

4

CONCLUSIONES

4. CONCLUSIONES

4.1. Valoración de los resultados

En este Proyecto Fin de Carrera se presenta un algoritmo completamente automático de detección de MA con la finalidad de servir de ayuda al especialista a la hora de realizar un diagnóstico precoz de la RD. El funcionamiento de la herramienta desarrollada puede resumirse de la siguiente forma: tras un preprocesado inicial donde se aplica un método de realce de contraste y de segmentación del árbol vascular, se hace uso de un algoritmo de predicción lineal en 2D para etiquetar los píxeles candidatos a semillas si la diferencia entre el valor de intensidad real y el valor de intensidad predicho supera un determinado umbral.

Posteriormente, los candidatos a semillas son validados mediante el cálculo del estadístico *Tail Ratio*, que aporta información sobre la distribución de intensidades en el histograma de una ventana de tamaño variable centrada en el píxel bajo estudio. A partir de las semillas validadas se inicia un proceso de crecimiento de regiones basado en la intensidad de los píxeles vecinos que descarta las regiones cuyo tamaño sea superior a 30 píxeles. En el siguiente paso del método propuesto se procede al cálculo de 14 características en las que se incluye información acerca de la morfología y de la distribución de intensidades en cada región candidata a MA. Tras realizar un proceso de selección de características obtenemos las 6 que aportan el mayor poder discriminatorio mediante la técnica de eliminación secuencial hacia atrás. Por último, empleamos una red neuronal del tipo *Fuzzy ARTMAP* previamente entrenada para realizar la clasificación de los candidatos en función de las 6 características anteriormente obtenidas.

A la luz de los resultados obtenidos, se puede afirmar que se ha desarrollado un prototipo de herramienta de detección automática de MA que se presenta como una alternativa eficaz para el diagnóstico precoz de la RD. Si bien no se alcanzan los requisitos de fiabilidad esperados para ser realmente de utilidad diagnóstica en centros médicos, la introducción de una herramienta de estas características en zonas rurales y centros de atención primaria donde hay escasez de especialistas puede ser de gran utilidad si es empleada con carácter orientativo para servir como filtro al especialista, descartando aquellas imágenes que no presenten anomalías de este tipo.

Por otra parte, el tiempo empleado por la herramienta en procesar cada imagen retinográfica ofrece la posibilidad de incluir este sistema en programas de rastreo masivo de la RD, con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero que supondría la capacidad de esta técnica de descartar las retinografías pertenecientes a sujetos sanos.

Por último, cabe decir que el trabajo aquí presentado ha servido como base para la publicación del artículo “Detección Automática de Microaneurismas en Retinografías para Diagnóstico Precoz de la Retinopatía Diabética” en las Actas del XXVII Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica (Núñez, Serrano, Acha, Fondón, Jiménez, & Alemany, 2009).

4.2. Líneas futuras

Aunque los resultados obtenidos tras la realización de este trabajo pueden considerarse como satisfactorios, debe tenerse en cuenta que en cualquier sistema de ayuda

al diagnóstico es de esperar que se alcance una capacidad de detección lo más alta posible. Por esta razón, el trabajo futuro deberá centrarse en aumentar la sensibilidad del sistema. Para acometer esta tarea deberá realizarse un análisis exhaustivo de los métodos existentes en el estado del arte de selección de semillas y crecimiento de regiones, ya que en este bloque del sistema se dejan de detectar el 7.92% de los MA diagnosticados por el especialista. Por otra parte, se debe someter a estudio la elección de nuevas características que sean capaces de aportar mayor poder discriminativo a las regiones candidatas ya que, a pesar del buen funcionamiento del clasificador, en el que se alcanzan tasas de detección positiva superiores al 92%, se produce una pérdida de sensibilidad en la detección del 14.85%.

Debido a la tasa de *FP* obtenida por el sistema, se aconseja la inclusión en el futuro de un bloque de postprocesado adecuado que permita la eliminación de la mayor cantidad posible de regiones erróneamente clasificadas como MA, de forma que el *PPV* del conjunto aumente una cantidad suficiente para que la herramienta pueda tener mayor utilidad diagnóstica.

Por último, dado el carácter subjetivo de la evaluación diagnóstica de las imágenes retinográficas a cargo de especialistas, se propone de cara el futuro la elaboración de un criterio de verdad basado en el diagnóstico de cada imagen por varios expertos, de forma que se le confiera mayor robustez a la validación de los resultados.

4.3. Valoración personal del desarrollo del proyecto

Este proyecto surge como la continuación de una línea de investigación sobre la detección automática de MA. Hasta la fecha de inicio de este trabajo, todo lo que se había desarrollado anteriormente dentro de esta línea de investigación estaba dirigido hacia un tipo de imágenes como son las angiografías fluoresceínicas, donde los elementos de la retina son representados en escala de grises y con un gran contraste sobre el fondo. Por lo tanto, la primera dificultad que se ha afrontado en la elaboración de este proyecto ha sido la adaptación de las aplicaciones anteriormente desarrolladas de forma que cumplan con los requisitos y características que presentan las imágenes retinográficas. Como cualquier persona que haya dedicado el suficiente tiempo al desarrollo e implementación de aplicaciones informáticas sabe, la dificultad que entraña la adaptación de un código desarrollado por otras personas no es un hecho trivial. En primer lugar, el código debe ser analizado exhaustivamente de forma que se alcance un nivel de comprensión suficiente como para ser capaz de

determinar cuál es el cometido de cada línea del programa, más aún cuando dicho código implementa algoritmos matemáticos complejos, como es el caso que nos ocupa. Dependiendo de la experiencia previa del investigador, de la habilidad del programador anterior para expresar de forma clara complicadas operaciones y de la longitud del código previamente desarrollado, este proceso puede llegar a ser largo, tedioso y en ocasiones frustrante, suponiendo un desafío constante que solo puede ser superado tras numerosos días de estudio y de realización de experimentos parciales con la finalidad de comprender el programa completo.

Una vez que se comprende de forma completa todo el trabajo realizado anteriormente, da comienzo la siguiente fase del desarrollo de la aplicación, que consiste en seleccionar aquellas partes del código que puedan ser útiles en la nueva aplicación y descartar las que no lo son, de forma que al término de esta fase se tenga una idea clara de las líneas generales que ha de seguir el algoritmo y de cuáles son las funciones que deben ser creadas y cuáles pueden ser adaptadas para alcanzar los objetivos perseguidos. Esta etapa es crucial, ya que sienta las bases del posterior desarrollo de la aplicación, y es aquí donde deben tenerse en cuenta todas las características y especificaciones necesarias. Incluso el investigador experimentado se verá en ocasiones en la necesidad de volver a estudiar y rectificar esta parte del proceso de desarrollo si se da la circunstancia de no poder alcanzar su propósito en un intento anterior. De hecho, podría decirse que esta es la etapa más “viva” dentro del proceso de investigación, ya que es aquí donde se introducen las mejoras y avances que, en virtud de los estudios realizados por la comunidad investigadora, pueden hacer de la herramienta desarrollada una solución válida para el objetivo que se haya propuesto.

La última parte del proceso de desarrollo del proyecto, al menos en el ámbito de la investigación, es la fase de experimentación. Tras la implementación del sistema, debe llevarse a cabo un proceso de evaluación de la herramienta desarrollada. Con esta finalidad se generan numerosas pruebas y experimentos en los que se simulan las condiciones de trabajo de la aplicación. La cuantificación y el análisis de los resultados obtenidos proporcionan la información necesaria para realizar una valoración objetiva de su funcionamiento.

El desarrollo de un trabajo de investigación dentro de un ámbito tan especializado e interdisciplinar como es el de la Ingeniería Biomédica implica la coordinación de un grupo de profesionales heterogéneo compuesto por médicos especialistas del campo clínico correspondiente y de ingenieros expertos en un entorno de desarrollo de aplicaciones orientadas a la ayuda al diagnóstico, de forma que la solución desarrollada posea la validez

oportuna tanto en su vertiente médica como en la puramente técnica, en el sentido de que se asegure de que se cumplan los requisitos y especificaciones de trabajo. Es este uno de los aspectos más relevantes a tener en cuenta a la hora de acometer un proyecto de estas características, ya que tanto durante la etapa de desarrollo como en la de evaluación es necesario un intercambio más o menos constante de información entre ambas partes, cada una de ellas en su campo correspondiente, de forma que la unificación de esta información marque los hitos que deban ser superados durante el proceso de investigación y desarrollo.

