

# Hacia una Vivienda Social Sostenible: Un Sostenible: Un Enfoque Integrador de Ciclo de Vida y Análisis Multicriterio

Una síntesis visual de la investigación por Ximena Luque Castillo, Lorena Yepes-Bellver y Víctor Yepes, publicada en *Sustainable Cities and Society*.

## Autores:





Ximena Luque Castillo, MSc.<sup>1</sup>, Lorena Yepes-Bellver, PhD.<sup>2</sup>, Víctor Yepes, PhD.<sup>3</sup>

## Afiliaciones:

<sup>1,3</sup> Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH), Universitat Politècnica de València; <sup>2</sup> Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras, Universitat Politècnica de València.



## Declaración de Hallazgos Clave

-  • Un marco integrador combina ACV, CCV y ACV-S con técnicas avanzadas de Decisión Multicriterio (MCDM).
-  • Se aplica a cinco sistemas estructurales para vivienda social en contextos de desarrollo.
-  • El sistema *Light Steel Frame* (LSF) se posiciona como el más sostenible en todas las dimensiones.
-  • Los indicadores sociales emergen como impulsores causales clave en la evaluación.



# El reto global de la vivienda es una crisis de sostenibilidad, no solo de construcción.



## El Déficit Cuantitativo y Cualitativo

Más de 1.600 millones de personas viven en viviendas inadecuadas a nivel mundial. El problema va más allá de la cantidad, abarcando calidad, seguridad y habitabilidad.

**96.000**  
unidades diarias necesarias para 2030



## El Dilema del Sector

La construcción consume el 37% de las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía y enormes cantidades de materias primas. Las restricciones económicas a menudo chocan con los objetivos de sostenibilidad.



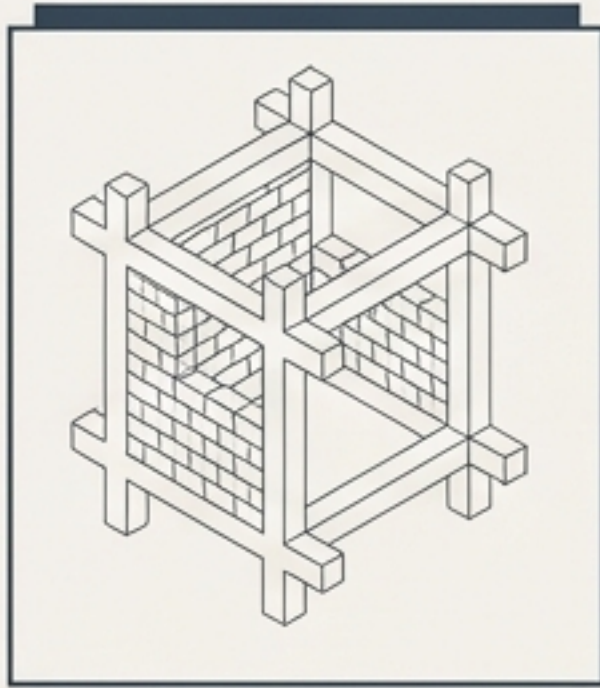
## La Necesidad de una Visión 360°

Un enfoque exclusivo en el coste inicial lleva a soluciones insostenibles. Se necesita un marco que integre las tres dimensiones de la sostenibilidad para tomar decisiones alineadas con los ODS 11 y 12.

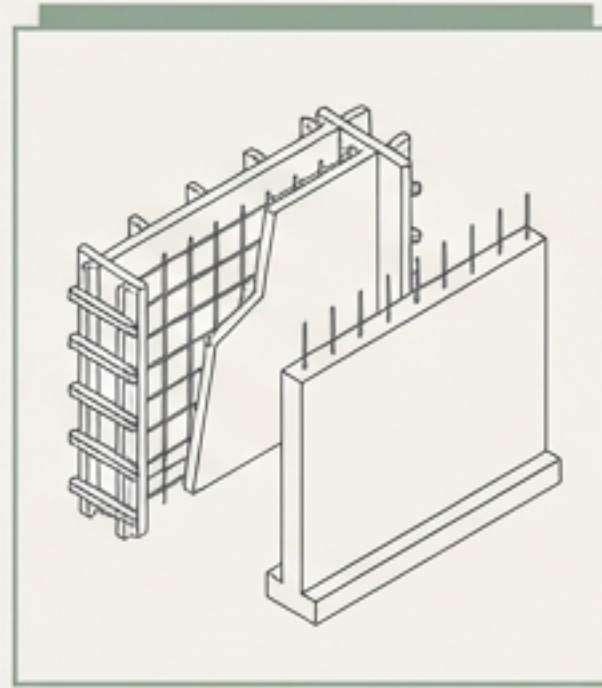


# Se evaluaron cinco sistemas constructivos, desde los convencionales hasta los industrializados.

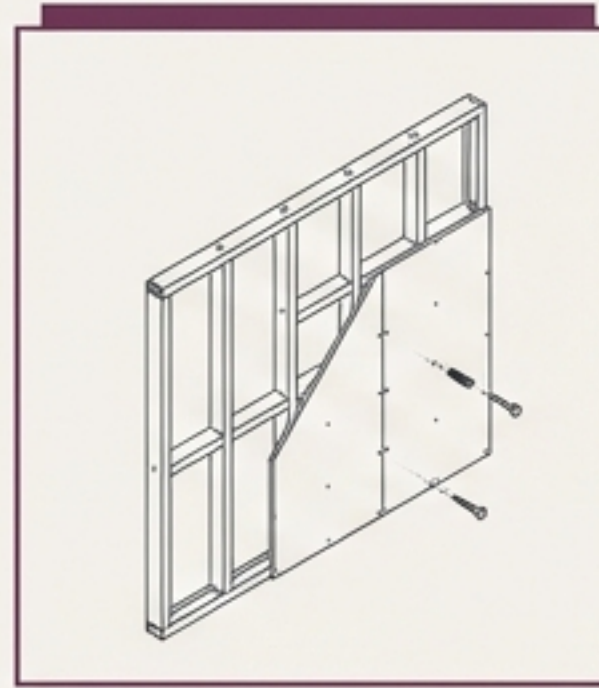
Se analizaron cinco alternativas estructurales representativas para la vivienda social en un contexto de rápida urbanización (Lima, Perú), todas cumpliendo con la normativa sísmica y de sostenibilidad local.



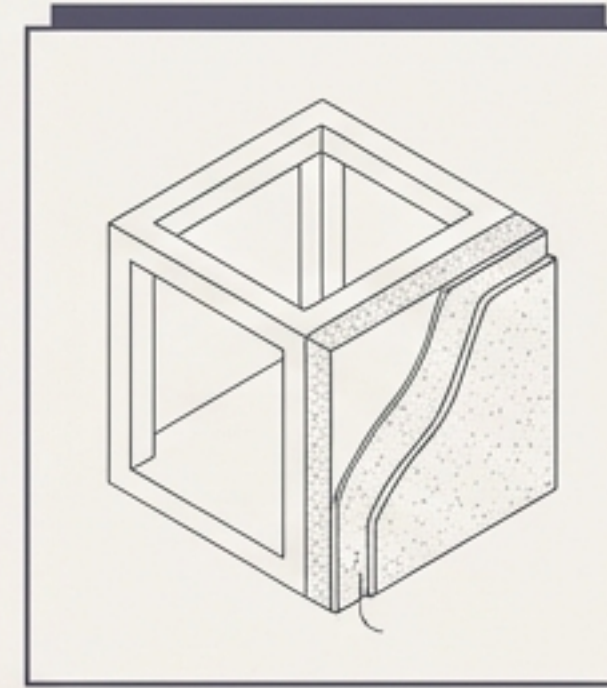
**RCF-M (Marco de Hormigón Armado + Albañilería Confinada):** Sistema convencional, intensivo en mano de obra. Columnas/vigas de HA y muros de ladrillo.



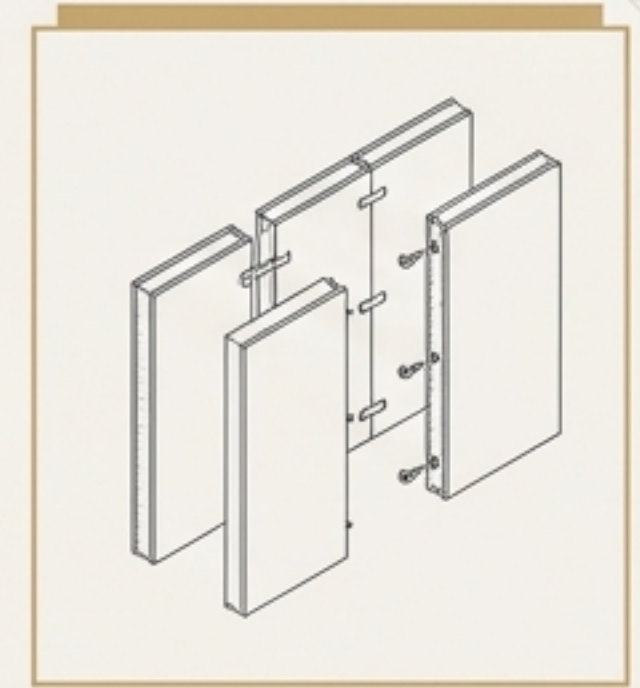
**RCW (Muros Monolíticos de Hormigón Armado):** Sistema convencional de alta resistencia sísmica, vaciado in-situ.



**LSF (Light Steel Frame):** Sistema industrializado de construcción en seco. Estructura de acero galvanizado y paneles de yeso.



**RCF-CP (Marco de HA + Paneles de Hormigón):** Sistema innovador híbrido con paneles de núcleo EPS y hormigón proyectado.

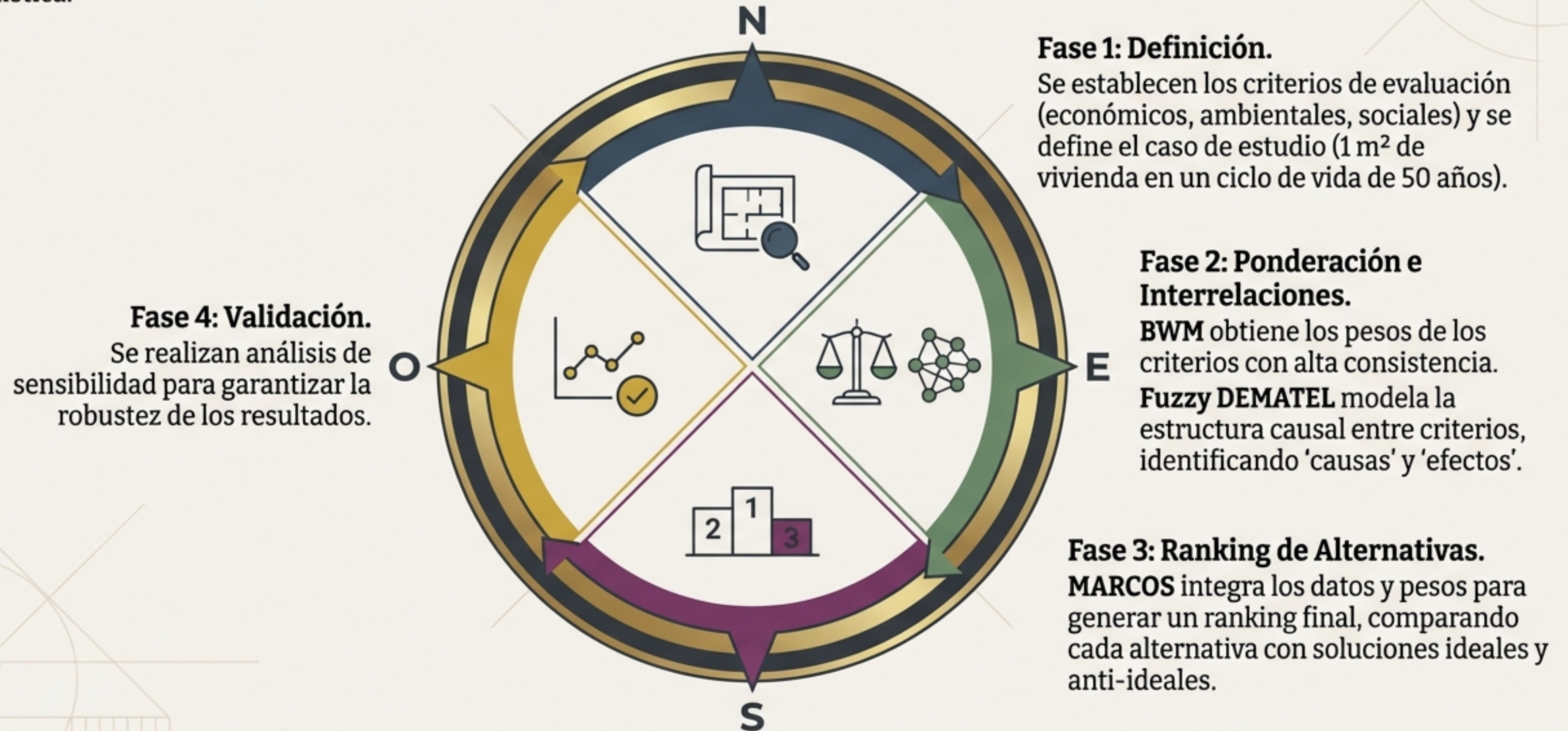


**LBSPS (Paneles Sándwich Ligeros Atornillados):** Sistema semi-industrializado, modular y de montaje rápido con paneles prefabricados.



# Título: Para navegar la complejidad, desarrollamos un marco de decisión que actúa como una “Brújula de Sostenibilidad 360°”.

Nuestro marco metodológico integra múltiples herramientas en cuatro fases para asegurar una evaluación robusta, transparente y holística.





# Título: El análisis del ciclo de vida revela un panorama de compensaciones: ningún sistema es perfecto en todas las dimensiones.

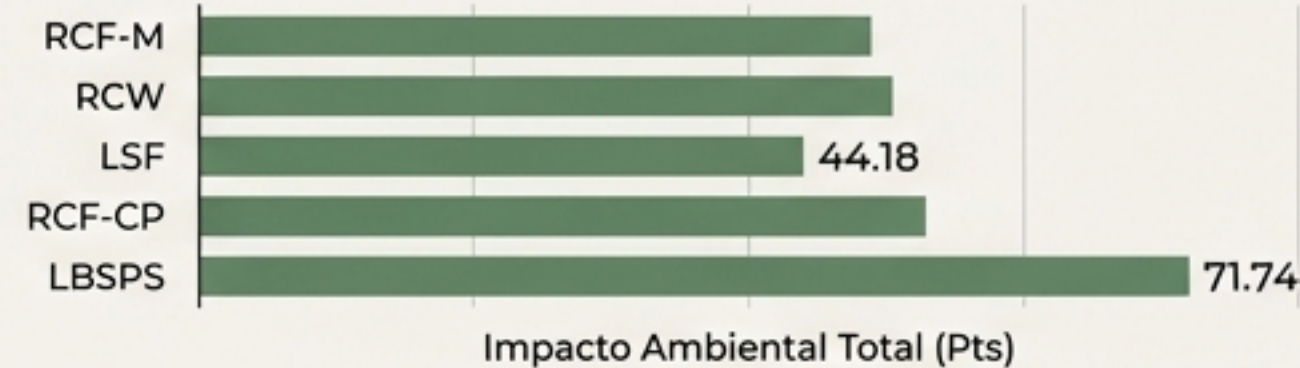
Los resultados de los análisis de Ciclo de Vida (ACV), Coste de Ciclo de Vida (CCV) y ACV Social (ACV-S) muestran perfiles de rendimiento muy diferentes para cada sistema.

## Coste (CCV):



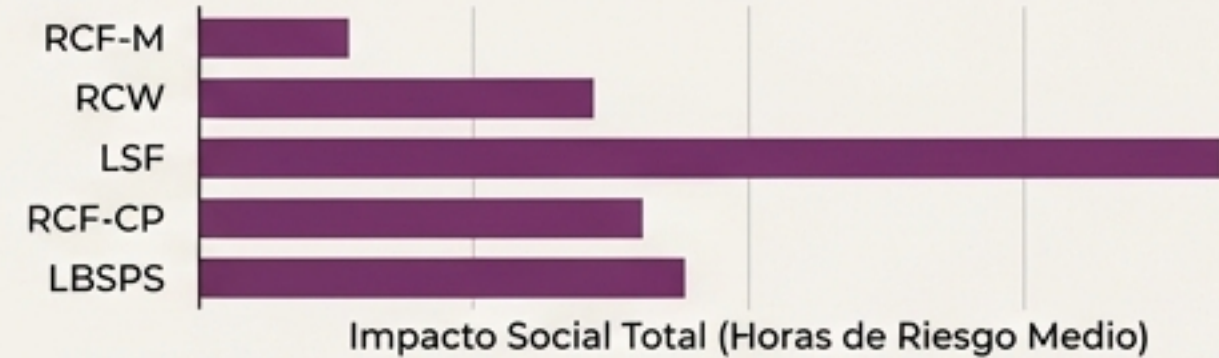
**Coste (CCV):** El sistema **LSF** es el más eficiente en todo el ciclo de vida (16,272 USD/m²), con un coste un 42% menor en la fase de uso. Los sistemas de hormigón (RCW, RCF-CP) tienen los costes de mantenimiento más altos.

## Impacto Ambiental (ACV):



**Impacto Ambiental (ACV):** **LSF** también tiene el menor impacto ambiental total (44.18 Pts), destacando en la reducción del agotamiento de recursos. **LBSPS** tiene el impacto más alto, casi un 62% mayor que LSF.

## Impacto Social (ACV-S):

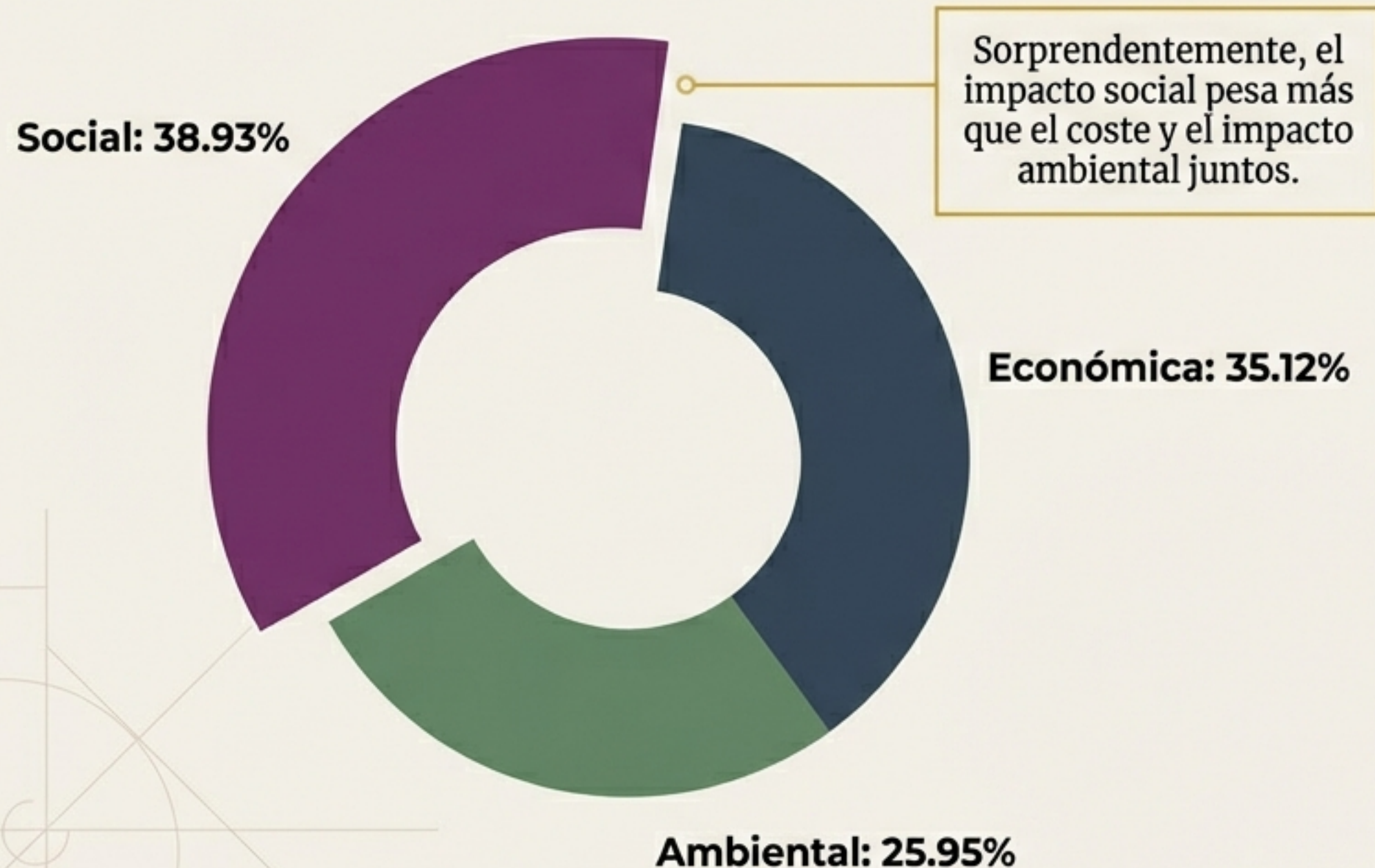


**Impacto Social (ACV-S):** Aquí la tendencia se invierte. Los sistemas tradicionales como **RCF-M** y **RCW** muestran un mejor desempeño social. **LSF** presenta el mayor impacto social, reflejando mayores demandas funcionales y de mano de obra especializada.






# Título: El factor decisivo no es el coste ni la ecología: los criterios sociales concentran casi el 40% del peso en la decisión.

Mediante el método BWM y la agregación por “Power Voting” basada en la competencia de los expertos, se determinó la importancia relativa de cada criterio.



## Prioridades Clave:

-  Coste de Construcción (C1): 22.16%
-  Comunidad Local y Trabajadores (C7): 13.49%
-  Funcionalidad (C9): 12.80%

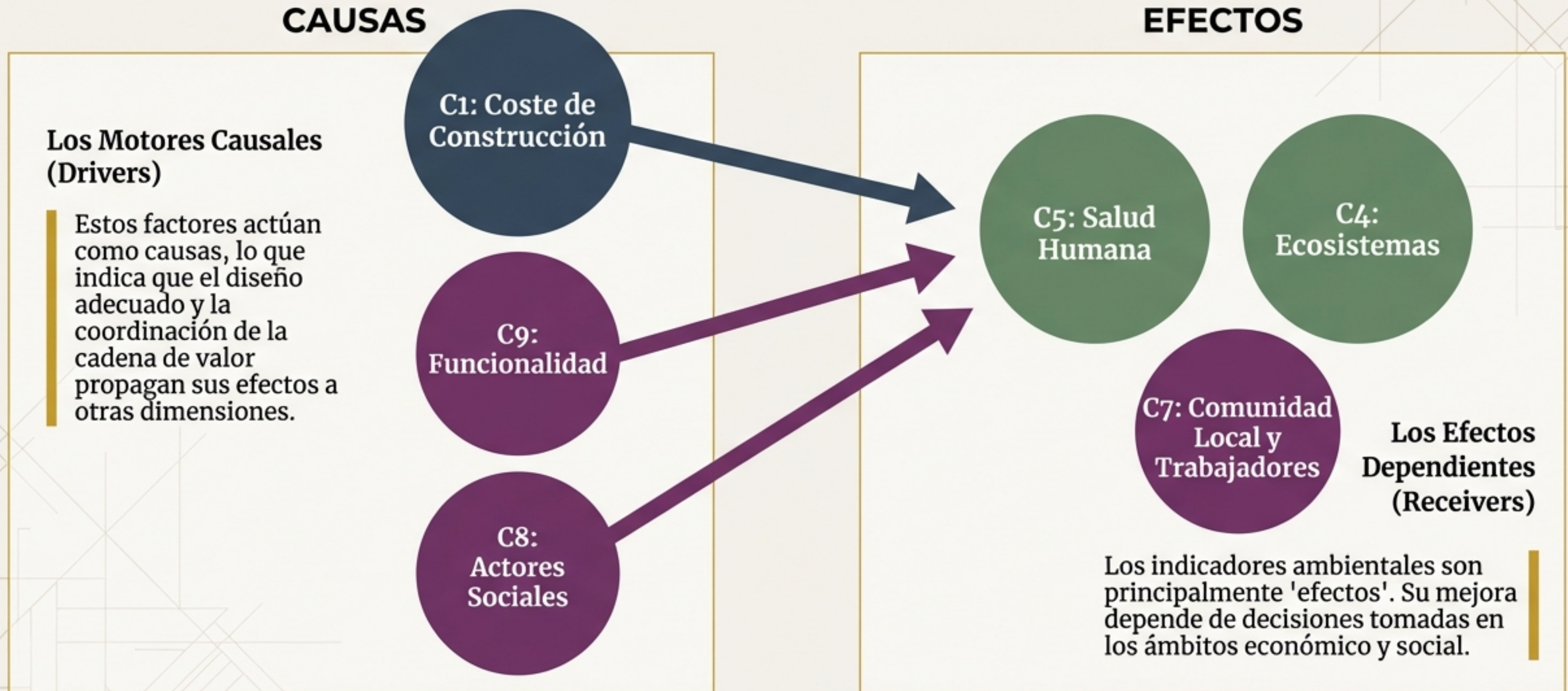
## Relegado a un Segundo Plano:

El Coste de Fin de Vida (C3) es el criterio menos importante (5.37%), indicando que las preocupaciones por la circularidad a largo plazo aún son secundarias.



# Título: Para mejorar el medio ambiente, primero debemos actuar sobre las palancas económicas y sociales.

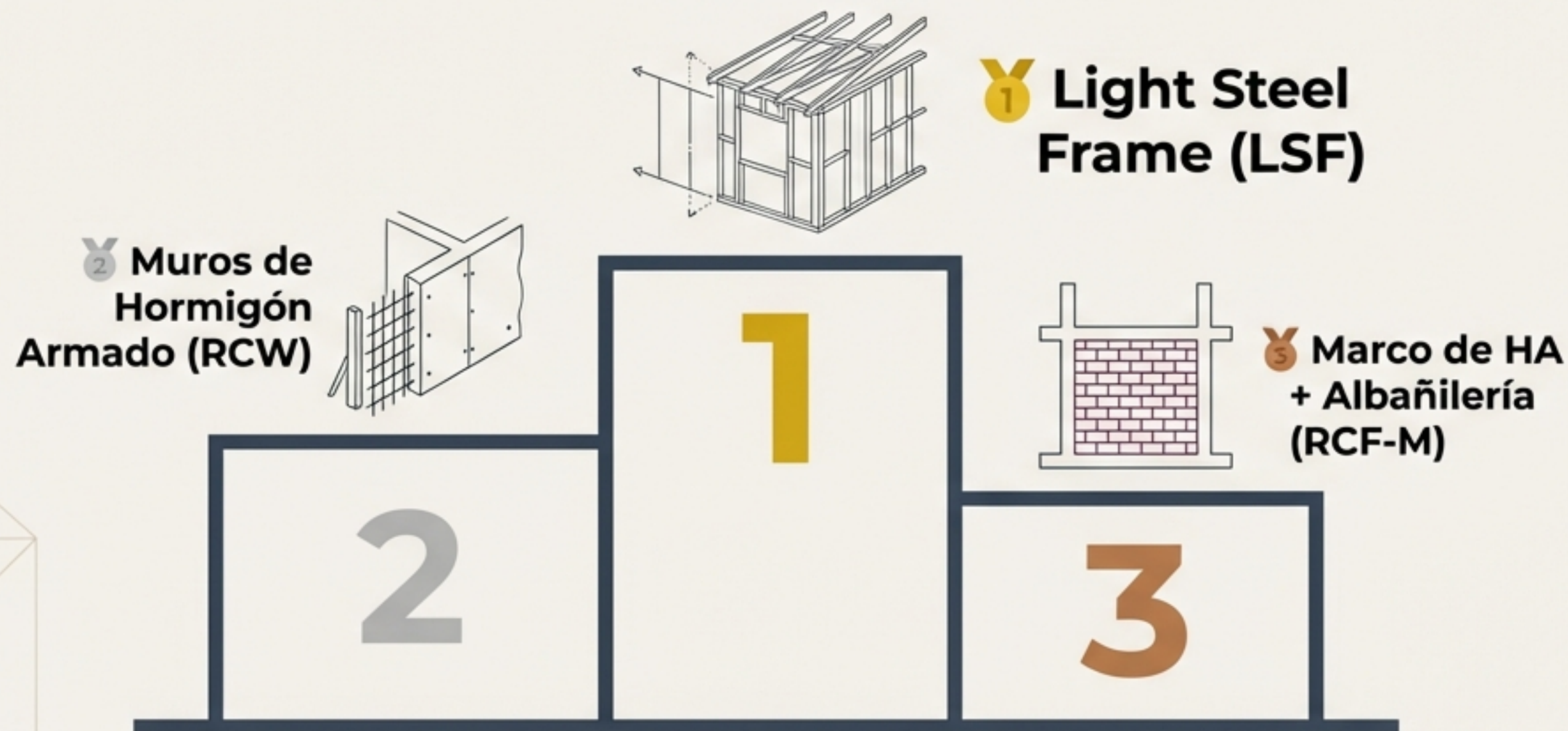
El análisis Fuzzy DEMATEL revela la red de relaciones causa-efecto entre los criterios, mostrando qué factores actúan como motores del sistema y cuáles son resultados.





# Título: El sistema Light Steel Frame (LSF) se consolida como la alternativa más sostenible en el balance global.

Integrando todos los criterios ponderados, el método MARCOS genera un ranking final que identifica la solución de compromiso óptima.



El resultado posiciona a LSF como la opción superior, reflejando su capacidad para equilibrar eficiencia en costes, menor impacto ambiental y un rendimiento funcional adecuado, a pesar de sus desafíos en la dimensión social.

4. Marco de HA + Paneles de Hormigón (RCF-CP)
5. Paneles Sándwich Ligeros (LBSPS)



# Título: El perfil de 360° de cada alternativa revela sus fortalezas y debilidades específicas.

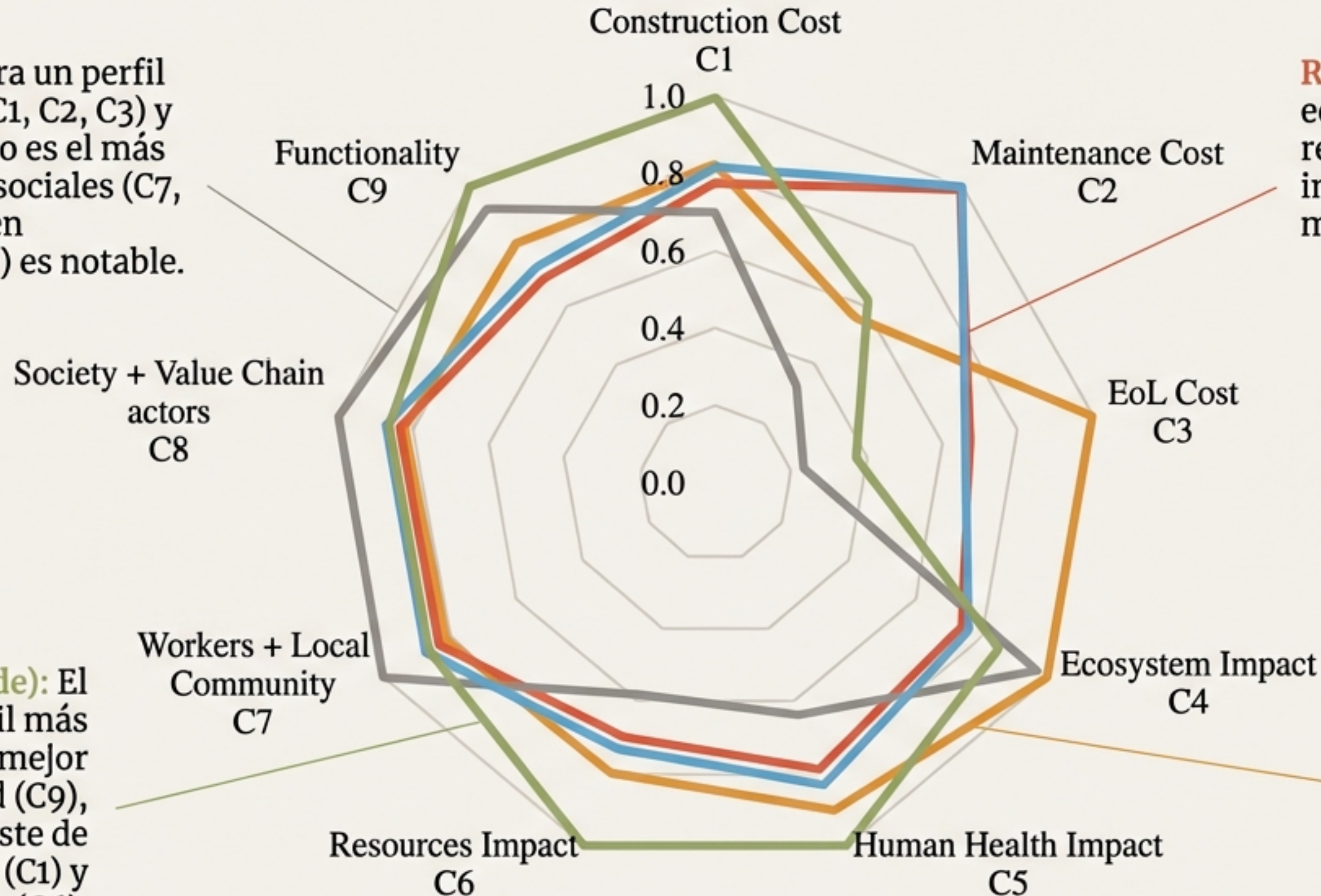
Este gráfico de radar compara el rendimiento normalizado de los cinco sistemas en los nueve criterios de sostenibilidad. Permite visualizar los trade-offs de forma directa.

**LSF (Gris):** Muestra un perfil fuerte en costes (C1, C2, C3) y recursos (C6), pero es el más débil en criterios sociales (C7, C8). Su fortaleza en funcionalidad (C9) es notable.

**RCW (Rojo):** Presenta un perfil equilibrado, con un buen rendimiento en costes pero un impacto ambiental moderado.

**LBSPS (Verde):** El sistema con el perfil más desequilibrado. Es el mejor en funcionalidad (C9), pero el peor en coste de construcción (C1) y recursos (C6).

**RCF-M (Naranja):** Fuerte en la dimensión social (C7, C8), pero con altos costes de fin de vida (C3) y un impacto ambiental considerable.

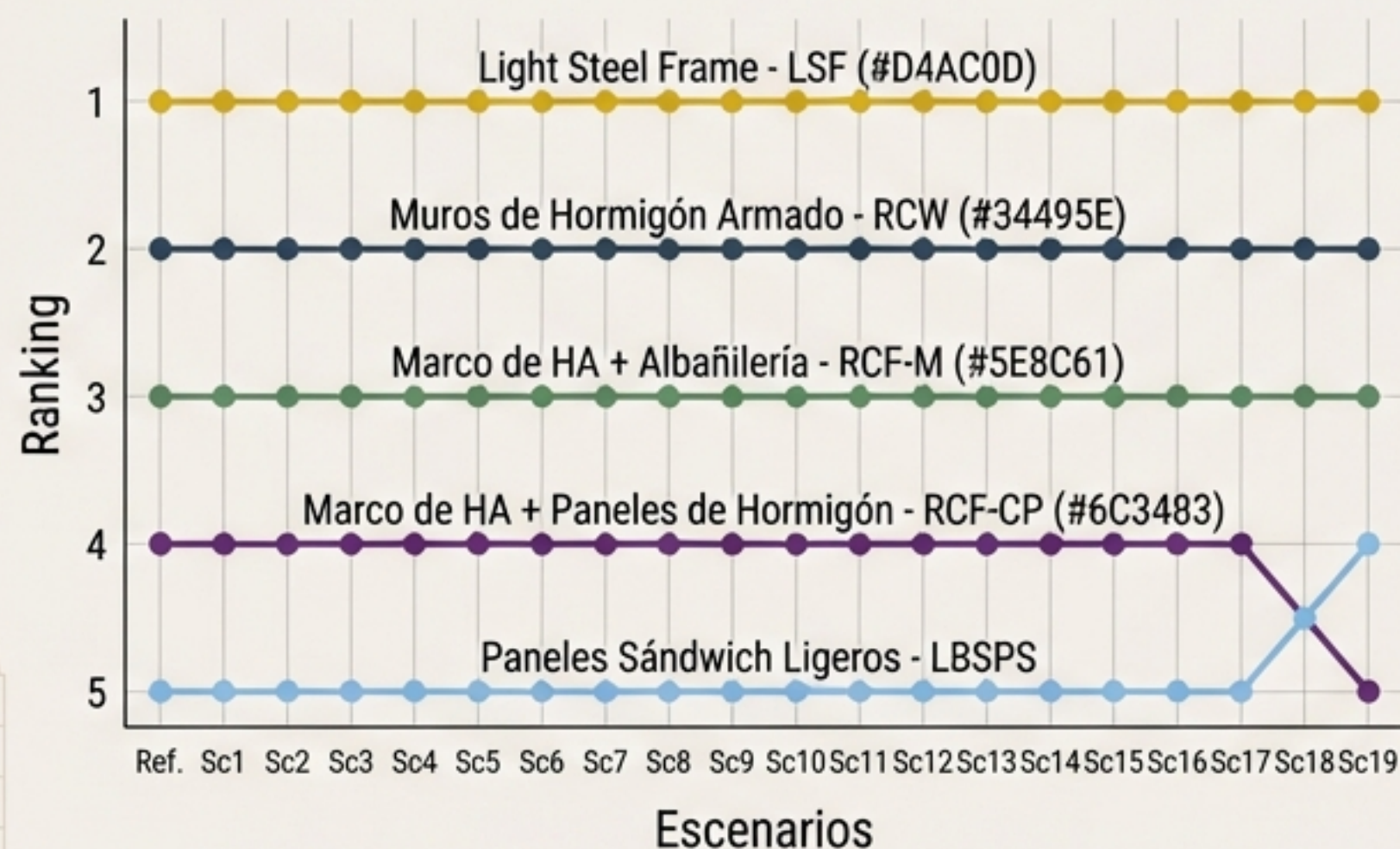




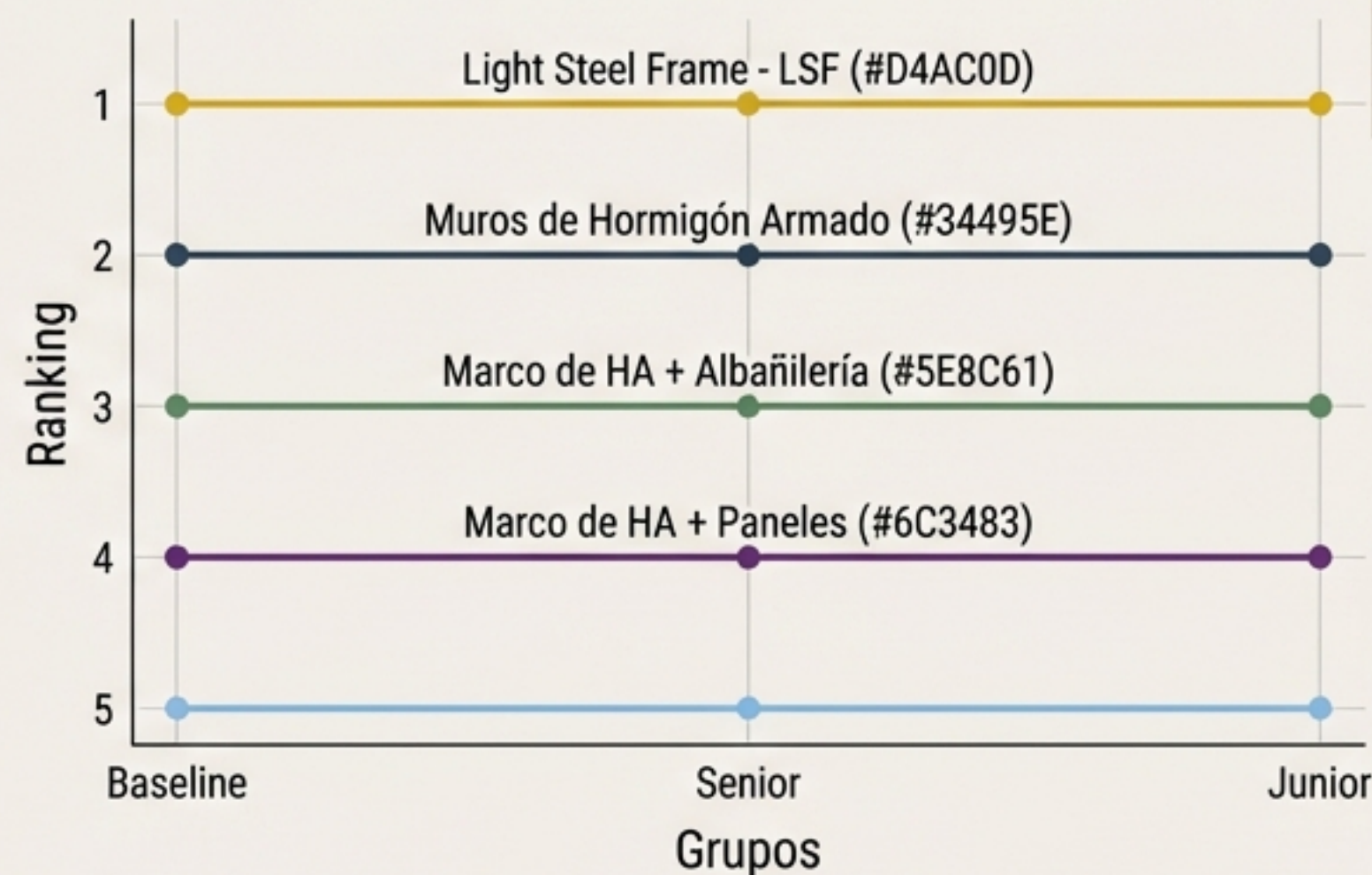
# Título: La conclusión es robusta: el ranking se mantiene estable incluso bajo diferentes escenarios y perspectivas de expertos.

Se realizaron rigurosas pruebas de consistencia para validar la estabilidad del ranking.

## Variación de Pesos ( $\pm 15\%$ )



## Perspectivas de Expertos (S-BWM)



✓ **El mensaje clave:** La superioridad del sistema LSF no depende de una configuración específica de pesos o supuestos. Es una conclusión resiliente.

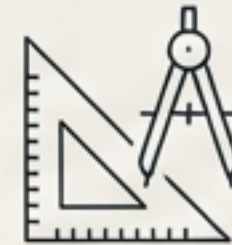


# Título: Los hallazgos ofrecen una hoja de ruta para la política de vivienda y la práctica profesional.



## Para los Responsables de Políticas Públicas

1. **Priorizar Sistemas Industrializados:** Fomentar el uso de sistemas como LSF puede acelerar la construcción, mejorar la asequibilidad y reducir el impacto ambiental en programas de vivienda a gran escala.
2. **Fortalecer la Cadena de Suministro Local:** El éxito de sistemas innovadores depende de la disponibilidad de materiales y mano de obra cualificada. Es crucial invertir en programas de formación y desarrollo de proveedores locales.
3. **Adoptar Marcos de Decisión Integradores:** Utilizar metodologías transparentes y multicriterio como la presentada aquí para evaluar proyectos, asegurando que las decisiones equilibren los objetivos económicos, sociales y ambientales de manera explícita.



## Para Ingenieros y Arquitectos

1. **Diseñar Pensando en el Ciclo de Vida:** Ir más allá del coste inicial y considerar el mantenimiento, la durabilidad y el fin de vida desde las primeras fases del diseño.
2. **Entender las Palancas Causales:** Enfocarse en mejorar los "motores" como la funcionalidad y la gestión de la cadena de valor puede generar beneficios en cascada en las dimensiones sociales y ambientales.



# Título: La brújula funciona: más allá de elegir un sistema, la clave es contar con un marco para tomar decisiones explícitas y transparentes.

Este estudio demuestra que el sistema Light Steel Frame (LSF) ofrece la solución más equilibrada para el contexto analizado. Sin embargo, la contribución más importante es el propio marco metodológico.

- **Una Herramienta Transferible:** Aunque el ranking específico puede variar, el marco BWM-DEMATEL-MARCOS es una "**brújula**" robusta y adaptable que puede ser calibrada para guiar la toma de decisiones en cualquier región.
- **Haciendo Explícitas las Prioridades:** El valor fundamental del marco es que obliga a los actores a definir y ponderar qué es que obliga a los actores a definir y ponderar qué significa "sostenibilidad" para ellos, transformando un concepto abstracto en un conjunto de criterios medibles y jerarquizados.
- **El Camino a Seguir:** La construcción de viviendas sociales sostenibles no depende de una única solución mágica, sino de la capacidad de evaluar sistemáticamente las compensaciones y elegir la mejor ruta con una visión de 360 grados.

