



Construcción Basada en Datos: Un Sistema Circular para Losas de Hormigón Aligeradas

Análisis Multivariante y Evaluación de Ciclo de Vida
Ambiental y Social a partir de 67 Edificios Reales

Antonio J. Sánchez-Garrido, Ignacio J. Navarro, Víctor Yepes
Universitat Politècnica de València

El Desafío Crítico de la Construcción: Un Gigante con una Gran Huella Ecológica

La construcción es un pilar económico global, pero también uno de los principales responsables cambio climático y el agotamiento de recursos. Las losas de hormigón, por su uso intensivo de materiales, son un componente de impacto crítico.

Impacto del Sector



>36%

del uso final de energía global.



~50%

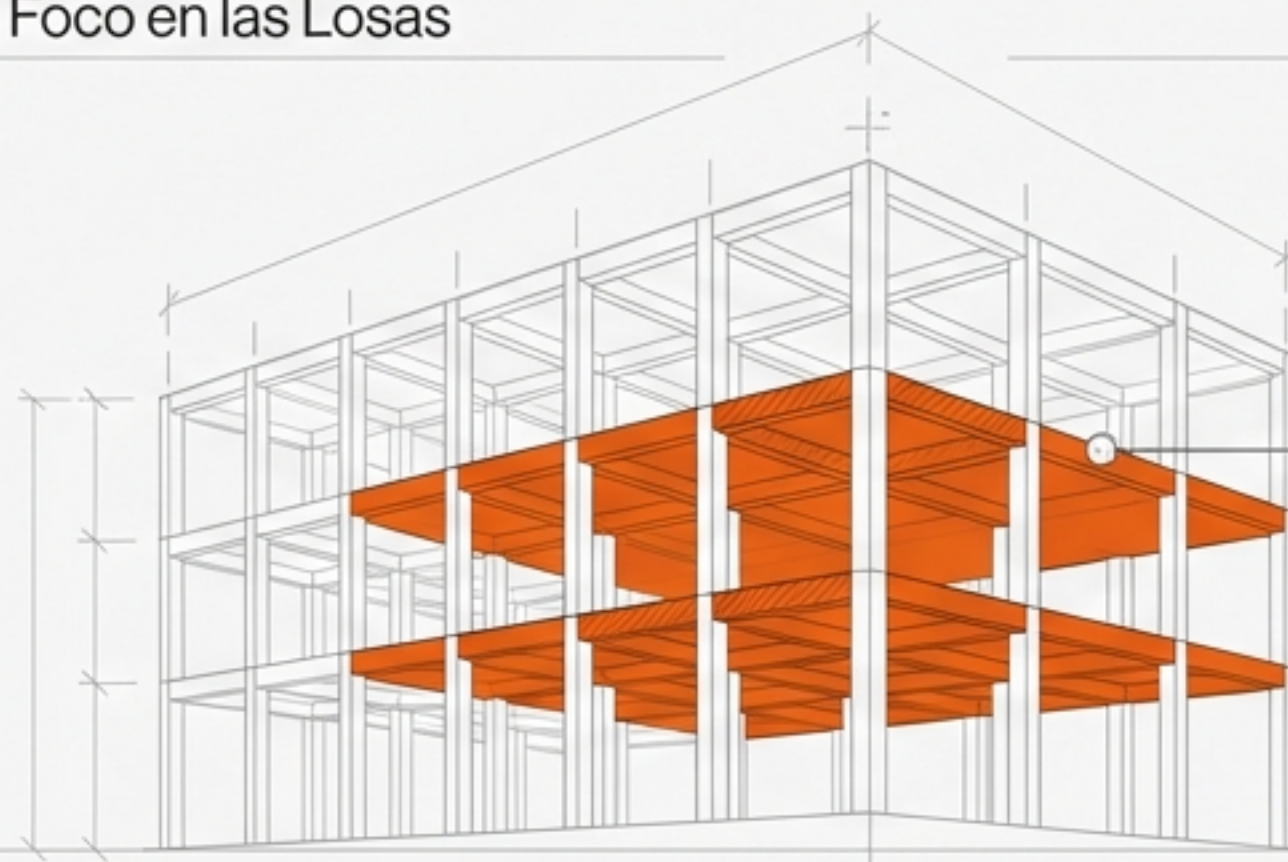
del consumo de materias primas.



5-7%

de las emisiones globales de CO₂ solo por la producción de cemento.

El Foco en las Losas



Punto de intervención crítico

La Innovación: Losas Aligeradas con Vaciadores de Plástico 100% Reciclado

Un sistema de losa plana bidireccional sin vigas que reemplaza el hormigón no estructural con vaciadores (esferas o discos) presurizados de plástico reciclado. Este diseño no solo reduce el peso, sino que integra los principios de la Economía Circular en el núcleo de la estructura.



Reducción de peso: Hasta un 35% más ligeras que las losas macizas convencionales.



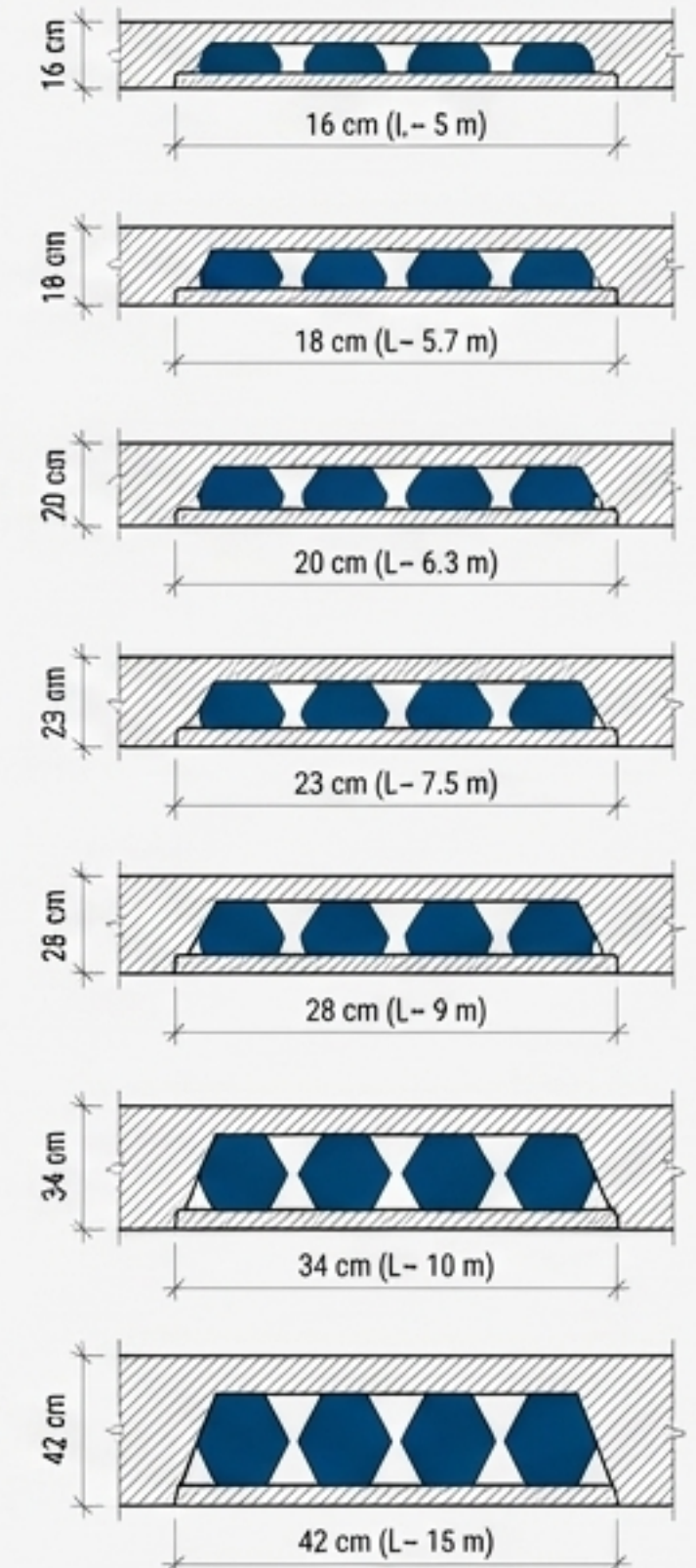
Eficiencia Estructural: Permite mayores luces entre columnas y reduce la altura total del edificio.



Sostenibilidad: Utiliza residuos plásticos post-consumo, valorizándolos y encapsulándolos de forma segura durante décadas.



Construcción Acelerada: Simplifica el encofrado y agiliza la ejecución en obra.



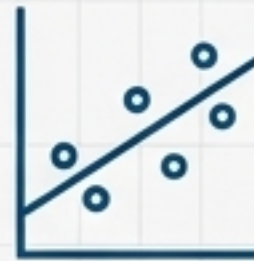
Un Marco de Análisis Integrado y Basado en Evidencia Empírica

Para validar este sistema, se desarrolló un marco que combina el modelado estructural con una evaluación de sostenibilidad multidimensional. La robustez del análisis se basa en datos de proyectos reales, no en simulaciones teóricas.



1. Base de Datos Empírica

- **67** edificios reales
- **75** tipologías de losas analizadas
- Luces de **5.2 a 15** metros



2. Análisis Multivariante

- Desarrollo de un modelo predictivo para el predimensionamiento
- Validación estadística rigurosa (ANOVA, Durbin-Watson, etc.)



3. Evaluación del Ciclo de Vida (ACV)

- Análisis “de la cuna a la tumba” (Cradle-to-Grave)
- **ACV Ambiental (E-LCA)**: 18 categorías de impacto (ReCiPe 2016)
- **ACV Social (S-LCA)**: Riesgos sociales para 4 grupos de interés (SOCA)

Una Herramienta Práctica para el Predimensionamiento Rápido de Losas Aligeradas

A partir del análisis de 75 casos, se ha desarrollado y validado una fórmula simplificada para estimar el espesor de la losa (t) en etapas tempranas del diseño. El modelo explica el 98.26% de la variabilidad (R^2 ajustado = 0.9826).

$$t \text{ (cm)} = 6 + (4/5 * He) + (2/5 * Q1) + (L / \sqrt{18})^2$$

Pearson Correlation Matrix

	t (cm)	He	Q1	L
t (cm)	1	0.83	0.97	0.83
He	0.83	1	0.83	0.83
Q1	0.97	0.83	1	0.83
L	0.83	0.83	0.83	1

t*: Espesor total de la losa (cm).

6*: Recubrimiento fijo de hormigón (3 cm superior + 3 cm inferior).

Desglose de la Fórmula

*** He*:** Altura del vaciador (disco o esfera) (cm).

Q1 : Sobrecarga de uso característica (kN/m²).

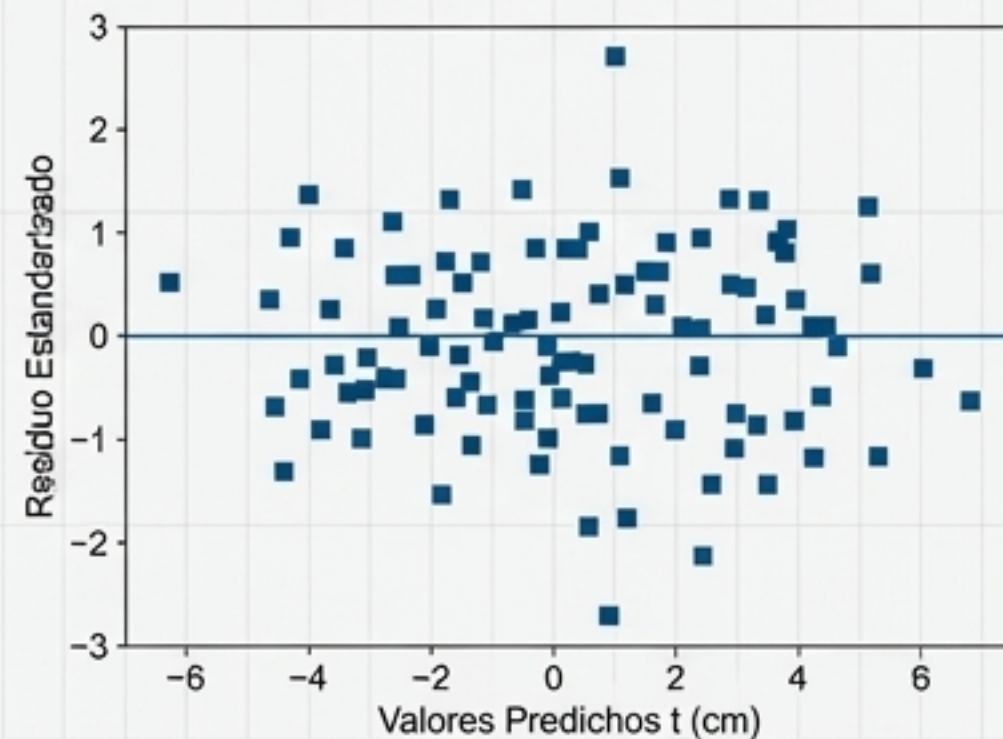
***L*:** Luz principal entre columnas (m).

Validación de la Robustez Estadística del Modelo Predictivo

El modelo final fue sometido a rigurosas pruebas de diagnóstico para asegurar su fiabilidad, confirmando la independencia y distribución normal de los residuos, lo que valida su aplicabilidad general.

Gráfico de Homocedasticidad

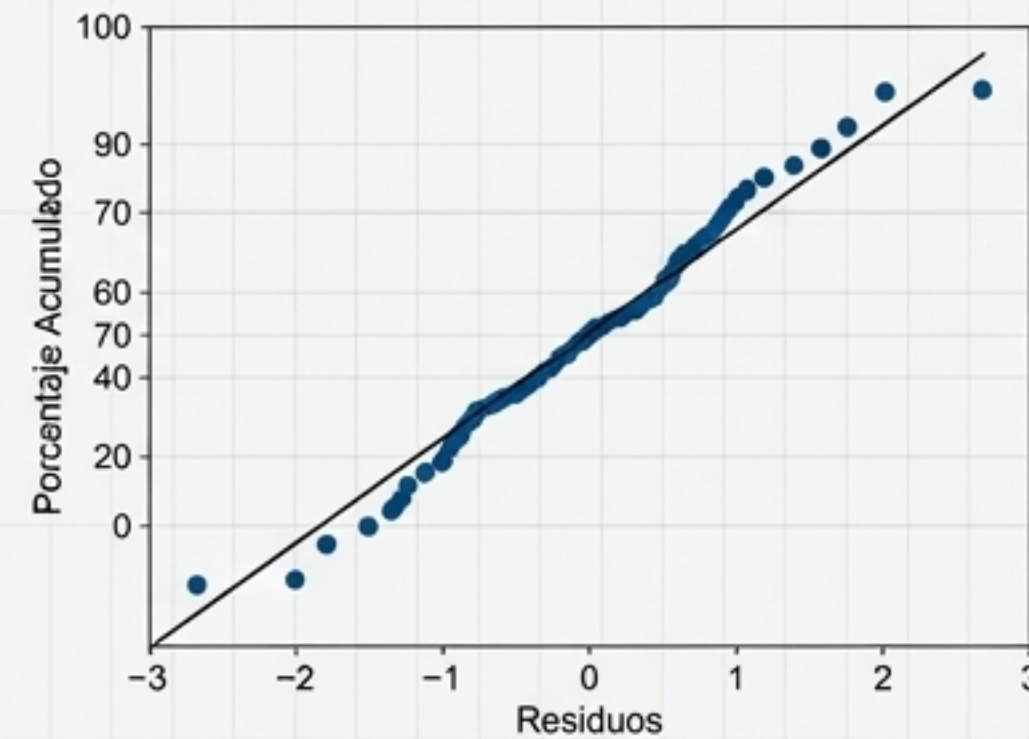
Based on [SOURCE_IMAGE_9]



Los residuos se distribuyen aleatoriamente alrededor de cero, sin patrones sistemáticos, confirmando una varianza constante (homocedasticidad).

Gráfico de Probabilidad Normal

Redrawn from [SOURCE_IMAGE_10]b



Los residuos se ajustan estrechamente a la línea de distribución normal esperada, validando el supuesto de normalidad fundamental para la regresión.

MAE (Mean Absolute Error):
1.15 cm

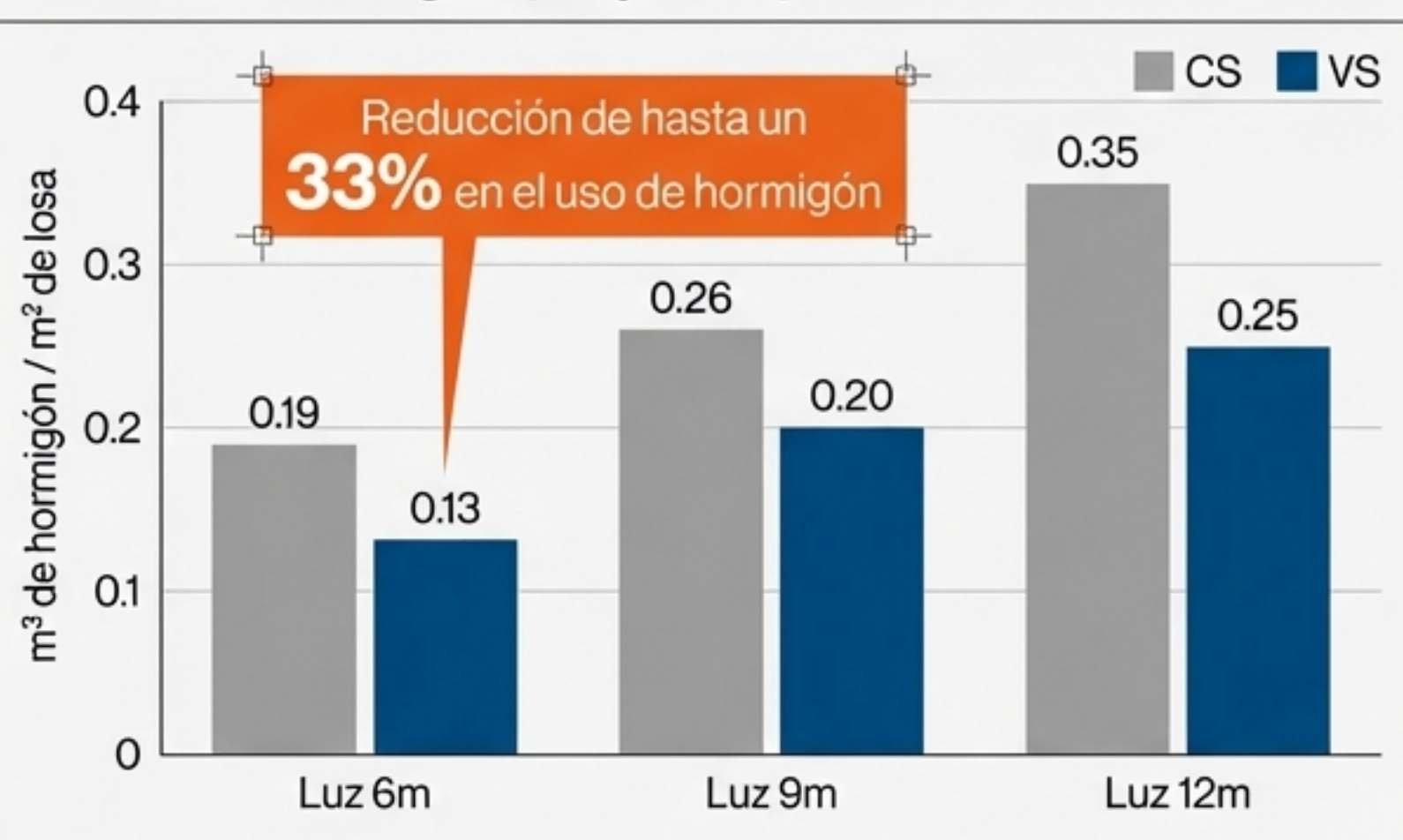
RMSE (Root Mean Square Error):
2.57 cm

Test Shapiro-Wilk ($p > 0.05$):
Confirma la normalidad de los residuos.

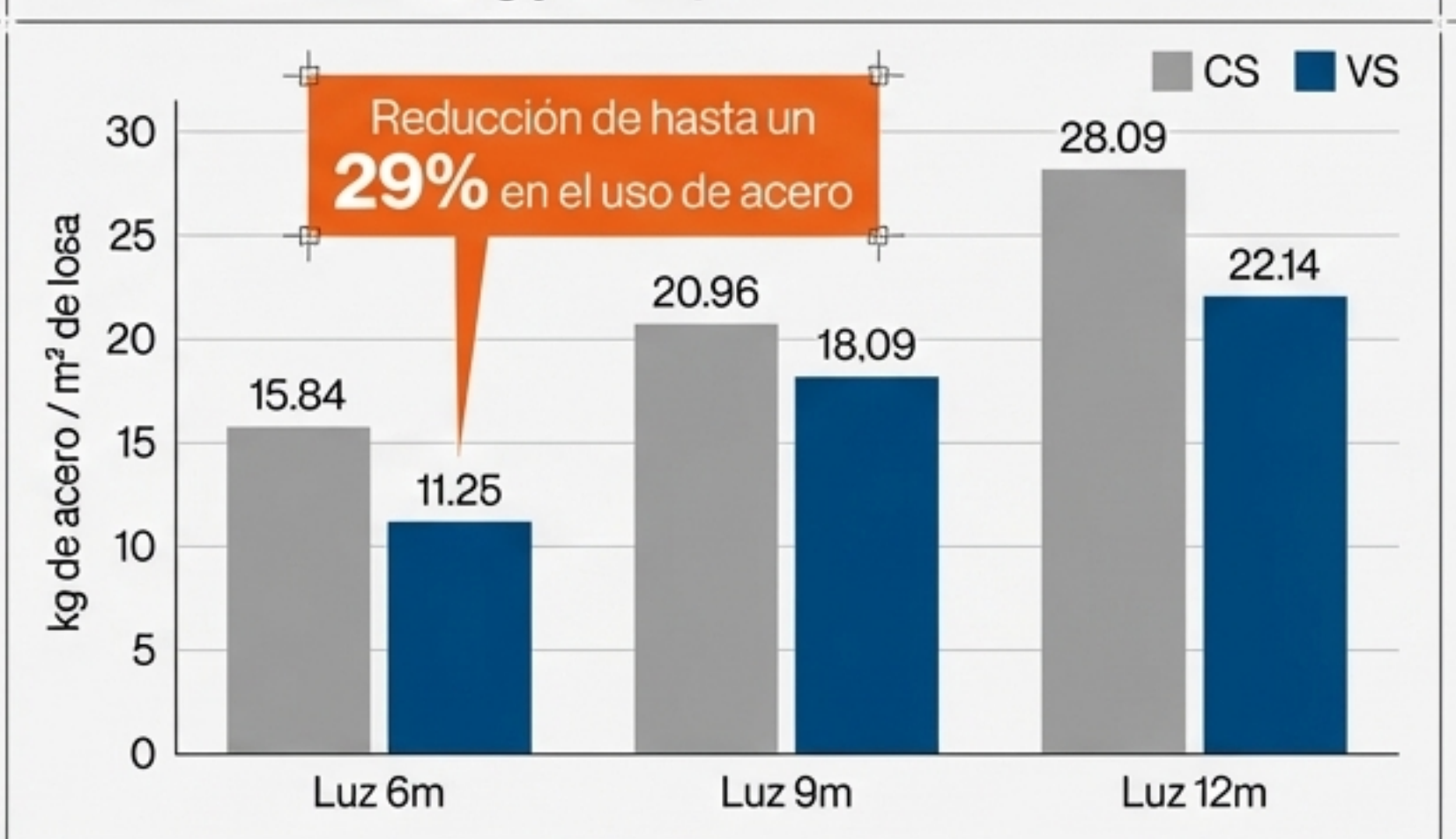
Eficiencia de Materiales: Reducción Drástica en el Consumo de Hormigón y Acero

Al comparar la Losa Aligerada (VS) con una Losa Reticular convencional (CS) para diferentes luces, los ahorros de material son consistentes y sustanciales.

Ahorro de Hormigón (m^3 por m^2)



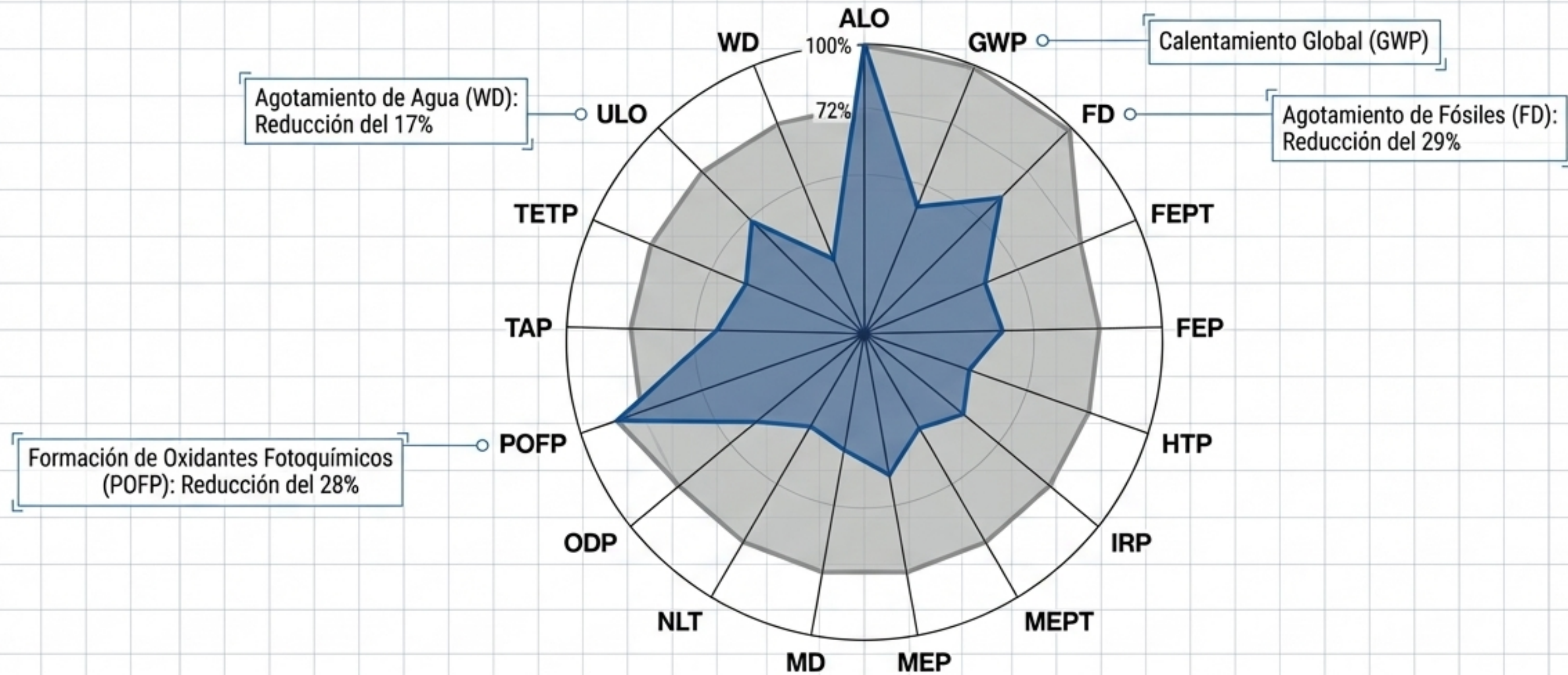
Ahorro de Acero (kg por m^2)



El sistema VS incorpora hasta **2.64 kg** de plástico reciclado por m^2 , transformando un residuo en un recurso estructural.

Una Huella Ambiental Menor: Comparativa de Impactos a Nivel de Midpoint

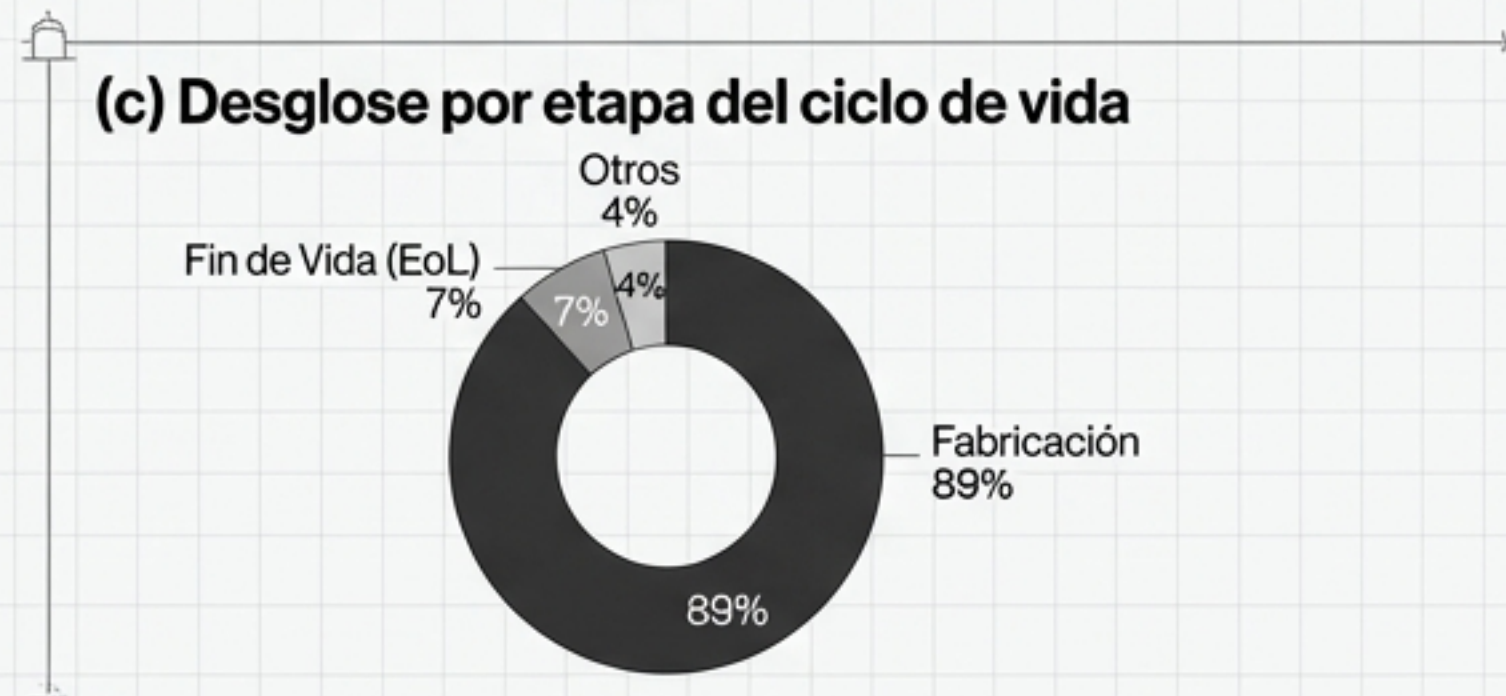
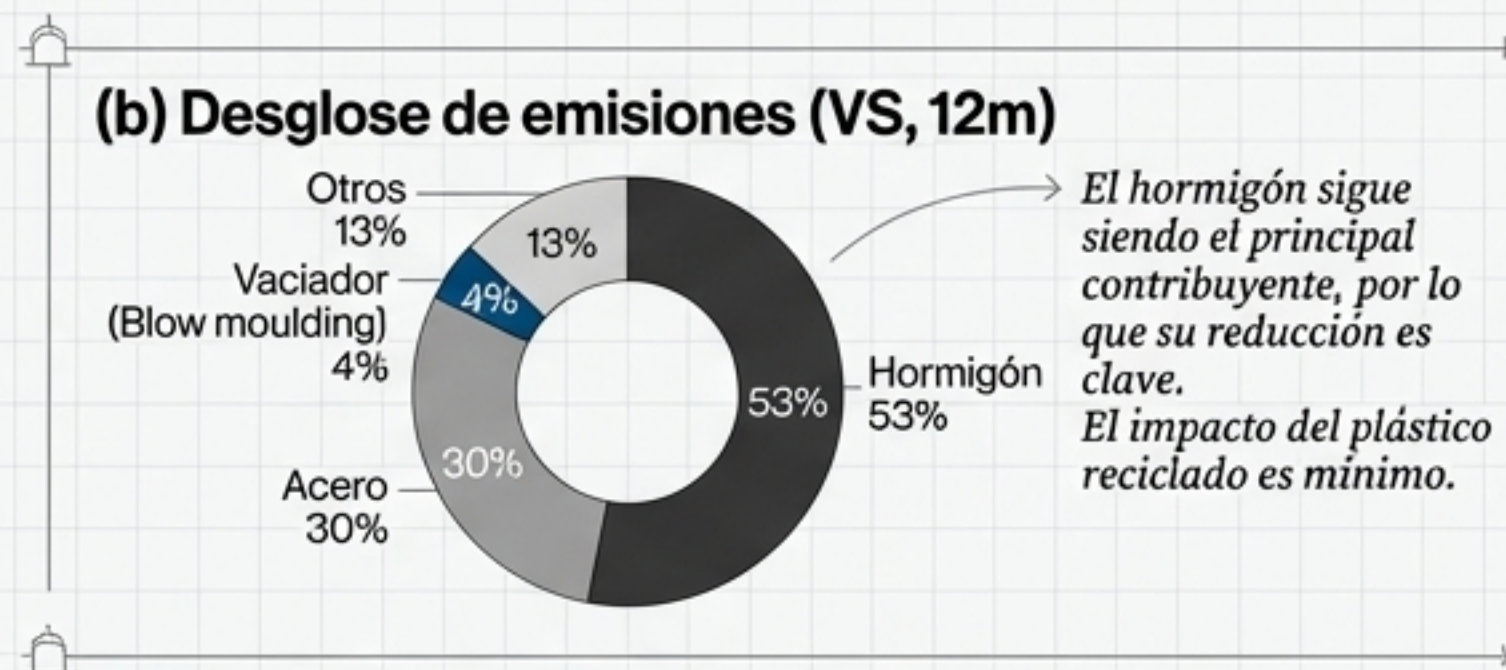
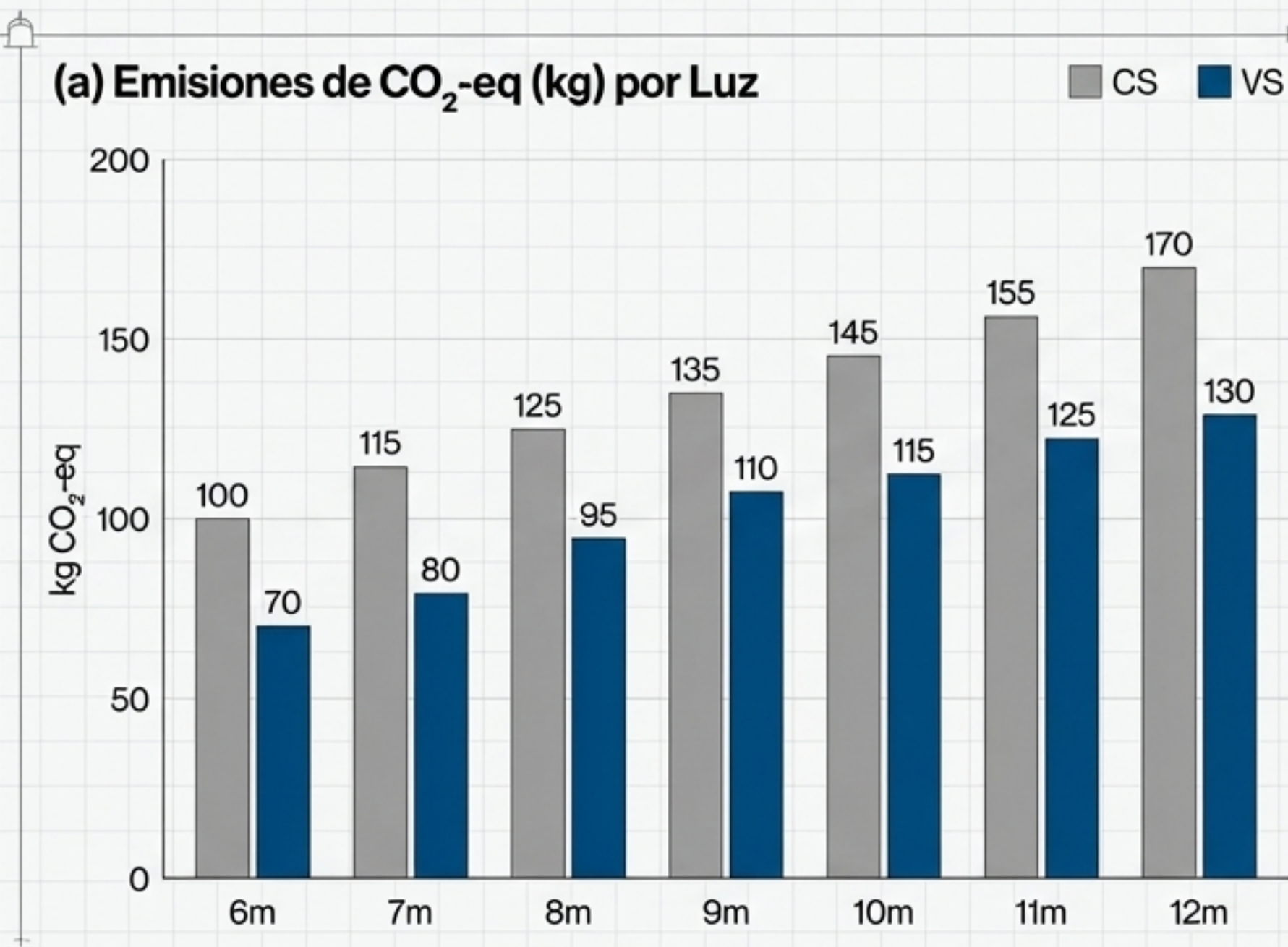
La Losa Aligerada (VS) demuestra un rendimiento ambiental superior en 17 de las 18 categorías de impacto evaluadas por la metodología ReCiPe 2016, en comparación con la Losa Convencional (CS).



La única categoría con mayor impacto (Ocupación de Suelo Agrícola) se debe a la atribución de uso de biomasa en la cadena de producción de plásticos en la base de datos Ecoinvent, incluso para materiales reciclados.

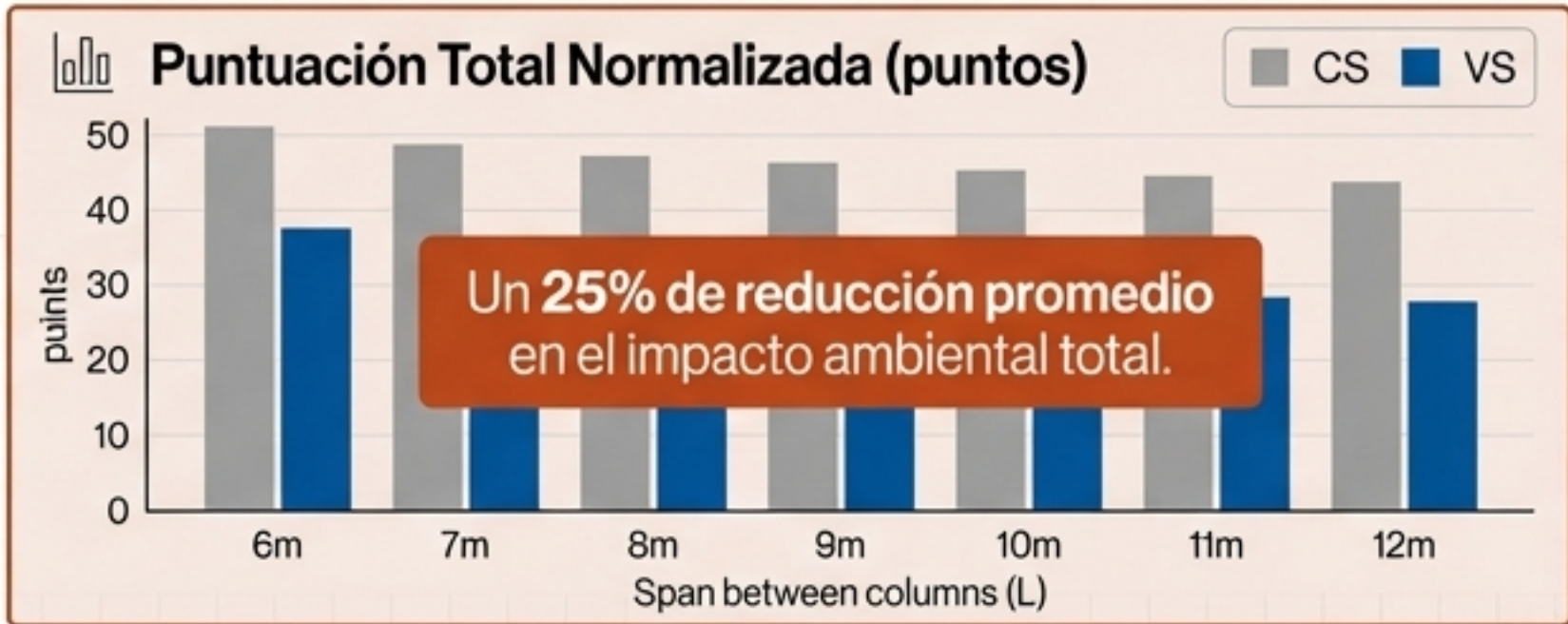
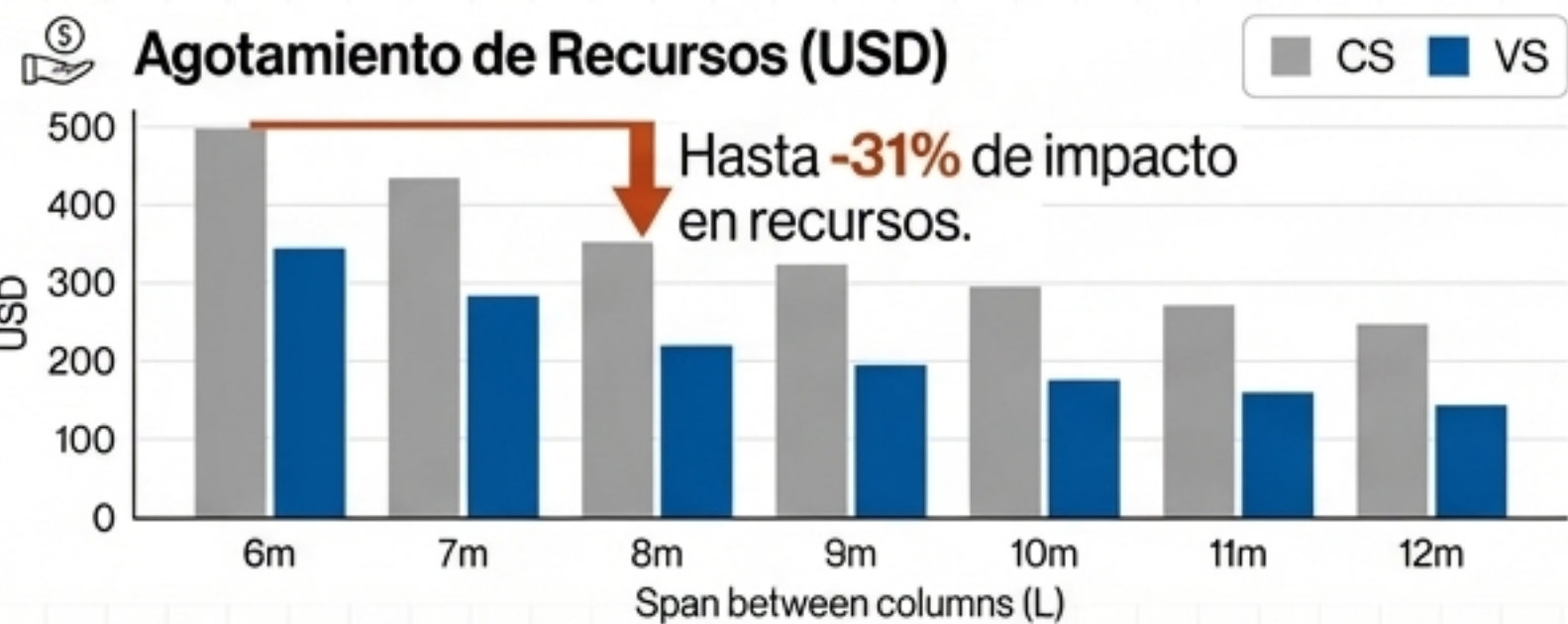
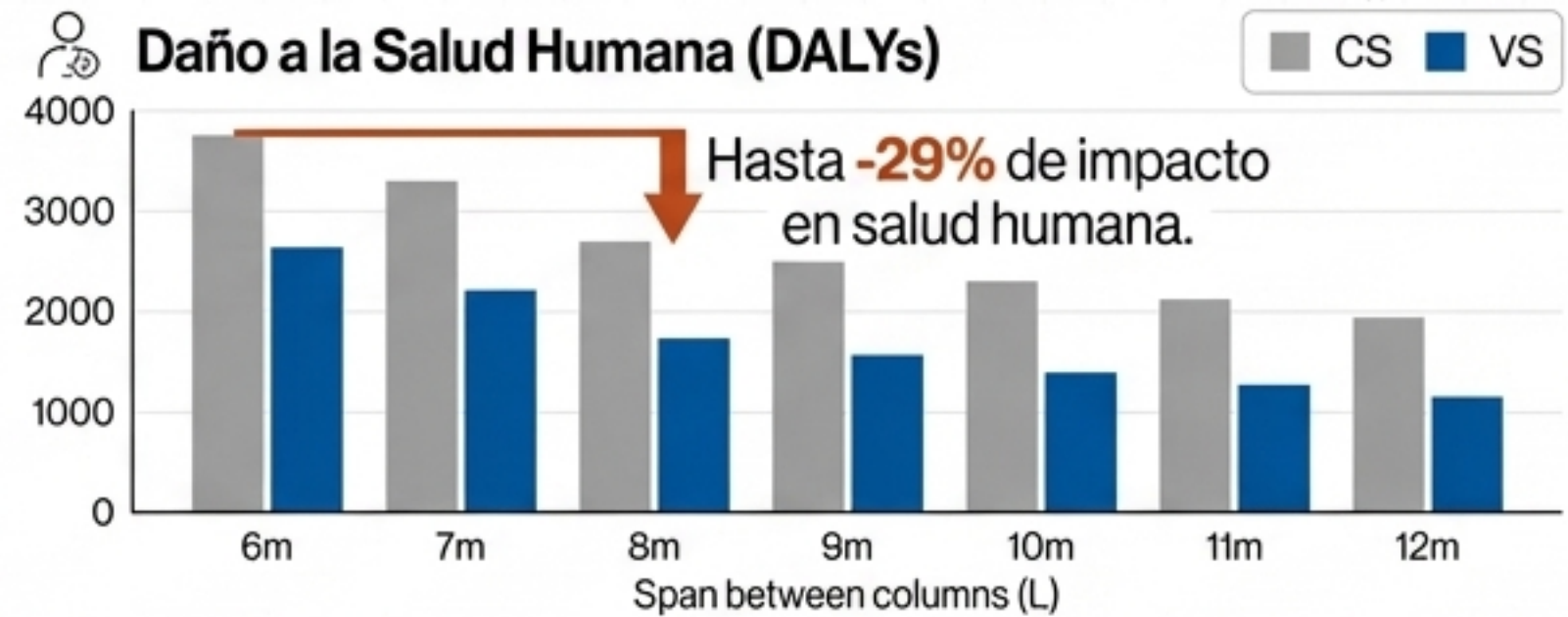
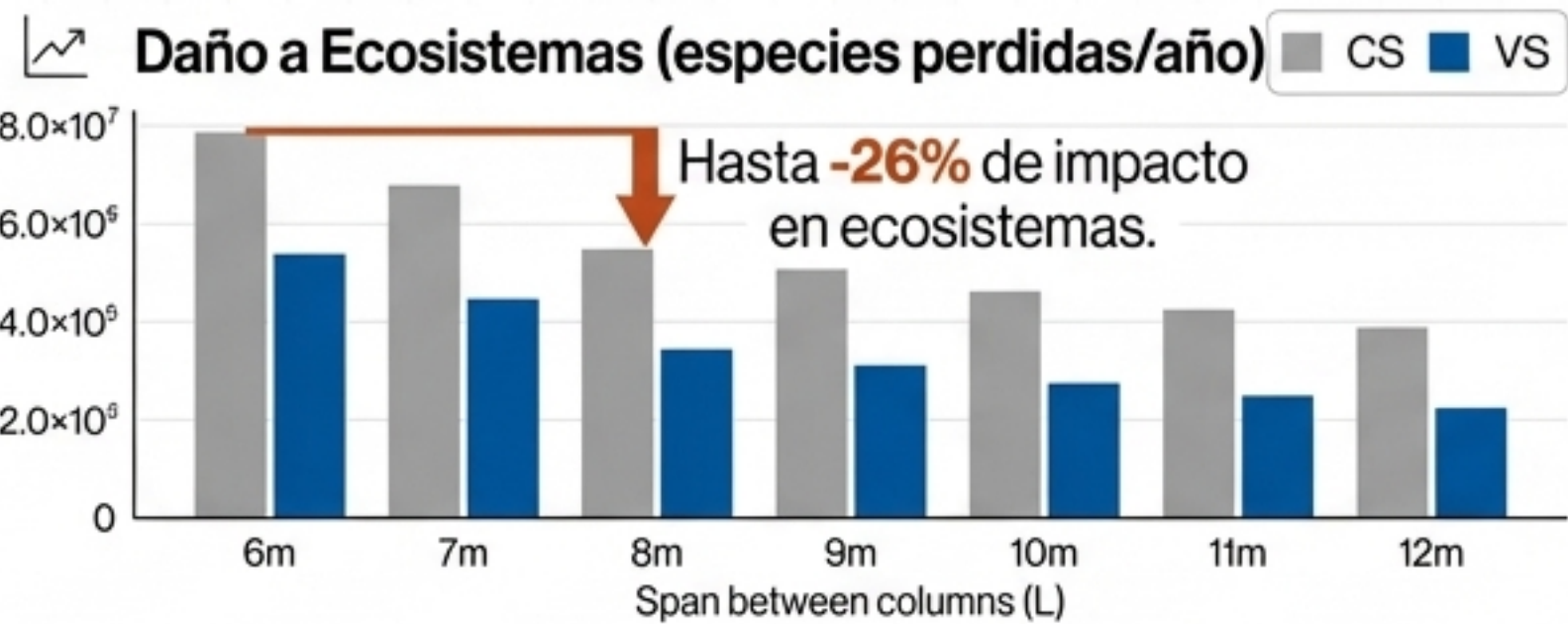
Foco en la Descarbonización: Reducción de hasta un 30% en el Potencial de Calentamiento Global

El análisis del GWP revela que la Losa Aligerada (VS) reduce las emisiones de CO₂-eq en un promedio del 24%, alcanzando un máximo del 30% para luces de 6 metros.



El Panorama Completo: Reducción del 25% en el Impacto Ambiental Total

Al agregar los impactos a nivel de endpoint, la Losa Aligerada (VS) muestra reducciones consistentes y significativas en las tres principales áreas de daño ambiental.



Más Allá de lo Ambiental: Co-beneficios Sociales y Menores Riesgos

El ACV Social (S-LCA) revela que el sistema VS no solo es mejor para el planeta, sino también para las personas involucradas en el proceso constructivo. La reducción de materiales y la simplificación de operaciones en obra se traducen en un entorno más seguro y con menor impacto social.

Comunidad Local

-20% de riesgo.



Menos movimientos de materiales pesados, menor duración del proyecto.

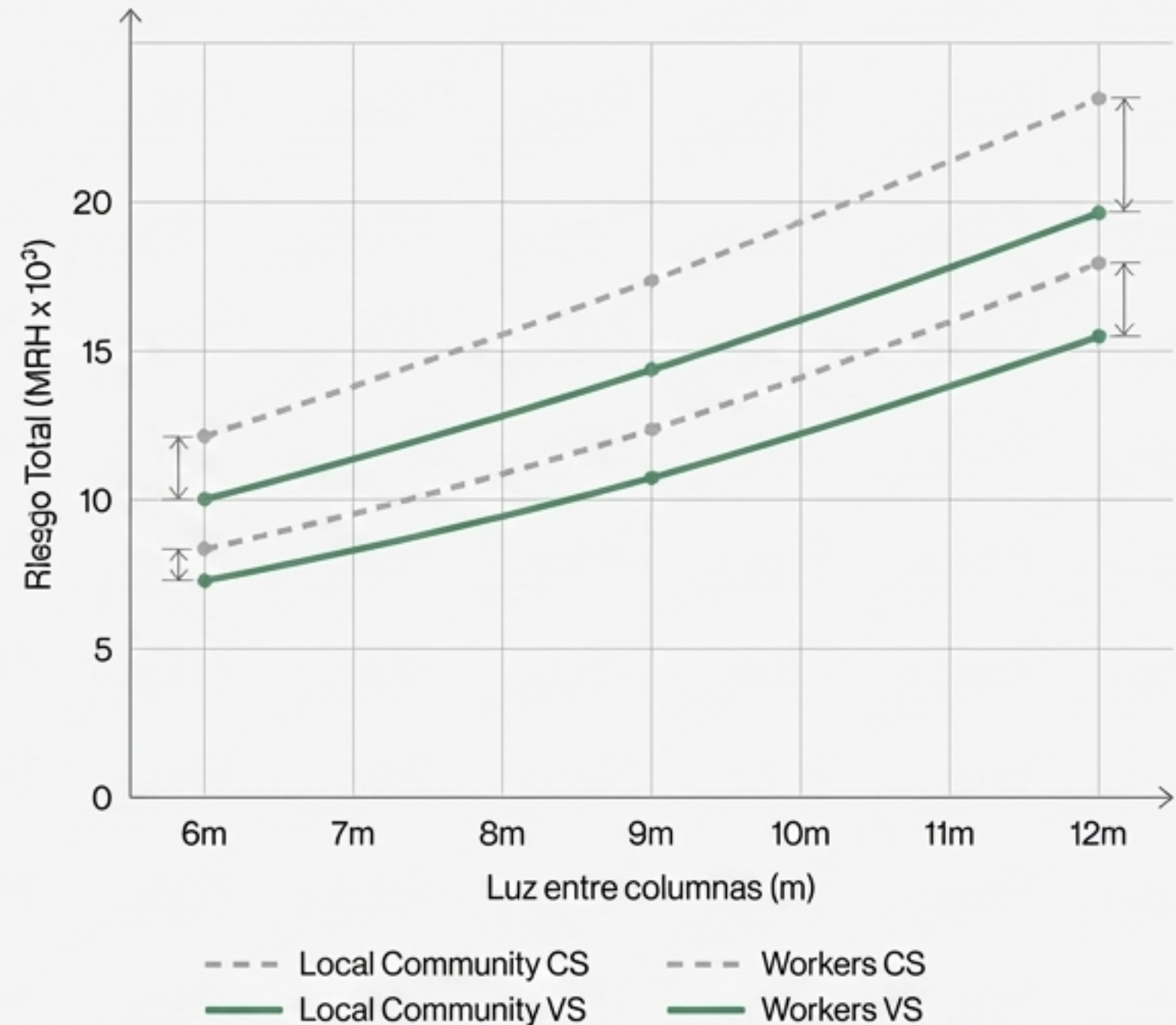
Trabajadores

-19% de riesgo.



Menos horas de trabajo en obra, menor exposición a riesgos laborales.

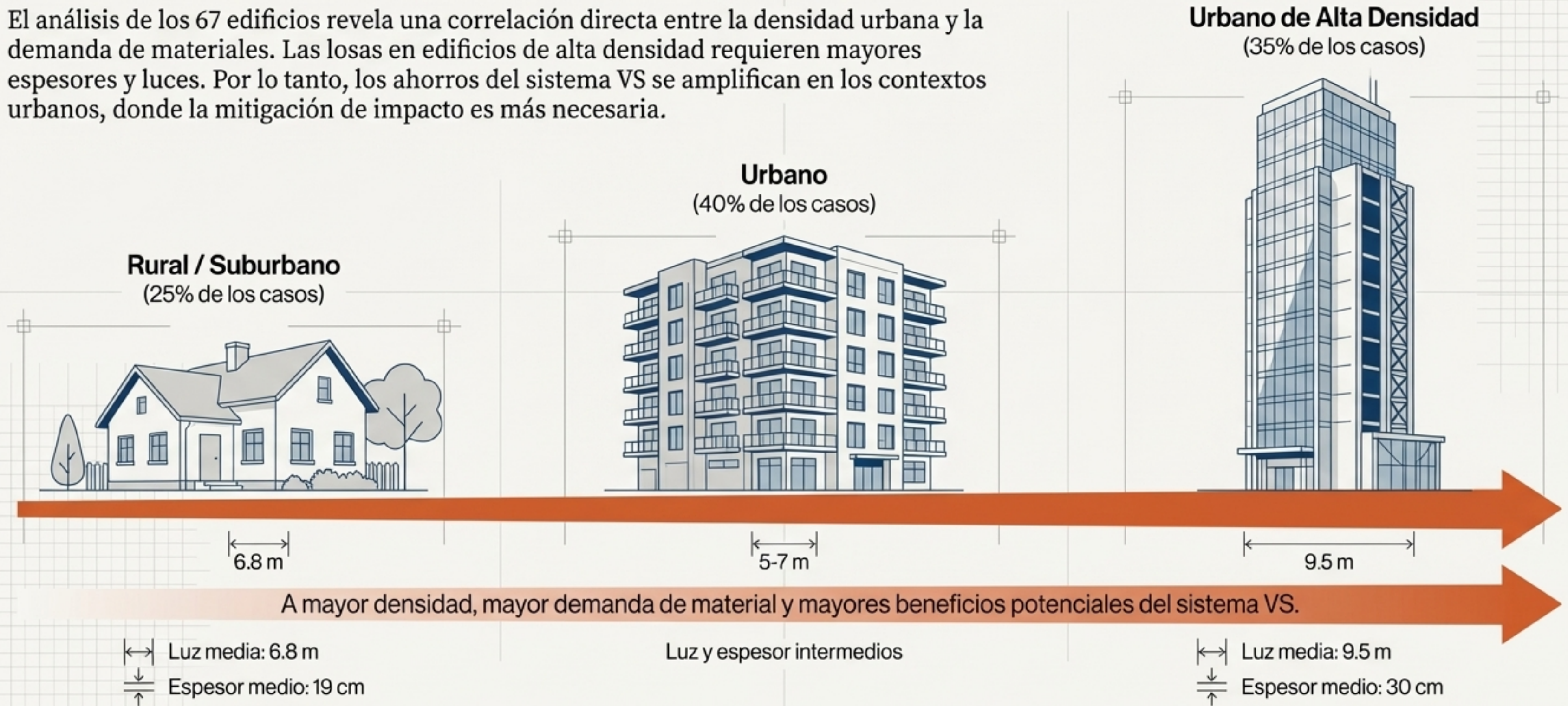
Reducción de Riesgo Social (MRH)



Nota Metodológica: El análisis sigue las directrices UNEP/SETAC y utiliza la base de datos SOCA, garantizando consistencia con el modelo de ACV ambiental.

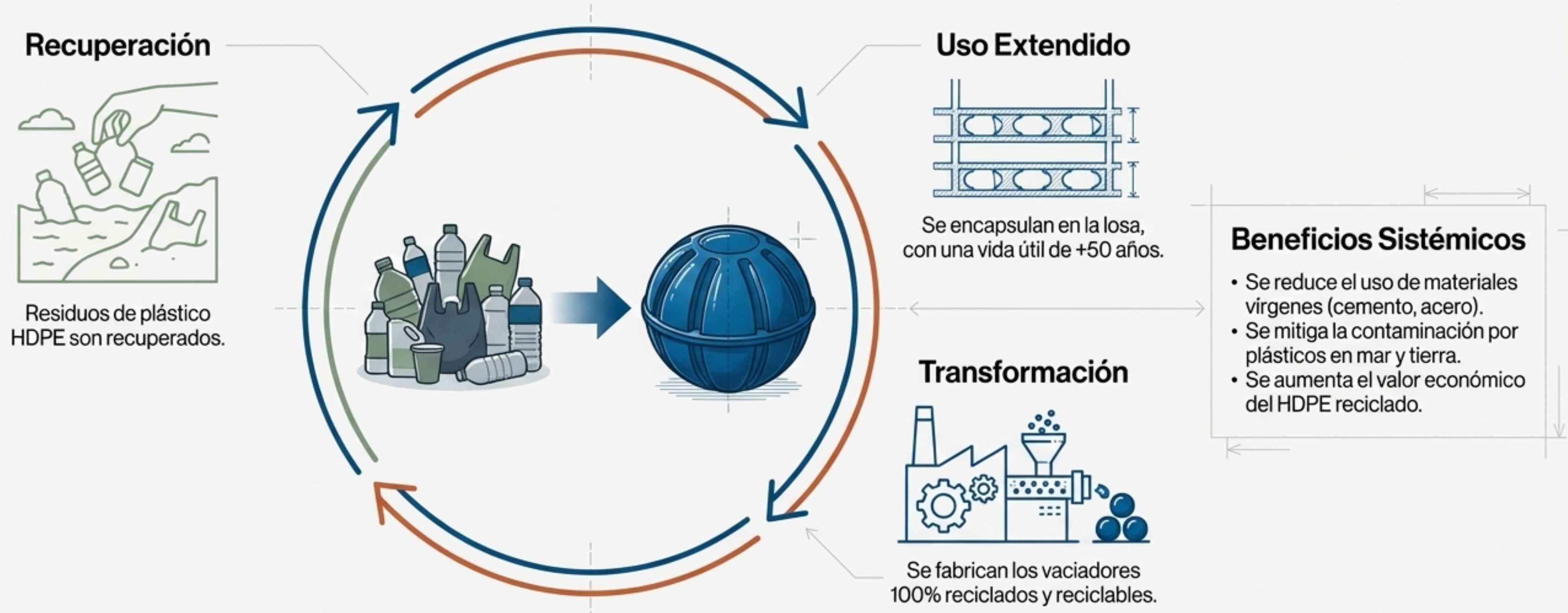
El Efecto Multiplicador Urbano: Mayor Impacto en Entornos de Alta Densidad

El análisis de los 67 edificios revela una correlación directa entre la densidad urbana y la demanda de materiales. Las losas en edificios de alta densidad requieren mayores espesores y luces. Por lo tanto, los ahorros del sistema VS se amplifican en los contextos urbanos, donde la mitigación de impacto es más necesaria.



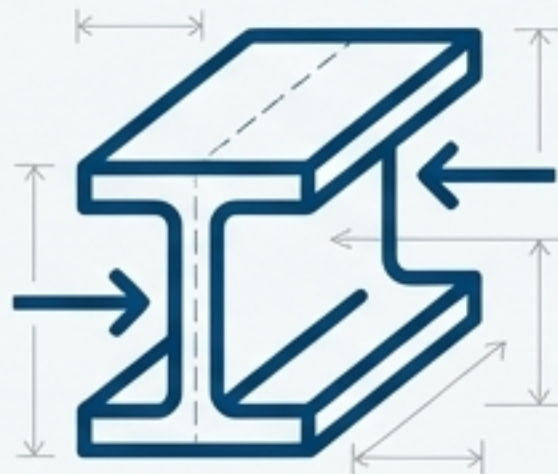
Impulsando la Economía Circular en la Estructura de los Edificios

El sistema VS es un ejemplo práctico de la Economía Circular en acción. Transforma un residuo problemático (plástico post-consumo de océanos y vertederos) en un componente de alto valor, inmovilizándolo de forma segura en la matriz del edificio durante toda su vida útil.



Una Solución Integral para una Construcción Sostenible y Basada en Datos

El sistema de losas aligeradas con plástico reciclado no es una mejora marginal; es un salto cualitativo que ofrece ventajas cuantificables en las tres dimensiones de la sostenibilidad.



Eficiente en Materiales

- Reduce hormigón y acero hasta en un 33% y 29%.
- Aligera la estructura y optimiza el diseño.



Bajo en Carbono

- Disminuye las emisiones de CO₂ en un 24% de promedio.
- Reduce el impacto ambiental total en un 25%.



Socialmente Responsable

- Mejora la seguridad y reduce los riesgos sociales hasta en un 20%.
- Minimiza las molestias en la comunidad local.



Práctico y Validado

- Respaldado por datos de 67 edificios reales.
- Ofrece una fórmula de predimensionamiento fiable ($R^2=98.26\%$) para una rápida adopción.

Catalizando el Cambio: De la Evidencia a la Acción Regulatoria y de Mercado

Los resultados de este estudio proporcionan una base de evidencia robusta para que ingenieros, reguladores y responsables de políticas públicas aceleren la transición hacia una construcción circular y alineada con los objetivos climáticos.

Para Ingenieros y Arquitectos:

- Utilizar la fórmula de predimensionamiento para especificar soluciones más sostenibles desde las fases iniciales del proyecto.

Para Reguladores:

Integrar los sistemas de losas aligeradas con contenido reciclado en los códigos de edificación y guías de diseño.

Para Administraciones Públicas:

Fomentar su uso a través de la compra pública verde y el desarrollo de incentivos fiscales para materiales circulares.

La adopción de estas innovaciones no es solo una opción técnica, sino un paso estratégico para alinear el sector de la construcción con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

