

# Resumen

El cambio climático y la rápida expansión de las áreas urbanas han intensificado el impacto ambiental del sector de la construcción, responsable de cerca del 37% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>, y de más de un tercio del consumo energético mundial. Mejorar la sostenibilidad y la resiliencia de las estructuras edificatorias se ha convertido, por tanto, en una prioridad esencial, plenamente alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. Esta tesis doctoral aborda este reto mediante el desarrollo de un marco de diseño basado en optimización que permite obtener soluciones innovadoras, sostenibles y resilientes para estructuras porticadas.

El objetivo principal de la investigación es crear y validar metodologías avanzadas que integren tipologías estructurales híbridas y mixtas con estrategias de optimización de vanguardia, apoyadas en modelos estructurales de alta fidelidad. Para ello, se formulan problemas de optimización que consideran de manera conjunta criterios económicos, ambientales, constructivos, de durabilidad y de seguridad estructural, incorporando además aspectos frecuentemente ignorados como la interacción suelo–estructura, la robustez frente al colapso progresivo, y el desempeño ambiental durante el ciclo de vida de la estructura. Entre los objetivos específicos destacan: la evaluación de metaheurísticas avanzadas y técnicas de optimización asistida por metamodelos, la cuantificación de los riesgos de modelos estructurales simplificados, la integración de la resiliencia como restricción de diseño, la valoración de los beneficios de tipologías híbridas y mixtas, la exploración de estrategias de optimización multiobjetivo, y la comparación entre enfoques de diseño basado en fases iniciales y de ciclo de vida.

Los resultados muestran que las estrategias metaheurísticas avanzadas y las asistidas por metamodelos (como BBO-CINS, enfoques basados en Kriging y la Optimización Escalarizada de Pareto) superan claramente a los algoritmos tradicionales, logrando reducciones de hasta un 90% en el coste computacional en problemas mono-objetivo y mejoras de hasta un 140% en la calidad del frente de Pareto en problemas multi-objetivo. Asimismo, se evidencia el riesgo de simplificar en exceso los modelos estructurales: omitir aspectos críticos como la interacción suelo–estructura o elementos secundarios (forjados, muros) puede distorsionar el diseño, comprometer la seguridad (p. ej., subestimando la resistencia al colapso) y aumentar los impactos ambientales a largo plazo debido al deterioro acelerado y mayores necesidades de mantenimiento. También se demuestra que, al incorporar la resiliencia como restricción de diseño en lugar de tratarla como un objetivo de optimización, es posible mejorar la robustez frente al colapso progresivo sin perjudicar la sostenibilidad, reduciendo además la carga ambiental del diseño robusto en torno a un 11% al considerar elementos estructurales secundarios.

A escala de componentes estructurales, la optimización de vigas de acero soldadas validó los beneficios de la hibridación y de las geometrías variables, dando lugar a la tipología Transversely Hybrid Variable Section (THVS), que reduce los costes de fabricación hasta en un 70% respecto a vigas I convencionales. Su integración en pórticos compuestos de hormigón armado y elementos THVS proporcionó mejoras adicionales de sostenibilidad, con reducciones del 16% en emisiones y del 11% en energía incorporada en fases iniciales de diseño, y hasta un 30% en emisiones de ciclo de vida en comparación con sistemas tradicionales de hormigón armado. La inclusión de forjados y muros estructurales amplificó estos beneficios, reduciendo los impactos de ciclo de vida hasta en un 42% respecto a configuraciones de pórticos dónde solo trabaja estructuralmente el esqueleto (omitiendo forjados y muros).

En conjunto, esta tesis demuestra que las metodologías de diseño basadas en optimización, apoyadas en modelos estructurales realistas y estrategias computacionales avanzadas, permiten concebir edificios simultáneamente más sostenibles y resilientes. Al poner en valor las ventajas de las tipologías híbridas y mixtas, integrar la resiliencia sin comprometer la sostenibilidad y subrayar la importancia de la optimización en el ciclo de vida, la investigación aporta una base

metodológica sólida para avanzar hacia una nueva generación de edificaciones en línea con los objetivos globales de sostenibilidad y acción climática.