

Premio de estructuras de edificación 2023

ACIES

Asociación de Consultores de
Estructuras de Edificación

Optimización meta-heurística enfocada en el diseño sostenible basado en fiabilidad y robusto de estructuras híbridas para edificaciones aporticadas



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Iván Antonio Negrin Diaz

Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH)

Universitat Politècnica de València

Introducción

- Nombre del trabajo de investigación: “Optimización meta-heurística enfocada en el diseño sostenible basado en fiabilidad y robusto de estructuras híbridas para edificaciones aporticadas”
- Breve curriculum del investigador/estudiante/equipo: Iván Negrin es graduado con honores de Ingeniero Civil en la Universidad Central de las Villas (Cuba). También tiene un título de Máster en Estructuras por parte de la misma universidad. Actualmente es estudiante de doctorado de la Universitat Politècnica de València. Su trabajo reciente se enmarca dentro del proyecto “Optimización híbrida del ciclo de vida de puentes y estructuras mixtas y modulares de alta eficiencia social y medioambiental bajo presupuestos restrictivos (HYDELIFE)”, dirigido por el Prof. Víctor Yepes Piqueras. Ha publicado 13 artículos científicos JCR (11 como autor principal) relacionados con la optimización del diseño de estructuras, principalmente edificaciones. Sus líneas actuales de investigación son: optimización estructural, meta-heurísticas, optimización asistida por metamodelos, diseño sostenible, diseño robusto, diseño basado en fiabilidad, Análisis de Ciclo de Vida, edificaciones aporticadas, estructuras híbridas, interacción suelo-estructura, y otros temas afines.
- Fecha de presentación de la tesis doctoral: 30/06/2026
- Lugar de realización: Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH), Universitat Politècnica de València, Valencia, España.

Descripción del TFG/TFM/tesis

- En las últimas décadas, el impacto de las actividades humanas en el medio ambiente, sobre todo en lo que respecta al cambio climático y el agotamiento de los recursos naturales, ha acaparado una gran atención. Una parte considerable de este impacto procede del sector de la construcción, que representa el 5% de las emisiones mundiales de CO₂ y es una de las industrias más intensivas en el consumo de materiales. Las edificaciones aporticadas constituyen una parte importante de este sector. Su coste económico y su impacto ambiental son considerables. La mejora de los indicadores de sostenibilidad de estas estructuras puede lograrse con estrategias como el uso de materiales de construcción novedosos, pero también mediante su utilización más eficiente a través la optimización de su diseño estructural.

Descripción del TFG/TFM/tesis

- Aun cuando se han realizado innumerables estudios sobre la optimización del diseño de este tipo de construcción, todavía hay muchos aspectos que deben ser mejorados. El uso de casos de estudio reales, la creación de modelos competentes que simulen los fenómenos reales de forma más eficiente, y la formulación de problemas de optimización que engloben el concepto de sostenibilidad son algunos de los puntos que requieren un mayor desarrollo dentro de este campo. Complejizar tanto los modelos estructurales como la formulación de la optimización requieren un esfuerzo adicional para solucionar el problema. Por tanto, el desarrollo de técnicas de inteligencia artificial avanzadas para lidiar con estos problemas es otra de las ramas que necesita ser explorada en profundidad. Es por eso que esta tesis doctoral pretende abordar el uso de la optimización meta-heurística enfocada en el diseño sostenible basado en fiabilidad y robusto de estructuras híbridas para edificaciones.

Descripción del TFG/TFM/tesis

- Los temas individuales más importantes desarrollados en el marco de esta investigación son:
 - La creación de modelos estructurales más precisos considerando factores usualmente ignorados como la interacción suelo-estructura (ISE).
 - El uso de diferentes materiales de construcción (estructuras mixtas o híbridas) como “acero-hormigón” o “acero-acero especial” puede mejorar significativamente los índices de sostenibilidad de las edificaciones.
 - Implementación del diseño sostenible de las estructuras enfocado a mejorar los índices económicos, medioambientales, sociales, constructivos y de durabilidad (EMSCD) de manera conjunta (optimización multicriterio). Además, estos criterios se evalúan durante toda la vida útil de la edificación con herramientas como el análisis de ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés).

Descripción del TFG/TFM/tesis

- Los temas individuales más importantes desarrollados en el marco de esta investigación son:
 - Un problema de las metodologías propuestas es que pequeñas variaciones en parámetros o restricciones pueden hacer infactibles las soluciones derivadas de la optimización multicriterio de estructuras. Es por eso que otro punto importante a desarrollar en esta investigación es la implementación de diseños óptimos basados en fiabilidad o robustos (RBDO y RDO respectivamente, por sus siglas en inglés).
 - El uso de técnicas avanzadas de inteligencia artificial y su hibridación con las meta-heurísticas es otro punto clave a desarrollar en nuestro estudio. El desarrollo e implementación de técnicas novedosas de toma de decisiones es también un área por explorar para solucionar los problemas de optimización multicriterio. Para lidiar con el enorme consumo computacional que genera la optimización de modelos complejos de estructuras reales se utilizan los metamodelos (redes neuronales, modelos Kriging).

Descripción del TFG/TFM/tesis

- Los temas individuales más importantes desarrollados en el marco de esta investigación son:
 - Finalmente, una vez desarrollados los puntos anteriores, este estudio pretende comparar varias alternativas de tipologías optimizadas para seleccionar las más sostenibles en base a los cinco criterios propuestos (EMSCD) y su utilización en edificaciones. En este ámbito, el desarrollo de estructuras mixtas e híbridas debe jugar un papel decisivo en la obtención de los objetivos propuestos.

Pórticos de hormigón armado



Pórticos de acero



Pórticos mixtos



Novedad

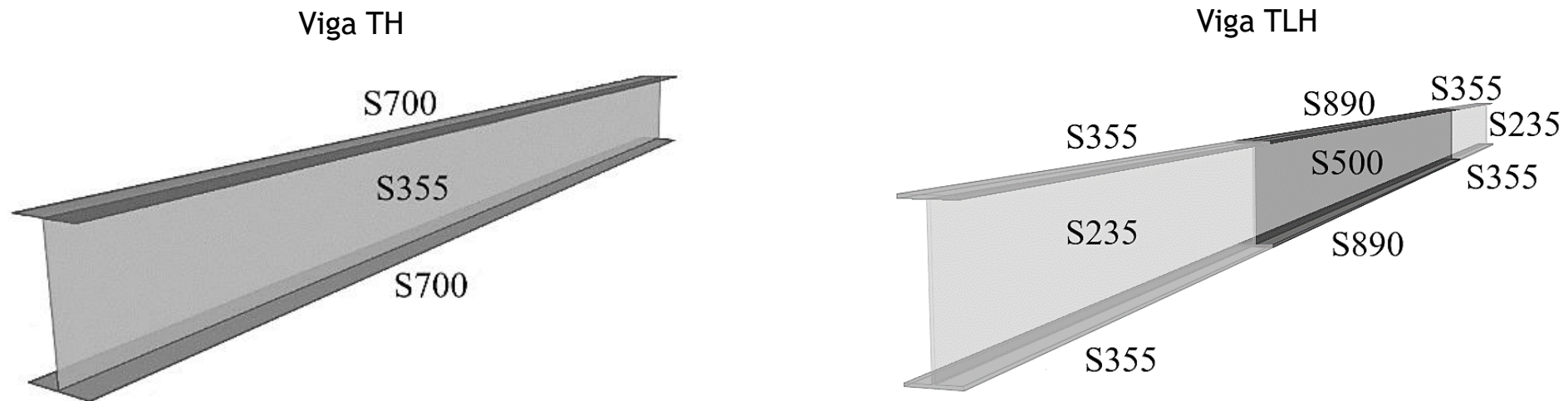
- La relevancia de nuestra propuesta radica en la inclusión de varios aspectos novedosos en la metodología de modelación, análisis y diseño estructural. En vez de adoptar una perspectiva de diseño tradicional, nuestro enfoque consiste en incorporar herramientas avanzadas de optimización al procedimiento habitual. Los aspectos novedosos más importantes son:
 - Consideración de la interacción-suelo estructura en la modelación.
 - Uso de la optimización matemática para desarrollar la construcción de estructuras mixtas e híbridas para estructuras de edificación.
 - Formulación del problema de optimización con un enfoque global de sostenibilidad.
 - Consideración de la incertidumbre dentro del diseño.
 - Desarrollo de meta-heurísticas avanzadas para la resolución de los complejos problemas planteados, combinando herramientas como la minería de datos, los metamodelos, métodos de toma de decisores, y demás.

Innovación técnica

- La innovación técnica de nuestra propuesta radica en proponer edificaciones aporricadas que mejoren los índices de sostenibilidad de las tipologías actuales. Mediante la aplicación de la novedosa metodología de diseño propuesta (desarrollada en “Innovación en procesos”) se busca formular problemas de optimización que exploren en profundidad la posibilidad de construir estructuras mixtas o híbridas. Esto con el objetivo de obtener diseños más económicos, respetuosos con el medio ambiente, de gran impacto social, fáciles de construir y duraderos.

Innovación técnica

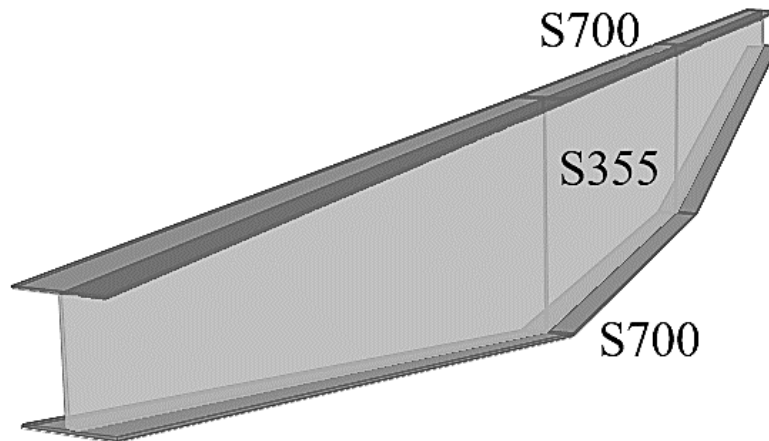
- Estudios recientes de nuestro grupo de investigación ha demostrado la ventaja del uso de [vigas híbridas de acero](#) sobre sus contrapartes homogéneas. Las vigas de acero transversal y transversal-longitudinalmente híbridas ([TH y TLH](#), respectivamente) pueden mejorar los índices económicos en más de un 50% con respecto a una viga tradicional (perfil), y en hasta un 20% a una viga optimizada homogénea.



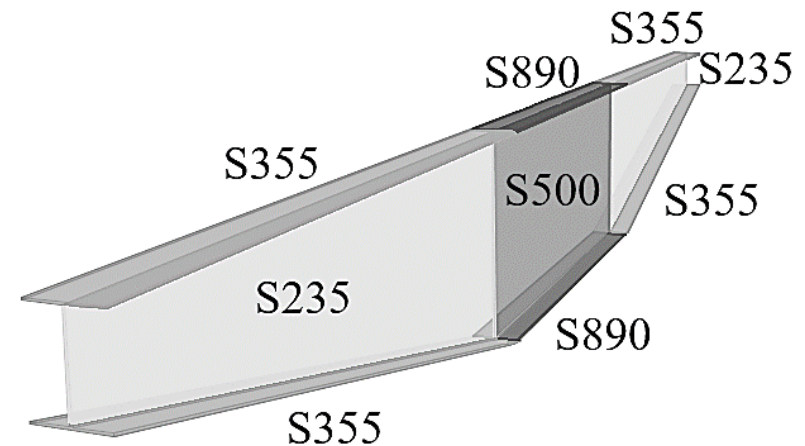
Innovación técnica

- Actualmente hay una investigación en proceso sobre el uso de herramientas de optimización para diseñar vigas TH y TLH de sección variable (THVS y TLHVS). Resultados preliminares han demostrado que tienen más ventajas aún que las vigas híbridas de sección constante.

Viga THVS



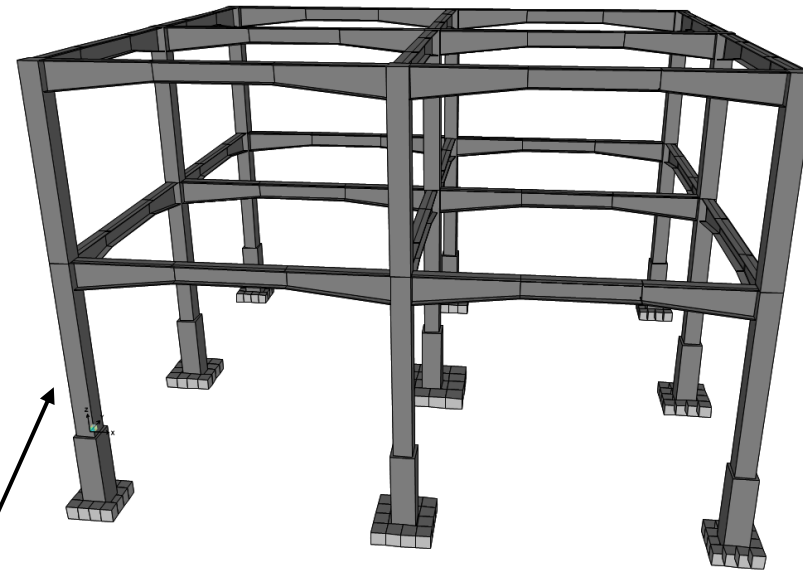
Viga THLVS



Innovación técnica

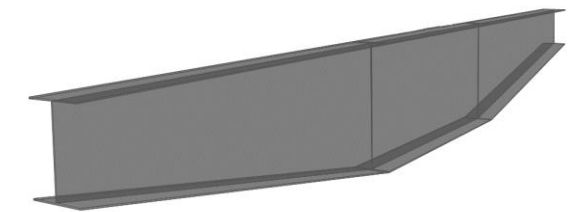
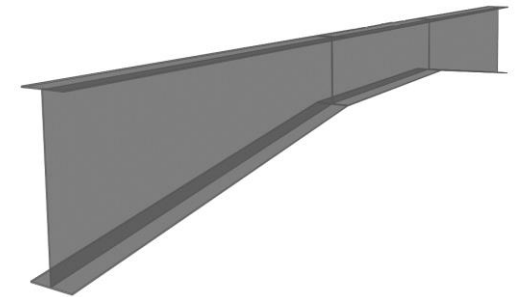
- El objetivo es insertar estas nuevas tipologías a estructuras como edificaciones aporticadas (ya sean de acero, o mixtas con columnas de hormigón armado y vigas de acero THVS o TLHVS) para mejorar los índices de sostenibilidad.

Estructura aporticada mixta
hormigón-acero



Columnas de hormigón armado

Vigas de acero THVS o TLHVS



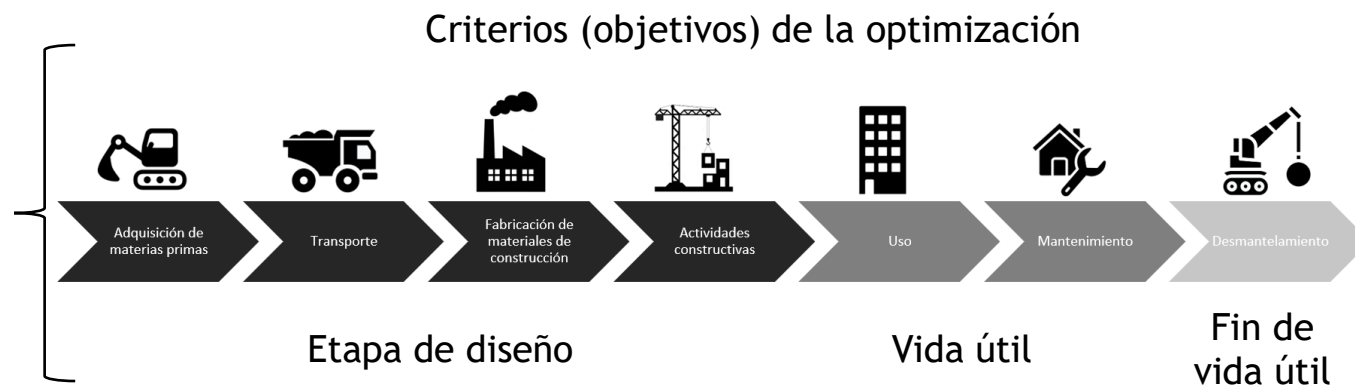
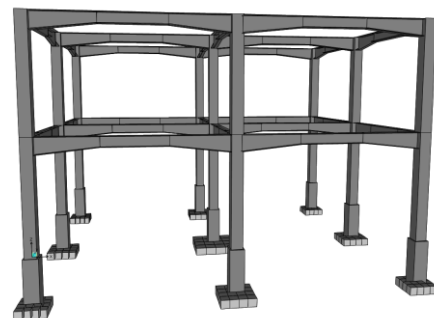
En función de la unión viga-columna
(empotrada o articulada)

Innovación en procesos

- La innovación en el proceso de nuestra propuesta radica en desarrollar e introducir herramientas avanzadas de optimización e inteligencia artificial en los procedimientos tradicionales de diseño. Los resultados planteados como parte de la innovación técnica parten de los nuevos enfoques que tiene nuestra propuesta. Comenzando con la confección de modelos estructurales competentes, se formulan una serie de criterios (u objetivos de la optimización) que encierran un concepto global de sostenibilidad. Estos objetivos, además, están enfocados no solo hasta la etapa de diseño, sino incluyendo todo el ciclo de la vida de la estructura. Esto permite considerar etapas muy significativas en el impacto de una estructura como su mantenimiento o desmantelamiento.

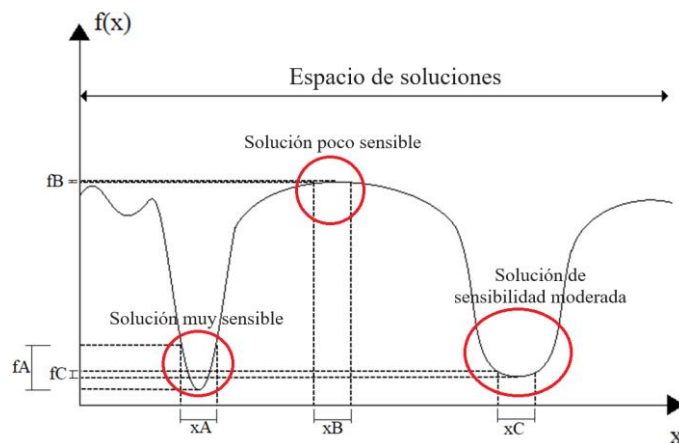


Diseño automatizado
(optimización)



Innovación en procesos

- Otro enfoque innovador que se pretende abordar es la consideración de las variaciones inherentes a los fenómenos reales dentro de la búsqueda de diseños sostenibles mediante la optimización. La optimización basada en fiabilidad y robusta permiten considerar estas variaciones, a diferencia del enfoque determinista tradicional. Todo lo anterior provoca que estemos ante un problema que envuelve un gran número de variables y posibles soluciones. Es aquí donde la inteligencia artificial y la optimización matemática juegan un papel fundamental a la hora de explorar este espacio de soluciones y brindar diseños sostenibles.

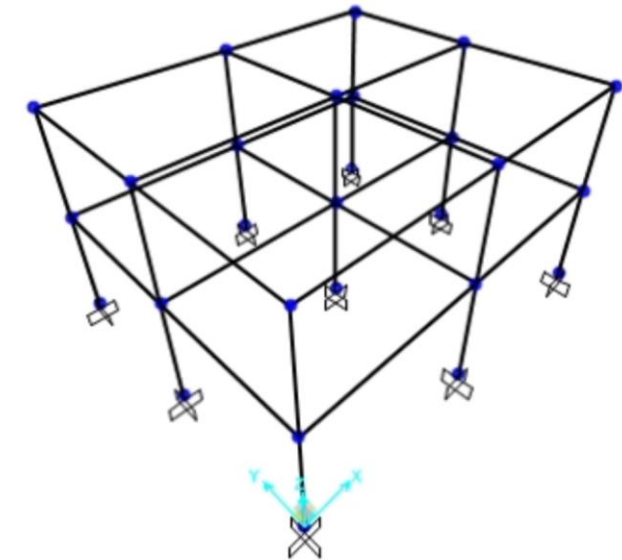
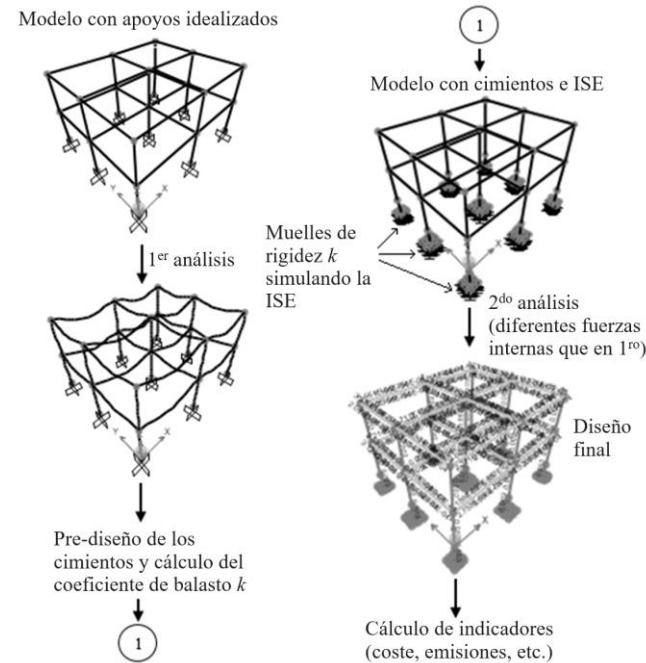
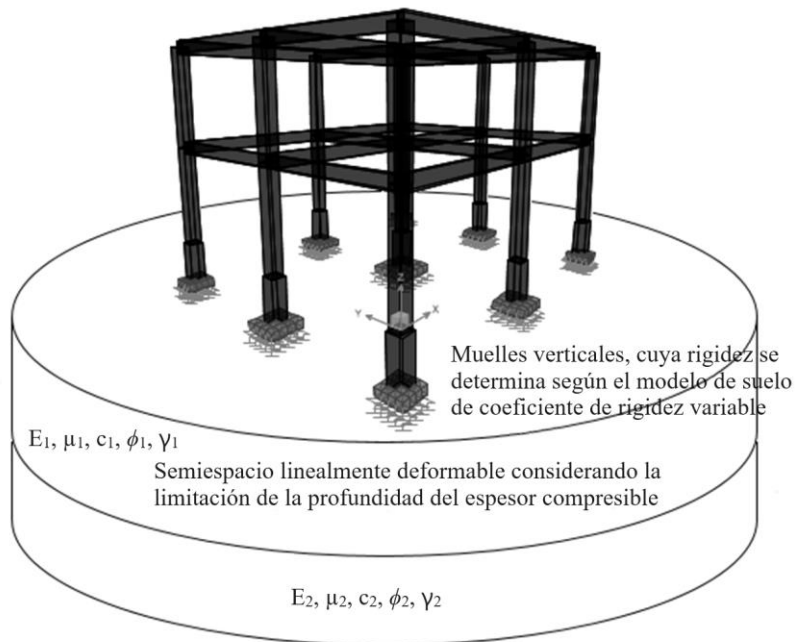


Principio del diseño robusto (disminuir la sensibilidad de la respuesta del sistema ante la variabilidad inherente de las variables):

- La solución A es la mejor (menor valor de la función objetivo, por ejemplo, emisiones de CO_2). Sin embargo, esta solución es muy sensible a la variabilidad de las variables " x " (f_A).
- La solución B es muy poco sensible (f_B), pero el valor de la función objetivo es muy alto.
- Por el contrario, la solución C ofrece un valor muy bueno de la función objetivo y a su vez, la variabilidad es muy pequeña (f_C). Esta sería la solución óptima robusta.

Innovación en procesos

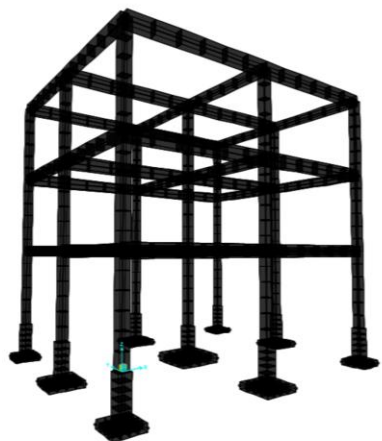
- Uno de los aspectos novedosos dentro del enfoque propuesto es la consideración de la ISE a la hora de modelar la edificación. Nuestro grupo de investigación ha diseñado y publicado una [metodología](#) para considerar este aspecto de forma automatizada dentro de los procesos de optimización del diseño estructural.



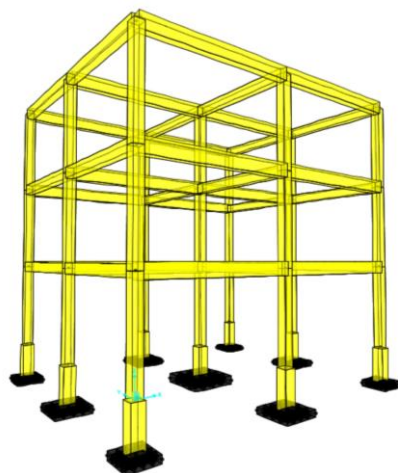
Innovación en procesos

- La hipótesis fundamental de considerar la ISE es que el comportamiento de la superestructura se verá afectado producto de los asentamientos diferenciales, por muy pequeños que estos sean. Este tipo de asentamiento ocurre en la realidad, y no se refleja en los modelos con apoyos idealizados.

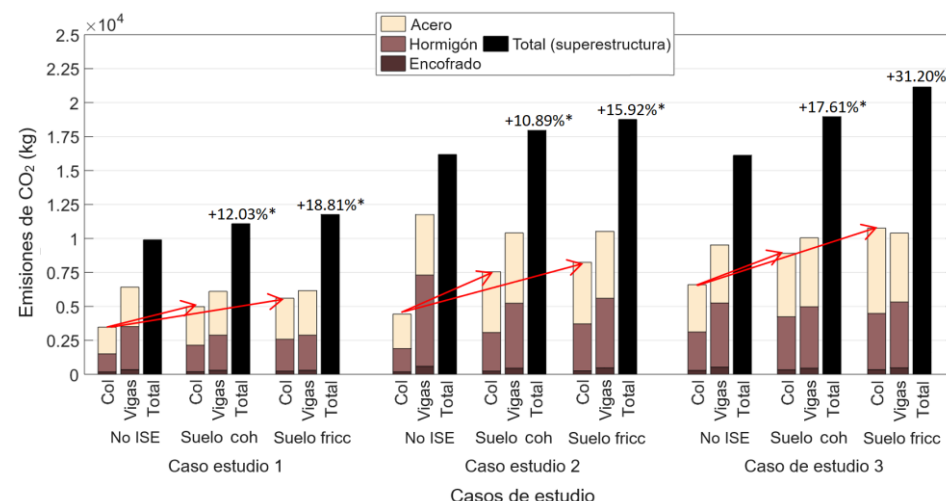
Proceso de asentamientos



Esfuerzo producido solo por asentamientos diferenciales



Aplicación de la metodología propuesta a varios casos de estudio:



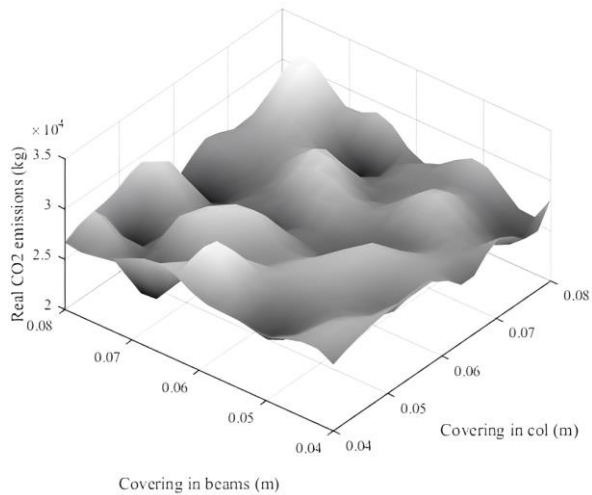
* Con respecto a modelos con apoyos idealizados (No ISE)

- Resultados de diseño óptimo con diferencias de un 11 a un 18% al utilizar modelos con y sin ISE en suelos cohesivos.
- De un 16 a un 31% para suelos friccionales.
- Las columnas son los elementos que más sufren los asentamientos diferenciales (flechas rojas).
- [Todos los resultados aquí](#)

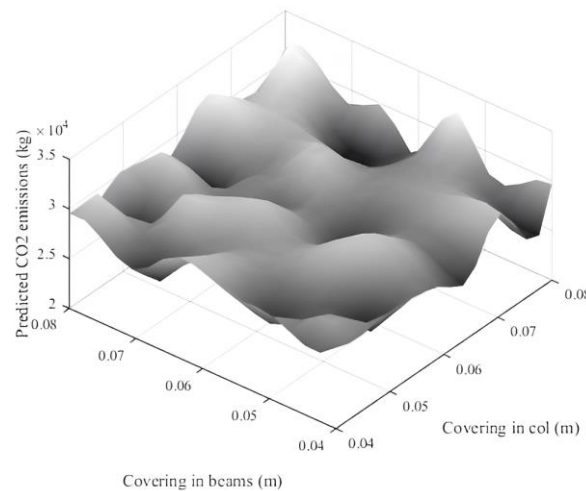
Innovación en procesos

- Uno de los grandes problemas de la metodología propuesta es su enorme consumo computacional. Un solo procedimiento de optimización estructural heurística convencional puede durar (en un ordenador promedio, para este tipo de estructuras) 125 horas (5.2 días). Es aquí donde la [optimización del diseño estructural asistida por metamodelos \(MASDO, siglas en inglés\)](#) juega un papel decisivo.

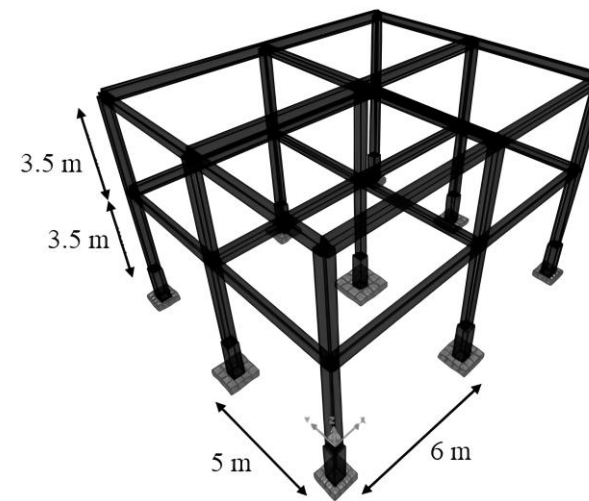
Superficie de respuesta real



Superficie de respuesta pronosticada



Aplicación de MASDO a casos de estudio



Optimización basada en metamodelos Kriging:

- Reducción de un 90% del consumo computacional en la optimización mono-objetivo con un 99% de precisión ([Ver publicación](#)).
- Reducción de un 70% del consumo computacional en la optimización multi-objetivo con una precisión promedio del 98% ([Ver publicación](#)).

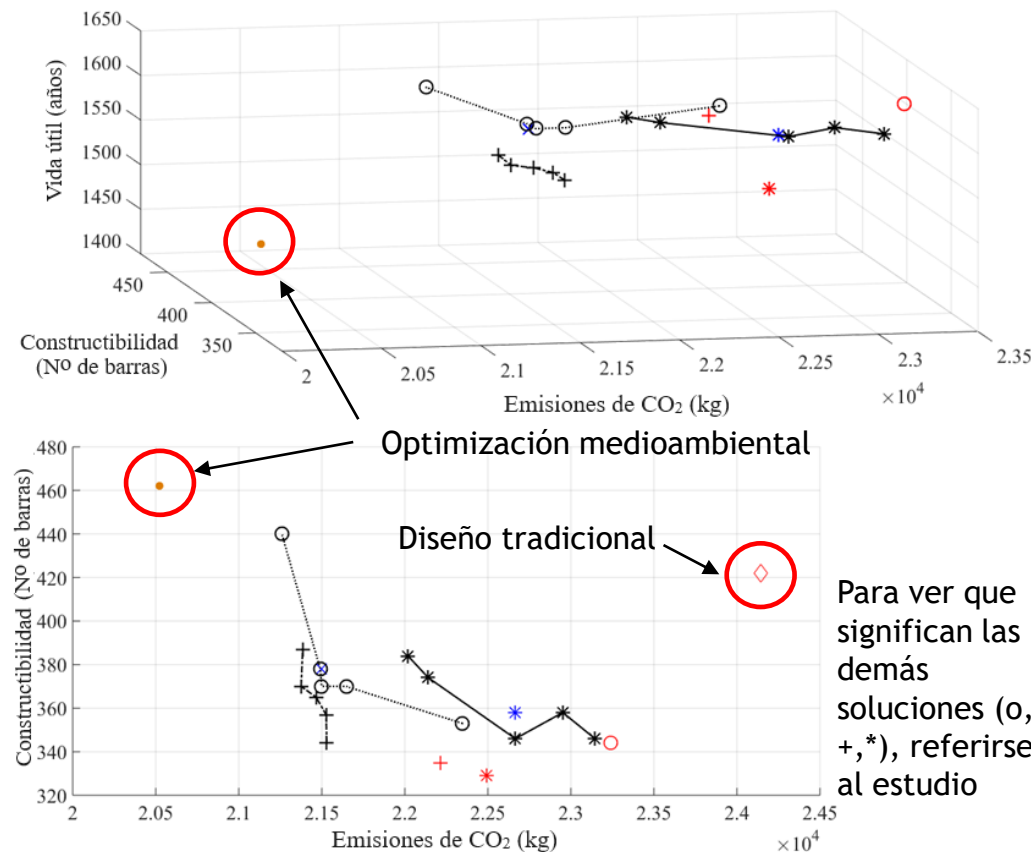
Aspectos medioambientales

- Una de las prioridades de nuestra metodología es, a través de los cinco criterios propuestos (EMSCD), disminuir al máximo los impactos negativos de las estructuras de edificación a través de su ciclo de vida. Evidentemente el criterio medioambiental está enfocado directamente en esta dirección. Pero los demás criterios también propician que los diseños sean más respetuosos con el medioambiente. Por ejemplo, en estudios ya publicados hemos demostrado que [la optimización económica de edificaciones aporricadas de hormigón armado está estrechamente relacionada con beneficios medioambientales](#). De igual manera, estructuras más fáciles de construir están menos propensas a errores de construcción, lo cual garantiza mayor durabilidad y, por tanto, menos consumo de materiales en concepto de mantenimiento, y así sucesivamente.

Aspectos medioambientales

- Un [estudio recientemente publicado](#) por nuestro grupo de investigación plantea que la optimización medioambiental simple de una edificación aportada de hormigón armado contribuye a disminuir considerablemente las emisiones de CO₂. Sin embargo, optimizar más de un criterio es más beneficioso desde el punto de vista del comportamiento a largo plazo.

Espacio de soluciones



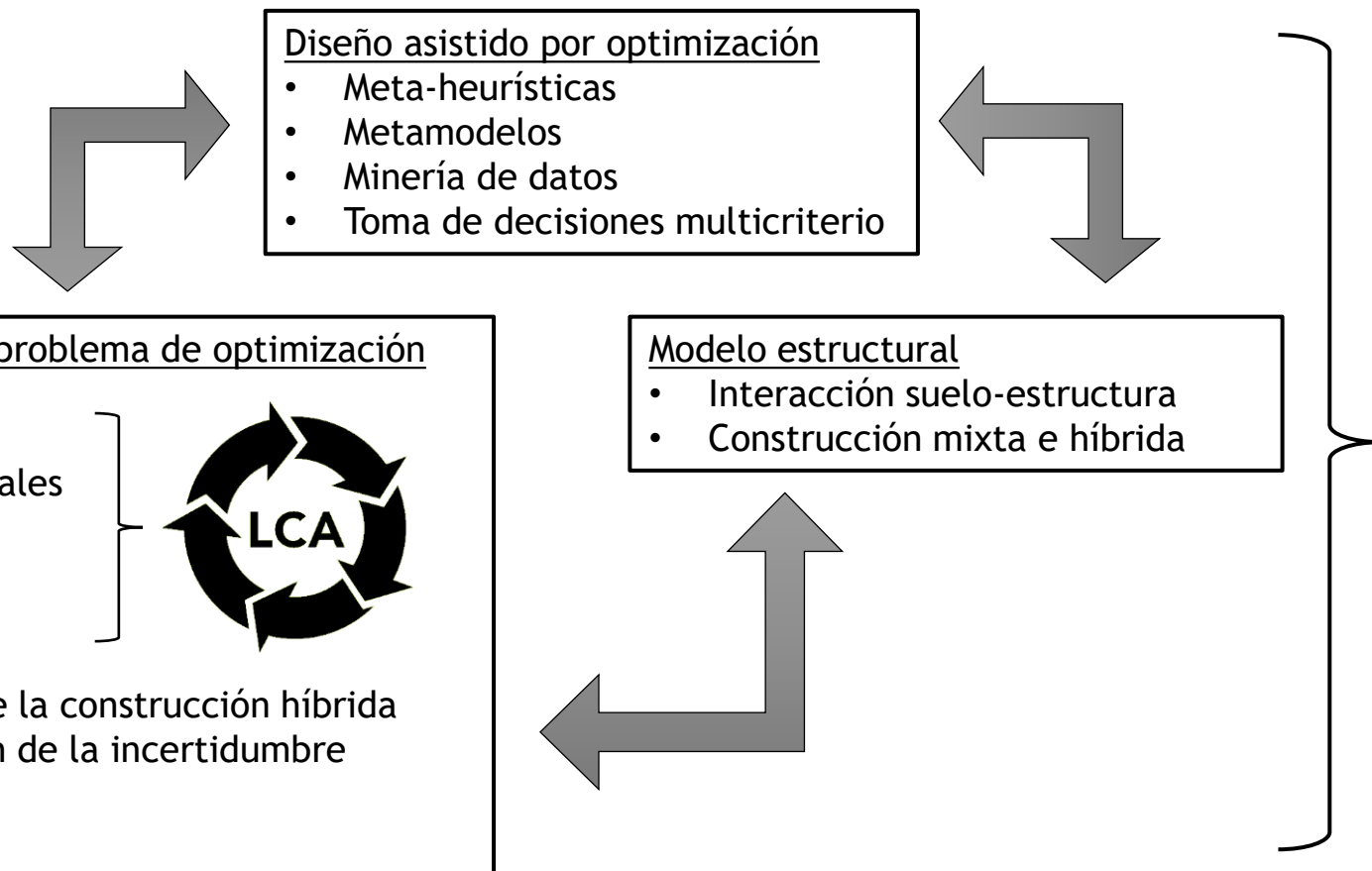
- La solución obtenida con el método tradicional de diseño aumenta en más de un 17% las emisiones que la obtenida al optimizar solo el criterio medioambiental, y es 6 veces menos duradera (600%). Esto demuestra la superioridad del diseño asistido por una herramienta de optimización.
- Una de las soluciones obtenidas al optimizar los tres criterios simultáneamente libera 7% más CO₂ a la atmósfera, pero es 27% más fácil de construir, y 13% más duradera que la obtenida mediante la optimización medioambiental mono-objetivo. Por tanto, la primera tendrá menor impacto a largo plazo en términos de mantenimiento.

Aportación al gremio

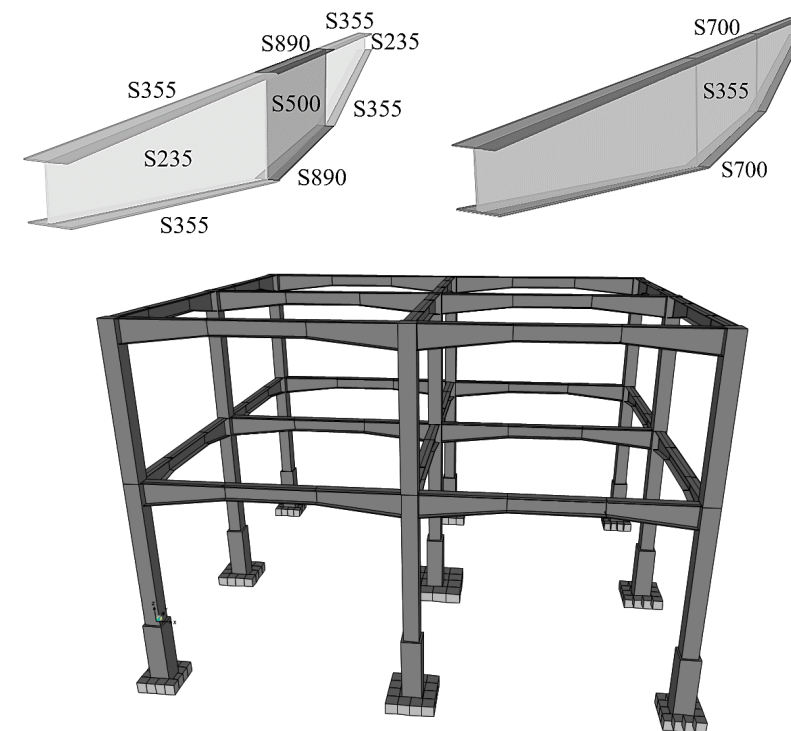
- La aportación de nuestra investigación al gremio de las estructuras de edificación se puede dividir en dos partes. La primera está relacionada con la metodología de diseño, ya que nuestra propuesta incorpora una serie de aspectos novedosos a los procedimientos tradicionales de modelación, análisis y diseño estructural. La segunda parte está relacionada con la obtención de tipologías de estructuras de edificación mixtas e híbridas que mejoren los índices de sostenibilidad de las actuales. Estas son y serán el producto de desarrollar y aplicar los conceptos metodológicos anteriormente expuestos. Su explotación e incorporación como alternativa válida puede ser muy beneficioso para el sector de las construcciones.

Aportación al gremio

1. Metodología de modelación y diseño estructural



2. Tipologías mixtas-híbridas sostenibles





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Premio de
Estructuras
de **edificación**  2023

Excelencia y Mérito Académico

Candidato: Iván Antonio Negrin Diaz, ianegdia@doctor.upv.es
Profesor/Tutor: Víctor Yepes Piqueras, vyepesp@cst.upv.es

Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH)
Universitat Politècnica de València

ACIES - Premios de estructuras de edificación 2023
Más información en: www.acies.es/premios