especificidad adecuadas para el diagnóstico del CHC, permitiendo una identificación adecuada de ganglios linfáticos infiltrados y facilitando su estadificación; además, de ser útil para el seguimiento de la lesión postratamiento.

6. Evaluación del CHC mediante otros métodos de diagnóstico por imagen

6.1. Tomografía Computarizada Convencional

Mulé et al (2017) al tratar de determinar el grado de relación entre las concentraciones de yodo originadas de TCED y los parámetros de perfusión de la TC en pacientes con CHC avanzado con tratamiento de sorafenib o radioembolización, concluyeron que en estas lesiones, la concentración de yodo en fase arterial tardía de la TCED tiene estrecha relación al Flujo y volumen sanguíneo de la Perfusión TC, mientras que la concentración de yodo en Fase Portal refleja principalmente el volumen sanguíneo, permitiendo que este método tenga la capacidad de evaluar tanto los cambios morfológicos como los de perfusión. Por otro lado, también se menciona que la TCED brinda una radiación significativamente menor comparándola a la Perfusión TC (Índice de Dosis de TC por volumen (CTDIvol), 81,1 mGy y 10.8+- 1.2mGy, respectivamente) (25).

Purysko et al (2014) realizaron un estudio para comparar la dosis de radiación y la calidad de la imagen adquiridas por TCED y TC en paciente con sospecha de CHC. Se observó que el DLP total y la dosis efectiva de la TC fueron significativamente mayores al de la TCED ($p < 0,001$). Las diferencias entre TC y TCED aumentaron a medida que aumentaba el diámetro efectivo del paciente ($p < 0,001$). Los niveles de ruido fueron similares para la TCDE y la TC ($p > 0,05$). Es por esto, que se concluye que para la evaluación del CHC, con imágenes de similar nivel de ruido, la TCED emplea menor dosis de radiación para el paciente en comparación a la TC(8).

6.2. Resonancia Magnética

Peiffer et al (2018) al comparar la TCED y la RM en la evaluación del CHC, mencionan que las imágenes de mapas de yodo por TCED brindan una evaluación cuantitativa de la captación y lavado del contraste, con una relación contraste ruido mayor en la fase arterial ($81,87 \pm 40,42$) y en el venoso portal ($33,31 \pm 27,86$), en comparación con la imagen Monoenergética de 65 keV ($6,34 \pm 4,23$ y $1,89 \pm 1,87$) y la RM ($30,48 \pm 25,52$ y $8,27 \pm 8,36$), respectivamente. Estos resultados demuestran que el mapa de yodo TCED tienen una mayor relación contraste ruido en comparación a la RM(18), lo cual se observa en la Figura 4.

Fan et al (2022) realiza una revisión narrativa donde compara el rendimiento diagnóstico del TCED, la TC y la difusión por RM (DWI-RM), donde menciona que la TCED y la DWI-RM tuvieron una sensibilidad del 69% para detectar pequeñas lesiones de CHC, y una especificidad diagnóstica del 60% para diferenciar entre tipos de lesiones de CHC. La DWI mostró una mayor sensibilidad (90,3%) y precisión (91,9%) en la detección de CHC en comparación con la RM convencional (74,9% y 76,9%, respectivamente), consolidándose como la técnica de elección en entornos con disponibilidad de resonancia. Con la inyección de medio de contraste la DWI-RM tuvo una especificidad del 90,0% para detectar CHC pequeños (menores de 1 cm). La TCED con contraste tuvo una sensibilidad relativamente alta y requirió de una dosis de medio de contraste menor, además se consideró que, con parámetros cuantitativos estandarizados, la TCED con contraste, podría ser una herramienta extremadamente útil para la vigilancia del CHC. Sin embargo, también refieren que la DWI-RM es el procedimiento preferido, dada su

alta sensibilidad para el diagnóstico, proporcionando información histológica sin emplear radiación ionizante(26).

Estos estudios confirman el buen desempeño de la TCED comparado a la RM, específicamente al realizarse TCED dinámicas multifase, ya que esto incrementa la CNR y es considerado como método de vigilancia del CHC.

IV. CONCLUSIONES

La Tomografía Computarizada de Energía Dual (TCED) permite diferenciar estructuras de densidad similares mediante el uso de fotones con energías distintas. En el ámbito clínico, esta técnica ofrece algoritmos avanzados, que proporcionan información morfológica y funcional superior a la tomografía convencional. Es así como mediante el uso de estos, se obtienen beneficios como la reducción de la dosis de radiación, optimización del medio de contraste y la reducción de artefactos de endurecimiento del haz, entre otros.

La TCED en comparación con otras técnicas de diagnóstico, supera a la TC en la detección de lesiones hepáticas hipervasculares, al mejorar la relación contraste ruido (CNR) y permitir el análisis de la perfusión tumoral mediante mapas de yodo; y en comparación a la Resonancia Magnética (RM), muestra una mayor sensibilidad al emplear mapas de yodo en la evaluación del CHC, pero la DWI-RM (Imagen por difusión) sigue siendo superior para la detección de lesiones pequeñas y la evaluación de la respuesta al tratamiento. Estudios han demostrado que la TCED presenta una sensibilidad del 90.5% y una especificidad del 81,2% en la detección del CHC mediante mapas de yodo, mientras que en la evaluación de ganglios linfáticos metastásicos su sensibilidad y especificidad alcanzan el 83.9% y 84,1% respectivamente.

A pesar de sus beneficios, la TCED enfrenta desafíos como el alto costo de los equipos, la variabilidad en la calibración entre diferentes marcas y modelos, y la necesidad de estudios adicionales para estandarizar los parámetros cuantitativos. Se recomienda fomentar investigaciones clínicas multicéntricas para consolidar su uso como herramienta de diagnóstico estándar en oncología hepática.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Laversanne M, Soerjomataram I, Jemal A, et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. CA: A Cancer Journal for Clinicians [Internet]. 2021 [citado 28 de noviembre de 2024];71(3):209-49. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.3322/caac.21660>
2. Montalvo-Javé EE, Hoyos-Lazaro AE, Espejel-Deloiza M, Chernitzky-Camaño J, Rodríguez-Báez A, Ortega-León LH, et al. Actualidades en la sobrevida del carcinoma hepatocelular. Cirugía y cirujanos [Internet]. febrero de 2021 [citado 4 de diciembre de 2024];89(1):104-14. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2444-054X2021000100104&lng=es&nrm=iso&tlng=es
3. Contreras-Mancilla J, Cerapio JP, Ruiz E, Fernández R, Casavilca-Zambrano S, Machicado C, et al. Carcinoma hepatocelular en Perú: una descripción molecular de un cuadro clínico atípico. Revista de Gastroenterología de México [Internet]. 1 de abril de 2024 [citado 28 de noviembre de 2024];89(2):194-204. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375090623000137>
4. McCollough CH, Leng S, Yu L, Fletcher JG. Dual- and Multi-Energy CT: Principles, Technical Approaches, and Clinical Applications. Radiology [Internet]. septiembre de 2015 [citado 28 de noviembre de 2024];276(3):637-53. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4557396/>
5. Tsurusaki M, Sofue K, Hori M, Sasaki K, Ishii K, Murakami T, et al. Dual-Energy Computed Tomography of the Liver: Uses in Clinical Practices and

- Applications. Diagnostics [Internet]. febrero de 2021 [citado 28 de noviembre de 2024];11(2):161. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2075-4418/11/2/161>
6. Li J, Zhao S, Ling Z, Li D, Jia G, Zhao C, et al. Dual-Energy Computed Tomography Imaging in Early-Stage Hepatocellular Carcinoma: A Preliminary Study. Contrast Media & Molecular Imaging [Internet]. 2022 [citado 28 de noviembre de 2024];2022(1):2146343. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1155/2022/2146343>
 7. Zeng YR, Yang QH, Liu QY, Min J, Li HG, Liu ZF, et al. Dual energy computed tomography for detection of metastatic lymph nodes in patients with hepatocellular carcinoma. World Journal of Gastroenterology [Internet]. 28 de abril de 2019 [citado 8 de diciembre de 2024];25(16):1986-96. Disponible en: <https://www.wjgnet.com/1007-9327/full/v25/i16/1986.htm>
 8. Purysko AS, Primak AN, Baker ME, Obuchowski NA, Remer EM, John B, et al. Comparison of radiation dose and image quality from single-energy and dual-energy CT examinations in the same patients screened for hepatocellular carcinoma. Clin Radiol. diciembre de 2014;69(12):e538-544.
 9. Johnson TRC. Dual-Energy CT: General Principles. American Journal of Roentgenology [Internet]. noviembre de 2012 [citado 28 de noviembre de 2024];199(5_supplement):S3-8. Disponible en: <https://www.ajronline.org/doi/10.2214/AJR.12.9116>
 10. Reig M, Forner A, Ávila MA, Ayuso C, Mínguez B, Varela M, et al. Diagnóstico y tratamiento del carcinoma hepatocelular. Actualización del documento de consenso de la AEEH, AEC, SEOM, SERAM, SERVEI y

- SETH. Medicina Clínica [Internet]. 7 de mayo de 2021 [citado 13 de febrero de 2025];156(9):463.e1-463.e30. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025775320307697>
11. Llovet JM, Kelley RK, Villanueva A, Singal AG, Pikarsky E, Roayaie S, et al. Hepatocellular carcinoma. Nature Reviews Disease Primers [Internet]. 21 de enero de 2021;7(1):6. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41572-020-00240-3>
 12. Chernyak V, Fowler KJ, Kamaya A, Kielar AZ, Elsayes KM, Bashir MR, et al. Liver Imaging Reporting and Data System (LI-RADS) Version 2018: Imaging of Hepatocellular Carcinoma in At-Risk Patients. Radiology [Internet]. diciembre de 2018 [citado 24 de marzo de 2025];289(3):816-30. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6677371/>
 13. Foti G, Ascenti G, Agostini A, Longo C, Lombardo F, Inno A, et al. Dual-Energy CT in Oncologic Imaging. Tomography [Internet]. 23 de febrero de 2024 [citado 8 de diciembre de 2024];10(3):299-319. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10975567/>
 14. Yoo J, Lee JM, Yoon JH, Joo I, Lee ES, Jeon SK, et al. Comparison of low kVp CT and dual-energy CT for the evaluation of hypervascular hepatocellular carcinoma. Abdom Radiol [Internet]. 1 de julio de 2021 [citado 16 de enero de 2025];46(7):3217-26. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00261-020-02888-7>
 15. 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 [Internet]. 1 de

- noviembre de 2024 [citado 13 de marzo de 2025];66(6):564-76. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0033833823002072>
16. 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* [Internet]. enero de 2024 [citado 13 de marzo de 2025];14(4):377. Disponible en:
<https://www.mdpi.com/2075-4418/14/4/377>
 17. García-Figueiras R, Baleato-González S. Quantitative multi-energy CT in oncology: State of the art and future directions. *European Journal of Radiology* [Internet]. 1 de enero de 2025 [citado 24 de marzo de 2025];182. Disponible en: [https://www.ejradiology.com/article/S0720-048X\(24\)00556-4/fulltext](https://www.ejradiology.com/article/S0720-048X(24)00556-4/fulltext)
 18. Pfeiffer D, Parakh A, Patino M, Kambadakone A, Rummeny EJ, Sahani DV. Iodine material density images in dual-energy CT: quantification of contrast uptake and washout in HCC. *Abdom Radiol* [Internet]. 1 de diciembre de 2018 [citado 28 de enero de 2025];43(12):3317-23. Disponible en:
<https://doi.org/10.1007/s00261-018-1636-7>
 19. Nagayama Y, Nakaura T, Oda S, Utsunomiya D, Funama Y, Iyama Y, et al. Dual-layer DECT for multiphasic hepatic CT with 50 percent iodine load: a matched-pair comparison with a 120 kVp protocol. *Eur Radiol*. abril de 2018;28(4):1719-30.
 20. Yamaguchi H, Ichikawa T, Morisaka H, Akai H, Izuka K, Ueno T, et al. Early detection of hypervascularization in hepatocellular carcinoma (≤ 2 cm) on hepatic arterial phase with virtual monochromatic imaging: Comparison with

low-tube voltage CT. *Medicine (Baltimore)*. 29 de septiembre de 2023;102(39):e34774.

21. Kim YJ, Cha JG, Kim H, Yi JS, Kim HJ. Dual-Energy and Iterative Metal Artifact Reduction for Reducing Artifacts Due to Metallic Hardware: A Loosening Hip Phantom Study. *American Journal of Roentgenology* [Internet]. mayo de 2019 [citado 24 de marzo de 2025];212(5):1106-11. Disponible en: <https://www.ajronline.org/doi/10.2214/AJR.18.20413>
22. Laroia ST, Bhadoria AS, Venigalla Y, Chibber GK, Bihari C, Rastogi A, et al. Role of dual energy spectral computed tomography in characterization of hepatocellular carcinoma: Initial experience from a tertiary liver care institute. *Eur J Radiol Open* [Internet]. 20 de julio de 2016 [citado 28 de enero de 2025];3:162-71. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4968142/>
23. Anzidei M, Di Martino M, Sacconi B, Saba L, Boni F, Zaccagna F, et al. Evaluation of image quality, radiation dose and diagnostic performance of dual-energy CT datasets in patients with hepatocellular carcinoma. *Clin Radiol*. septiembre de 2015;70(9):966-73.
24. Xing G, Wang S, Li C, Zhao X, Zhou C. [Value of quantitative iodine-based material decomposition images with gemstone spectral CT imaging in the follow-up of patients with hepatocellular carcinoma after TACE treatment]. *Zhonghua Zhong Liu Za Zhi*. marzo de 2015;37(3):208-12.
25. Mulé S, Pigneur F, Quelever R, Tenenhaus A, Baranes L, Richard P, et al. Can dual-energy CT replace perfusion CT for the functional evaluation of advanced hepatocellular carcinoma? *Eur Radiol*. mayo de 2018;28(5):1977-85.

26. Fan PL, Chu J, Wang Q, Wang C. The clinical value of dual-energy computed tomography and diffusion-weighted imaging in the context of liver cancer: A narrative review. *J Clin Ultrasound*. julio de 2022;50(6):862-8.
27. Yamaguchi H, Ichikawa T, Morisaka H, Akai H, Izuka K, Ueno T, et al. Early detection of hypervascularization in hepatocellular carcinoma (≤ 2 cm) on hepatic arterial phase with virtual monochromatic imaging: Comparison with low-tube voltage CT. *Medicine (Baltimore)*. 29 de septiembre de 2023;102(39):e34774.

ANEXOS

Anexo 1. Términos utilizados

POBLACIÓN	CONCEPTO	CONTEXTO
Pacientes adultos con diagnóstico de Carcinoma Hepatocelular (CHC).	Tomografía computarizada de Energía Dual en el diagnóstico del CHC.	Beneficios, limitaciones y eficacia diagnóstica en comparación con otras técnicas de imagen.

¿Cuáles son los beneficios, limitaciones y eficacia diagnóstica de la Tomografía Computarizada de Energía Dual en el diagnóstico del carcinoma hepatocelular en comparación con otras técnicas de imagen?

PALABRAS CLAVES/DESCRIPTORES/OPERADORES BOLEANOS

P: "HEPATOCELLULAR, CARCINOMA" OR "PATIENTS" OR "ADULT NOT CHILD"

AND

C: "DECT" OR "DE-CT" OR "DUAL-ENERGY CT" OR "DUAL ENERGY CT" OR "DUAL-ENERGY COMPUTED TOMOGRAPHY"

AND

C: "DIAGNOSIS" OR "DIAGNOSTIC IMAGING" OR "BENEFITS" OR "LIMITATIONS"

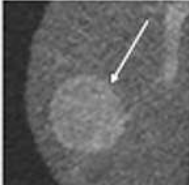


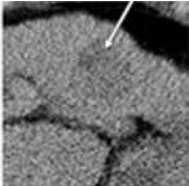

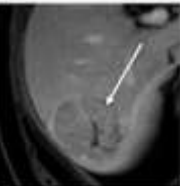



Anexo 2. Fórmulas de búsqueda utilizadas

BASE DE DATOS

Número	Búsqueda PUBMED	Cantidad
#1	("Carcinoma, Hepatocellular" OR "Hepatocarcinoma")	116,668
#2	("Dual energy CT" OR "DECT" OR "DE-CT" OR "Dual energy Computed Tomography")	4,467
#3	("diagnosis" OR "diagnostic imaging" OR "benefits" OR "limitations")	6,152,472
#4	("Carcinoma, Hepatocellular" OR "Hepatocarcinoma") AND ("Dual energy CT" OR "DECT" OR "DE-CT" OR "Dual energy Computed Tomography") AND ("diagnosis" OR "diagnostic imaging" OR "benefits" OR "limitations")	70
#1 AND #2 AND #3 AND #4 (INGLÉS)	("Carcinoma, Hepatocellular" OR "Hepatocarcinoma") AND ("Dual energy CT" OR "DECT" OR "DE-CT" OR "Dual energy Computed Tomography") AND ("diagnosis" OR "diagnostic imaging" OR "benefits" OR "limitations") Filters: from 2014-2024	56

Para este trabajo narrativo se efectuó una búsqueda de literatura electrónica en Pubmed. Aplicando los criterios de elegibilidad mencionados anteriormente. Para la búsqueda en inglés se utilizaron los descriptores "Carcinoma, Hepatocellular" OR "Hepatocarcinoma" AND "Dual energy CT" OR "DECT" OR "DE-CT" OR "Dual energy Computed Tomography" AND "diagnosis" OR "diagnostic imaging" OR "benefits" OR "limitations"

Anexo 3. Resumen de las principales características del sistema de datos e informes de imágenes hepáticas de diagnóstico por TC y RM

Característica Principal	Definición	TC	Ejemplos RM-Agente de contraste extracelular	
			RM-Gadoxetato	
Hiperrealce en Fase arterial sin bordes	El realce sin borde en fase arterial es inequívocamente mayor, total o parcialmente, que el del hígado. La parte realzada debe ser más atenuada o intensa que la del hígado en fase arterial. Comentario: Se requiere Fase Arterial con hiperrealce sin borde para la categorización LR-5			
Apariencia de lavado no periférico (“washout”)	Se visualiza temporalmente una reducción total o parcial del realce con relación al tejido hepático (Hiporrealce en la fase extracelular) Fase venosa portal o tardía con ECA o gadobenato. Fase Portal venosa con Gadoxetato			
Apariencia de la capsula realzada (“cápsula”)	Borde liso, uniforme y definido alrededor de la mayor parte o la totalidad de la observación, inequívocamente más grueso o visible que el tejido fibrótico alrededor de los nódulos de fondo, y visible como un borde realzado en la fase venosa. portal, la fase tardía o la fase de transición.			

Anexo 4. Resumen de categorías del Sistema de datos e informes de imágenes hepáticas diagnósticas por TC y RM (LI-RADS)

Categoría Diagnóstica	Definición conceptual	Criterio TC/RM
LR-NC: No categorizable	Observación que no se puede categorizar de manera significativa porque la omisión o degradación de la imagen impide la evaluación de una característica más importante.	<p><u>Ambos</u> de los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • una o más características principales no se pueden evaluar debido a la omisión o degradación de la imagen y • Como resultado directo, las categorías posibles varían desde aquellas en las que el cáncer es poco probable (LR-1 O LR-2) hasta aquellas en las que el cáncer es probable (LR-4, LR-5, LR-M)
LR-1: Definitivamente Benigno	100% certeza de que la observación no es maligna.	LI-RADS no proporciona criterios para la mayoría de las entidades que pueden categorizarse como LR-1, pero en su lugar proporciona ejemplos (Referencia 15)
LR-2: Probablemente Benigno	Alta probabilidad, pero no 100% de certeza de que la observación no es maligna.	LI-RADS no proporciona criterios para la mayoría de las entidades que pueden clasificarse como LR-2, sino ejemplos (Referencia 15).
LR-3: Probabilidad intermedia de malignidad	Las entidades malignas y no malignas tienen una probabilidad moderada.	<p>Criterios para un nódulo distintivo de LR-2:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tamaño: < 20 mm • Sin características principales. Características de LR-M o características auxiliares que favorezcan la malignidad. <p>Hiperrealce en Fase arterial sin borde y:</p> <ul style="list-style-type: none"> • < 20 mm • sin características importantes adicionales <p>Hipo o isorrealce en fase arterial y:</p> <ul style="list-style-type: none"> • < 20 mm con ≤ 1 característica principal adicional o

LR-4: Probablemente CHC	Alta probabilidad, pero no hay una observación 100% segura de CHC.	<ul style="list-style-type: none"> • ≥ 20 mm sin característica principal adicional Hiperrealce en Fase arterial sin borde y: <ul style="list-style-type: none"> • < 10 mm con ≥ 1 característica principal adicional o • 10-19 mm con “capsula” y no hay otras características importantes • ≥ 20 mm sin características importantes adicionales.
LR-5: Definitivamente CHC	100% de certeza de observación de CHC.	Hipo o isorrealce en fase arterial y: <ul style="list-style-type: none"> • < 20 mm con ≥ 2 característica principal adicional o • ≥ 20 mm con ≥ 1 característica principal adicional Hiperrealce en Fase arterial sin borde y: <ul style="list-style-type: none"> • 10-19 mm con “lavado” no periférico y sin otras características importantes o • 10-19 mm con un aumento de tamaño $\geq 50\%$ en ≤ 6 meses y sin otras características importantes o • ≥ 20 mm con ≥ 1 característica principal adicional
LR-TIV: Malignidad con tumor en vena	100% de certeza de malignidad con tumor en vena.	Presencia de tejido blando claramente realzado en la vena, independientemente de la visualización de la masa parenquimatosa
LR-M: Probable o definitivamente maligno, no específico de CHC	La observación con alta probabilidad o 100% de certeza es maligna, pero las características no son específicas de CHC. Comentario: LR-M no excluye CHC. Mas bien, indica una	Masa en diana: <ul style="list-style-type: none"> • Borde en el Hiperrealce en Fase arterial (APHE) • Aspecto de lavado periférico • Realce central tardío • Restricción de la difusión en el objetivo • Intensidad de la señal de TP o HBP en diana

probabilidad sustancial de una neoplasia maligna distinta de CHC. **Masa no diana que no cumple los criterios LR-5 y sin TIV, con ≥ 1 de los siguientes:**

- Aspecto infiltrativo
- Restricción marcada de la difusión
- Necrosis o isquemia severa
- Otro rasgo que sugiera malignidad no relacionada con CHC.

Tabla 2. Adaptada y traducida al español del trabajo: “Liver Imaging Reporting and Data System (LI-RADS) Versión 2018: Imaging of

Hepatocellular Carcinoma in At-Risk Patients” perteneciente a los autores: V.Chernyak, K.J. Fowler et al(12).

Anexo 5. Tabla resumen de algoritmos de postprocesamiento de la TCED y sus conceptos.

ALGORITMOS DE POSTPROCESAMIENTO DE LA TCED			
Descomposición de materiales		Cuantificación de materiales	
Mapas de yodo	Muestran las características de atenuación atribuibles al yodo, sirviendo como indicadores cuantitativos del suministro sanguíneo a los tejidos, además brindan información sobre la angiogénesis y el estado hemodinámico de las lesiones.	Concentración de yodo (IC)	Reflejan el contenido de yodo de los tejidos e indirectamente el suministro de sangre a la lesión.
Mapas Z_{eff}	Da un enfoque cuantitativo, empleado para calcular Z_{eff} , proporcionan no solo densidad, sino también información elemental de las muestras.	Concentración de yodo normalizado (NIC)	Evita el efecto de las diferencias individuales en comparación con IC. $NIC = IC_{tejido} / IC_{vaso}$
Mapas de densidad electrónica	Empleadas por los softwares TPS para calcular las distribuciones de dosis, TCED permite una mejor cuantificación de ED.	Pendiente espectral de la curva de unidad Hounsfield (λ_{hu})	Determinado la naturaleza física y química de la sustancia estudiada. $\lambda_{HU} = CT_{valor\ 40keV} - CT_{valor\ 60keV} / 60$
Imágenes monoenergéticas virtuales (VMI)	También conocida como "imágenes monocromáticas", generadas dentro del rango de 40-190 keV, reconocidas por su capacidad para optimizar el ruido y el contraste de la imagen, permitiendo a su vez, mediciones precisas de la atenuación del contraste.	Densidad electrónica (ED)	Es 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.

**Imagen sin
contraste virtual
(SVC)**

Se originan restando el mapa de yodo de la imagen de TCED, puede reemplazar una exploración previa al contraste y reducir sustancialmente la exposición a radiación.

**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 realce
arterial (AEF)**

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

Tabla 3. Adaptada y traducida al español del trabajo: "Dual-Energy Computed Tomography in Detecting and Predicting Lymph Node

Metastasis in Malignant Tumor Patients: A Comprehensive Review" perteneciente a los autores: M.Chen et al(16).

Anexo 6. Imágenes comparativas de una lesión evaluada con TC y TCED empleando Imágenes Monocromáticas virtuales.

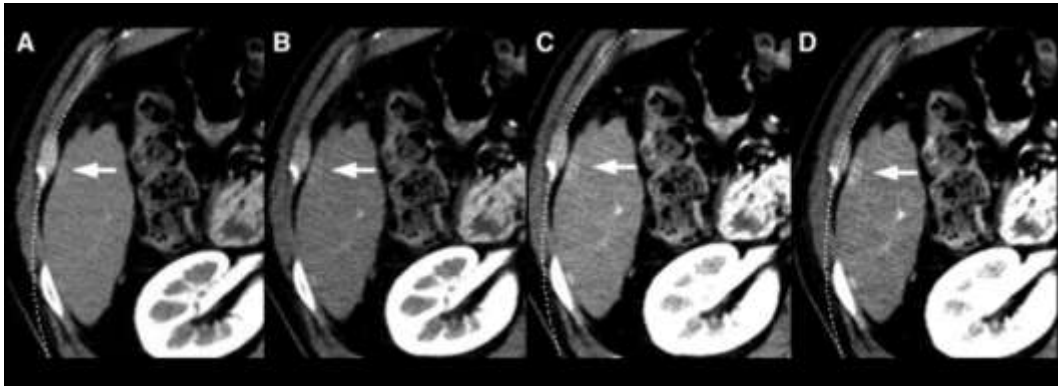


Figura 2. Paciente masculino de 75 años con carcinoma hepatocelular (CHC) pequeño, ligeramente hipervascular. Imágenes en fase arterial hepática con (A) 120 kVp combinado, (B) 80 kVp y VMI a (C) 50 keV y (D) 40 keV. Las puntuaciones de sensibilidad para el realce temprano del CHC fueron 2, 3, 4 y 5, de (A) a (D), respectivamente. Extraída del estudio: “Early detection of hypervascularization in hepatocellular carcinoma (≤ 2 cm) on hepatic arterial phase with virtual monochromatic imaging: Comparison with low-tube voltage CT.” perteneciente a los autores H. Yamaguchi et al(27).

Anexo 7. Imágenes comparativas TCED empleando IMV e imagen cuantitativa de densidad de material de yodo y la RM.

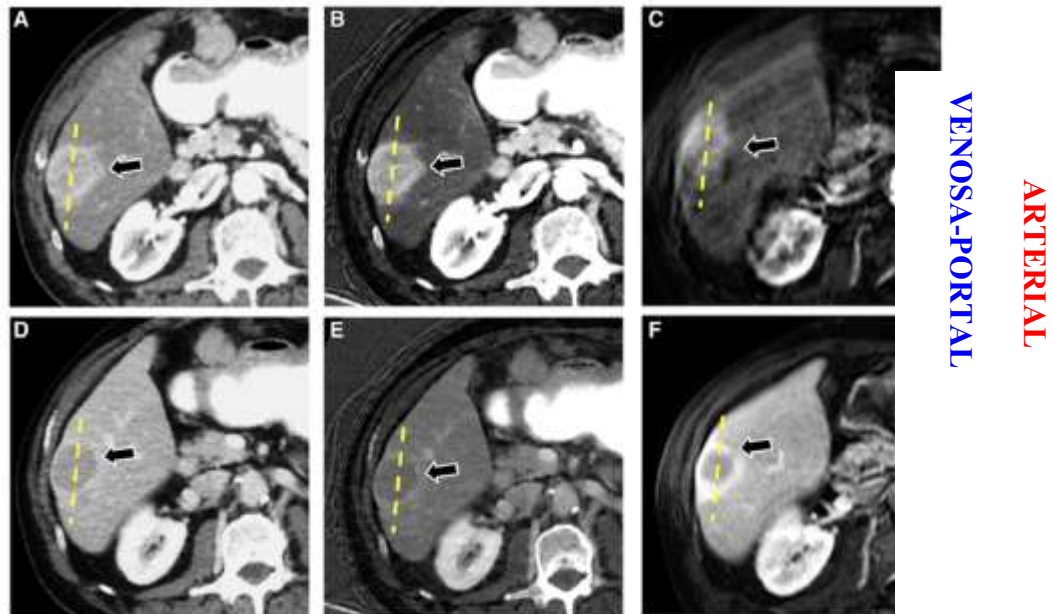


Figura 3. Imágenes axiales de TC y RM obtenidas de un paciente masculino de 72 años con carcinoma hepatocelular (CHC) en el segmento VI. A-C Fase arterial. D-F Fase venosa portal. A, D Imagen de TC monoenergética (escalada a 65 keV). B, E Imagen cuantitativa de la densidad del material de yodo. C, F Imagen de RM correspondiente. Estos resultados demuestran, en particular, un mayor contraste entre el CHC y el hígado no tumoral y, por lo tanto, una mejor visualización de la alta captación del agente de contraste de yodo en las imágenes de fase arterial y del lavado en las imágenes de fase venosa portal en las imágenes de concentración de yodo (B, E). Las líneas discontinuas amarillas indican las regiones a través de las cuales se extrajo el perfil de la imagen. Extraída del estudio: "Iodine material density images in Dual-energy CT: quantification of contrast uptake and washout in HCC" perteneciente a los autores D. Pfeiffer et al(17).

Anexo 7. Porcentajes de sensibilidad y especificidad de la TCED en el diagnóstico del CHC y detección de ganglios linfáticos metastásicos

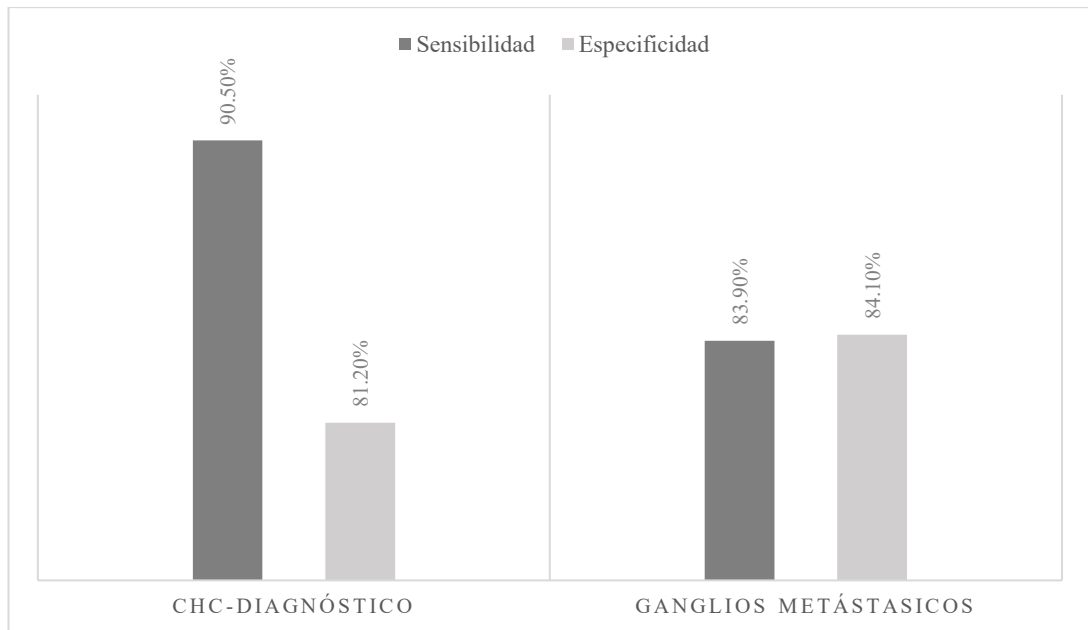


Figura 4. Especificidad y sensibilidad de la TCED en el diagnóstico del CHC y la detección de ganglios linfáticos metastásicos. Elaboración propia y adaptada de los estudios: “Role of dual energy spectral computed tomography in characterization of hepatocellular carcinoma: Initial experience from a tertiary liver care institute” y “Dual energy computed tomography for detection of metastatic lymph nodes in patients with hepatocellular carcinoma”(7,22).