



INTRODUCCIÓN - PROPÓSITO

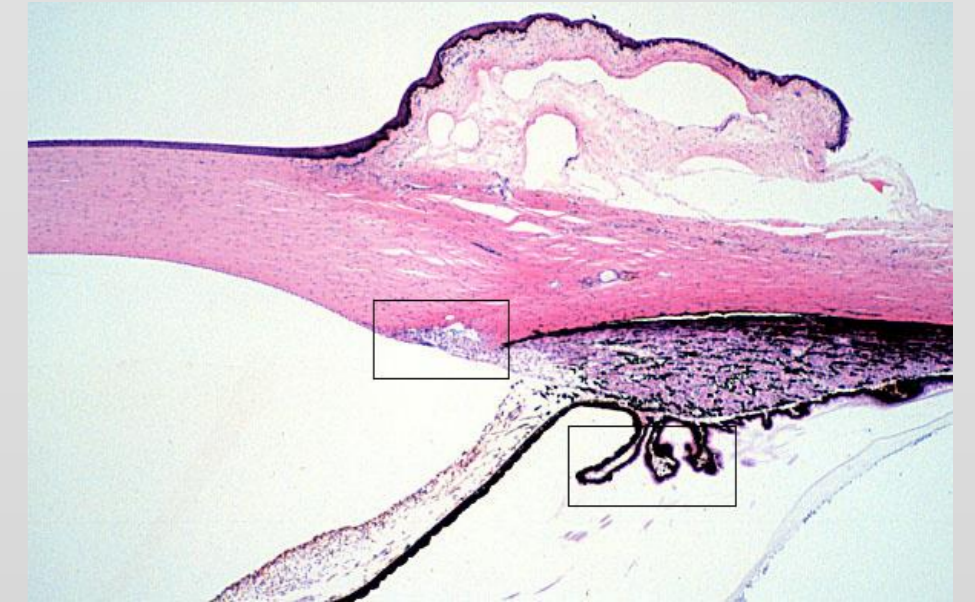
El **músculo ciliar (MC)** es una estructura compleja y especializada que forma parte del **cuerpo ciliar (CC)**. El CC está compuesto por la pars plicata y la pars plana y se encuentra entre el iris y la coroides. Sus principales funciones son la producción del humor acuoso (HA) en los procesos ciliares, la regulación de la salida del HA a través de la vía uveoescleral y la acomodación. En los últimos años existe un creciente interés en el estudio del CC debido a su papel en la **presbicia** y el **glaucoma**.

Debido a su ubicación detrás de una estructura pigmentada como el iris no es fácilmente accesible para su evaluación clínica. Hasta ahora, el MC ha sido escasamente investigado mediante técnicas de imagen, en su mayoría mediante **biomicroscopía ultrasónica (BMU)** y tomografía de coherencia óptica (OCT) de dominio temporal **Visante** (Carl Zeiss Meditec Inc, CA, EEUU). De esta forma, gran parte del conocimiento de la anatomía del MC proviene de estudios **histológicos**, pero no de estudios en vivo, con las posibles alteraciones o artefactos en sus medidas.

La **OCT swept source (SS-OCT)** ofrece una **mayor resolución y penetración** lo que puede conducir a una mejor visualización del MC. Hasta la fecha existen escasos estudios con esta tecnología para evaluar el MC y sus medidas.

En los últimos años, la **inteligencia artificial (IA)** comienza a ser empleada en medicina y, en concreto, en la oftalmología para ayudar en el estudio del análisis de imágenes y de datos.

El **propósito** de este trabajo es evaluar un sistema de segmentación automática del músculo ciliar (MC) y de sus dimensiones en imágenes obtenidas mediante tomografía de coherencia óptica (OCT) empleando técnicas de deep learning.



MÉTODO

Se desarrolló un sistema capaz de segmentar automáticamente el músculo ciliar en imágenes de **OCT de 6 mm y 16 mm** obtenidas por exploradores expertos con el dispositivo **DRI-Triton** (Topcon, Tokio, Japón).

Se recogieron y midieron de forma manual un total de **1089 imágenes**, correspondiendo a **931 imágenes de 6 mm y 158 imágenes de 16 mm** con sus correspondientes **máscaras de ground truth**.

Se emplearon una red con arquitectura U-net y una estructura de redes piramidal repitiendo cada experimento 5 veces.

El **conjunto de datos** de imágenes se dividió aleatoriamente en tres subconjuntos: 1) 60% para formación, 2) 20% para validación, 3) 20% para prueba.

Parámetros: Se analizaron el área (CMA), altura máxima (CMT max), grosor a 1, 2 y 3 mm del limbo (CMT1, 2 y 3) del MC.

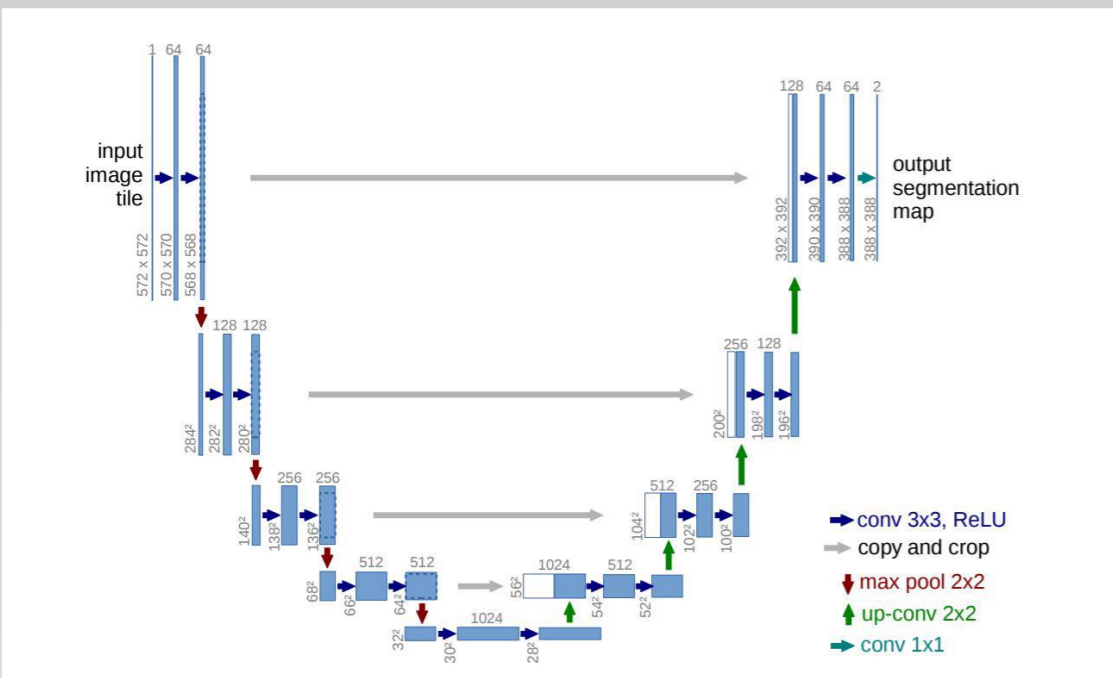


Figura: Ejemplo de arquitectura U-Net (32 x 32 píxeles a la resolución más baja). Como los recuadros azules corresponden a mapas de características multicanal. El número de canales se especifica en la parte superior de cada cuadro. El tamaño x - y aparece en el borde inferior izquierdo De la caja. Los cuadros blancos representan mapas de entidades copiadas. Las flechas denotan diferentes operaciones.

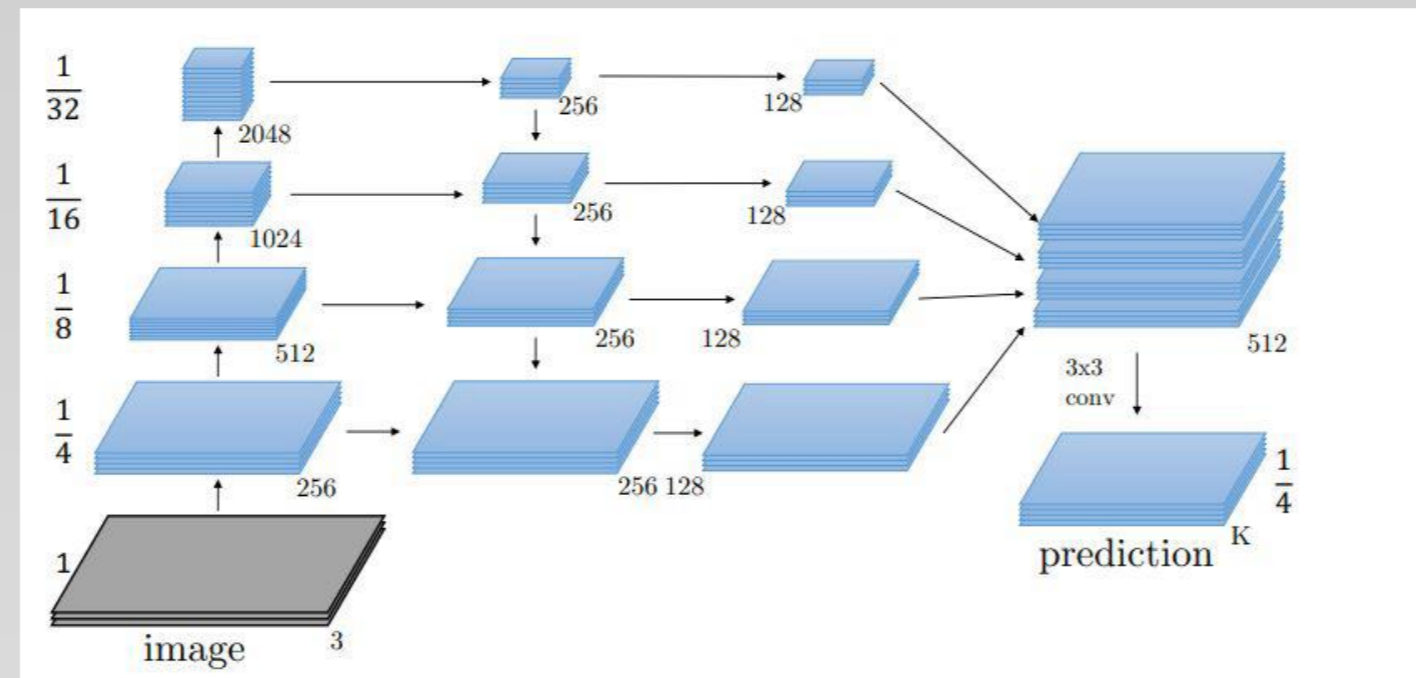


Figura: Estructura de la arquitectura de red de Feature Pyramid Network (FPN).

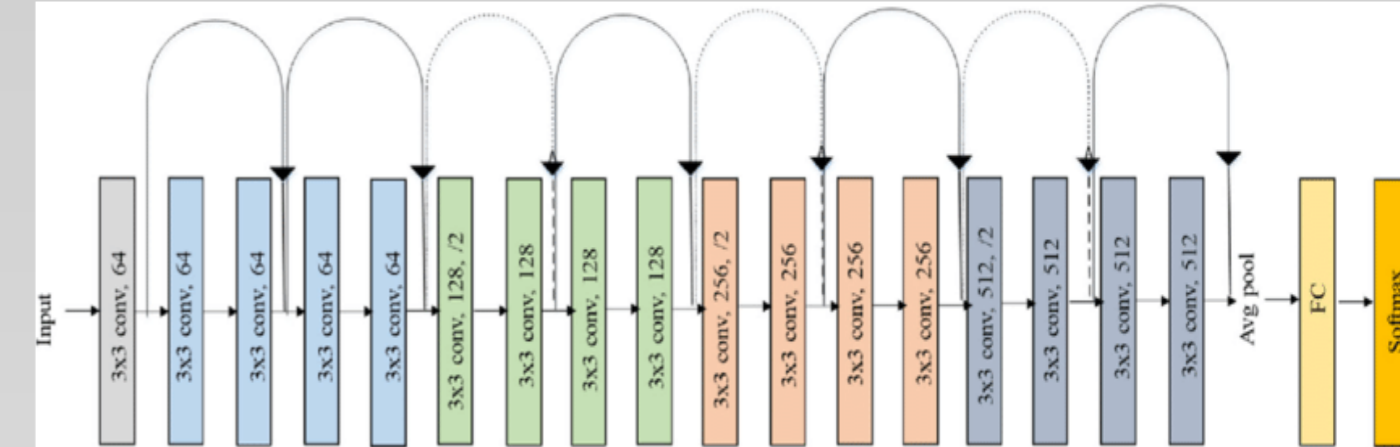


Figura: Estructura de la arquitectura de red de la red neuronal residual (ResNet) en su variante de 18 capas (ResNet18).

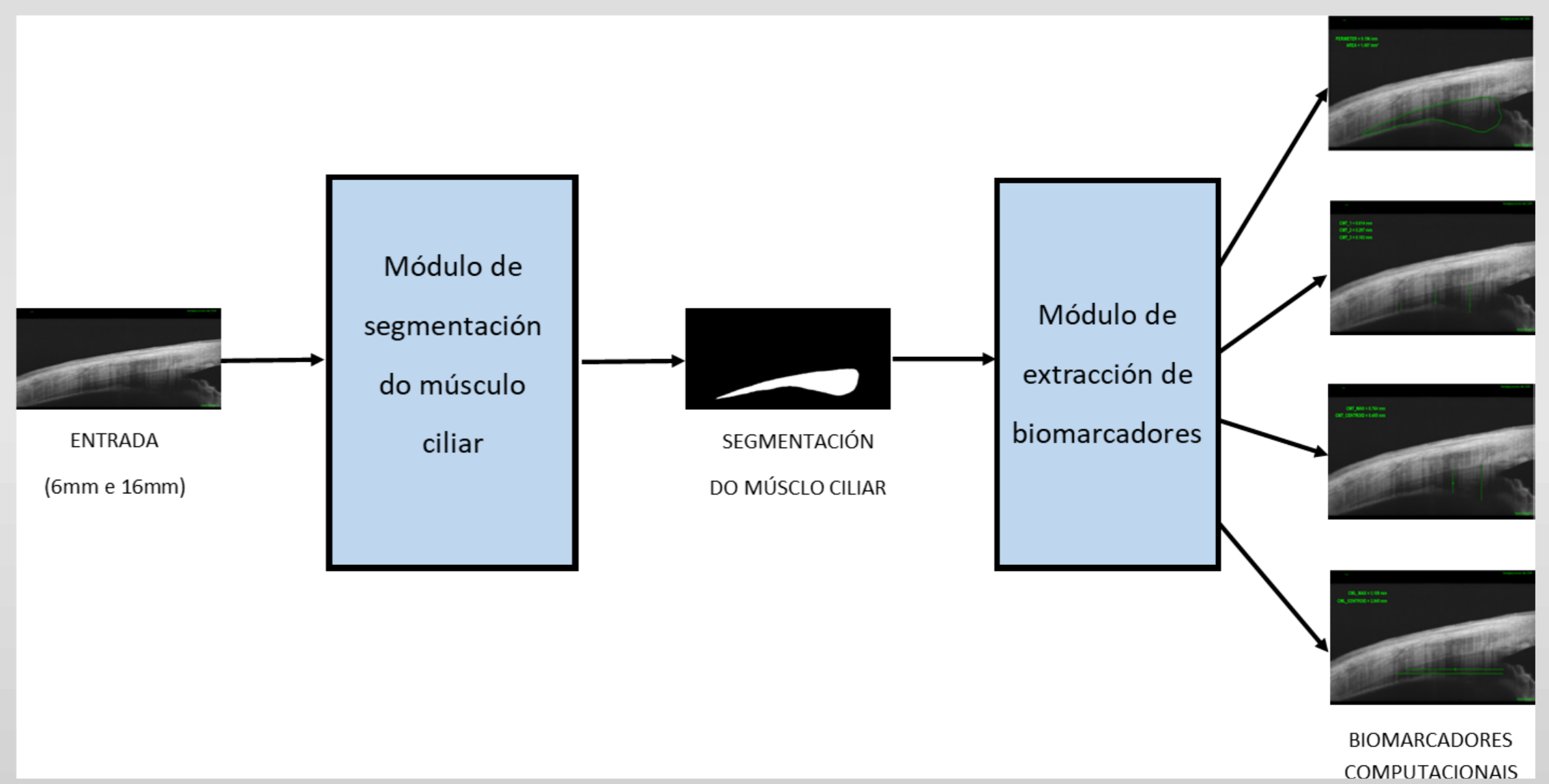
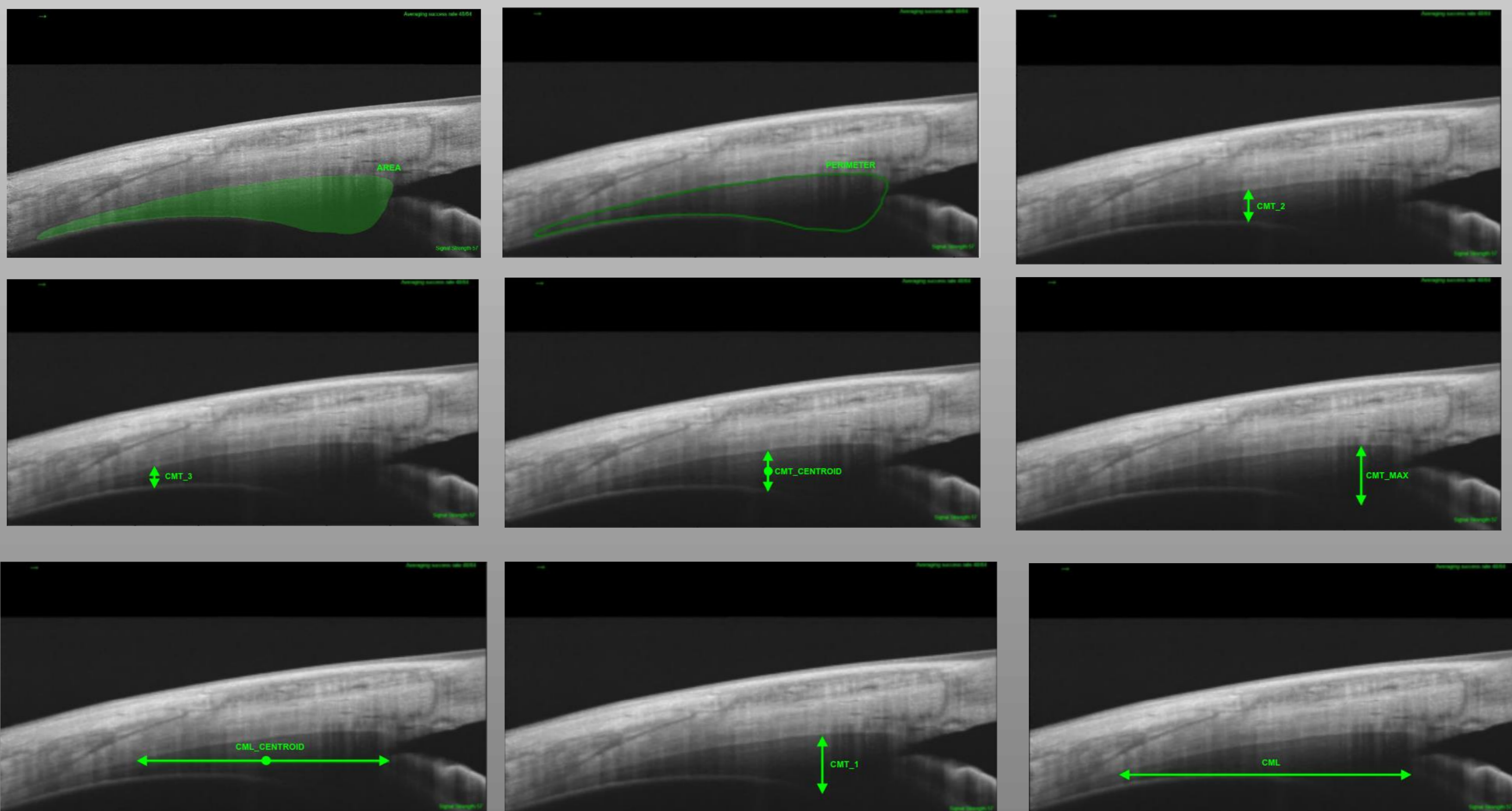


Figura: Análisis computacional de los datos realizando la segmentación y la posterior extracción de biomarcadores.

Figura: Diferentes ejemplos de los parámetros medidos en el análisis de las dimensiones del MC mediante deep learning.





RESULTADOS

Resultados del módulo de extracción de biomarcadores computacionales.

Se obtuvo una precisión de las medidas de 0.9853 para las imágenes de 6 mm, siendo la precisión de 0,9962 para las medidas realizadas en el scan de 16 mm.

El CMA medio fue de 1.497 mm², CMT1 fue 0.614 mm, CMT2 fue 0.297 mm, CMT3 fue 0.183 mm, y el CMT max de 0.764 mm.

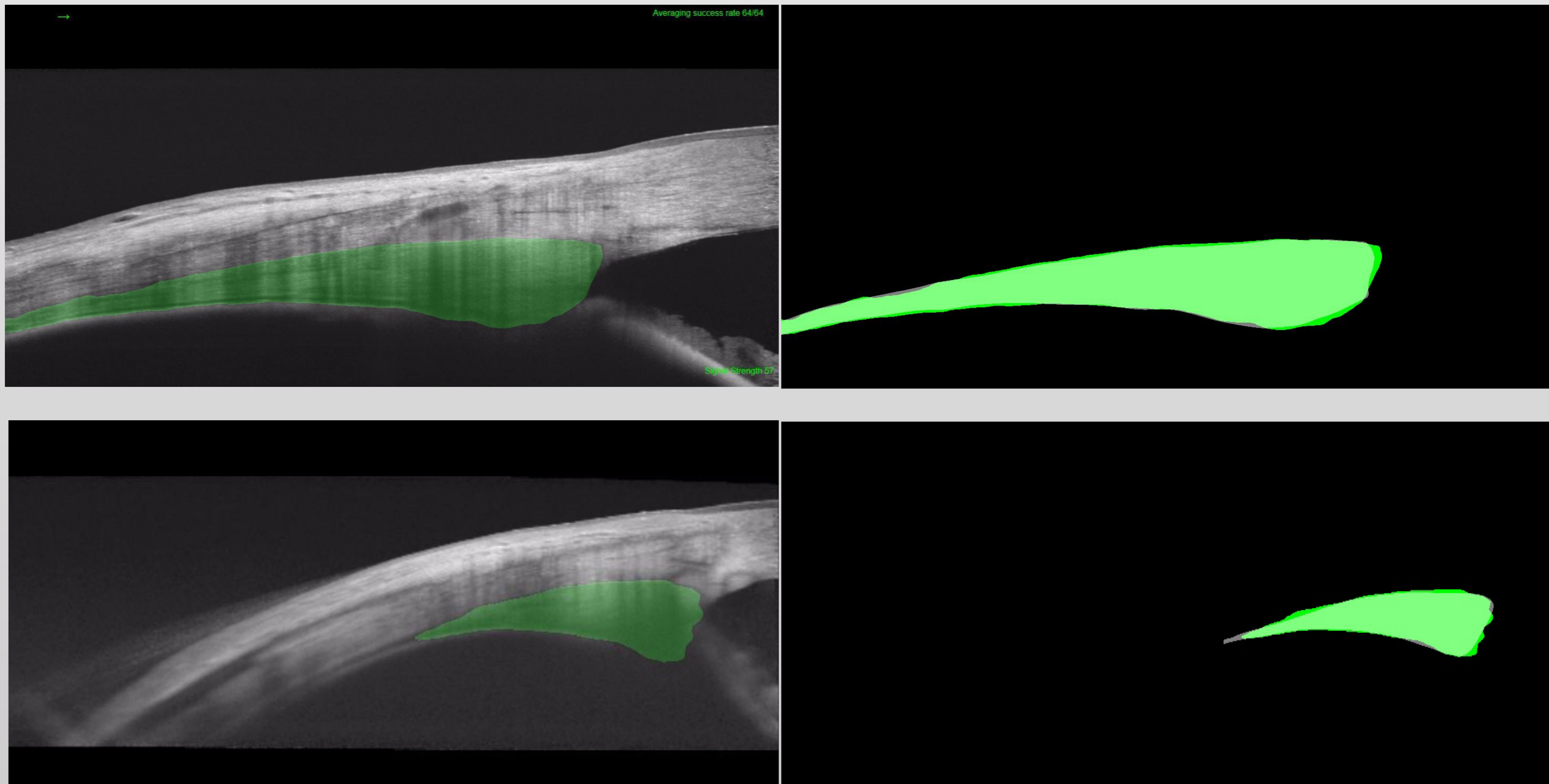


Figura: Ejemplos de la identificación automática por el algoritmo de IA de las dimensiones del músculo ciliar en un scan de 6 mm (arriba) y de 16 mm (abajo).

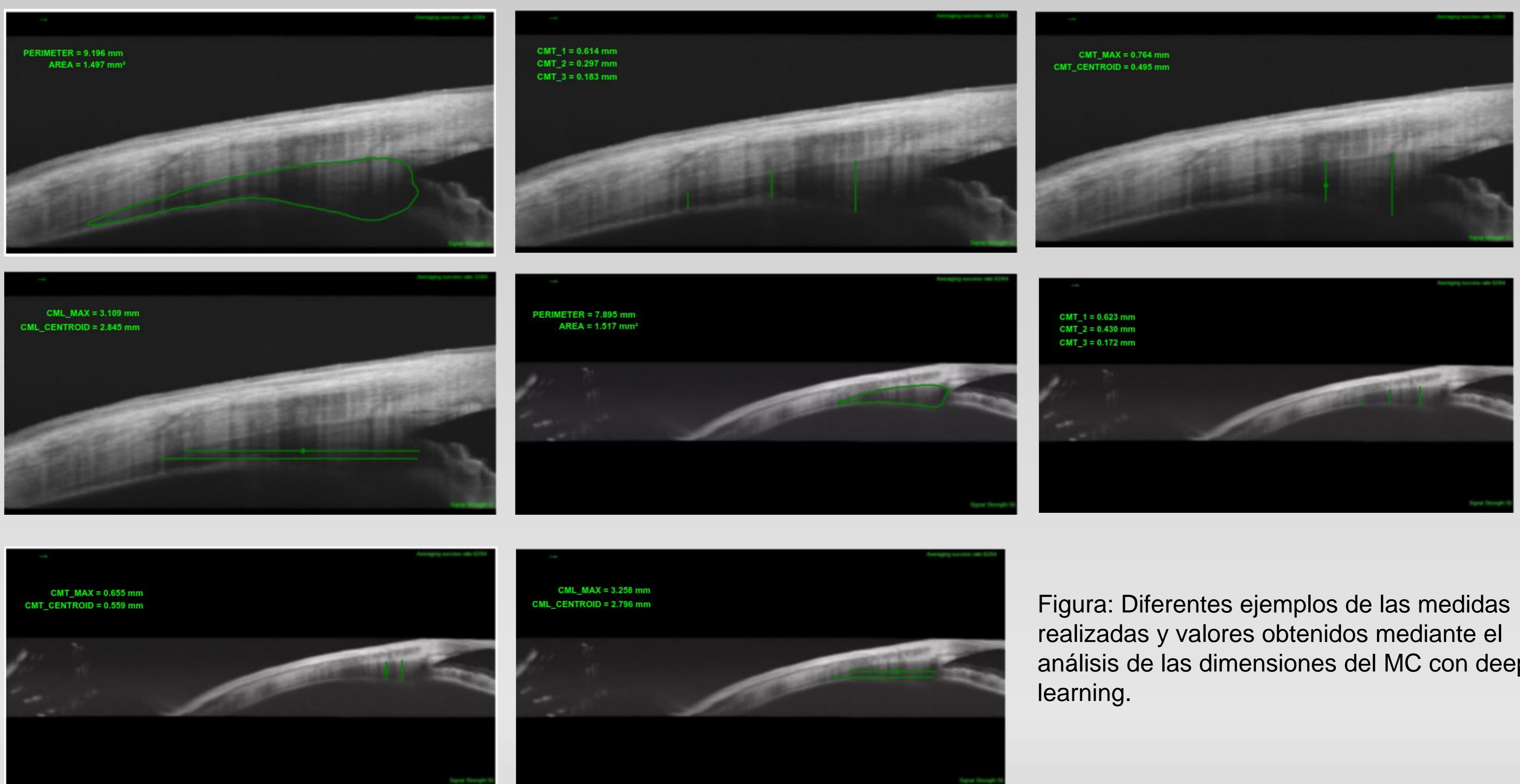


Figura: Diferentes ejemplos de las medidas realizadas y valores obtenidos mediante el análisis de las dimensiones del MC con deep learning.

La investigación de la presbicia y la miopía muestra un creciente interés en la biometría del músculo ciliar utilizando tomografía de coherencia óptica (OCT). Hasta ahora, la segmentación del músculo ciliar suele ser realizado manualmente utilizando programas desarrollados a medida o software de procesamiento de imágenes.

La diversidad de herramientas y métodos para la segmentación del músculo ciliar, así como de los parámetros analizados, resulta en dificultades para comparar los resultados de diferentes estudios. Además, los programas desarrollados a medida que se utilizan para la segmentación a menudo no están disponibles, lo que impide la reproducción de los resultados del estudio.

- ❖ En este trabajo presentamos diferentes metodologías siendo el primer trabajo que realiza una segmentación automática del músculo ciliar mediante imágenes OCT.
- ❖ Análisis completo del comportamiento de los modelos combinando arquitecturas de aprendizaje, codificadores y estrategias.
- ❖ Extracción de varios biomarcadores computacionales gran utilidad.

CONCLUSIONES

Este trabajo presenta diferentes metodologías para la **segmentación automática** de las **dimensiones del músculo ciliar** mediante imágenes de OCT empleando **deep learning**, demostrando una gran precisión en la medición de diferentes parámetros.

- Straßer T, Wagner S, Zrenner E. Review of the application of the open-source software CilOCT for semi-automatic segmentation and analysis of the ciliary muscle in OCT images. *PLoS One*. 2020
- Fernández-Vigo JI, Shi H, Almorín-Fernández-Vigo I, Burgos-Blasco B, De-Pablo-Gómez-de-Liaño L, Kudsieh B, Fernández-Vigo JÁ, Macarro-Merino A. Dimensions of the limbus-ciliary sulcus region by optical coherence tomography and correlation study in a large population. *J Cataract Refract Surg*. 2021
- Fernández-Vigo JI, Kudsieh B, Shi H, De-Pablo-Gómez-de-Liaño L, Fernández-Vigo JÁ, García-Feijóo J. Diagnostic imaging of the ciliary body: Technologies, outcomes, and future perspectives. *Eur J Ophthalmol*. 2021
- Fernández-Vigo JI, Shi H, Burgos-Blasco B, Fernández-Aragón S, De-Pablo-Gómez-de-Liaño L, Kudsieh B, Macarro-Merino A, Fernández-Vigo JÁ. Anterior scleral thickness dimensions by swept-source optical coherence tomography. *Clin Exp Optom*. 2021
- Kudsieh B, Fernández-Vigo JI, Shi H, De Pablo Gómez de Liaño L, Ruiz-Moreno JM, García-Feijóo J, Fernández-Vigo JÁ. Ciliary muscle dimensions measured by swept-source optical coherence tomography in eyes with primary open-angle glaucoma and healthy eyes. *Int Ophthalmol*. 2020
- Fernández-Vigo JI, Shi H, Kudsieh B, Arriola-Villalobos P, De-Pablo Gómez-de-Liaño L, García-Feijóo J, Fernández-Vigo JÁ. Ciliary muscle dimensions by swept-source optical coherence tomography and correlation study in a large population. *Acta Ophthalmol*. 2020