

## Resumen

El diseño de infraestructuras está fuertemente influido por la búsqueda de soluciones que tengan en cuenta el impacto en la economía, el medio ambiente y la sociedad. Estos criterios están muy relacionados con la definición de sostenibilidad que hizo la Comisión Brundtland en 1987. Este hito supuso un reto para técnicos, científicos y legisladores. Este reto consistía en generar métodos, criterios, herramientas y normativas que permitieran incluir el concepto de sostenibilidad en el desarrollo y diseño de nuevas infraestructuras. Desde entonces, se han producido pequeños avances en la búsqueda de la sostenibilidad, pero se necesitan más a corto plazo. Como plan de acción, las Naciones Unidas establecieron los Objetivos de Desarrollo Sostenible, fijando el año 2030 como meta para alcanzarlos. Dentro de estos objetivos, las infraestructuras se postulan como un punto crítico. Tradicionalmente, se han desarrollado métodos para obtener diseños óptimos desde el punto de vista del impacto económico. Sin embargo, aunque en los últimos tiempos se ha avanzado en la aplicación y utilización de métodos de análisis del ciclo de vida completo, aún falta un consenso claro, especialmente en el pilar social de la sostenibilidad. Dado que la sostenibilidad engloba diferentes criterios, que en principio no van necesariamente de la mano, el problema de la búsqueda de la sostenibilidad se plantea no sólo como un problema de optimización, sino también como un problema de toma de decisiones multi-criterio.

El objetivo principal de esta tesis doctoral es proponer diferentes metodologías para la obtención de diseños óptimos que introduzcan los pilares de la sostenibilidad en el diseño de puentes mixtos acero-hormigón. Como problema estructural representativo se propone un puente viga en cajón de tres vanos mixto. Dada la complejidad de la estructura, en la que intervienen 34 variables discretas, la optimización con métodos matemáticos resulta inabordable. Por ello, se propone el uso de algoritmos metaheurísticos. Esta complejidad también se traduce en un alto coste computacional para el modelo, por lo que se implementa un modelo de redes neuronales profundas que permite la validación del diseño sin necesidad de computación. Dada la naturaleza discreta del problema, se proponen técnicas de discretización para adaptar los algoritmos al problema de optimización estructural. Además, para mejorar las soluciones obtenidas a partir de estos algoritmos discretos, se introducen métodos de hibridación basados en la técnica K-means y operadores de mutación en función del tipo de algoritmo. Los algoritmos utilizados se clasifican en dos ramas. La primera son los basados en trayectorias como el Simulated Annealing, Threshold Accepting y el Algoritmo del Solterón. Por otra parte, se utilizan algoritmos de inteligencia de enjambre como Jaya, Sine Cosine Algorithm y Cuckoo Search. La metodología de Análisis del Ciclo de Vida definida en la norma ISO 14040 se utiliza para evaluar el impacto social y medioambiental de los diseños propuestos. La aplicación de esta metodología permite evaluar el impacto y compararlo con otros diseños. La evaluación mono-objetivo de los diferentes criterios lleva a la conclusión de que la optimización de costes está asociada a una reducción del impacto medioambiental y social de la estructura. Sin embargo, la optimización de los criterios medioambientales y sociales no reduce necesariamente los costes. Por ello, para realizar una optimización multi-objetivo y encontrar una solución de compromiso, se implementa una técnica basada en la Teoría de Juegos, proponiendo una estrategia de juego cooperativo. La técnica multi-criterio utilizada es la Teoría de la Entropía para asignar pesos a los criterios para la función objetivo agregada. Los criterios considerados son los tres pilares de la sostenibilidad y la facilidad constructiva de la losa superior. Aplicando esta técnica se obtiene un

diseño óptimo relativo a los tres pilares de la sostenibilidad y a partir del cual se mejora la facilidad constructiva.