

Memoria de las prácticas de empresa – Mario Montesinos Castaño

1. Descripción concreta y detallada de las tareas, trabajos desarrollados y entorno de trabajo

La presente memoria recoge las actividades desarrolladas durante los meses posteriores al primer periodo de prácticas académicas externas, realizadas en la Universitat Politècnica de València (UPV) en el marco del Grado en Ingeniería Informática. El trabajo se ha llevado a cabo en el mismo entorno de investigación vinculado a la Cátedra ENIA-UPV en Inteligencia Artificial para el Desarrollo Sostenible, una iniciativa orientada a la aplicación de técnicas avanzadas de inteligencia artificial a problemas reales con impacto social y medioambiental. La supervisión ha continuado a cargo de los tutores de la entidad colaboradora, Eva Onaíndia de la Rivaherrera y Kevin Martínez García, siendo Antonio Garrido Tejero el responsable académico de las prácticas. Durante este periodo se ha mantenido la dinámica de seguimiento continuo mediante reuniones semanales con los tutores de la entidad, que han permitido orientar el trabajo, validar las decisiones de diseño y revisar progresivamente los resultados obtenidos.

Mientras que el primer mes se centró en la comprensión del problema, la preparación de los datos climáticos y el diseño de la arquitectura inicial, el trabajo de este periodo se ha orientado al diseño, la implementación y la validación experimental del modelo de optimización completo. Partiendo del módulo de datos desarrollado previamente, que recoge toda la información exógena del problema, se ha construido el resto del sistema, articulado en torno a un algoritmo genético de codificación real (*Real-Coded Genetic Algorithm*) [1] que resuelve el problema de asignación de agua de riego planteado a partir del caso de estudio aplicado en Grecia por Georgiou y Papamichail [2]. En este modelo, las variables de decisión son las áreas cultivadas y el agua asignada a cada cultivo en cada periodo de la campaña.

En primer lugar, se ha formalizado e implementado la función objetivo del problema, definida como el beneficio económico de la campaña agrícola; esto es, la diferencia entre los ingresos derivados de la producción y los costes asociados al cultivo y al riego. Su cálculo integra el modelo agronómico estudiado durante la fase inicial, basado en las directrices de la FAO [3]: la evapotranspiración de referencia y máxima de cada cultivo, el balance hídrico del suelo, la lluvia efectiva y las funciones de producción de tipo Jensen [4], que relacionan el déficit hídrico en cada etapa fenológica con la reducción del rendimiento. Asimismo, se ha modelado la evolución de la profundidad radicular de los cultivos a lo largo de la campaña siguiendo el enfoque de Borg y Grimes [5], distinguiendo entre cultivos perennes, en los que se mantiene constante, y cultivos anuales, en los que evoluciona progresivamente.

A continuación, se han implementado los distintos operadores que componen el algoritmo genético: los mecanismos de selección, los operadores de cruce —como el cruce binario simulado [6]— y los de mutación, así como la estrategia de reemplazo de la población entre generaciones. Inicialmente se planteó un esquema de reemplazo de tipo estacionario (*steady-state*), que posteriormente se

rediseñó hacia un esquema generacional con elitismo, al observarse en este último un comportamiento de convergencia más adecuado. Cada componente se ha implementado de forma parametrizable, lo que ha permitido configurar y comparar de manera sistemática distintas alternativas para un mismo problema.

Una de las aportaciones principales de este periodo ha sido la sustitución de los escenarios climáticos sintéticos empleados en el modelo de referencia [2] por datos meteorológicos reales procedentes de ERA5-Land [7], un reanálisis climático que proporciona series históricas de variables meteorológicas sobre la superficie terrestre. A partir de la serie histórica disponible se han seleccionado años representativos de condiciones secas, normales y húmedas, lo que ha permitido evaluar el comportamiento del modelo bajo escenarios climáticos reales y contrastables, en lugar de hipotéticos.

Con el modelo ya operativo, se ha llevado a cabo una fase de experimentación sistemática orientada a determinar la configuración más adecuada del modelo genético. Para ello se han realizado barridos de los principales parámetros del algoritmo —el tamaño de la población, los operadores de selección, cruce y mutación, y sus correspondientes probabilidades e índices—, ejecutando cada configuración con múltiples semillas aleatorias con el fin de controlar la variabilidad estocástica inherente a este tipo de algoritmos. El análisis de las curvas de convergencia y de los valores obtenidos ha permitido identificar una configuración de referencia que combina un buen rendimiento con una convergencia estable a lo largo de las generaciones.

Paralelamente, se ha desarrollado una interfaz interactiva mediante la biblioteca Streamlit, que facilita la ejecución de experimentos y la visualización de los resultados, junto con un conjunto de utilidades orientadas a la realización de experimentos reproducibles. Finalmente, se han analizado los resultados obtenidos en los distintos escenarios climáticos, comparándolos con los del modelo de referencia y prestando especial atención a la interpretación de los patrones observados.

Durante la parte final de este periodo se ha iniciado además la redacción de la memoria del Trabajo de Fin de Grado asociado a estas prácticas, documentando de forma estructurada el problema, la metodología, la implementación y los resultados del proyecto.

2. Valoración de las tareas desarrolladas en relación con los estudios universitarios

Las tareas desarrolladas durante este periodo mantienen una estrecha relación con los contenidos del Grado en Ingeniería Informática, y en particular con las áreas de inteligencia artificial, optimización, análisis de datos e ingeniería del software. El diseño y la implementación de un algoritmo evolutivo para resolver un problema real de optimización han permitido aplicar de forma directa conocimientos teóricos sobre metaheurísticas y técnicas de búsqueda, profundizando en aspectos como la representación de las soluciones, el funcionamiento de los operadores genéticos y los criterios de convergencia.

Asimismo, el carácter modular del sistema desarrollado en Python ha reforzado competencias relacionadas con el diseño de software, la estructuración de proyectos de cierta envergadura y la gestión de volúmenes de datos significativos. La fase de experimentación, por su parte, ha puesto en

valor la importancia del rigor metodológico y del tratamiento estadístico de los resultados, aspectos transversales en la práctica profesional de la ingeniería informática.

Por otra parte, el proyecto conserva un marcado componente interdisciplinar, al integrar conceptos propios de la informática con conocimientos de hidrología, agronomía y sostenibilidad. Este enfoque resulta especialmente relevante en un contexto en el que la inteligencia artificial se consolida como herramienta para afrontar retos globales como la gestión eficiente de los recursos hídricos.

3. Problemas planteados y procedimientos seguidos para su resolución

Durante el desarrollo del modelo han surgido diversos retos, en su mayoría asociados a la complejidad del problema de optimización y a la naturaleza estocástica del algoritmo empleado. Uno de los principales desafíos ha sido la elevada variabilidad de los resultados entre distintas ejecuciones, derivada del componente aleatorio del algoritmo genético. Para abordarla, se ha adoptado una metodología basada en la ejecución de cada configuración con múltiples semillas y en el análisis de los resultados en términos de media y desviación, de modo que las conclusiones no dependan de una única ejecución.

Otro reto relevante ha sido el diseño del esquema de evolución de la población. El esquema estacionario planteado en un primer momento no proporcionaba un comportamiento de convergencia satisfactorio, por lo que se optó por rediseñarlo hacia un esquema generacional con elitismo. De forma análoga, la elección de los operadores de cruce y mutación más adecuados se ha resuelto de manera empírica, mediante la comparación sistemática de las distintas alternativas implementadas sobre el problema concreto.

Asimismo, la interpretación de los resultados ha planteado una dificultad de especial interés. Al analizar los distintos escenarios climáticos se observó un comportamiento que, en un primer momento, resultaba contraintuitivo respecto a lo esperado. El procedimiento seguido para resolver esta cuestión ha consistido en un análisis detallado del modelo, que ha permitido comprobar que dicho comportamiento respondía a una explicación física coherente —relacionada con la distinción entre la precipitación anual, que condiciona el agua disponible en el sistema de almacenamiento, y la precipitación registrada durante la campaña de riego, que reduce directamente la demanda hídrica— y no a un error de implementación.

Por último, el modelado de determinados elementos agronómicos, como la evolución de la profundidad radicular según el tipo de cultivo, ha requerido la consulta de fuentes especializadas con el fin de asegurar la coherencia del modelo con la literatura de referencia.

4. Aportaciones en materia de aprendizaje

Este periodo de prácticas ha supuesto una experiencia de aprendizaje especialmente significativa, tanto en el plano técnico como en el metodológico. En el ámbito técnico, se ha adquirido un conocimiento profundo sobre el diseño y la implementación de algoritmos evolutivos, abarcando desde la representación de las soluciones hasta la puesta a punto de sus operadores y parámetros, así como sobre la integración de un modelo agronómico complejo dentro de un sistema de optimización.

En el plano metodológico, el trabajo ha permitido interiorizar la importancia de una experimentación rigurosa y reproducible, así como del tratamiento estadístico de los resultados a la hora de extraer conclusiones fiables. Igualmente, se ha desarrollado la capacidad de análisis crítico necesaria para distinguir entre un resultado erróneo y un comportamiento real del sistema, por contraintuitivo que pueda parecer en un primer momento.

Además, se han consolidado competencias en programación científica, diseño de sistemas modulares y desarrollo de interfaces para la visualización de resultados. Por último, la integración en un entorno de investigación y la interacción continua con los tutores han contribuido al desarrollo de habilidades de comunicación técnica, documentación y aprendizaje autónomo, fundamentales para la futura actividad profesional.

5. Evaluación de las prácticas

La valoración de este periodo de prácticas continúa siendo muy positiva, tanto por el contenido técnico del proyecto como por el entorno de trabajo en el que se desarrolla. El hecho de abordar un problema real con impacto directo en la sostenibilidad y en la gestión eficiente de los recursos hídricos aporta un valor añadido considerable a la formación adquirida.

El seguimiento continuo a través de reuniones semanales con los tutores ha resultado nuevamente clave para el avance del proyecto, permitiendo orientar el trabajo, validar las decisiones tomadas y asegurar una evolución coherente y estructurada. Frente a la fase inicial, centrada en la comprensión del problema y la preparación de los datos, este periodo ha permitido completar el ciclo de desarrollo, desde la implementación del modelo hasta la obtención y el análisis de los resultados, proporcionando una visión global y muy enriquecedora del proceso de resolución de un problema real de optimización.

Por último, se desea agradecer la labor de tutorización y supervisión realizada a lo largo de estas prácticas, tanto por parte de los tutores de la entidad colaboradora, Eva Onaindia de la Rivaherrera y Kevin Martínez García, como del tutor académico, Antonio Garrido Tejero, cuyo acompañamiento y orientación han contribuido de manera notable al buen desarrollo del proyecto.

Bibliografía

- [1] Goldberg, D. E. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Addison-Wesley.
- [2] Georgiou, P. E., & Papamichail, D. M. (2008). Optimization model of an irrigation reservoir for water allocation and crop planning under various weather conditions. *Irrigation Science*, 26(6), 487–504.
- [3] Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements* (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56). FAO.
- [4] Jensen, M. E. (1968). Water consumption by agricultural plants. En T. T. Kozlowski (Ed.), *Water Deficits and Plant Growth* (Vol. II, pp. 1–22). Academic Press.
- [5] Borg, H., & Grimes, D. W. (1986). Depth development of roots with time: An empirical description. *Transactions of the ASAE*, 29(1), 194–197.
- [6] Deb, K., & Agrawal, R. B. (1995). Simulated binary crossover for continuous search space. *Complex Systems*, 9(2), 115–148.
- [7] Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., ... Thépaut, J.-N. (2021). ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*, 13(9), 4349–4383.