



09. 2024



---

734

**IMPORTANCIA DEL CONTROL DE CALIDAD  
HUMANO EN EL PROCESAMIENTO  
AUTOMATIZADO DE LA PERFUSIÓN CEREBRAL  
POR TC EN EL ACV ISQUÉMICO AGUDO**

**DRA. FLORENCIA FERRAUDO, DR. HERNAN CHAVES**

Departamento de Diagnóstico por Imágenes, FLENI  
Buenos Aires, Argentina

[fferraudofleni.org.ar](mailto:fferraudofleni.org.ar)

---



---

## OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

- Definir los conceptos claves de la perfusión cerebral por TC.
  - Describir el protocolo de adquisición utilizado en nuestra Institución.
  - Establecer una guía breve y práctica para el control de calidad en el procesamiento automatizado de la perfusión cerebral por TC en el ACV isquémico agudo utilizando RAPID AI (IschemaView, Menlo Park, CA, EEUU).
  - Caracterizar y ejemplificar con casos clínicos los errores observados en dicho procesamiento automatizado, en pacientes evaluados en nuestra Institución.
-



---

## REVISIÓN DEL TEMA

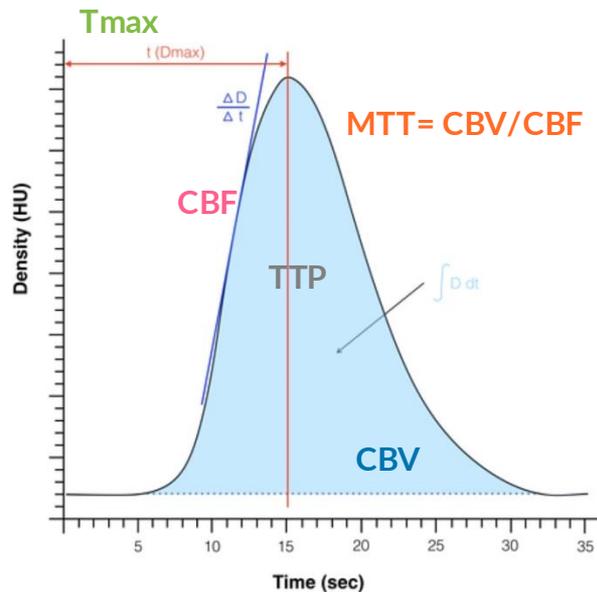
- La trombectomía mecánica revolucionó el tratamiento del accidente cerebrovascular (ACV) isquémico agudo.
- En la ventana terapéutica extendida (entre 6 y 24 horas del inicio de los síntomas) los candidatos a trombectomía mecánica son seleccionados debido al riesgo de daño por reperfusión. Para ello se emplean criterios clínicos y radiológicos, teniendo la perfusión por TC un rol fundamental. Sin embargo, su uso se encuentra limitado por la necesidad de realizar un procesamiento manual.
- A fin de garantizar una interpretación eficiente y estandarizada, la mayoría de los ensayos clínicos y unidades de ACV, comenzaron a emplear software de procesamiento de perfusión automatizados. No obstante, la sencilla interfaz de estos software puede enmascarar errores relacionados con la adquisición y procesamiento de las imágenes.





- La perfusión por TC consiste en la obtención de imágenes durante el wash-in y wash-out de un bolo endovenoso de agente de contraste yodado.
- Luego de la adquisición de datos, las imágenes son transferidas a una estación de trabajo de posprocesamiento, donde un software dedicado permite la creación de mapas paramétricos para la interpretación clínica.
- Las curvas de atenuación/tiempo son creadas a partir del wash-in/wash-out del material de contraste en cada píxel. Esto permite el cálculo de los parámetros hemodinámicos ( $T_{max}$ , MTT, CBF, CBV y TTP) y la creación de mapas de perfusión.





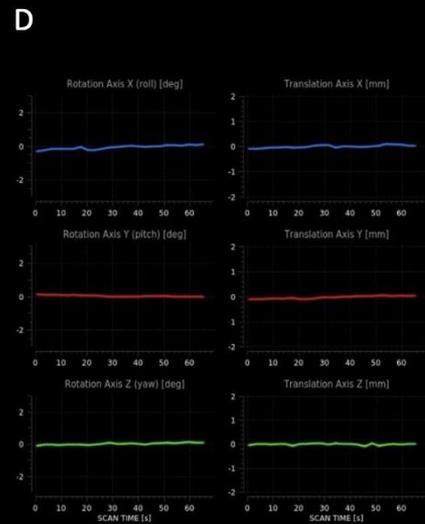
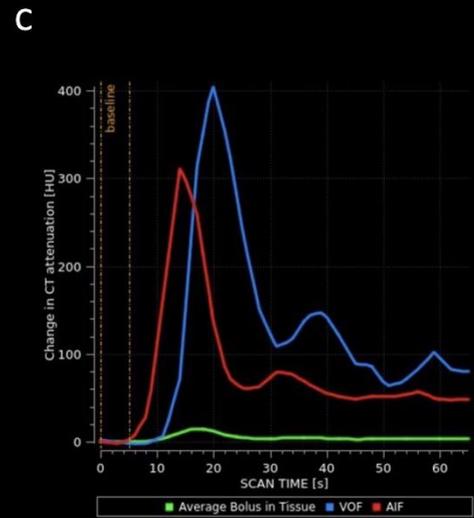
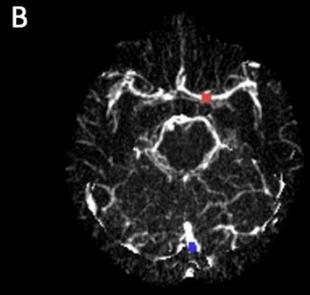
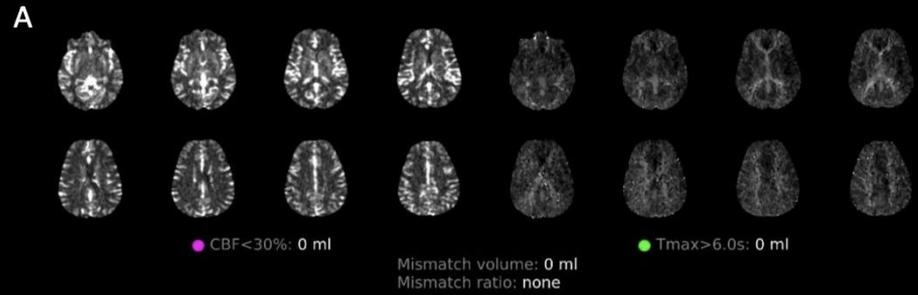
Graph courtesy of Craig Hacking, Radiopaedia.org, rID: 70313

- Tmax (Tiempo hasta el máximo):** tiempo transcurrido desde el inicio de la adquisición hasta la máxima atenuación del bolo de contraste en cada vóxel. Es un valor absoluto expresado en segundos, susceptible a una variedad de distorsiones, particularmente en el contexto de anomalías vasculares de entrada.
- MTT (Tiempo de Tránsito Medio):** tiempo promedio que necesita el bolo de contraste para atravesar el vóxel. Se mide en segundos y es inversamente proporcional a la presión de perfusión cerebral. Su valor en el tejido normal es de 4-5 segundos.
- CBF (Flujo Sanguíneo Cerebral):** ml de sangre que difunden en 100g de parénquima encefálico por minuto. En condiciones normales la sustancia gris (80ml/100g/min) tiene un CBF mayor que la sustancia blanca (20ml/100g/min).
- CBV (Volumen Sanguíneo Cerebral):** volumen sanguíneo en ml por cada 100 g de tejido cerebral. Corresponde al área bajo la curva. En condiciones normales la sustancia gris (2,5ml/100g) tiene un CBV mayor que la sustancia blanca (1,7ml/100g).
- TTP (Tiempo hasta el pico):** tiempo en el que la concentración de contraste alcanza su máximo.



## PROTOCOLO BÁSICO DE ADQUISICIÓN EN NUESTRA INSTITUCIÓN

- TC de encéfalo simple.
- AngioTC de vasos de cabeza y cuello.
- **Perfusión por TC:**
  - Inyección de 35-50ml de contraste yodado en un bolo IV con un flujo de 4-5 ml/seg a través de una vía periférica de gran calibre.
  - La adquisición debe estar centrada en el polígono de Willis, a partir de los 5-7 seg de la administración del bolo a 80 kVp cada 1-3 seg, durante al menos 60-70 segundos.
  - El software de procesamiento de perfusión automatizado mide la curva de atenuación automáticamente seleccionando una función de entrada arterial (AIF) y una función de flujo de salida venoso (VOF). Después de corregir el movimiento, utiliza la deconvolución circular para calcular el CBV relativo, MTT, Tmax y CBF (*Figura 1*).



**E**

- . TC de encéfalo sin contraste
- . ATC de vasos de cabeza y cuello
- . PTC
  - 35-50 ml de contraste yodado.
  - Flujo 4 a 5 ml/s.
  - Vía periférica de gran calibre.
  - Adquisición centrada en el polígono de Willis, a partir de los 5-7 segundos de la administración del bolo de contraste a 80 kVp cada 1-3 segundos, durante al menos 60-70 segundos.

**FIGURA 1:** Paciente femenina de 49 años. Análisis automatizado de perfusión sin alteraciones en el CBF y Tmax (A), adecuada selección del input arterial (AIF) y del output venoso (VOF) (B), curvas de perfusión arterial y venosa agudas que superan el umbral de 150 UH (C), movimiento despreciable sin necesidad de activación del algoritmo de corrección de movimiento (D). Protocolo de adquisición recomendado en el ACV isquémico agudo (E).



## PUNTOS CLAVES PARA EL CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESAMIENTO AUTOMATIZADO EN LA PERFUSIÓN CEREBRAL POR TC (RAPID AI)

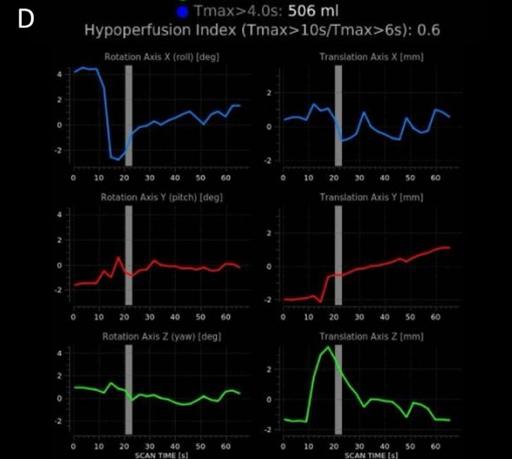
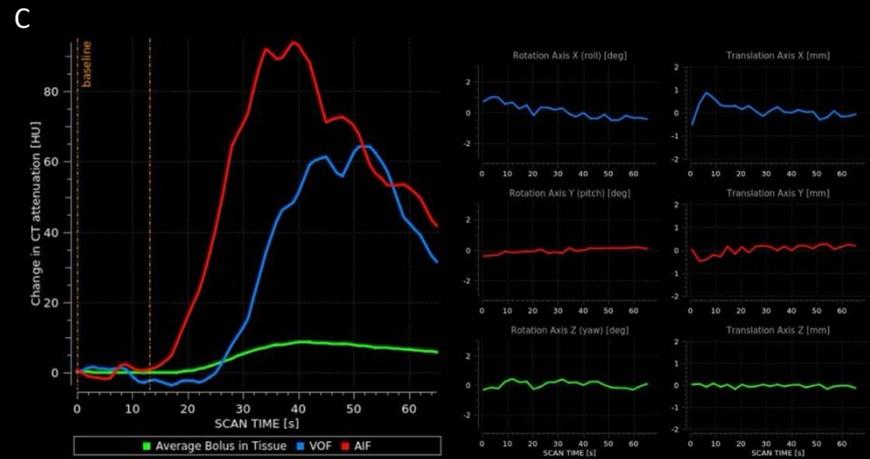
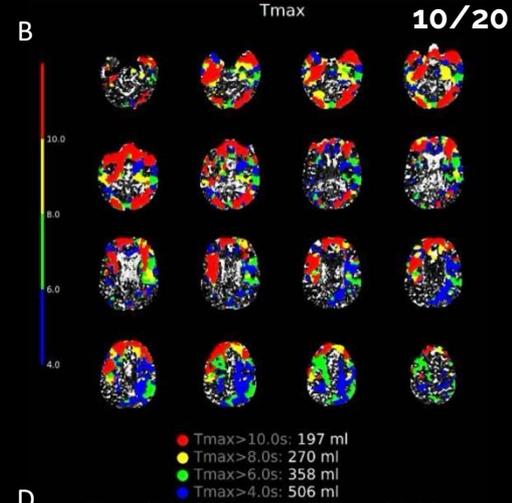
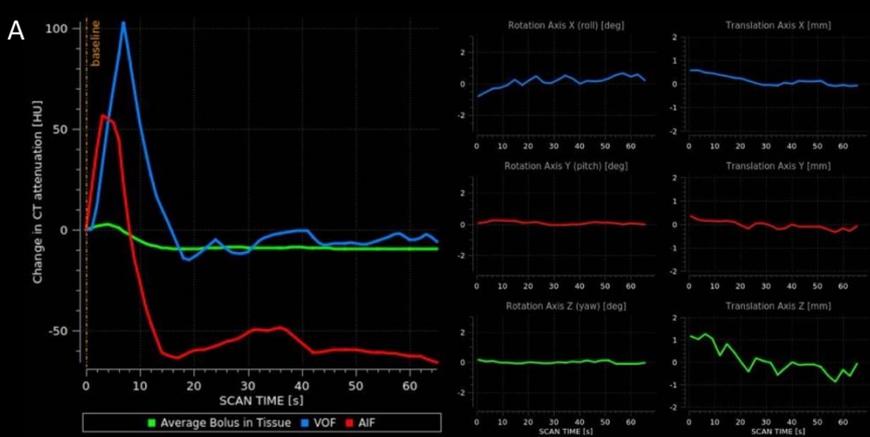
1. Evaluar el movimiento en las imágenes tras la inyección del bolo de contraste.
2. Evaluar la apariencia de las curvas arterial y venosa.
3. Evaluar la colocación del input arterial (AIF) y output venoso (VOF).
4. Determinar la presencia y el tamaño del área de *core* isquémico y/o penumbra.
5. Revisar la TC simple y AngioTC en busca de anomalías o lesiones incidentales así como causas de sub/sobreestimación de la isquemia.



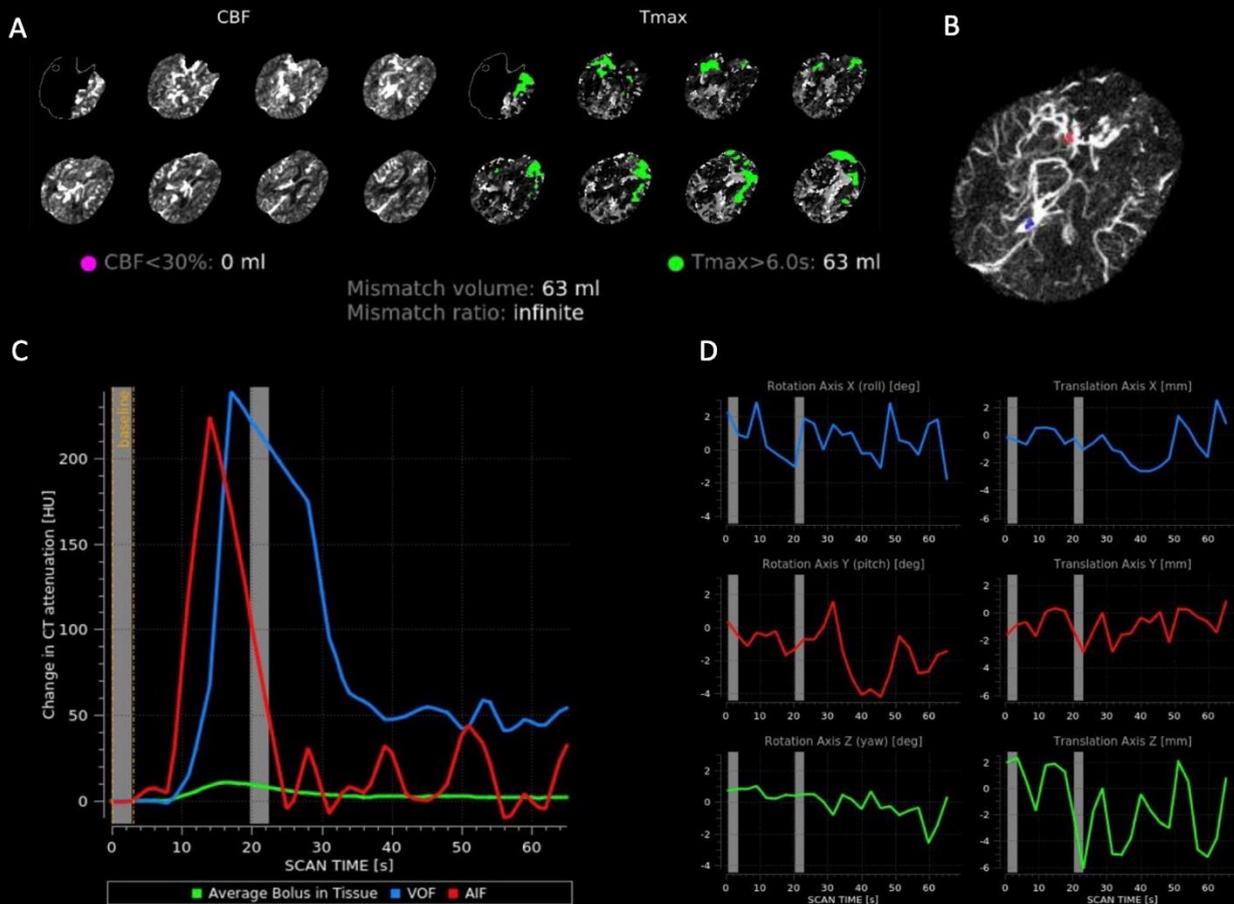
---

## 1) Evaluar el movimiento en las imágenes tras la inyección del bolo de contraste.

- El movimiento se puede confirmar evaluando los gráficos de rotación y traslación en los 3 ejes (x, y, z).
- Puede generar curvas poco profundas, con múltiples picos y ensanchadas (*Figura 2: A y C*), (*Figura 3*).
- Las excesivamente largas, pueden incluso, resultar trucas debido a su extensión más allá del tiempo de adquisición.
- Algunos movimientos del paciente pueden minimizarse mediante la activación automatizada del algoritmo de corrección, con la consecuente generación de mapas adecuados e información valorable.
- Cuando el movimiento es marcado, los mapas suelen presentar anomalías bilaterales, especialmente en el Tmax y MTT (*Figura 2: B y D*), (*Figura 3*).



**FIGURA 2:** Ejemplos de curvas anormales por movimiento (A y C). Anomalías bilaterales en los mapas Tmax (B), secundarias al movimiento (D).



**FIGURA 3:** Paciente masculino de 82 años. Análisis automatizado de perfusión con alteraciones en el CBF y Tmax (A), adecuada selección del input arterial (AIF) y del output venoso (VOF) (B), curvas de perfusión arterial y venosa aberrantes (C), marcado movimiento con activación del algoritmo de corrección incorporado al *software* (D).



---

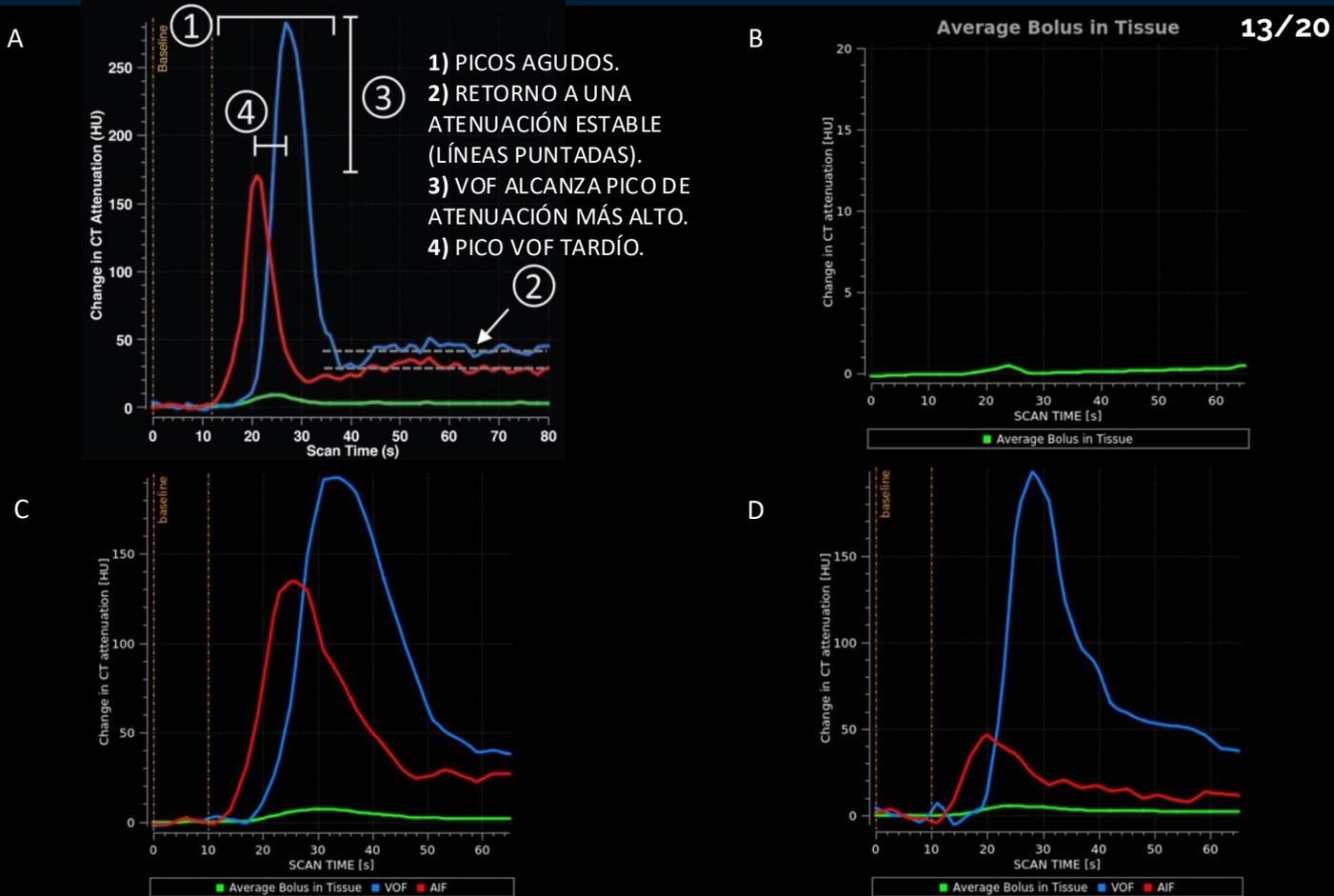
## 2) Evaluar la apariencia de las curvas arterial y venosa.

### Curvas normales:

- Implican la localización adecuada del AIF y el VOF.
- El pico arterial (rojo) debe alcanzar una atenuación temprana > 80 UH.
- La curva venosa debe ser más alta. Deberá acercarse a la línea de base de forma tardía sin llegar al punto inicial por la recirculación del contraste.
- El lavado del bolo debe ser completo. Cuando las exploraciones se terminan prematuramente, las curvas pueden resultar incompletas llegando a comprometer la precisión de los volúmenes Tmax y CBF.
- Si bien el RAPID muestra una tercera curva (verde), que es el bolo promedio en la curva tisular, generalmente no se utiliza en la interpretación rutinaria de los estudios (*Figura 4: A*).

### Curvas anormales:

- Los bolos deficientes con frecuencia se traducen en curvas de baja atenuación (*Figura 4: B*). Cuando el volumen de los mismos resulta insuficiente, pueden dar lugar a grandes penumbras bilaterales con *core* isquémicos pequeños.
  - Las curvas suelen verse afectadas además por otros factores como las alteraciones del gasto cardíaco (insuficiencia cardíaca, infarto, arritmias, etc.), la estenosis u oclusión de la carótida proximal con colateralización y la disección carotídea o aórtica (*Figura 4: C y D*).
-



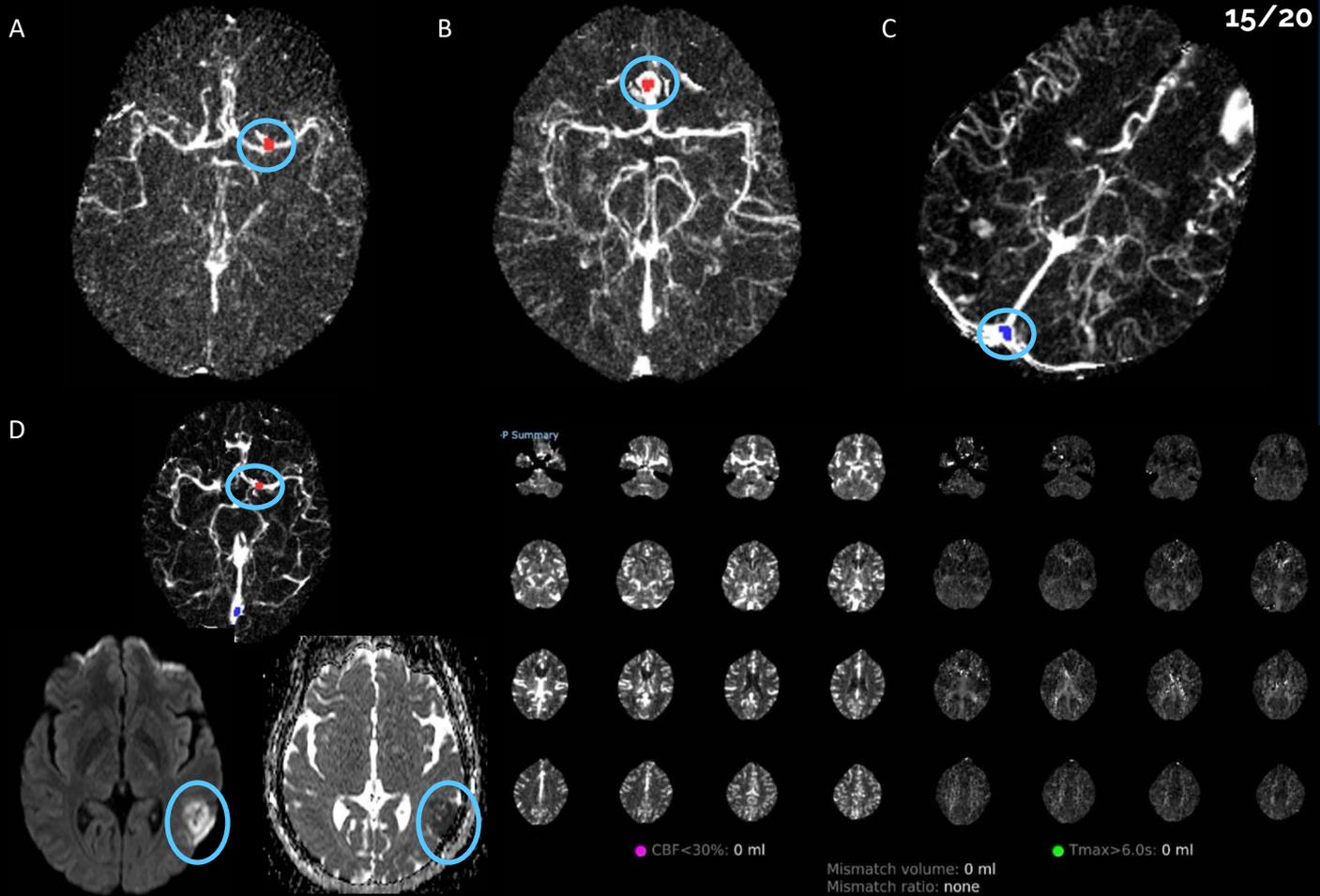
**FIGURA 4:** Curva de aspecto normal (A). Paciente masculino de 69 años con edema cerebral difuso sin progresión supraclinoidea del contraste (B). Paciente masculino de 39 años con miocardiopatía dilatada. Los picos arterial y venoso resultan romos (C). Paciente masculino de 84 años con curva arterial alterada por aleteo auricular A (D).



---

### 3) Evaluar la colocación del input arterial (AIF) y output venoso (VOF).

- La localización óptima del AIF es en una arteria perpendicular al plano axial y contralateral al sitio de la anomalía de perfusión (cuando está presente). Idealmente en la porción distal de la arteria carótida interna (ACI), el segmento proximal de la arteria cerebral media (ACM) y la arteria cerebral anterior (ACA) (*Figura 5: A y B*). Las arterias de la circulación posterior no son de elección debido a posibles retrasos en la llegada del contraste.
  - Para el VOF, el seno sagital superior recto o distal se considera una ubicación adecuada (*Figura 5: C*).
  - La colocación del AIF en una arteria parcialmente ocluida conduce a una curva arterial superficial y de aparición tardía, dando como resultado la subestimación del *core* isquémico con curvas venosas de apariencia normal.
  - Cuando el AIF y el VOF asignados automáticamente por el software se ubican en sitios anatómicos incorrectos, el análisis no es diagnóstico (*Figura 5: D*). En estos casos es necesario el reposicionamiento manual con el correspondiente reprocesamiento, tarea que puede resultar compleja.
-



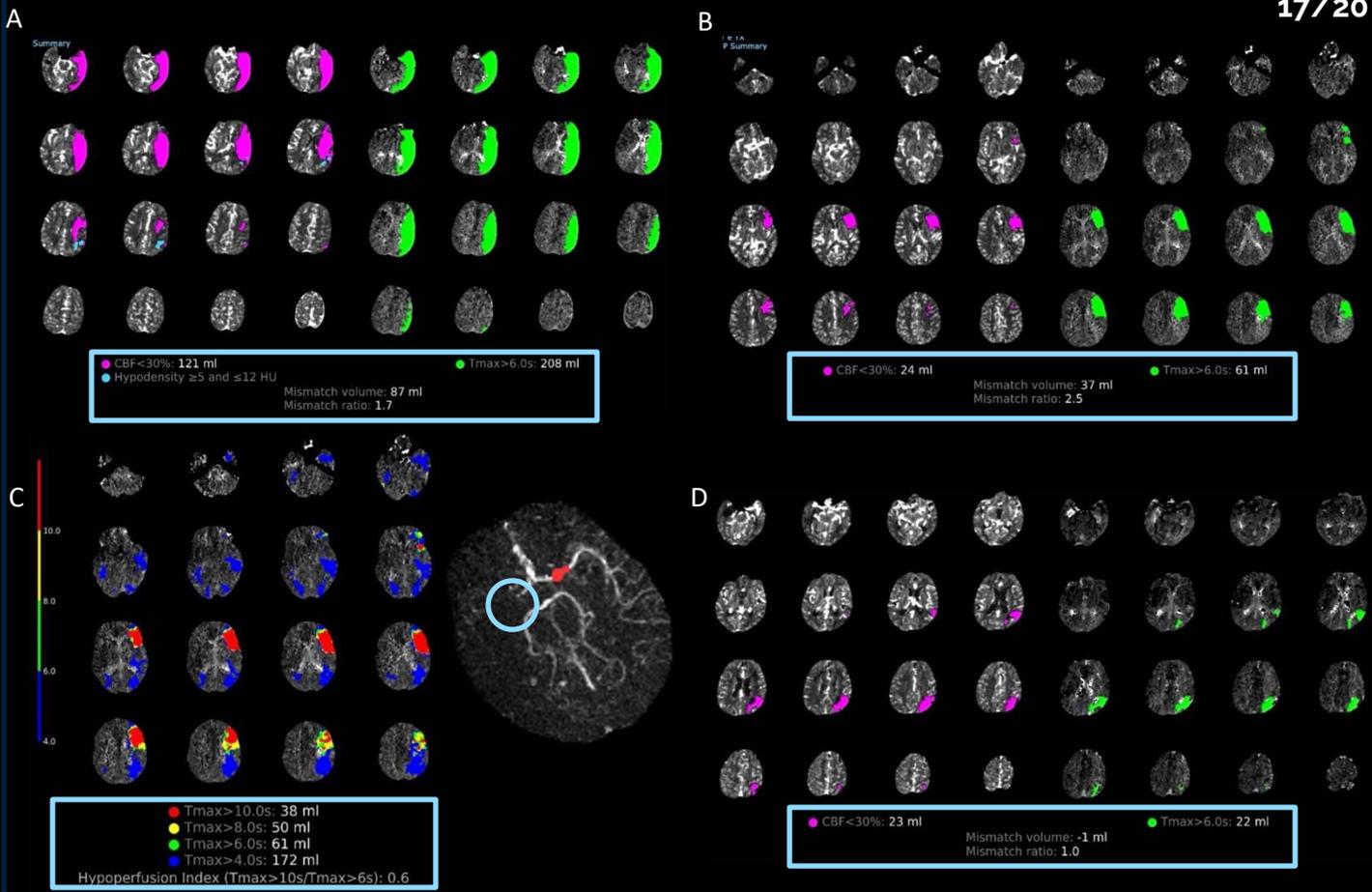
**FIGURA 5:** AIF en ACM (A), ACA (B) y VOF en seno transverso (C). AIF en arteria homolateral al sitio de la isquemia. Los mapas CBF y Tmax son normales mientras que la secuencia DWI muestra un área restrictiva.



---

#### 4) Determinar la presencia y el tamaño del área de core isquémico y/o penumbra.

- El *core* isquémico se define como el área con un CBF  $<30\%$ . El volumen total de tejido hipoperfundido se define por un  $T_{max} >6$  segundos (*Figura 6: A*).
  - La penumbra (tejido viable en riesgo) es el volumen de tejido hipoperfundido menos el volumen del *core* isquémico, aunque estas definiciones han ido variando en los diferentes ensayos.
  - El tratamiento suele ser beneficioso cuando el volumen del *core* isquémico es  $<70$  mL con una relación de tejido hipoperfundido respecto al *core* isquémico  $>1,8$  (*Mismatch ratio*) y el volumen del  $T_{max} >8$  segundos (severamente retrasado)  $<100$  mL (*Figura 6: B*).
  - En los casos en que el volumen del tejido hipoperfundido es igual al del *core* isquémico, no hay tejido potencialmente rescatable (*Figura 6: D*).
  - Cuando se presentan alteraciones en los mapas  $T_{max}$  y MTT sin un *core* isquémico correspondiente, el tratamiento adecuado puede revertir dicha anomalía (*Figura 6: C*).
-



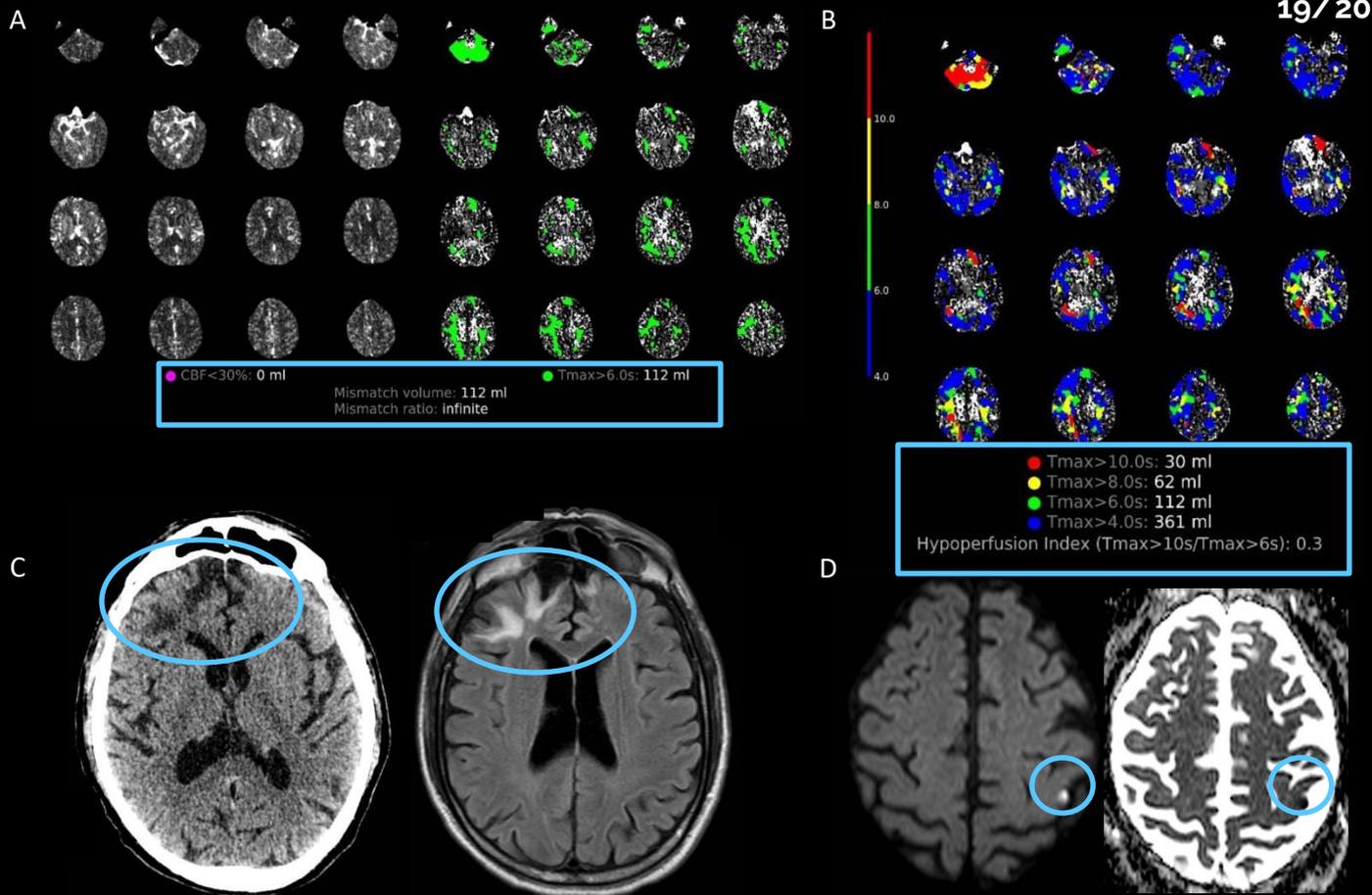
**FIGURA 6:** Mapas CBF y Tmax (A). *Mismatch ratio* >1,8 (B). *Mismatch ratio* <1,8 (D). Paciente femenina de 79 años con trombo en segmento M1 de la ACM izquierda. Los mapas Tmax muestran marcada alteración sin core isquémico asociado (C).



---

## 5) Revisar la TC simple y AngioTC en busca de anomalías o lesiones incidentales así como causas de sub/sobreestimación de la isquemia.

- La TC simple puede evidenciar lesiones intra o extraaxiales que generen alteraciones de la perfusión.
  - La inclinación de la cabeza y el promedio parcial de la base ósea del cráneo suelen dar falsas anomalías en fosa posterior, alrededor del hueso petroso y cerca de los techos orbitarios.
  - La angioTC debe analizarse en simultáneo con los mapas de perfusión para asegurarse de que coincidan con el lado de la oclusión arterial.
  - Las anomalías bilaterales de la perfusión generalmente se presentan con afección aguda unilateral y crónica contralateral. Las secuelas isquémicas suelen ser evidentes en la TC simple (*Figura 7: A, B, C y D*).
  - Las oclusiones arteriales crónicas pueden provocar anomalías de Tmax y MTT sin penumbra ni síntomas clínicos agudos. En pacientes con estenosis crónica de la arteria carótida interna, el MTT prolongado es el hallazgo más sensible y se asocia con la disminución del CBF y variabilidad en el CBV, pudiendo imitar o sobreestimar el infarto.
  - RAPID tiende además a sobreestimar los volúmenes del core isquémico y la penumbra en regiones de nuevos infartos superpuestos a áreas de parénquima cerebral previamente dañado.
  - El programa también suprime las regiones de muy bajo CBF (como el LCR), pudiendo eliminar áreas de infartos con flujo sanguíneo cerebral similar, resultando en una subestimación de su volumen.
-



**FIGURA 7:** Paciente masculino de 80 años con alteraciones bilaterales en los mapas Tmax (A) y (B). Secuelas vasculares isquémicas previas evidenciables en TC simple y secuencia FLAIR (B). Área restrictiva en secuencia DWI en relación con evento vascular isquémico de evolución aguda (D).



## CONCLUSIONES

- La perfusión por TC tiene un rol fundamental en el manejo del ACV isquémico agudo, sin embargo, su uso se encuentra limitado por la necesidad de realizar un procesamiento manual.
- A fin de garantizar una interpretación eficiente y estandarizada, actualmente se emplean software de procesamiento de perfusión automatizados.
- No obstante, resulta esencial que aquellos radiólogos que estén involucrados en la toma de decisiones en el ACV isquémico, conozcan los potenciales errores relacionados con la adquisición y procesamiento de las imágenes. Para ello, hemos propuesto una lista de verificación simple y práctica a fin de facilitar su detección.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bregni, J.A., Castillo, M., Ho, J.P. & Zamora, C. (2023). A RAPID checklist: understanding pitfalls and artifacts in stroke. *Neurographics*, (January-March;13), 27-34.
- Chung, C., Hu, R., Peterson, R. & Allen, J. (2021). Automated processing of head CT perfusion imaging for ischemic stroke triage: a practical guide to quality assurance and interpretation. *American Journal of Roentgenology*, 217 (Diciembre 2021), 1401-1417.
- Gaillard F, Murphy A, Knipe H, et al. CT perfusion in ischemic stroke. Reference article, Radiopaedia.org (Accessed on 30 Aug 2024) <https://doi.org/10.53347/rID-24526>

