

## C O N C L U S I O N E S

A través de las bases teóricas obtenidas e implementadas durante el desarrollo de este trabajo se propusieron nuevas herramientas que anteriormente no habían sido utilizadas para la resolución de esta clase de problema. La exploración de estas herramientas nos permitió identificar una gama de posibilidades que al aplicarse podrían disminuir las tasas de falsa aceptación y falso rechazo en sistemas off-line.

El sistema desarrollado, descrito en el capítulo 4, se basó en el esquema propuesto por Wayman [2]. Este esquema describe dentro de su módulo de "reconocimiento de patrones" la extracción del vector característico. Mismo que se realizó mediante PDF [8] (Función de Densidad de Probabilidad) que proporciona características generales de la firma. La caracterización mediante PDF incluye una etapa de submuestreo a intervalos regulares. Aquí se propuso la obtención de las regiones más representativas de la firma, con la finalidad de lograr una mejor distribución de distancias.

Es en este punto donde entran los Algoritmos Genéticos. Los AG Multiobjetivo NSGA-II[42] nos brindan la posibilidad de encontrar una población de soluciones que aproximan la frontera Pareto. Nuestro caso de estudio incluye dos objetivos, minimizar la distancia intra-clase y maximizar la distancia inter-clase por lo que mediante la aplicación de NSGA-II es posible encontrar soluciones optimizadas que combinen ambos criterios.

Para escoger la mejor opción dentro de la frontera Pareto, se utilizó un medoide el cual nos proporcionó las máscaras individuales que operaron sobre los vectores de características y que como ya se mencionó nos suministró un vector filtrado el cual solamente representa las áreas de interés. Este último vector se utiliza como entrada a una Red Neuronal de Base Radial, que al igual que los Algoritmos Genéticos es una herramienta poco usada en el procesamiento y reconocimiento de la firma autógrafa off-line. Generalmente de utilizarse redes neuronales, estas serían del tipo perceptrón.

La red de base radial nos proporcionó una muy buena efectividad al darnos porcentajes bajos de falsa aceptación y falso rechazo, con lo que se prueba que su utilización condujo a que el sistema mostrara robustez y fuera innovador.

Después de probar el sistema con un grupo de 123 firmas; en las que se incluyen originales, falsificaciones (Skill Forgeries) y aleatorias (Random Forgeries) cambiando el valor de umbral en cada etapa de la prueba se obtuvieron los resultados que se muestran en la *Tabla de Resultados* presentada en el Capítulo 4. Aquí se observa que el valor de la Tasa de Falsa Aceptación para

falsificaciones tanto entrenadas como aleatorias comparado con la Tasa de Falso Rechazo tienen un comportamiento inverso, ya que al incrementarse una, la otra disminuye.

También se verificó el desempeño del sistema sin la aplicación de máscara de submuestreo utilizando un umbral en el punto que corresponde a la Tasa Equal Error Rate ( $\Delta_{\text{umbral}} = -10\%$ ). Los resultados obtenidos reportan una mejora, de 3 puntos porcentuales para falso rechazo, y más de 1 punto porcentual para ambas falsas aceptaciones entre los resultados arrojados por el sistema después de aplicar la máscara al vector característico.

Por otra parte, nos es preciso mencionar que las aportaciones propias de este trabajo demostraron ser valiosas para el mismo. Es el caso de las Redes Neuronales de Base Radial que aportaron una manera eficiente para lograr la verificación de la firma. Hasta donde llegó el alcance de esta investigación son herramientas que no habían sido aplicadas al reconocimiento de firma autógrafa.

Es importante señalar que en este trabajo cada enrolado tuvo su propio módulo generado de acuerdo a sus características individuales.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, podemos concluir que el rendimiento del sistema presenta una mejoría con la utilización un vector de características con enmascaramiento. Dicha mejoría, pese a no ser determinante, nos permitió ver la funcionalidad y las aplicaciones que pueden tener los Algoritmos Genéticos Multiobjetivo dentro de esta área de investigación. Además, el desarrollo del proyecto nos da pauta para nuevas ideas de cómo emplear los GAs dentro del reconocimiento de firmas autógrafas. Para nostras fueron una gran herramienta que hizo la diferencia.