

Capítulo 5

5.1 Conclusiones

En este trabajo de tesis se diseñó e implementó un algoritmo bioinspirado con un tamaño de población reducido, basado en el principio de selección clonal del sistema inmune artificial, para solucionar problemas de optimización numérica; a este nuevo algoritmo se le denominó *micro-SIA*. El principio de selección clonal extrapolado del sistema inmune biológico, se caracteriza por aumentar el tamaño de la población durante la etapa de clonación y sólo permite aplicar operadores de mutación, por lo que mantener la diversidad de la población y asegurar la convergencia al óptimo global del algoritmo, han sido los principales motivos que hicieron interesante el estudio de esta heurística.

Los elementos principales en la metodología empleada consisten en incorporar una convergencia nominal que se alcanza después de un número fijo de generaciones, un elitismo que preserva al mejor o mejores individuos encontrados al término de la convergencia nominal y un criterio para incorporarlos como parte de una nueva población al momento de reinicializar el algoritmo que como condición de paro debe cumplir un ciclo externo. Debido a que el proceso inmune simulado por este algoritmo no incluye un operador de cruce, la clonación con crecimiento controlado (fijo de 15 clones en esta tesis) y los operadores de mutación diseñados son primordiales para mantener la diversidad y acelerar la convergencia. Experimentalmente se probaron diferentes micro-poblaciones, sin embargo utilizando 5 anticuerpos y 15 clones se obtuvieron los mejores resultados.

El número de generaciones en el *micro-SIA* para alcanzar la convergencia nominal se planteó de 10, debido a que menos generaciones no aceleran la búsqueda y más generaciones no mejoran los resultados.

Se probaron varios operadores de mutación, no obstante los mejores resultados se obtuvieron con los que aquí se presentaron y que involucran al número de clones, al rango de las variables y a la generación corriente o actual dentro de la ejecución del algoritmo. Se demostró que estos operadores introducen nueva información a la búsqueda, repercutiendo en una mayor explotación de las soluciones prometedoras a la vez que coadyuvan en la exploración del espacio de búsqueda al permitir pasos grandes al principio del algoritmo y pasos muy pequeños al final del mismo. El alto grado de diversidad permitió una amplia exploración del espacio de búsqueda y evitó el estancamiento en óptimos locales.

En las funciones de prueba utilizadas, el elitismo designado (preservando a los dos mejores individuos), tanto en el ciclo interno de la convergencia nominal como en el ciclo externo, coadyuva a asegurar la convergencia del algoritmo. No obstante que la selección por *ranking* utilizada en esta tesis es un operador con alta presión selectiva (al hacer que los mejores individuos sean elegidos con mucha mayor probabilidad), el ruido estocástico generado evita la disminución en la diversidad de la población.

Se comparó el desempeño del micro-SIA con la versión estándar (CLONALG), en este rubro se comprobó que el micro-SIA converge más rápido al óptimo, realizando menos evaluaciones a la función objetivo, utilizando un número mínimo de individuos que a la vez permitió reducir el número de clones generados, que es un proceso crítico en la versión estándar. Aunque CLONALG también tiene parámetros sensibles, en el micro-SIA estos son más dependientes entre sí, por lo que sintonizarlos correctamente es una desventaja que no fue notoria para las funciones de prueba utilizadas pero que seguramente influirá en otro tipo de funciones.

El micro-SIA funciona correctamente, convergiendo al óptimo conocido, para problemas de optimización mono-objetivo sin restricciones y con restricciones, por lo menos para las funciones de prueba seleccionadas. El mecanismo para el manejo de restricciones que se presentó en esta tesis, permitió que el micro-SIA pudiera lidiar satisfactoriamente con este tipo de problemas. Sólo se resolvieron dos problemas de esta clase, por lo que seguramente será necesario adecuar este mecanismo para resolver otro tipo de problemas que requieran el manejo de espacios restringidos.

Aprovechando que el manejo poblacional del micro-SIA está reducido, al igual que el costo computacional, se realizó la migración de la versión diseñada para optimización numérica hacia una plataforma en hardware. La representación de los individuos tuvo que cambiarse del dominio de los números reales a los binarios. Los esfuerzos se dirigieron hacia dos vertientes: un microcontrolador comercial de 8 bits y un FPGA. El primero de estos dispositivos tiene una arquitectura limitada en cuanto al número de recursos, por lo que la implementación exitosa del problema de la *maximización de unos* (problema clásico en el área del reconocimiento de patrones) demostró no sólo que el micro-SIA se puede ejecutar de manera intrínseca, sino que es viable considerar a los microcontroladores para este tipo de aplicaciones. Experimentalmente se comprobó que cuando en la población inicial se obtienen soluciones potenciales, el algoritmo converge más rápidamente al óptimo.

La técnica implementada para resolver el problema de la maximización de unos en el microcontrolador, se extendió para manejar individuos de 16 bits y se resolvió con éxito en un FPGA. Para la particularidad de esta implementación se diseñó una arquitectura modular que tiene la capacidad de ejecutar paralelamente el algoritmo y es robusta, por lo que se puede modificar sin inconvenientes.

Se decidió aplicar el micro-SIA en un sistema de reconocimiento de caracteres, con el propósito de revisar cómo se comporta el algoritmo ante este tipo de problemas. Aprovechando la arquitectura embebida diseñada para la resolver la maximización de unos en el FPGA, se realizó una adecuación para que pudiera reconocer caracteres corruptos en un conjunto de 14 caracteres predefinidos. Cada individuo de la población estuvo representado por una cadena de 35 bits, en congruencia con una matriz de 7 filas y 5 columnas. El micro-SIA se ejecutó intrínsecamente para reconocer el caracter de entrada al sistema, obteniendo buenos resultados sin importar si el caracter corrupto presentaba ruido aditivo o sustractivo. Quedó comprobado que los parámetros definidos para esta aplicación, estuvieron correctamente seleccionados.

5.2 Trabajos a futuro

Es posible afirmar que el desempeño del micro-SIA es tan bueno o mejor, para los casos aquí presentados, que el del SIA en su versión estándar, aunque con menores requerimientos de espacio en memoria de datos, lo que permite enfocar el diseño hacia aplicaciones con un bajo costo computacional o a implementaciones en circuitos embebidos, refiriéndose al denominado hardware evolutivo. En este campo faltaría aplicarlo a problemas reales de ingeniería que requieran la ejecución intrínseca de un algoritmo bioinspirado, como es el caso de la elección de una ruta más corta en el desplazamiento de un robot móvil o el reconocimiento de caracteres en sistemas más complejos con un número muy grande de datos.

Será necesario realizar un análisis de covarianza para determinar el efecto de los parámetros sensibles en el funcionamiento del micro-SIA. También es importante realizar un análisis estadístico de la uniformidad en la distribución de las soluciones encontradas. Probar el algoritmo con otras funciones dará un panorama más certero de la eficiencia del micro-SIA, especialmente cuando estas funciones infieran un manejo de restricciones.

La optimización con múltiples objetivos se puede incorporar a la propuesta aportada en esta tesis, seguramente éste será un trabajo a futuro, al igual que explorar la adaptación de otros algoritmos bioinspirados a un esquema de micro-población.