

# Principios, aplicaciones y ventajas de la Tomografía Computarizada de Doble Energía en Neuroradiología

Mario Tecame\*, Esther Granell Moreno\*, Jorge Eliécer Mendez Escalante\*, Andrea Lozano Martinez\*, Juan José Sanchez Fernandez\*, Marta Gomez Chiari\*, Mario Laudazi\*\*, Josep Luis Munuera Del Cerro\*

\*Servicio de Diagnóstico por la Imagen del Hospital Sant Pau, Barcelona

\*\*Università degli studi di Roma Tor Vergata, Roma; European School Of Radiology Fellowship

# Objetivo docente

Presentar los principios y las aplicaciones esenciales y proporcionar una comprensión integral de la tomografía computarizada de energía dual (TCED) y sus aplicaciones en la práctica clínica en nuestra unidad de Neurorradiología, con particular énfasis en:

- Introducir los **principios físicos básicos** de la TCED.
- Destacar las **aplicaciones de la TCED en la Neurorradiología**.
- Facilitar la **interpretación** de imágenes de TCED mediante **casos clínicos** concretos estudiados en nuestro hospital.



# Revisión del tema

## Introducción

La tomografía computarizada de doble energía (TCDE) tiene diferentes aplicaciones en Neurorradiología. Es útil para el estudio de la hemorragia intracraneal, de los accidentes cerebrovasculares, patología traumática, reducción de artefactos y caracterización de tumores.

A través de mapas de descomposición de materiales y análisis cuantitativos más sofisticados, la TCDE permite una mejor caracterización de los tejidos y diferenciación de materiales con niveles de atenuación similar.

La TCDE también permite generar imágenes monocromáticas virtuales, imágenes mixtas y la cuantificación de yodo, lo que puede mejorar la evaluación de hemorragias intracraneales, diferenciar el componente del realce de contraste yodado con respecto al componente hemorrágico y mejorar el diagnóstico de las patologías cerebrovasculares.

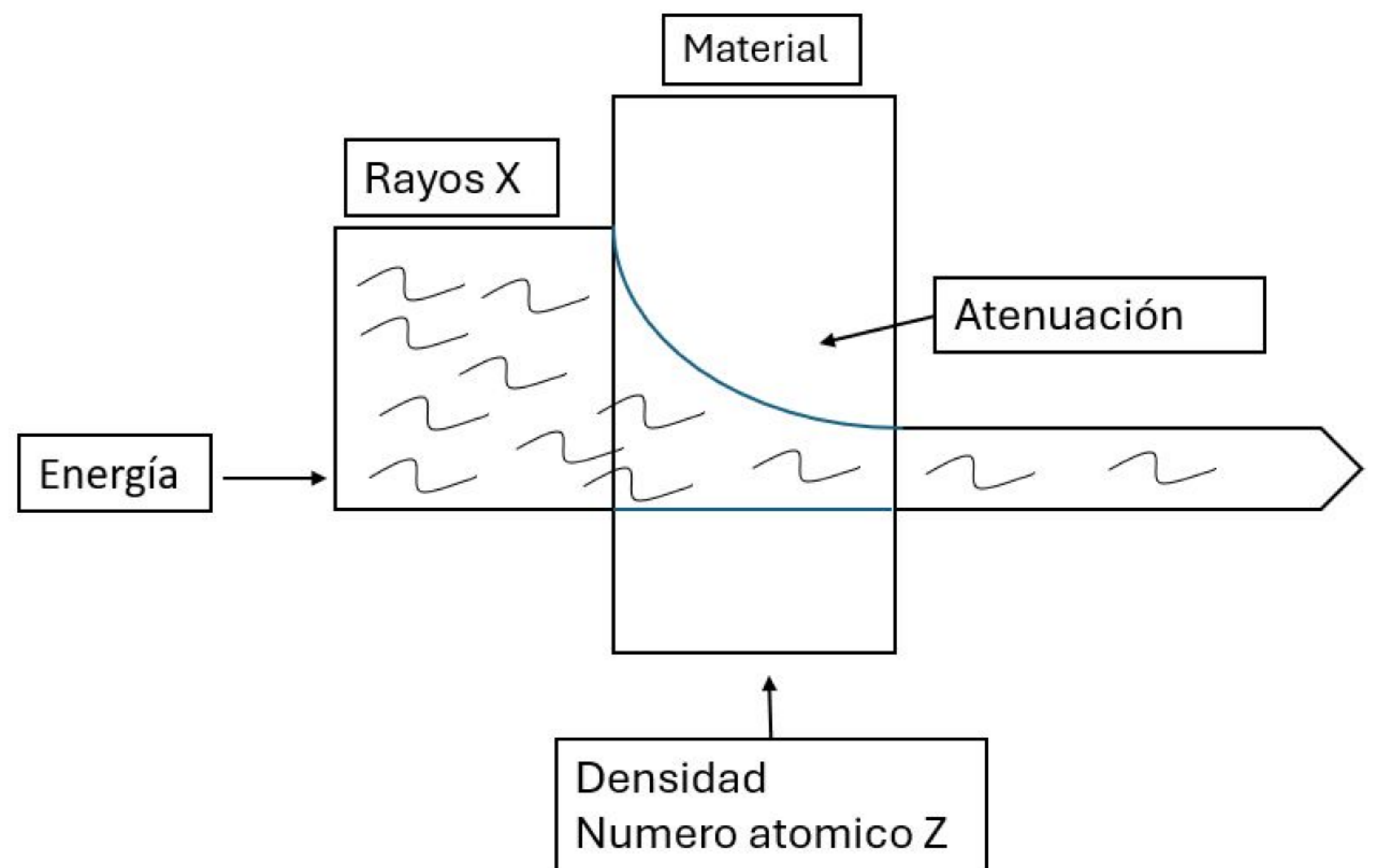
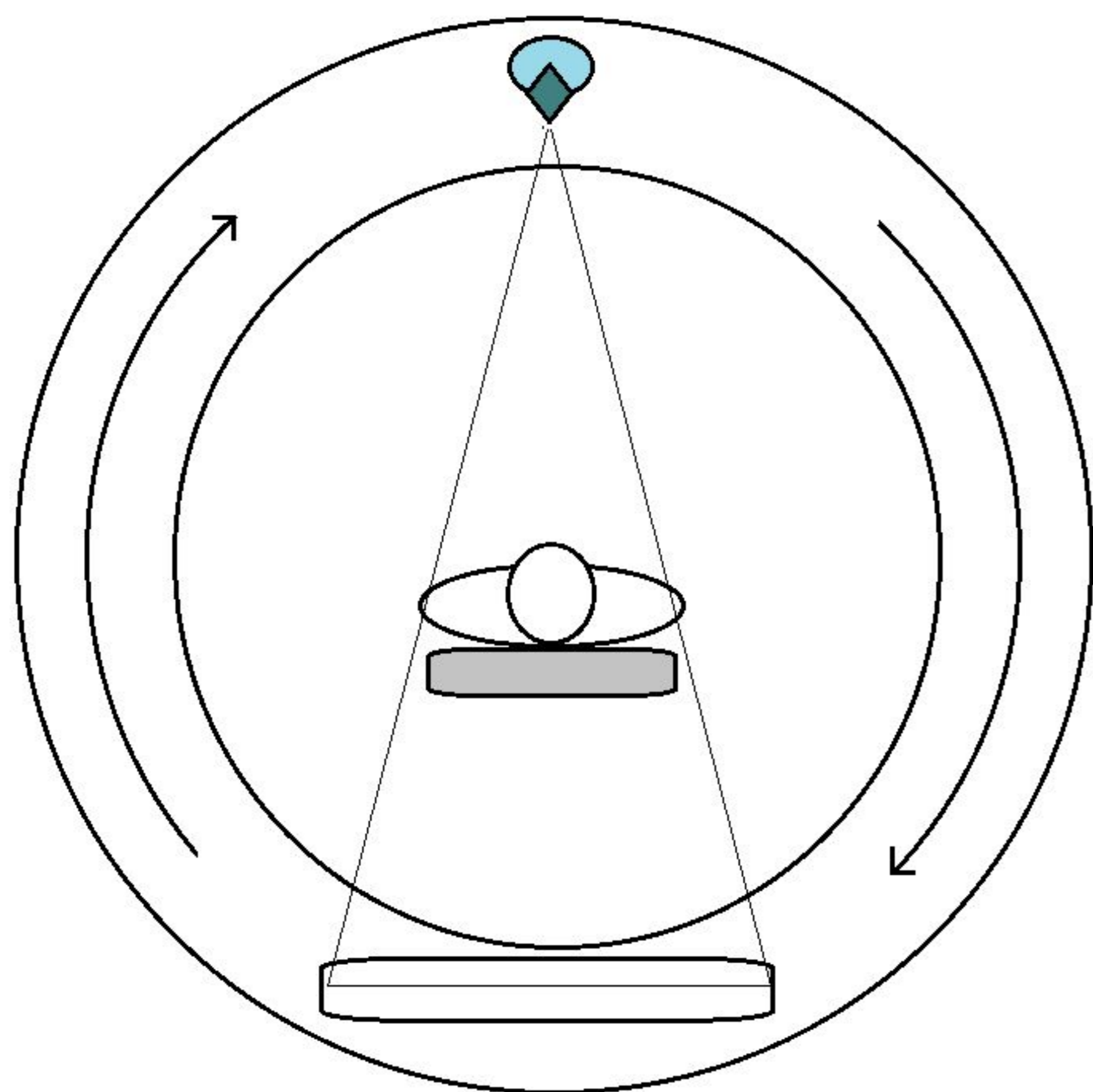
En general, aunque es una tecnología que se conoce desde hace años, está emergiendo con aplicaciones que llevan beneficios en varios escenarios de la neuroimagen ofreciendo un rendimiento diagnóstico mejorado y el potencial para reducir las dosis de agente de contraste y radiación.



# PRINCIPIOS FISICOS Y TECNICOS - TCSE

En la TC convencional o de energía única (SE), la imagen se genera a partir de la atenuación del haz de fotones (Rayos X) por diversos materiales que encuentra en su camino, como el músculo, la grasa, el líquido, el hueso, el metal o el contraste yodado intravenoso.

Cuando se expone a un haz de energía única, dos materiales diferentes pueden tener el mismo valor de atenuación. La atenuación del haz de rayos X depende de la energía del haz de rayos X (kVp). de la densidad (d) y el número atómico (Z) del material que atenúa.



La TC-SE determina la atenuación del tejido que se mide en unidades Hounsfield (HU) o números de TC, los valores obtenidos de una transformación lineal del coeficiente de atenuación del material en cada vóxel.

$$HU = 1000 \times \frac{\mu - \mu_{\text{water}}}{\mu_{\text{water}} - \mu_{\text{air}}}$$



Es difícil diferenciar entre diferentes tipos de tejidos, ya que el coeficiente de atenuación lineal no es único para ningún material dado. Dos materiales con atenuaciones similares tendrán HU similares, a pesar de tener diferente Z.

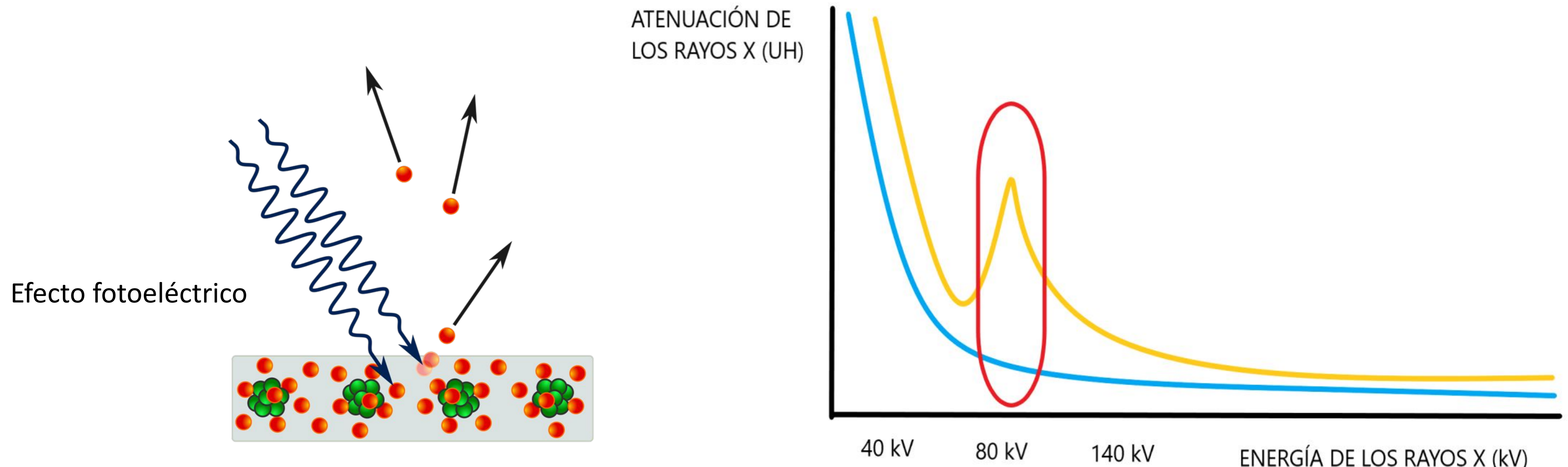


## PRINCIPIOS FISICOS - Efecto fotoeléctrico vs Compton

El fenómeno de Compton se caracteriza por el incremento en la longitud de onda de un fotón tras colisionar con un electrón libre, perdiendo así una fracción de su energía inicial.

Si la energía del fotón es suficiente para superar la energía de enlace del electrón en la capa más externa del átomo, se produce el efecto fotoeléctrico.

- En contextos de alta energía, la interacción de Compton suele ser predominante, mientras que, en el régimen de bajas energías, el efecto fotoeléctrico es más relevante.



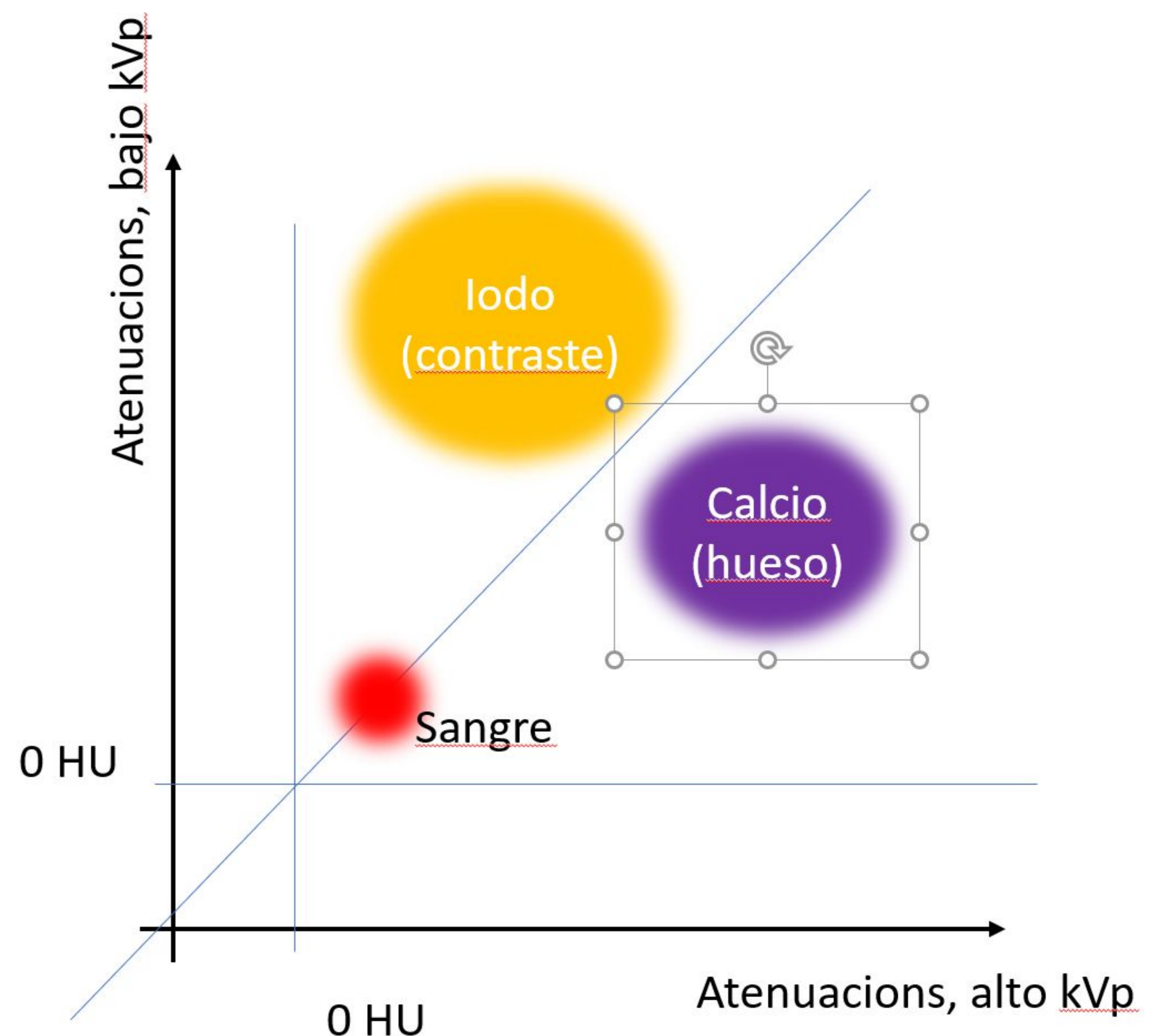
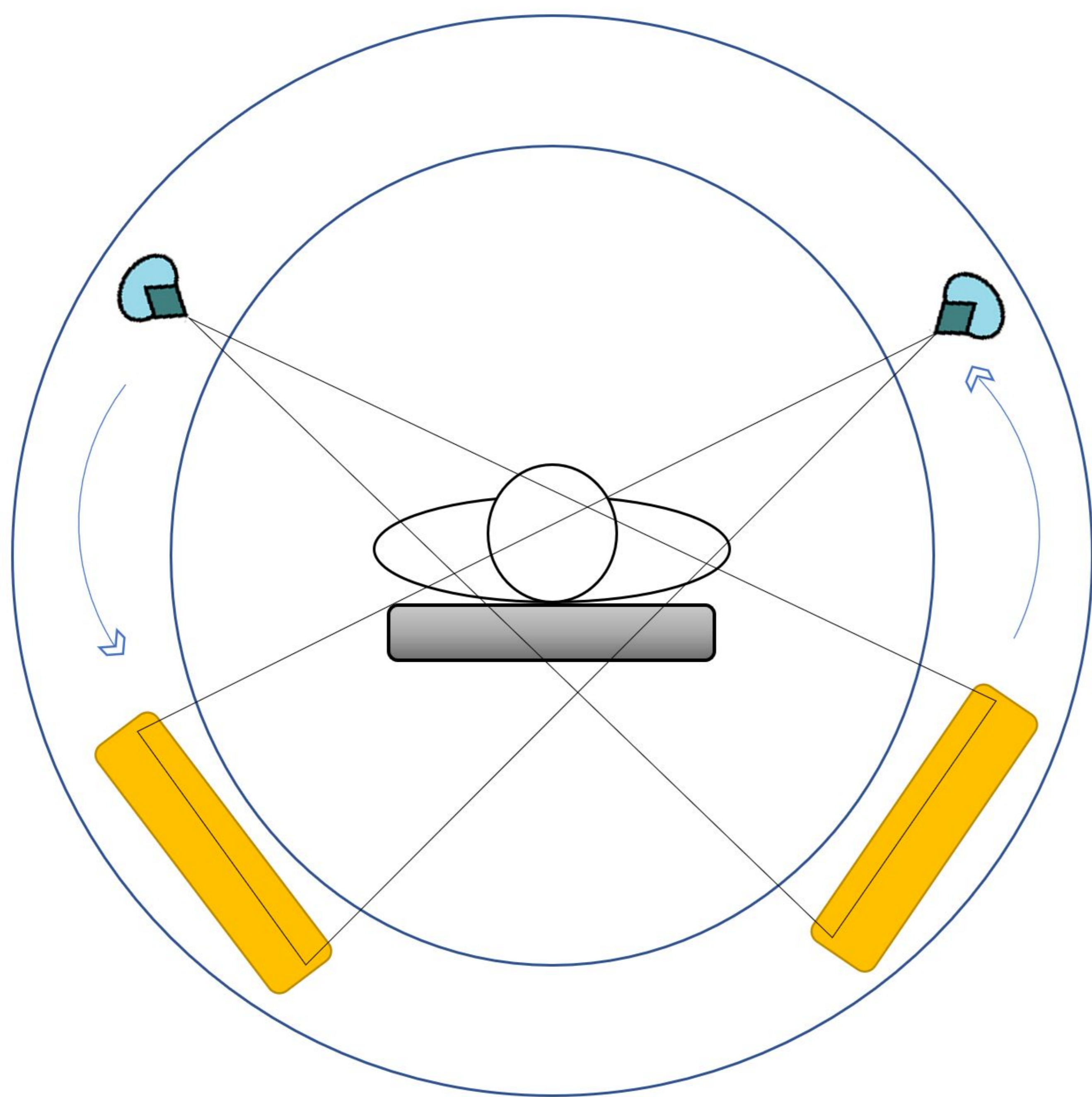
Los elementos de números atómicos elevados, tales como el Yodo y el Calcio, exhiben una mayor atenuación fotoeléctrica al ser expuestos a rayos X de baja energía.

- Bajo condiciones de irradiación con rayos X de 80 Kv, el calcio y el yodo muestran una absorción energética superior a la esperada debido a la preeminencia del efecto fotoeléctrico.
- Por otro lado, cuando estos elementos se exponen a rayos X de 140 Kv, la absorción energética se ajusta a los valores anticipados, lo cual se atribuye a la predominancia de la interacción de Compton.

## PRINCIPIOS FISICOS – TECNICA “dual source”

La TCDE es una técnica de adquisición de imágenes que utiliza dos niveles de energía de Rayos X a la misma vez y que puede diferenciar materiales según su respuesta a los diferentes niveles de energía.

Estas diferencias en la atenuación a dos energías diferentes se pueden utilizar para identificar y **caracterizar los materiales** individualmente.



Así es posible no solo un análisis morfológica de las imágenes (como en la TCSE), sino también la detección y caracterización de distintos elementos químicos, como calcio y yodo, gracias al diferente comportamiento en diferentes niveles de energías.

No todos los materiales se pueden distinguir. Algunos elementos químicos como el aire, el agua y la grasa no experimentan cambios significativos en su atenuación a diferentes energías.

## Técnica De Adquisición en nuestro centro

Las exploraciones DECT se han realizado en un escáner con tubo de rayos X de doble fuente de última generación (SOMATOM Force; Siemens Healthcare, Alemania) con combinación de dos potenciales estándar de adquisición: 80 y 140 kV.

Normalmente las reconstrucciones de 70 kVp de la DE son equivalentes a las de 120kV de los escáner SE, y se utilizan para el diagnóstico rutinario.

Se utilizó el software Syngo.via (Siemens Healthcare, Siemens Healthineers) para el postprocesamiento de las imágenes de adquisición y para generar una amplia variedad de reconstrucciones, como:

- VMI (Virtual Monoenergetic Imaging),
- VNC (Corrección de Iodo),
- eliminación de hueso,
- imágenes mixtas,
- mapas de yodo y agua fusionadas.
- ...otras como mapas Rho/Z



Se muestran las imágenes más representativas para mostrar el impacto que la tomografía computarizada de doble energía tuvo en el caso específico del paciente.

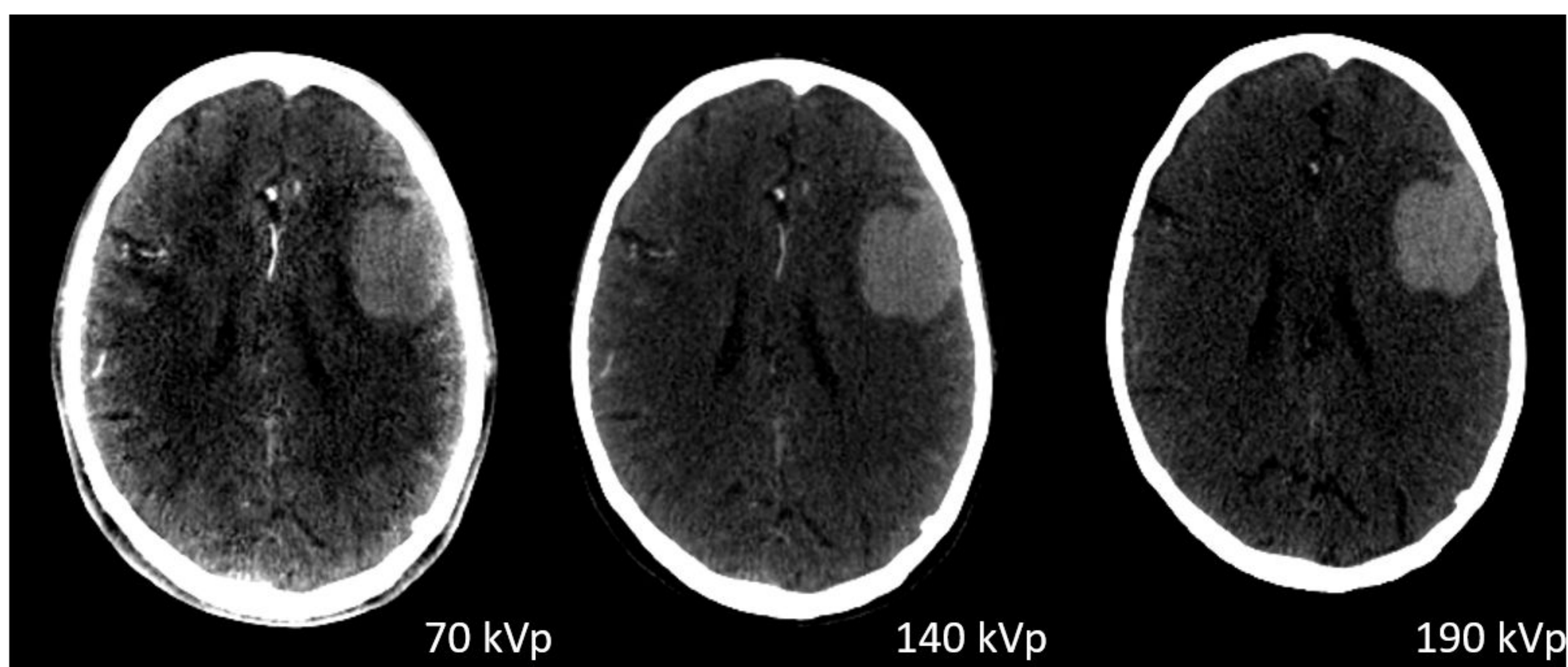
Cada aplicación clínica necesita su diferente técnica de reconstrucción y el software facilita la elección poniendo automáticamente la reconstrucción correcta.



## Postprocesamiento de Imágenes

La TCDE ofrece diversas opciones y técnicas de post-procesamiento. Entre las opciones disponibles, se encuentran:

**Imágenes Virtuales Mono Energéticas (VMI):** Mediante algoritmos matemáticos, es posible reconstruir imágenes a cualquier nivel de energía entre los dos niveles de energía hasta los 190 kVp, permitiendo la optimización de imágenes en base a la aplicación clínica. Las imágenes de baja energía mejoran la visualización del contraste yodado y la relación contraste/ruido, mientras que las reconstrucciones de alta energía reducen artefactos generados por componentes metálicos. El yodo no realzará bien a niveles altos de energía.



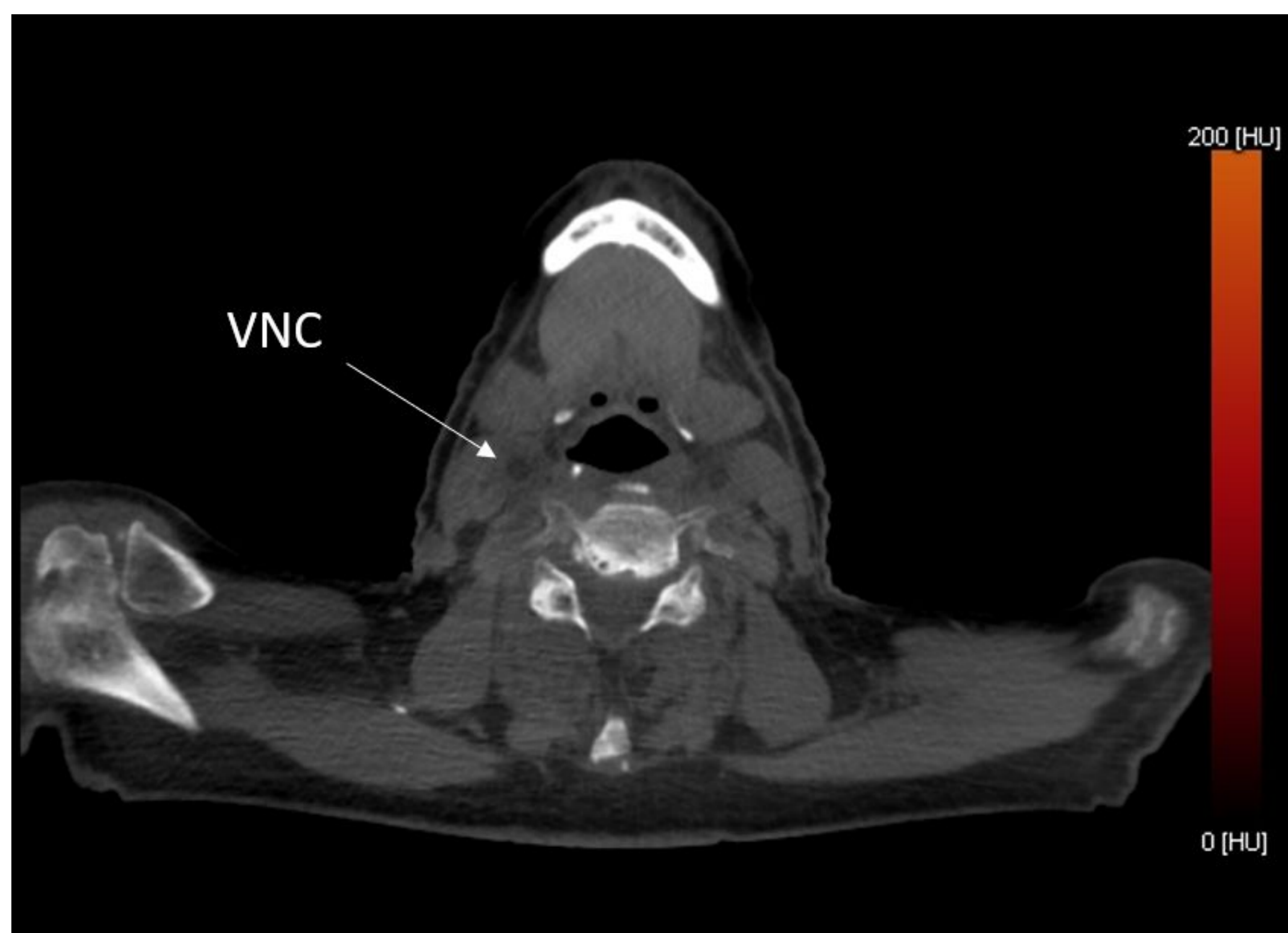
**Imágenes Mixtas o Ponderadas:** Se generan combinando un promedio de los dos conjuntos de datos de energía, lo que resulta en una imagen que simula las convencionales de energía única, utilizadas comúnmente para interpretación diagnóstica rutinaria.





# Postprocesamiento de Imágenes

**Caracterización de Materiales:** La DECT sobresale en la identificación y caracterización de materiales específicos dentro de las imágenes, permitiendo la generación de imágenes que muestran la distribución de materiales particulares, como el yodo o el calcio, gracias a algoritmos de descomposición de dos o tres materiales.



**Técnicas de Postprocesamiento Avanzadas:** Incluyen la capacidad de generar imágenes con sustracción del material de interés (como estudios virtuales sin realce mediante sustracción de yodo o VNC), imágenes que muestran únicamente el material de interés (mapas de yodo, por ejemplo) o combinaciones de estas (estudio virtual sin realce con un mapa de yodo superpuesto).

Además, es posible minimizar artefactos, como en imágenes angiográficas con sustracción de calcio y proporcionar información cuantitativa sobre la distribución del calcio, por una evaluación detallada y cuantitativa de la placa aterosclerótica.

# Aplicaciones de la DECT en Neurorradiología

## Hemorragia Intracraneal

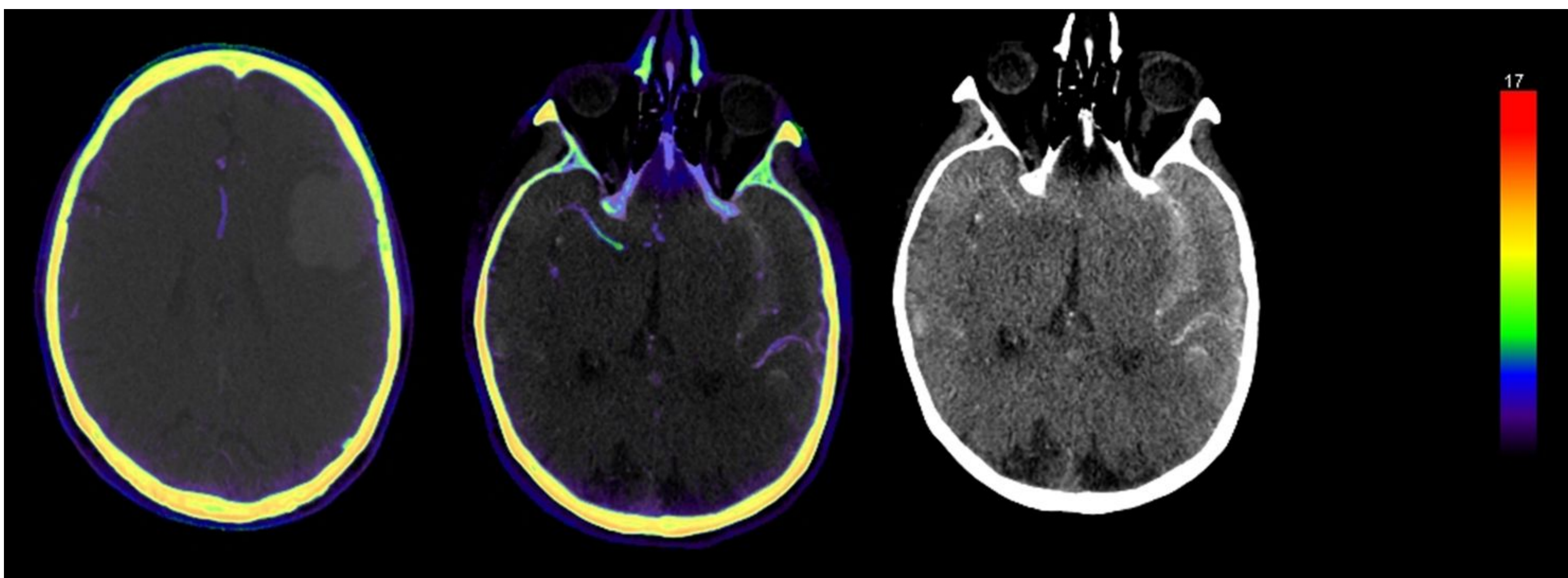
Caracterización de materiales: diferenciación entre hemorragia intracraneal y calcio

Caracterización de materiales: diferenciación entre yodo y hemorragia.

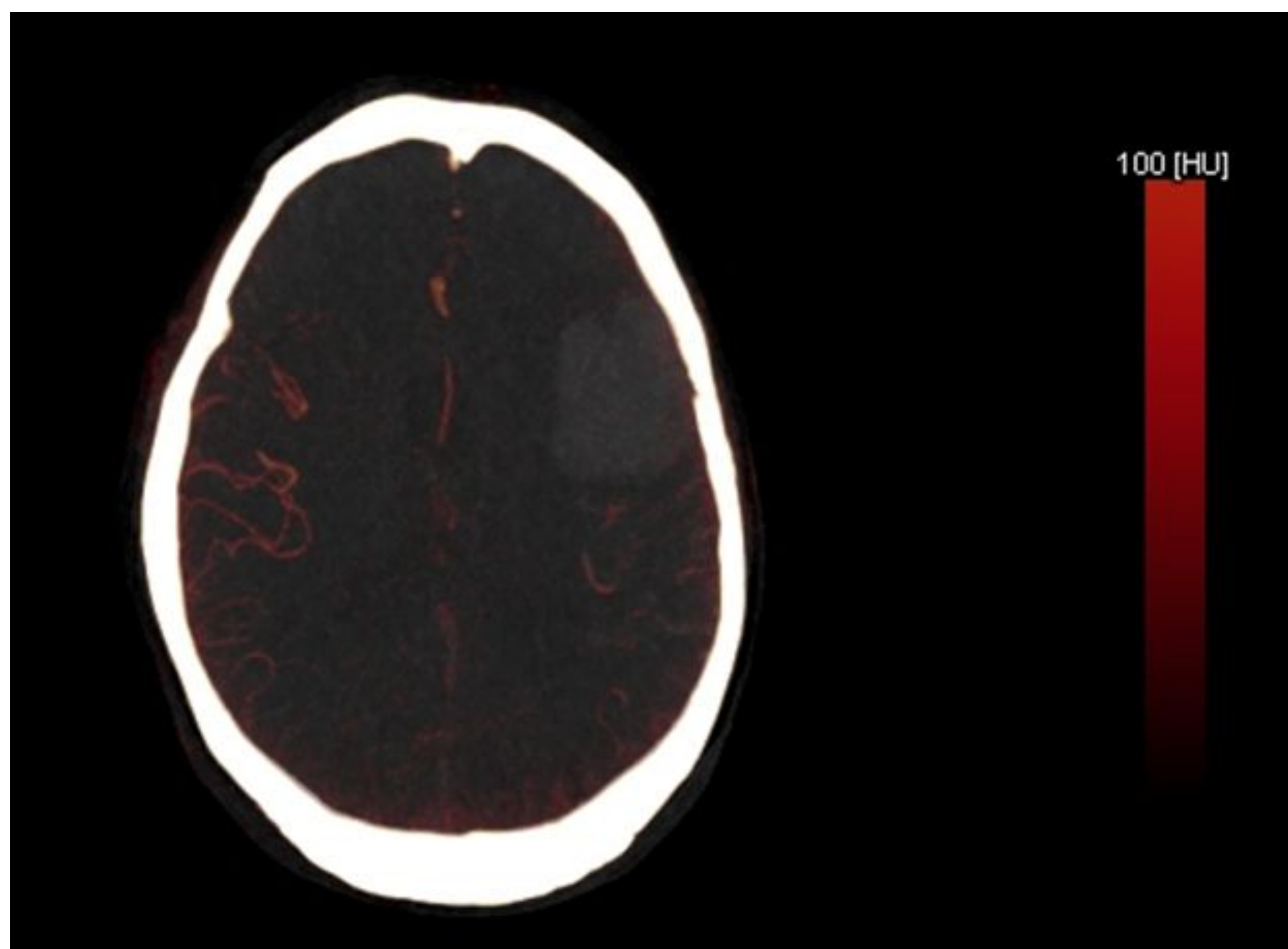
Sustracción ósea para mejorar la identificación de las estructuras adyacentes.

### Caso Típico:

Paciente en empeoramiento después de un tratamiento angiográfico, piden TCDE para evaluar la posibilidad de sangrado después del tratamiento. En la fase angiográfica se puede descartar la presencia de yodo en el contexto del sangrado post-tratamiento.



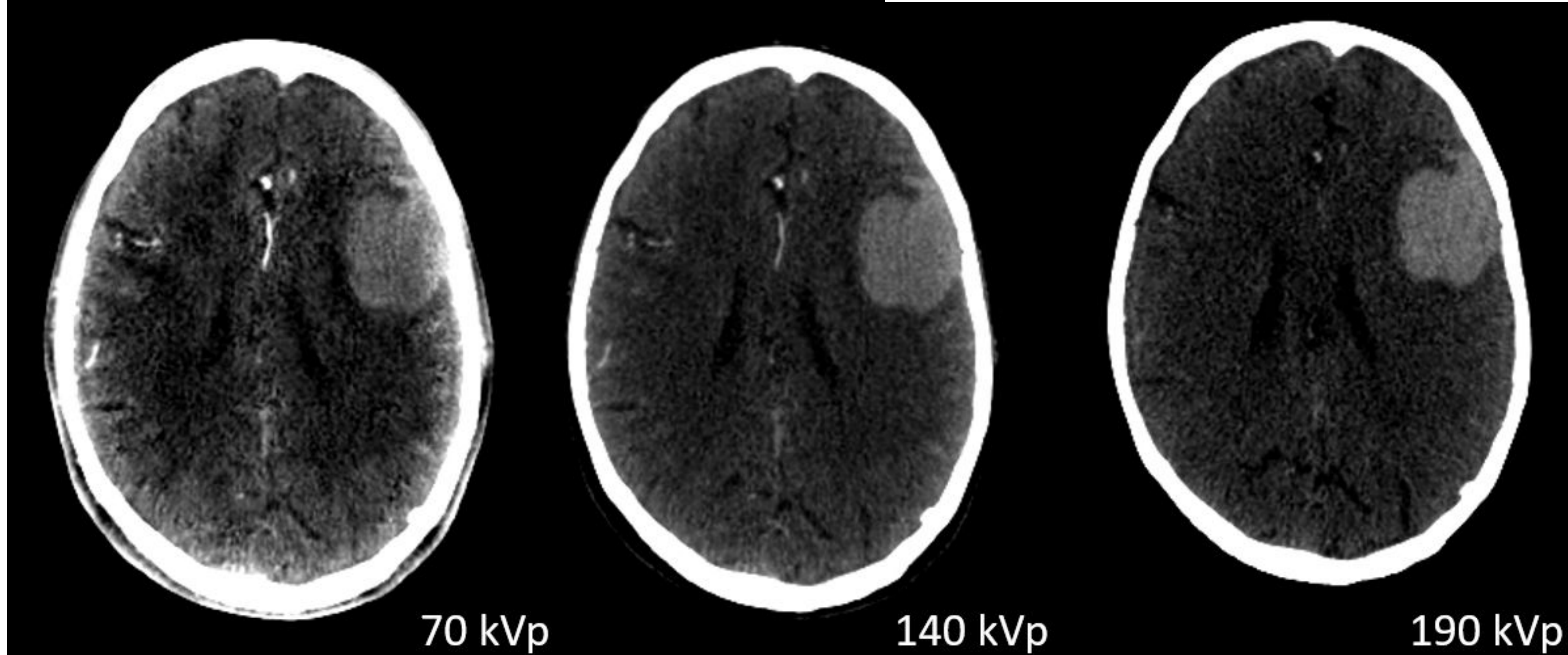
# Aplicaciones de la DECT en Neurorradiología



## Caso Típico:

En varias VMI a diferentes niveles de energía la masa permanece hiperdensa -> Sangre.

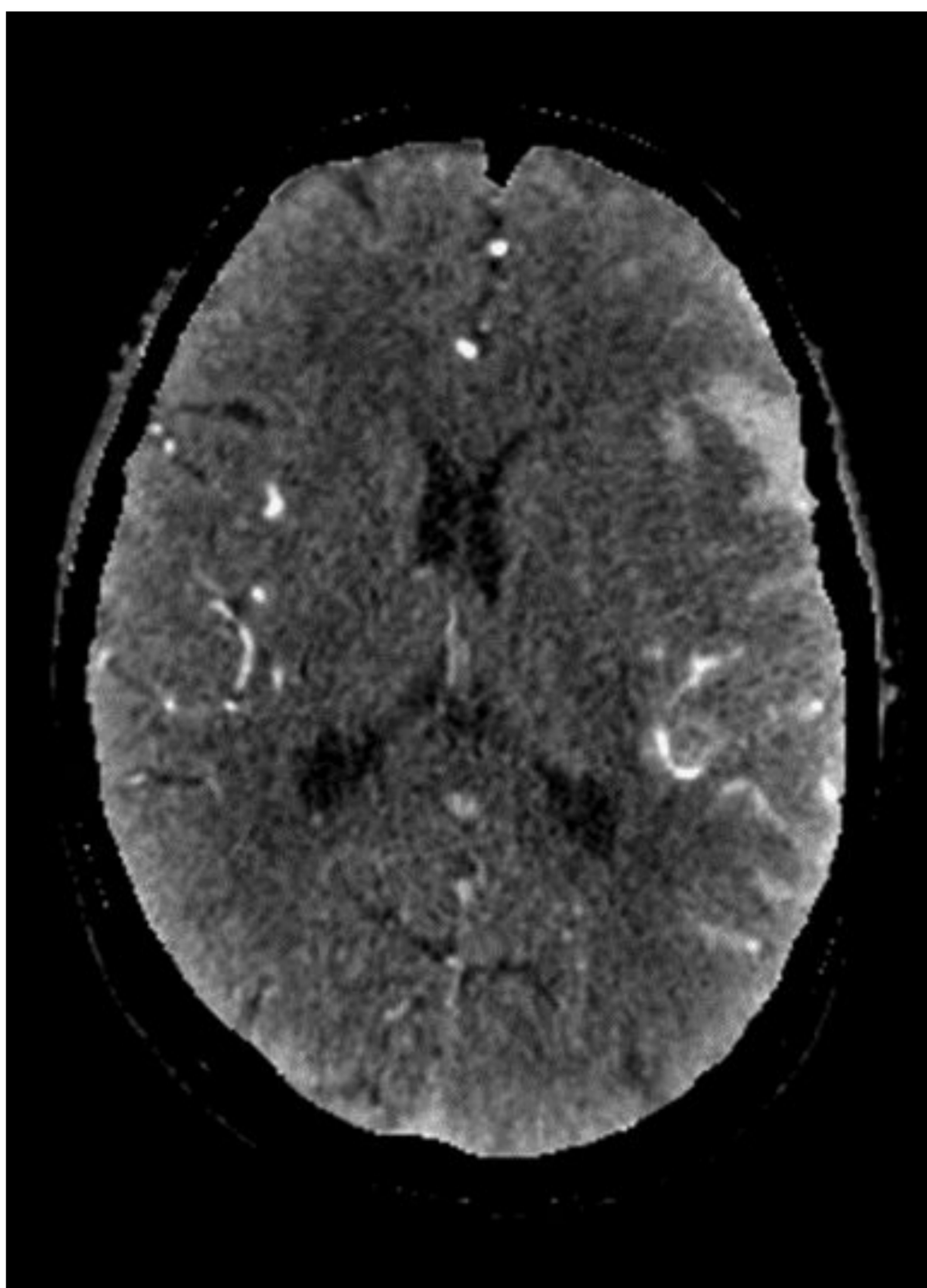
Es posible descartar sangrado activo en el contexto de un hematoma intraparenquimatoso gracias a la superposición de mapas de yodo.



# Aplicaciones de la DECT en Neurorradiología

## Imágenes de Accidente Cerebrovascular

La DECT puede mejorar la evaluación del accidente cerebrovascular agudo, mejorando la visualización de los vasos intracraneales tanto en el estudio angio-TC, como en la venografía-TC usando técnicas de sustracción ósea de energía dual.



## Imágenes en traumatismo

- La DECT ha demostrado valor en el contexto de la patología traumática, permitiendo métodos de eliminación del calcio para evaluar la atenuación de las estructuras subyacentes y para detectar componentes de edema o hemorragia.



# Aplicaciones de la DECT en Neurorradiología

## Caso Típico

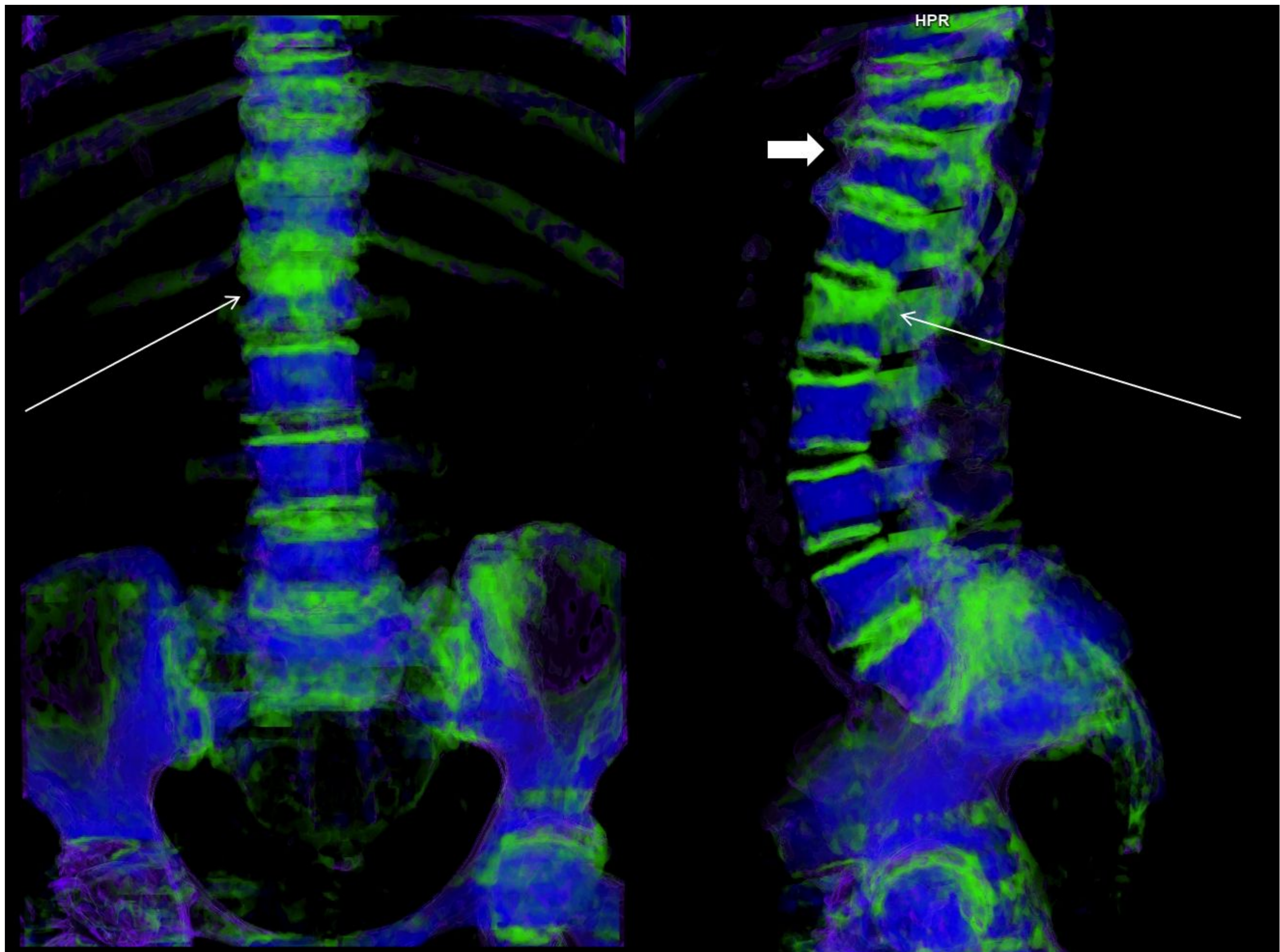


Paciente con clínica de dolor dorso-lumbar y precedentes oncológicos.

Comparación de imágenes de TC y TCDE: En la TC no se observan una pérdida inferior al 25% de la altura vertebral anterior de D11 y de L1 por probable fracturas crónicas. No se evidencia compromiso de los muros posteriores

# Aplicaciones de la DECT en Neurorradiología

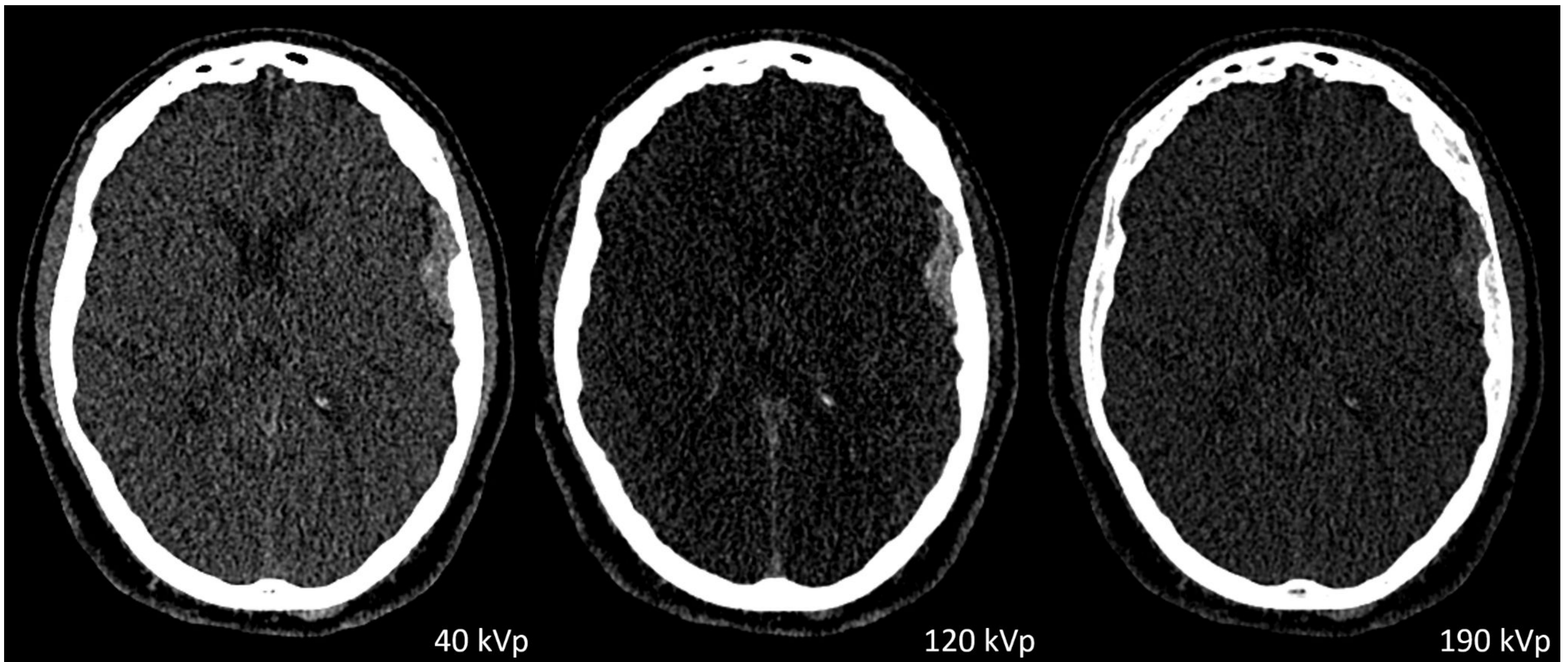
## Caso Típico



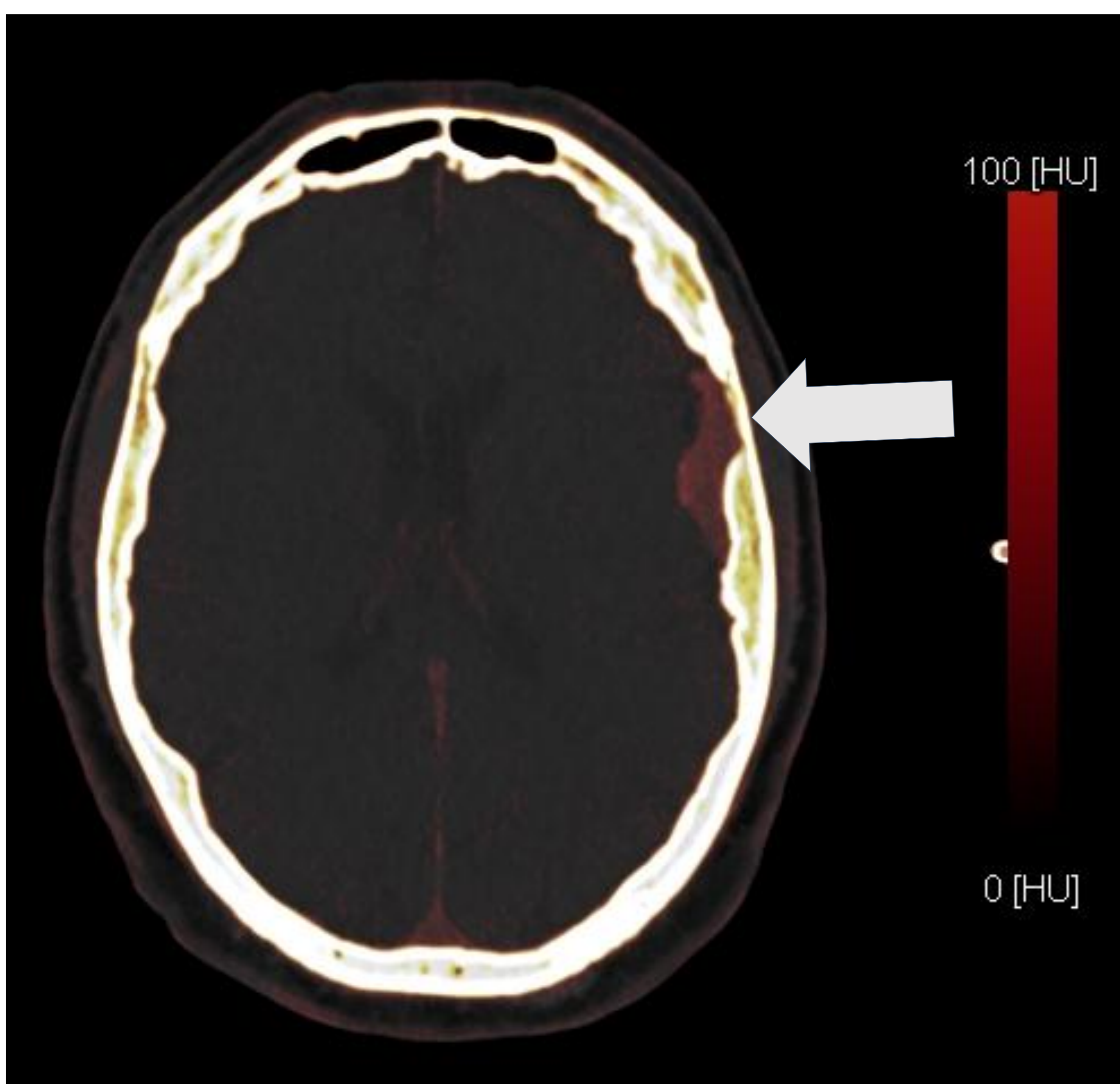
En la TCDE, gracias a la fusión con mapas de agua se pueden generar imágenes que evidencian el edema óseo asociado en el aspecto superior del cuerpo de L1, mientras la fractura de D11 parece crónica, sin apreciar signos de edema óseo.

La TCDE puede resultar útil para diferenciar fracturas vertebrales crónicas y agudas.

## Caso Típico



Paciente con evento arrítmico recibe un tratamiento endovascular (oclusión Cdx). Debido a un traumatismo posterior al evento, se realizó una TCDE para descartar hemorragias que reveló material hiperdenso extraaxial frontal izquierdo en todas las VMI.



Utilizando el mapa de iodo, el DECT detecta un comportamiento similar al contraste y permite direccionar el diagnóstico hacia meningioma, descartando la presencia de sangre extra-axial.

# Conclusiones

A continuación, se resumen los puntos clave y las lecciones principales aprendidas:

- **Principios Básicos y Técnicas de Postprocesamiento de la DECT:** la DECT permite la adquisición de imágenes utilizando dos espectros de energía de rayos X diferentes, lo que facilita la diferenciación material basada en sus características de atenuación dependientes de la energía. Las técnicas de postprocesamiento, como las imágenes Virtuales Mono Energéticas (VMI) y la descomposición de materiales, permiten una visualización optimizada y una caracterización más precisa de los tejidos.
- **Aplicaciones Clínicas en Neurorradiología:** diferenciación entre hemorragia intracraneal, calcio y yodo, lo que mejora significativamente la precisión diagnóstica en casos complejos. Evaluación mejorada de accidentes cerebrovasculares y traumas. Reducción de artefactos de endurecimiento del haz. Caracterización de tumores, permitiendo una distinción más nítida entre hemorragia y realce de contraste.
- **Ventajas de la DECT:** accesibilidad y capacidades de caracterización de materiales superiores en comparación con las técnicas convencionales TC. Aunque la DECT implica consideraciones de costes, su uso estratégico puede optimizar la eficacia de los diagnósticos..





# Bibliografía

1. Tran NA, Sodickson AD, Gupta R, Potter CA. Clinical applications of dual-energy computed tomography in neuroradiology. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*. agosto 2022;43(4):280–92.
2. Gaddam DS, Dattwyler M, Fleiter TR, Bodanapally UK. Principles and Applications of Dual Energy Computed Tomography in Neuroradiology. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*. octubre 2021;42(5):418–33.
3. Gibney B, Redmond CE, Byrne D, Mathur S, Murray N. A Review of the Applications of Dual-Energy CT in Acute Neuroimaging. *Can Assoc Radiol J*. agosto 2020;71(3):253–65.
4. Odedra D, Narayanasamy S, Sabongui S, Priya S, Krishna S, Sheikh A. Dual Energy CT Physics—A Primer for the Emergency Radiologist. *Front Radiol*. 24 febbraio 2022;2:820430.
5. Risto Grkovski, Risto Grkovski, Leyla Acu, Leyla Acu, Uzeyir Ahmadli, Uzeyir Ahmadli, et al. A Novel Dual-Energy CT Method for Detection and Differentiation of Intracerebral Hemorrhage From Contrast Extravasation in Stroke Patients After Endovascular Thrombectomy. *Clinical neuroradiology*. 12 agosto 2022;
6. Chong Hyun Suh, Suh CH, Seong Jong Yun, Yun SJ, Wook Jin, Jin W, et al. Diagnostic performance of dual-energy CT for the detection of bone marrow oedema: a systematic review and meta-analysis. *European Radiology*. 20 aprile 2018;28(10):4182–94.
7. Mangesius S, Janjic T, Steiger R, Haider L, Rehwald R, Knoflach M, et al. Dual-energy computed tomography in acute ischemic stroke: state-of-the-art. *Eur Radiol*. giugno 2021;31(6):4138–47.
8. Risto Grkovski, Leyla Acu, Uzeyir Ahmadli, Dominik Nakhostin, Patrick Thurner, Lorenz Wacht, et al. Dual-Energy Computed Tomography in Stroke Imaging. 2 marzo 2023;33(3):747–54.
9. Choi Y, Shin NY, Jang J, Ahn KJ, Kim B soo. Dual-energy CT for differentiating acute intracranial hemorrhage from contrast staining or calcification: a meta-analysis. *Neuroradiology*. dicembre 2020;62(12):1617–26.
10. Van Ommen F, Dankbaar JW, Zhu G, Wolman DN, Heit JJ, Kauw F, et al. Virtual monochromatic dual-energy CT reconstructions improve detection of cerebral infarct in patients with suspicion of stroke. *Neuroradiology*. gennaio 2021;63(1):41–9.

