

Algoritmo avanzado de segmentación y cuantificación de calcificaciones arteriales en tomosíntesis mamarias usando *deep learning* y *vision transformers*

Bastían Castelli Pino^{1,3}, Víctor Castañeda^{2,3}, Denisse Karl^{2,3}, Carlos F. Navarro^{1,3}
bastian.castelli@ug.uchile.cl

¹ Departamento de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

³ Technology for Medical Image-Based Clinical Support Systems Lab(Tech4Medics-Lab), Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

² Departamento de Tecnología Médica, Facultad de Medicina de la Universidad de Chile.

Introducción

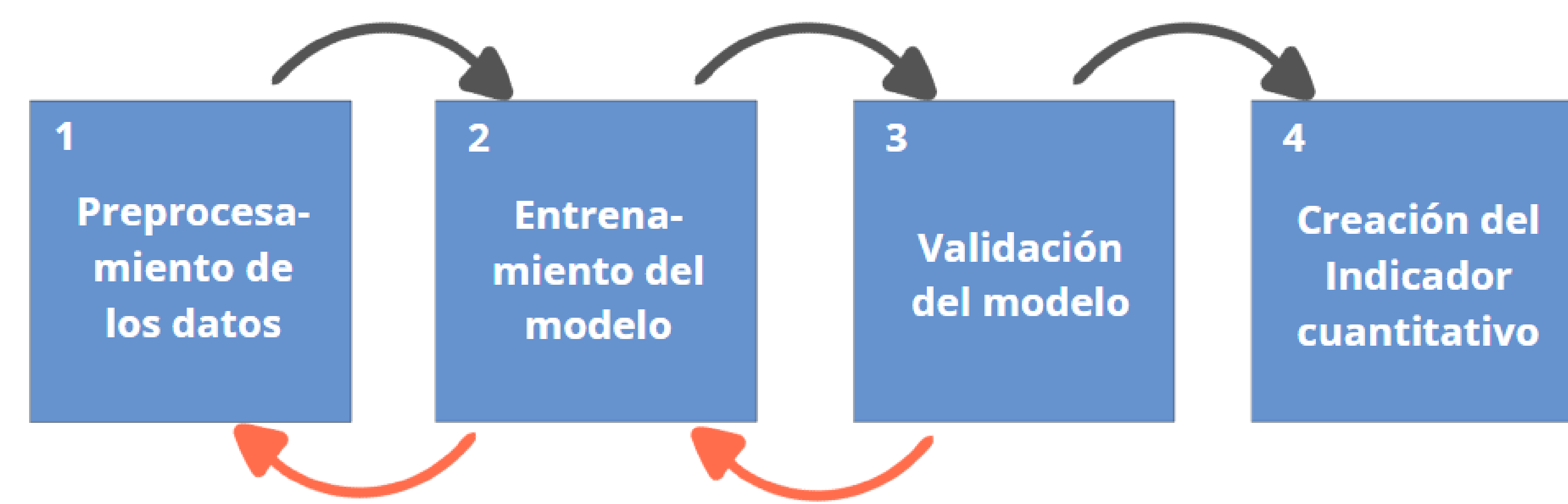
Las calcificaciones arteriales mamarias (BAC) han sido asociadas a factores de riesgo cardiovascular [1]. Actualmente, la presencia de BAC se reporta de forma cualitativa y subjetiva, sin un estándar cuantitativo establecido, lo que refuerza la necesidad de automatizar su detección y cuantificación. La tomosíntesis mamaria genera reconstrucciones cuasi-tridimensionales, reduciendo complejidades asociadas a la superposición de tejidos [2]. Sin embargo, hay aun un escaso desarrollo de estudios que segmenten BAC en este tipo de imágenes mediante inteligencia artificial.

Objetivo

Desarrollar un algoritmo avanzado de *deep learning* y *vision transformer* para la detección y cuantificación de calcificaciones arteriales en tomosíntesis mamaria, abordando los desafíos de la cuasi-tridimensionalidad de la imagen y las características morfológicas de las calcificaciones.

Materiales y métodos

- Base de datos:** Breast Cancer Screening- Digital Breast Tomosynthesis (BCS-DBT) [3].



— Avanza
— Retrocede en caso de fallo

(Fig. 1)
Flujo Metodológico.

- Preprocesamiento de los datos:** Se crea una base de datos bidimensional a partir de los cortes de los volúmenes mamarios.
- Entrenamiento del modelo:** Se entrena con funciones de pérdida *Dice Loss* y *Focal Loss* en arquitecturas U-Net, Attention U-Net y Swin UNetR, posteriormente se filtran las predicciones con un segmentador de arterias calcificadas.
- Validación del modelo:** Se validan las predicciones en base a su coeficiente de Dice y un análisis visual cualitativo.
- Indicador de cuantificación:**

$$\text{Indicador} = \frac{\text{Área de (BACs} \cap \text{Arteria calcificada)}}{\text{Área de arteria calcificada}}$$

Resultados

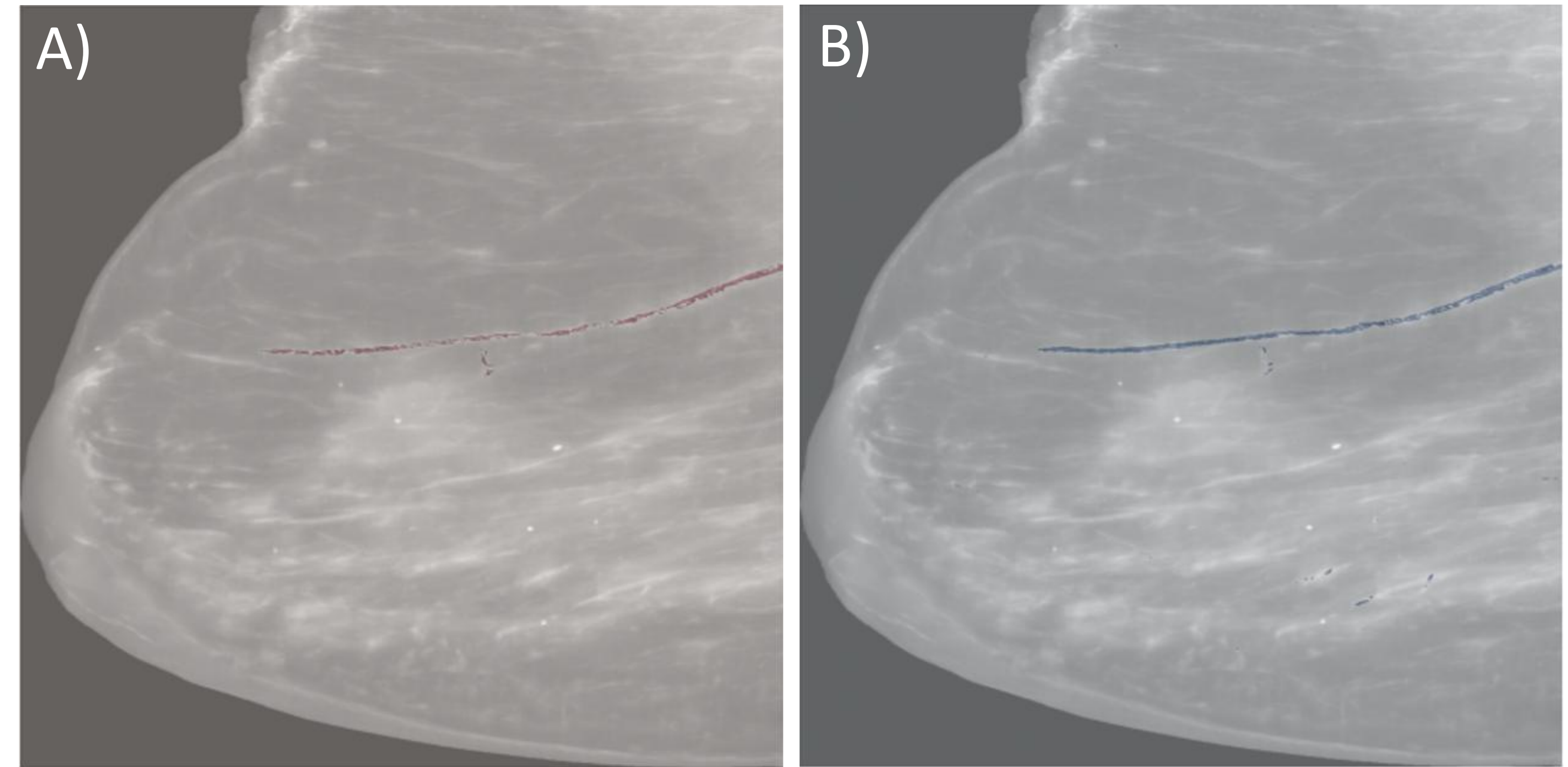
(Tab. 1)
Comparación trabajo previo y modelos entrenados con función de pérdida *Dice Focal Loss*.

Modelo	Coefficiente de Dice promedio \pm Desviación estándar
Tesis trabajo previo [4]	0,08 \pm 0,115
U-Net	0,214 \pm 0,196
Attention U-Net	0,345 \pm 0,175
Swin UNetR	0,057 \pm 0,045
Attention U-Net con filtro de arterias calcificadas	0,351 \pm 0,187

Referencias

- Hendriks, E. J., De Jong, P. A., Van Der Graaf, Y., Mali, W. P., Van Der Schouw, Y. T., y Beulens, J. W., "Breast arterial calcifications: A systematic review and meta-analysis of their determinants and their association with cardiovascular events", *Atherosclerosis*, vol. 239, no. 1, pp. 11–20, 2015, doi:10.1016/j.atherosclerosis.2014.12.035.
- Elizalde Pérez, A., "Tomografía mamaria: bases físicas, indicaciones y resultados", *Revista de Senología y Patología Mamaria*, vol. 28, no. 1, pp. 39–45, 2015, doi:10.1016/j.senol.2014.10.004.
- Buda, M., Saha, A., Walsh, R., Ghate, S., Li, N., Swiecicki, A., Lo, J. Y., Yang, J., y Ma zurowski, M., "Breast cancer screening- digital breast tomosynthesis (bcs-dbt) (version 5)", 2020, doi:10.7937/E4WT-CD02.
- Flores, M. y Ramírez, C., "Método de cuantificación de calcificaciones vasculares en tomosíntesis mamaria con inteligencia artificial", tesis de grado, Departamento de Tecnología médica, UCh, Santiago, 2024.
- Maguire, D., Thompson, J. D., Vadera, S., y Szczepura, K., "Approaches to Automatic Classification, Detection and Segmentation of Breast Arterial Calcification Using Deep Learning", *Expert Systems*, vol. 42, no. 6, 2025, doi:10.1111/exsy.70069. Publisher: Wiley.

Resultados



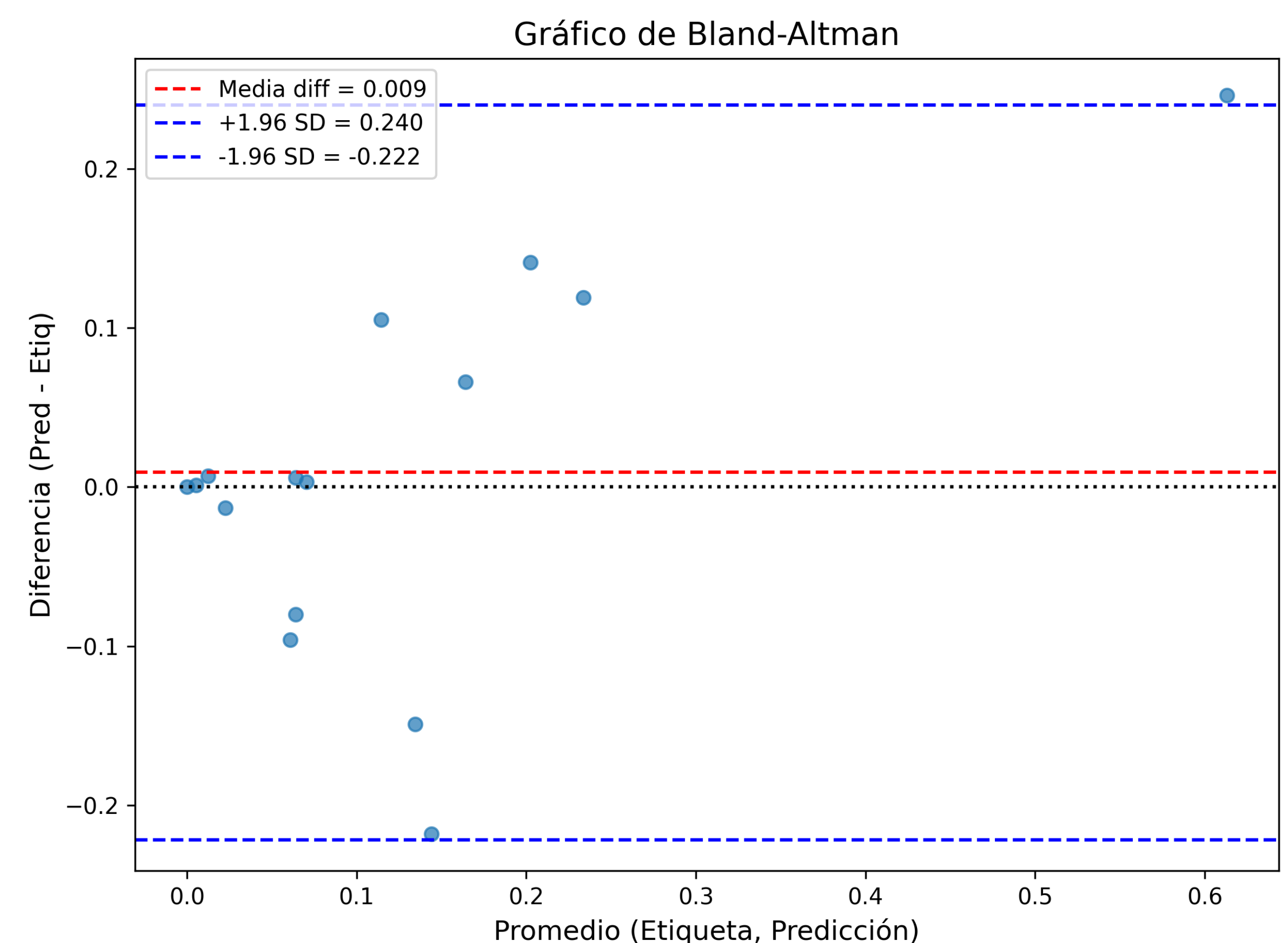
(Fig. 2)

A) Etiqueta de BAC en la mama proyectada en un solo corte.

B) Predicción de la Attention U-Net con filtro de BAC en la mama proyectada en un solo corte. Coeficiente de Dice = 0,722.

Cualitativamente, se observa que el modelo realiza segmentaciones adecuadas, logrando detectar correctamente las calcificaciones presentes y generando solo pequeñas segmentaciones adicionales fuera de la arteria calcificada. Sin embargo, sigue sin cumplir el estándar clínico de coeficiente de Dice superior al 90%, teniendo un promedio de 35,1%. Esto se debe a la métrica de evaluación utilizada que evalúa en base al área pixel a pixel, con lo cual se puede mejorar el desempeño cuantitativo a uno más fiel a lo observable si se utiliza un coeficiente de Dice basado en longitud como métrica de evaluación [5]. Por otra parte, volúmenes con calcificaciones ínfimas penalizan fuertemente el rendimiento del modelo al tener áreas más pequeñas, en especial casos con máscara nula, donde siempre evalúa con rendimiento mínimo el modelo.

Otra limitación del modelo se evidencia en al mammas densas, donde el algoritmo no logra segmentar correctamente en las zonas con mayor proporción de tejido fibroglandular. La alta densidad dificulta la visualización de las arterias, lo que repercute tanto en el desempeño cuantitativo como cualitativo del modelo, reflejando un rendimiento deficiente en estos casos específicos.



(Fig. 3)

Gráfico de Bland-Altman de las predicciones realizadas por la Attention U-Net con filtro frente a las etiquetas, con respecto al indicador cuantitativo diseñado.

Conclusión

El trabajo permitió desarrollar un algoritmo capaz de segmentar las BACs, en tomosíntesis mamaria, cualitativamente bueno en mammas no densas, con limitaciones en mammas densas, evidenciando la necesidad de ampliar la base de datos y emplear métricas más representativas. Además, se diseñó un indicador preliminar para cuantificar las BACs que puede combinarse con otros indicadores con tal de estandarizar su evaluación.