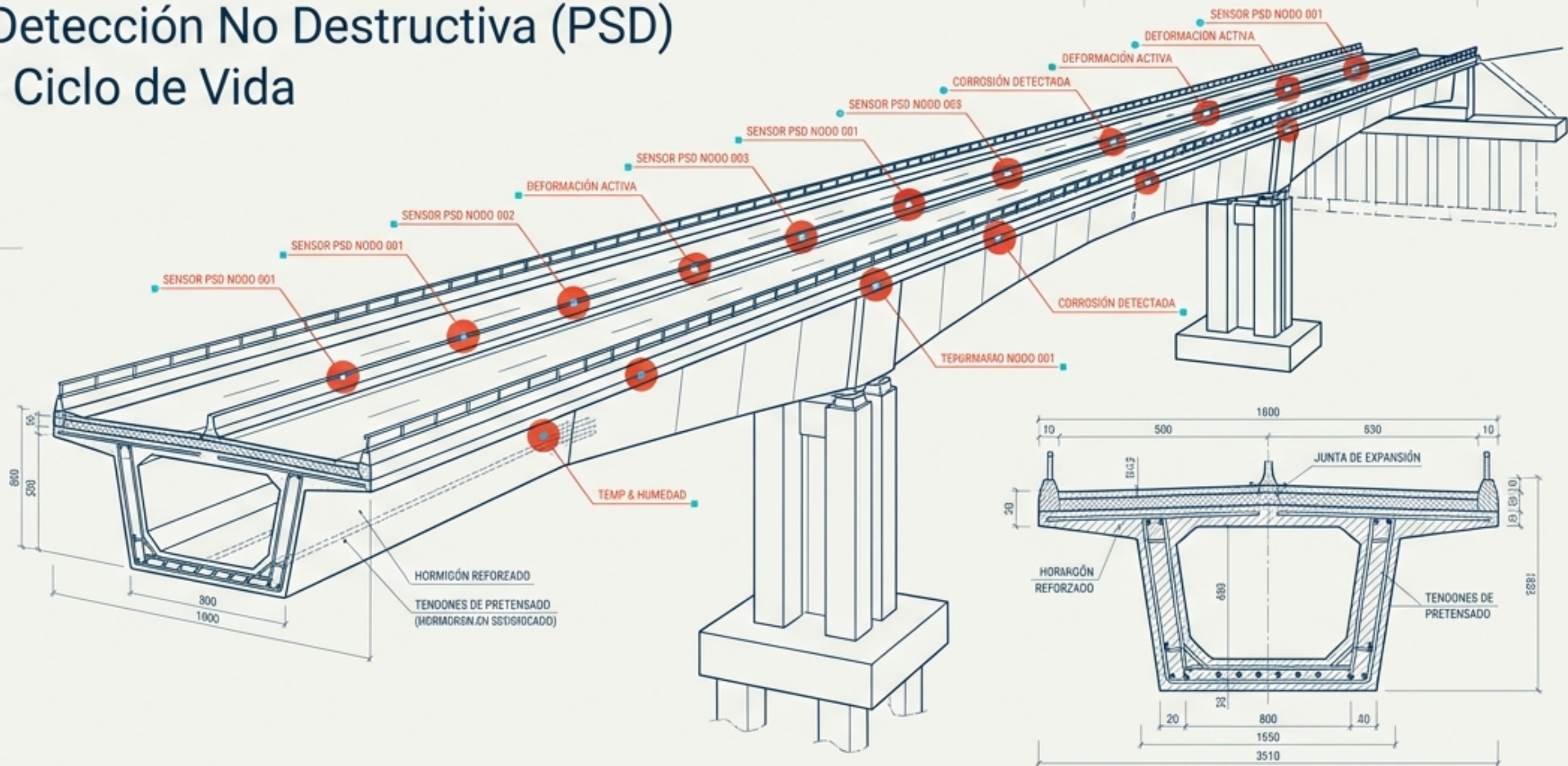
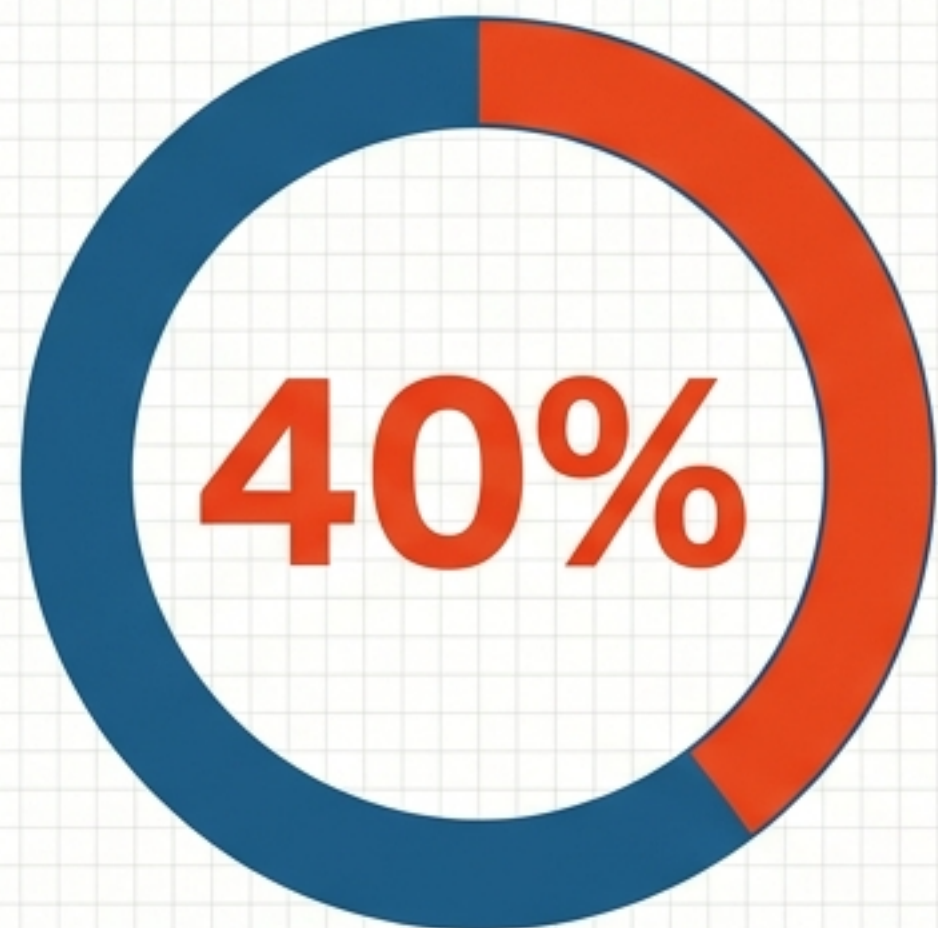


Mantenimiento Inteligente y Sostenible de Puentes Costeros

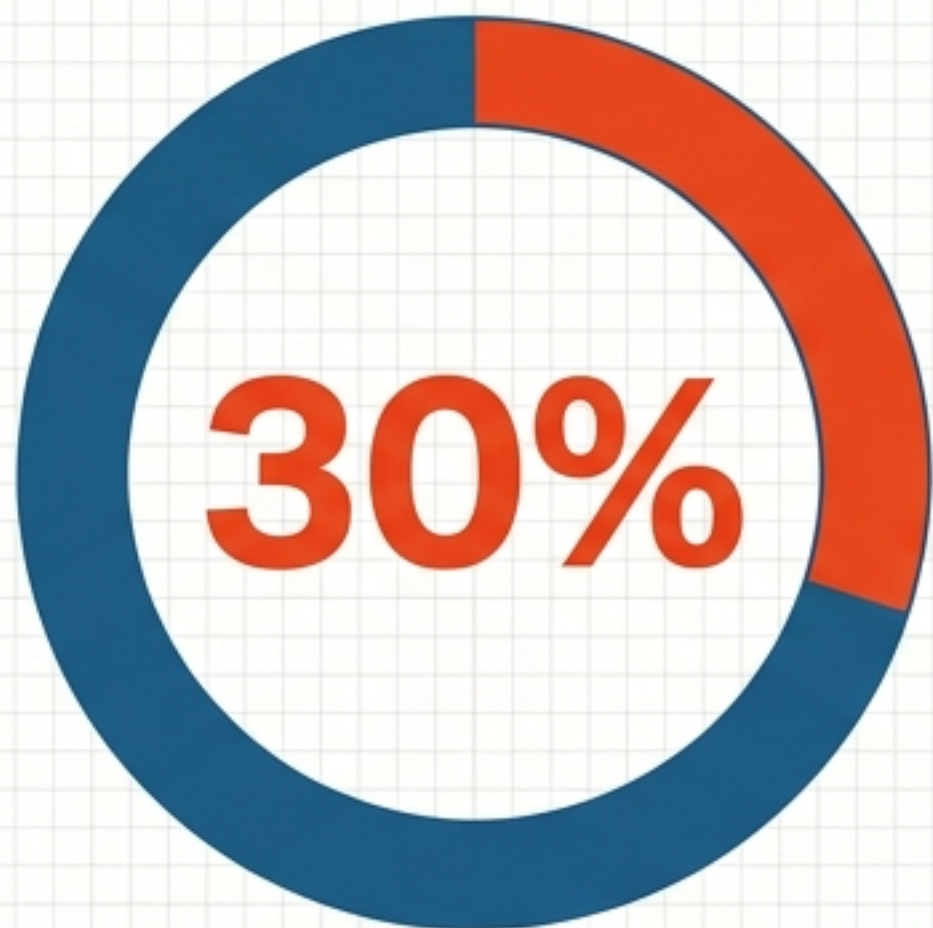
Integración de Detección No Destructiva (PSD) y Evaluación de Ciclo de Vida



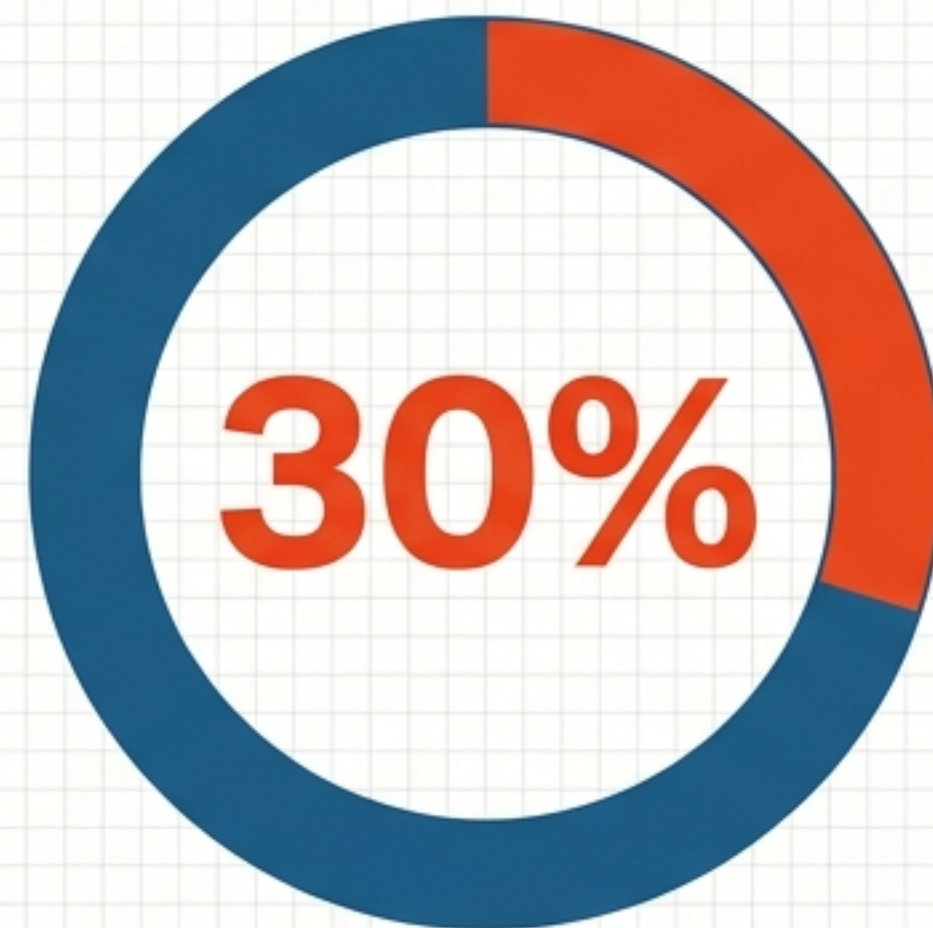
El inmenso coste del status quo



Recursos naturales
globales consumidos



Emisiones mundiales de
gases de efecto invernadero



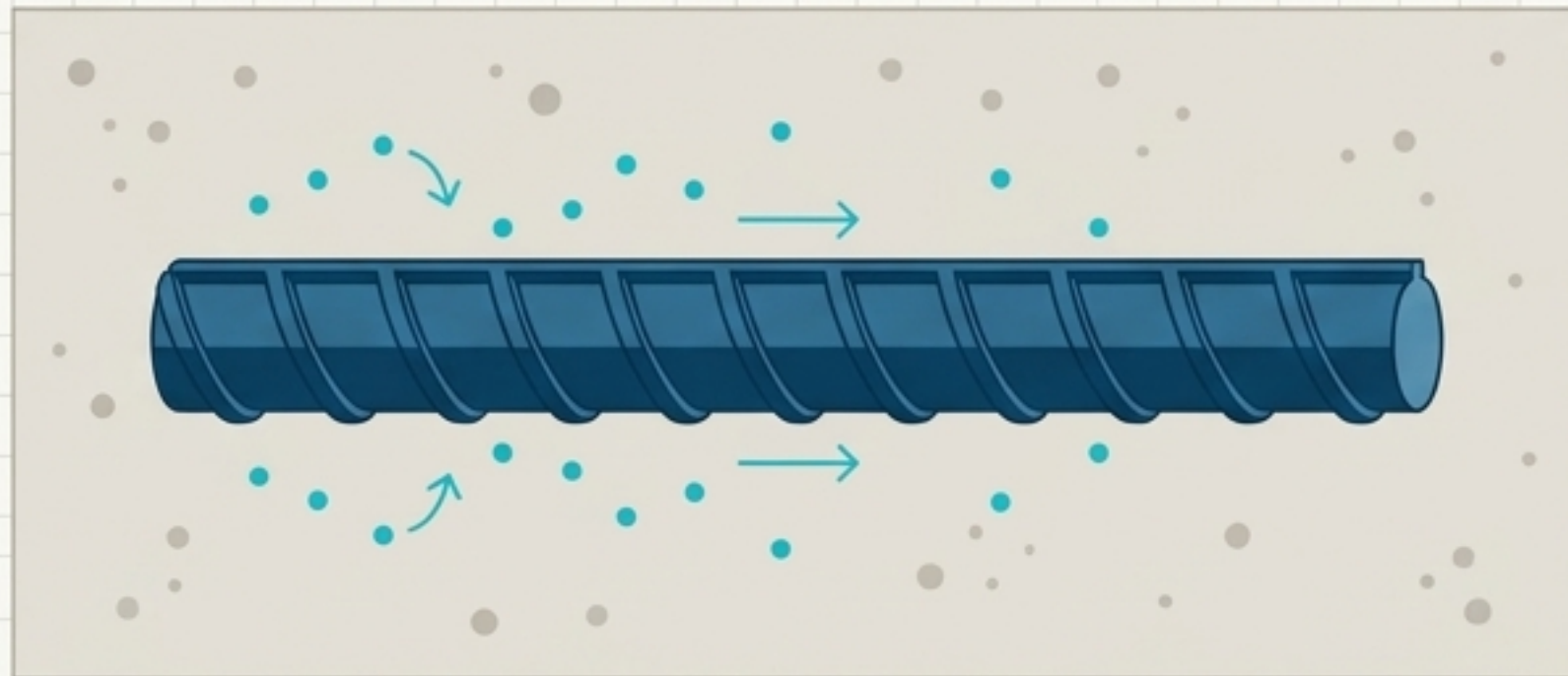
Consumo de
energía mundial

La infraestructura costera es vital, pero su deterioro prematuro es un agujero negro económico y ambiental.

El enemigo silencioso: La corrosión por cloruros

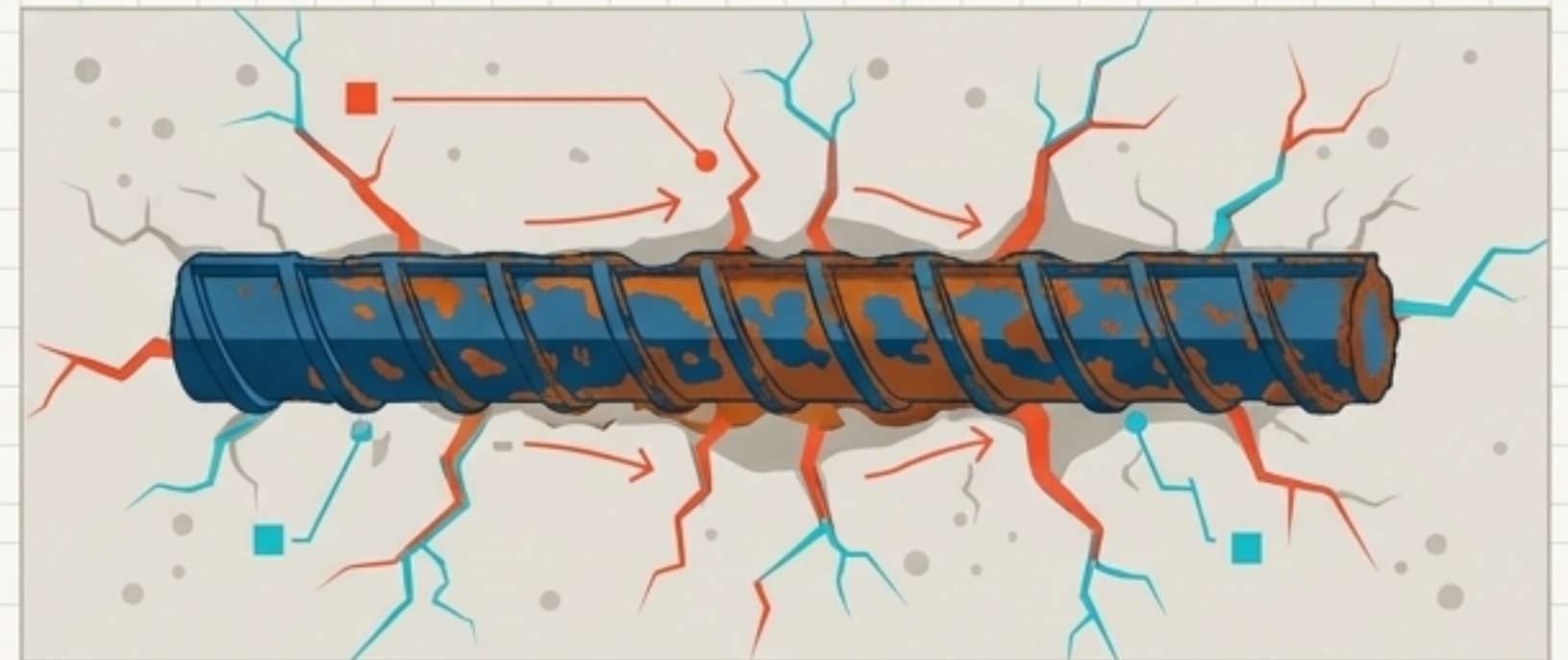
Fase 1: Iniciación (Invisible)

El agua salada penetra los microporos del hormigón. El acero intacto acumula cloruros lentamente.



Fase 2: Propagación (Destructiva)

La corrosión activa expande el acero, destruyendo la rigidez, agrietando el recubrimiento y llevando al colapso.



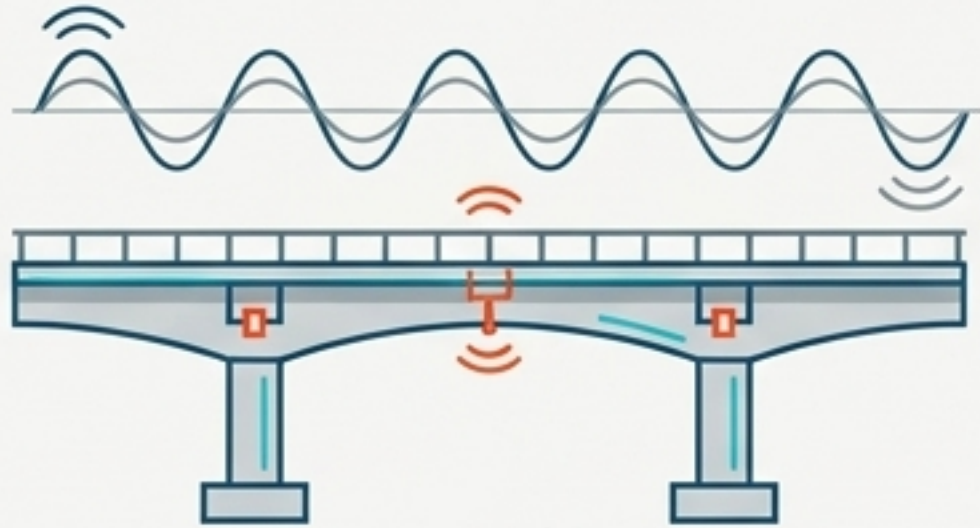
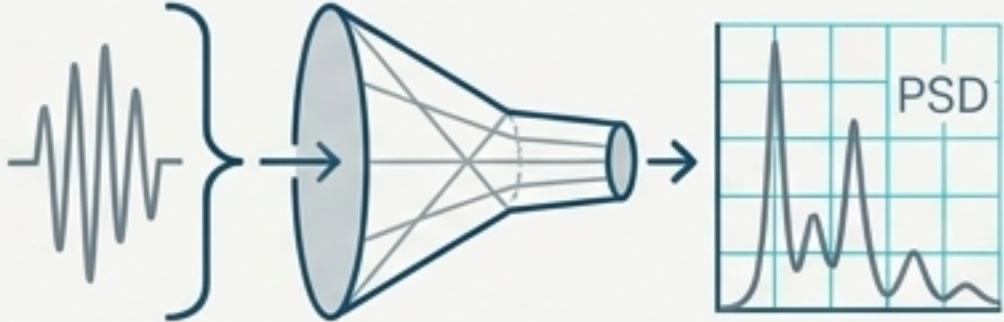
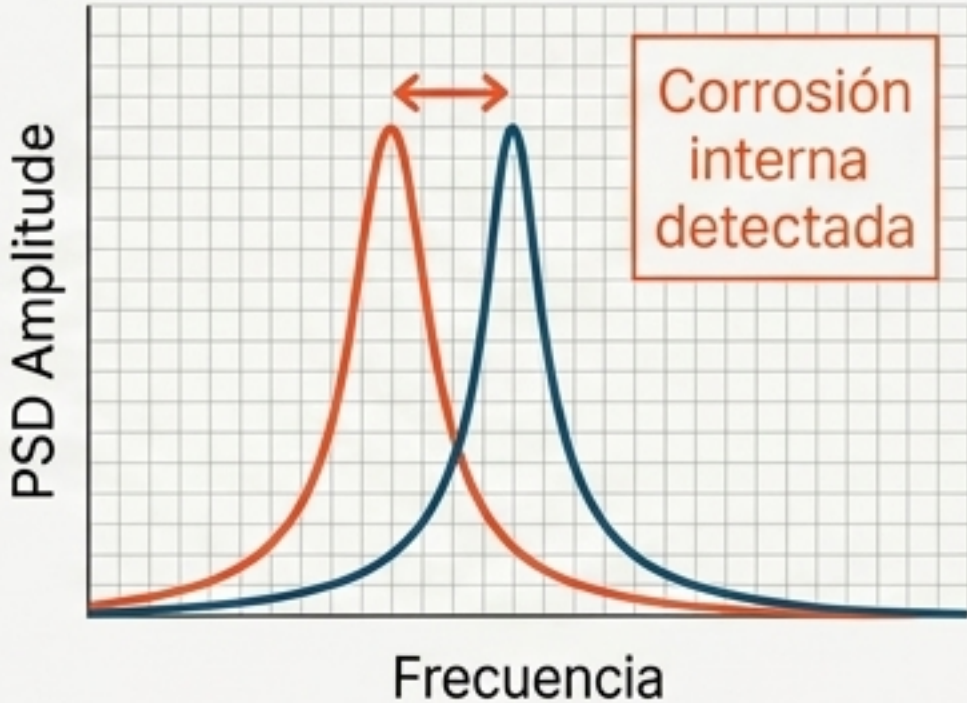
Diagnóstico de metodologías: Reactivo vs. Predictivo

Método Convencional	Método PSD (Nuestra Solución)
 <p>Momento de Acción Reactivo (basado en daño visible).</p>	 <p>Momento de Acción Predictivo (detecta pérdida de rigidez interna).</p>
 <p>Resolución Espacial Ciega (reparación de tramos enteros).</p>	 <p>Resolución Espacial Quirúrgica (mapeo exacto de la sección dañada).</p>
 <p>Impacto Físico Frecuentemente destructivo (requiere extracción de núcleos).</p>	 <p>Impacto Físico 100% No destructivo (basado en vibraciones).</p>

Un marco tridimensional para decisiones perfectas



Pilar 1: Escuchar la física del daño

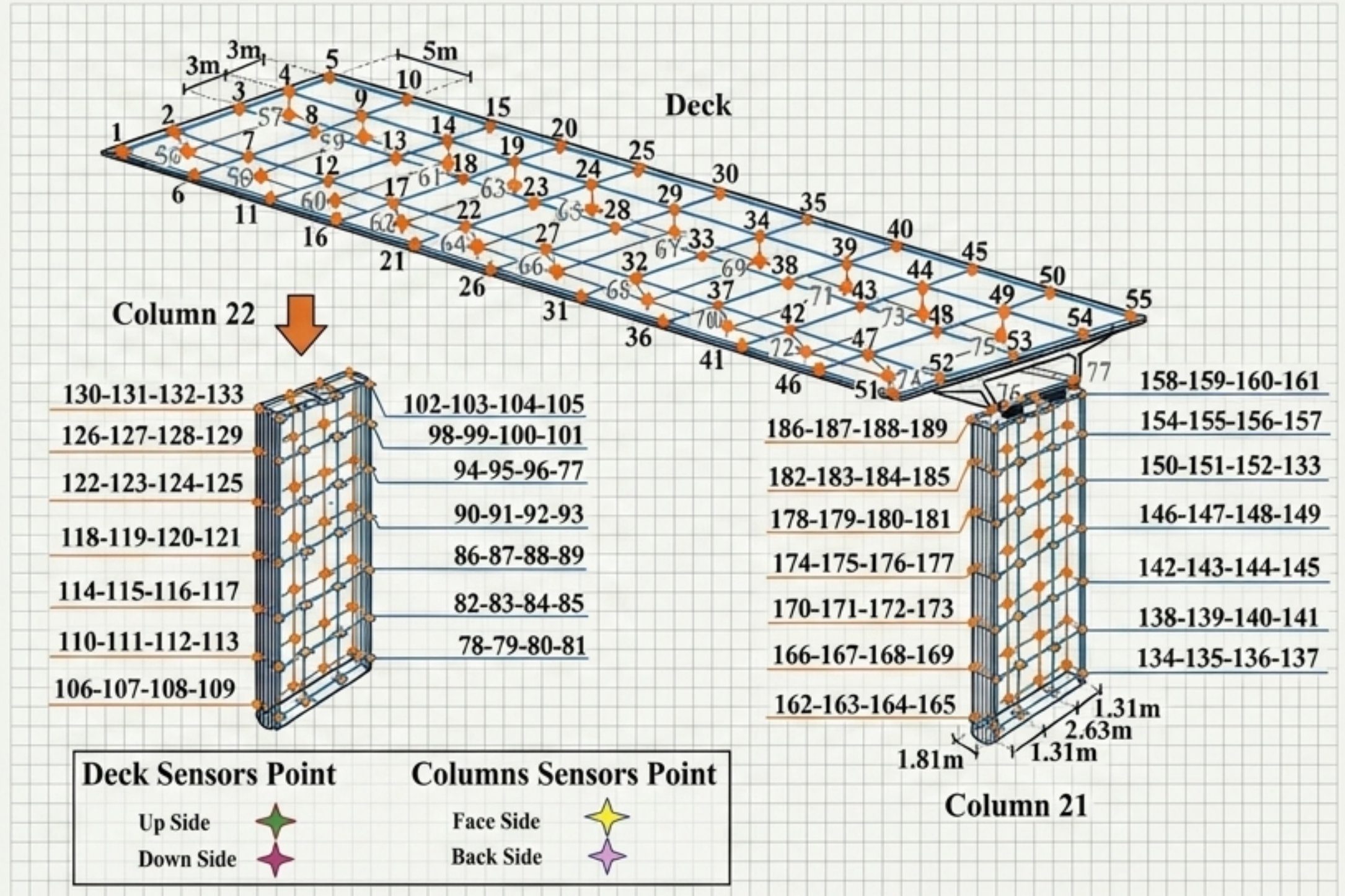
Paso 1: Estimulación	Paso 2: Transformación	Paso 3: Diagnóstico
 <p>The diagram shows a cross-section of a bridge with two piers. A sine wave is shown above the bridge, representing the natural vibrational response. Small orange brackets with radiating lines are placed on the bridge deck, indicating the locations of sensors capturing the vibration.</p>	 <p>The diagram illustrates the transformation process. On the left, a jagged waveform represents the captured vibration. An arrow points to a megaphone, symbolizing the transformation. Another arrow points to a graph labeled 'PSD' (Power Spectral Density), which shows a smooth curve with several peaks, representing the vibration in the frequency domain.</p>	 <p>The graph plots 'PSD Amplitude' on the y-axis against 'Frecuencia' (Frequency) on the x-axis. It shows two bell-shaped curves. The left curve is blue, and the right curve is orange. A double-headed orange arrow indicates the shift in frequency between the two peaks. A red box with the text 'Corrosión interna detectada' (Internal corrosion detected) is positioned to the right of the orange peak, indicating that the shift in the peak frequency is a sign of damage.</p>
<p>Sensores capturan la respuesta vibratoria natural del puente ante el ambiente.</p>	<p>La Transformada de Fourier convierte la vibración en el dominio de la frecuencia (PSD).</p>	<p>Un desplazamiento en los picos de frecuencia revela matemáticamente la pérdida de rigidez mucho antes de que aparezcan grietas.</p>

El campo de pruebas: Puente de Arosa (Galicia)

Longitud Total:
1980 metros (40 vanos).

Exposición:
Entorno marino agresivo
(Clase EHE-08).

Red de Telemetría:
189 puntos de sensores
estratégicos.

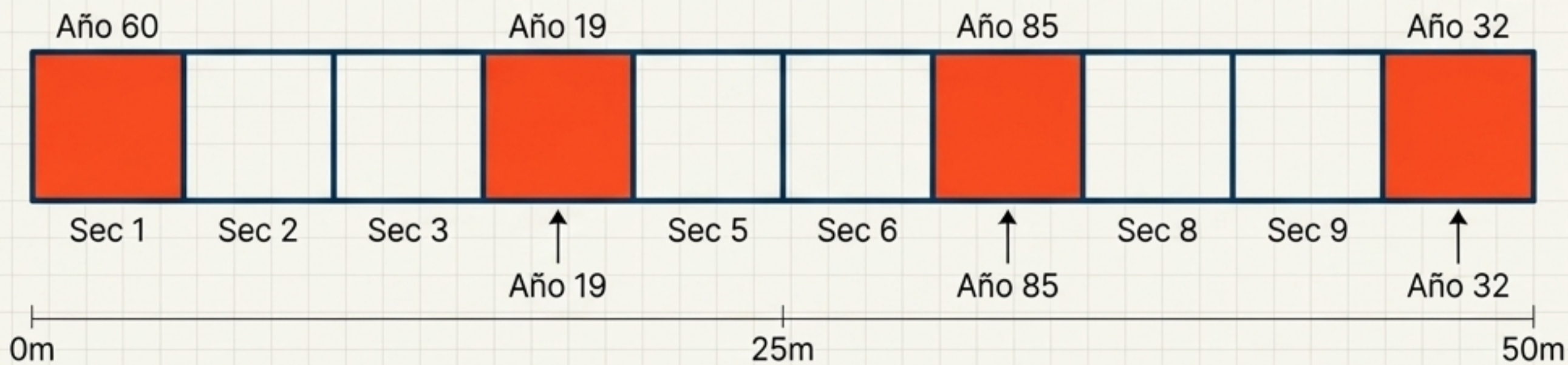


De intervenciones masivas a mantenimiento quirúrgico

Enfoque Convencional:
Reemplazo ciego de un vano completo de 50m en el año 6.



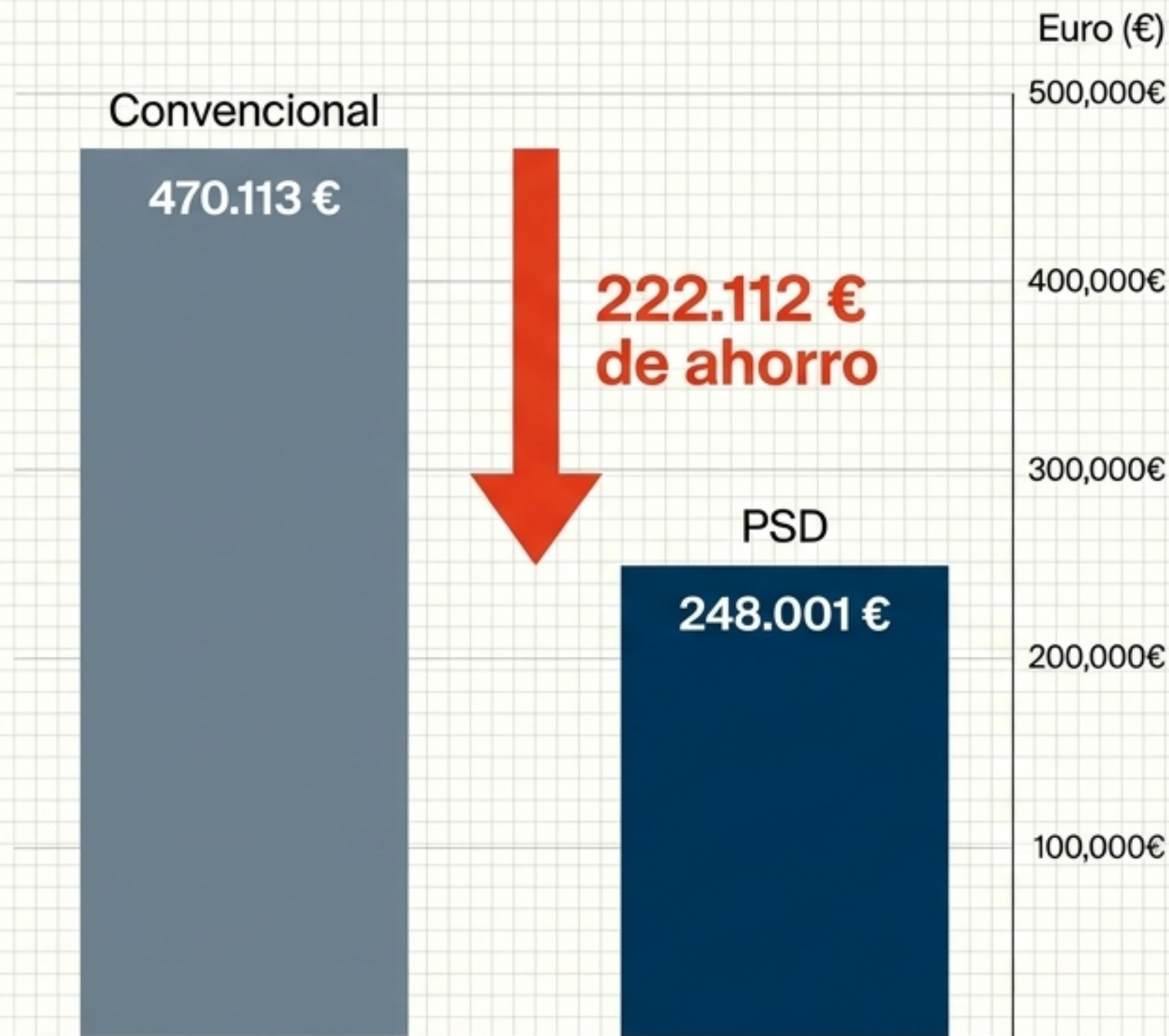
Enfoque PSD:
Intervenciones de precisión.
Reparación de secciones específicas de 5m solo cuando el daño supera el umbral del 20%.



Marine Blue Outline: Estructura sana
Technical Vermilion Fill: Intervención de precisión
Slate/Red Fill: Intervención masiva

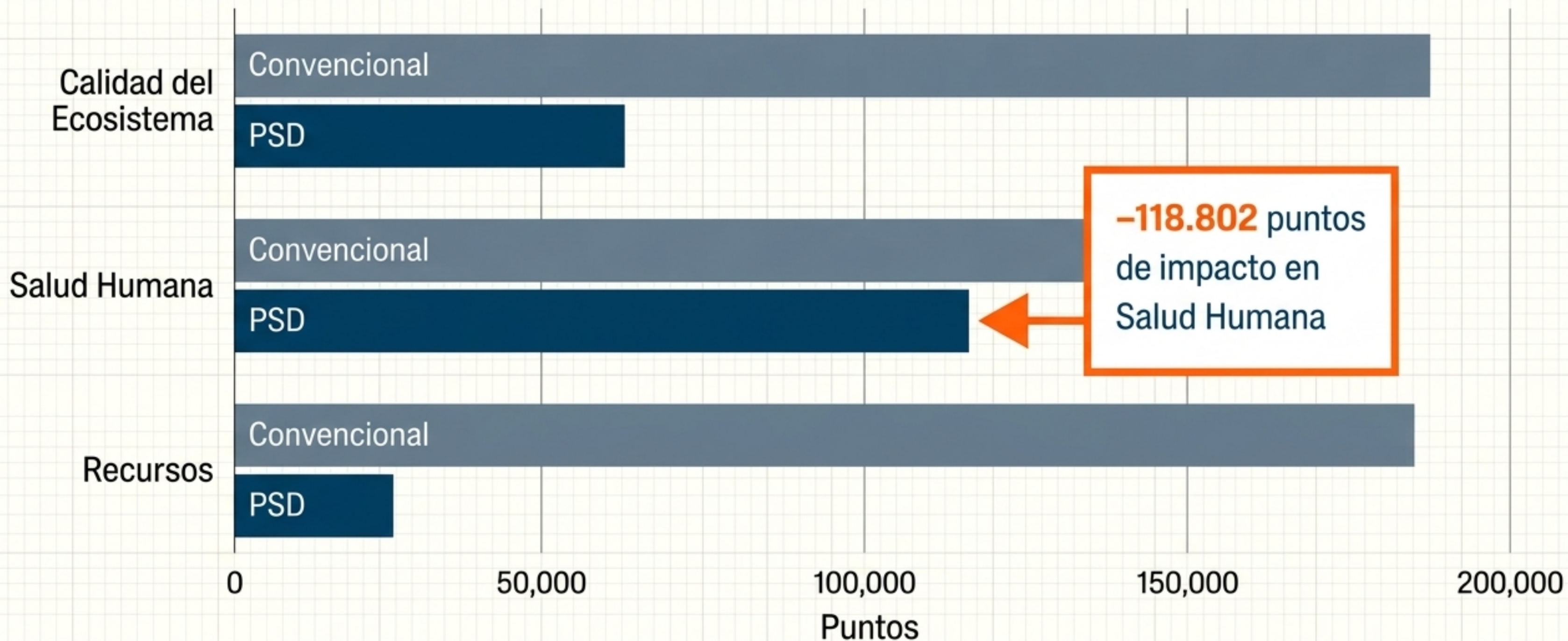
Ahorro superior al 40% en el Coste de Ciclo de Vida

Al evitar demoliciones innecesarias de hormigón sano y optimizar materiales, **el coste por vano a 100 años se desploma.**



Pilar 2B: El impacto ambiental (E-LCA ReCiPe)

Resultados: Caídas drásticas en daño ecológico, impactos en salud humana y agotamiento de recursos. Menos demolición ciega significa una reducción masiva de las **emisiones** y **escombros** del ciclo de vida.



Pilar 2C: El impacto social (S-LCA)

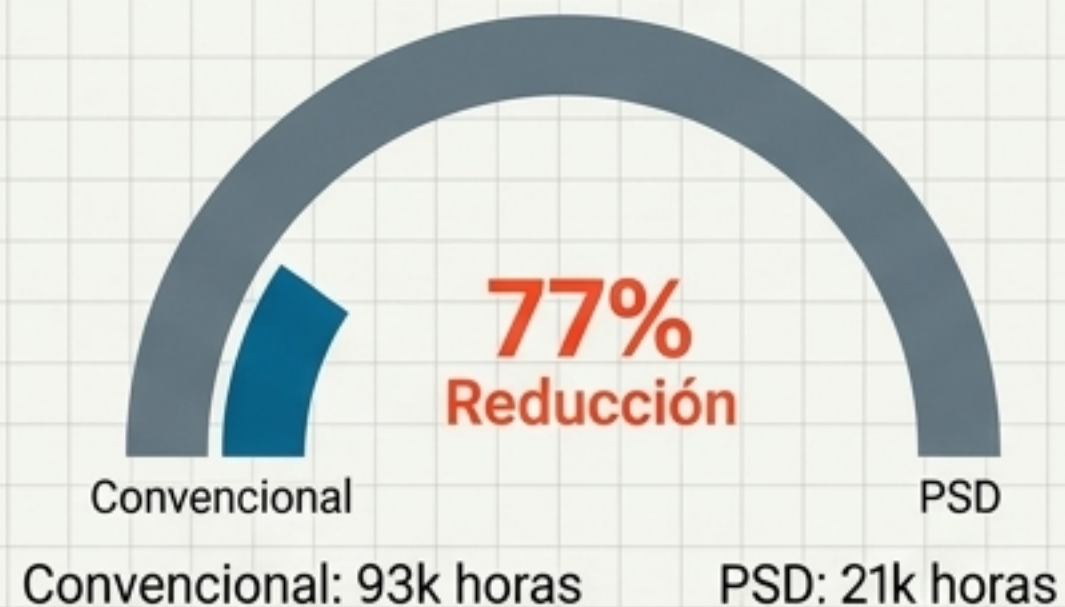
Métrica: "Horas de riesgo social" (Exposición a peligros laborales y interrupciones comunitarias).



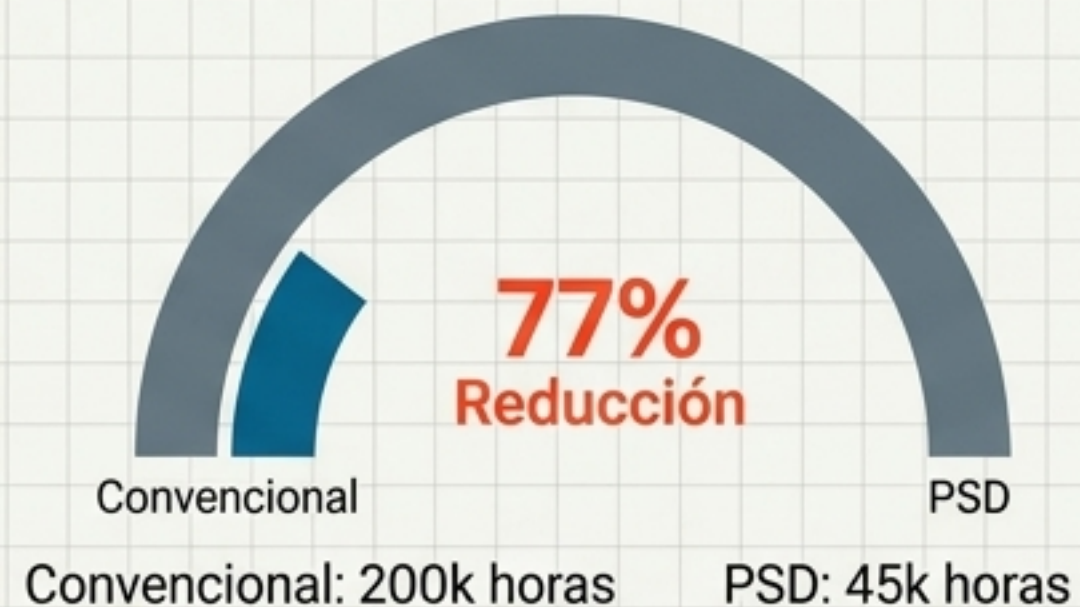
Sociedad



Cadena de Valor



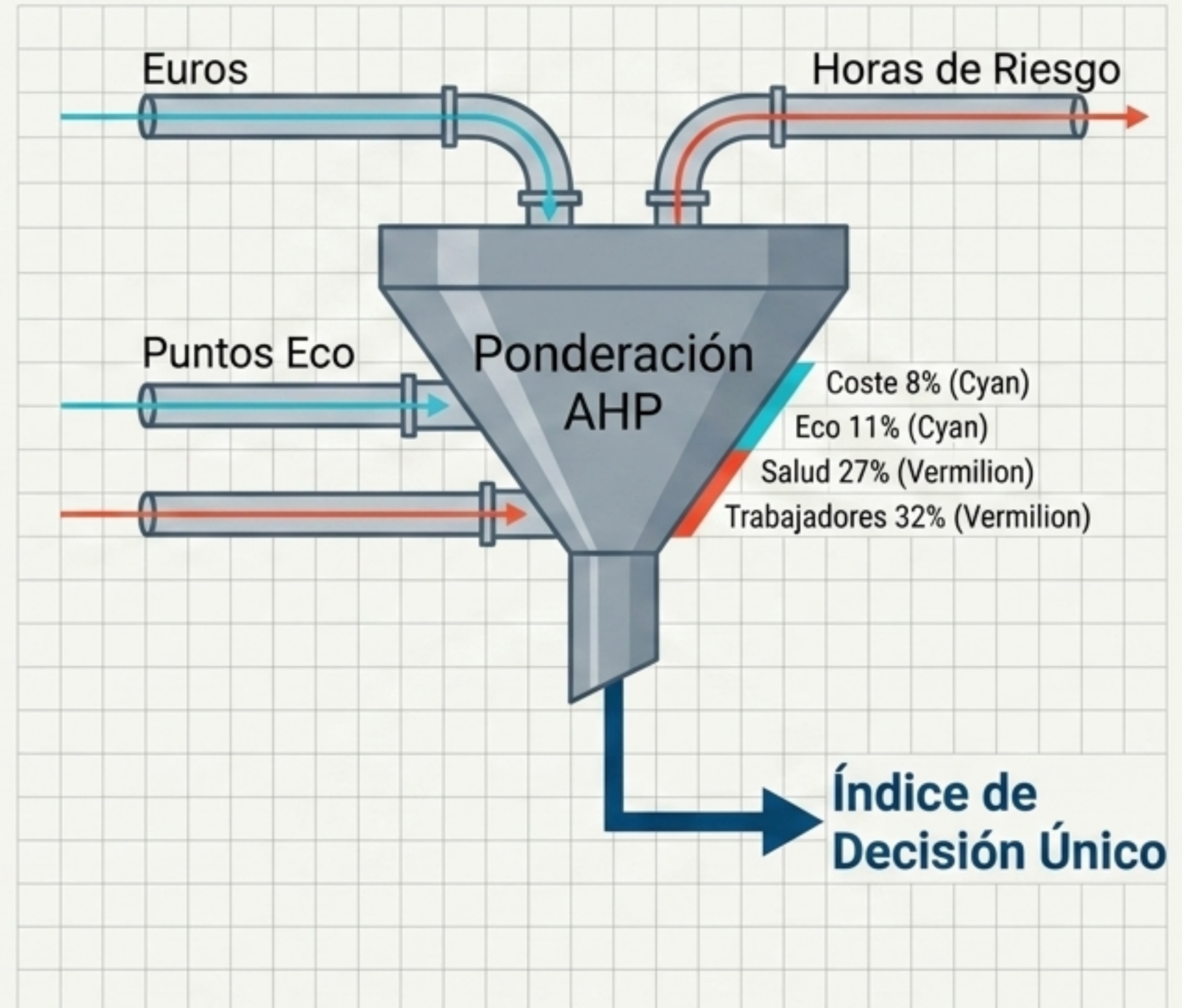
Trabajadores



Pilar 3: La orquestación de la sostenibilidad (AHP-TOPSIS)

El Reto: ¿Cómo sopesamos el coste económico frente al daño ecológico y el riesgo laboral de manera imparcial?

La Solución: El Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) asigna pesos justos, y TOPSIS clasifica matemáticamente las estrategias.



El Veredicto Definitivo (Matriz TOPSIS)

	Método Convencional	Método PSD
Coste	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Ecosistema	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Salud Humana	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Recursos	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Trabajadores	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Comunidad Local	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Sociedad	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Cadena de Valor	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

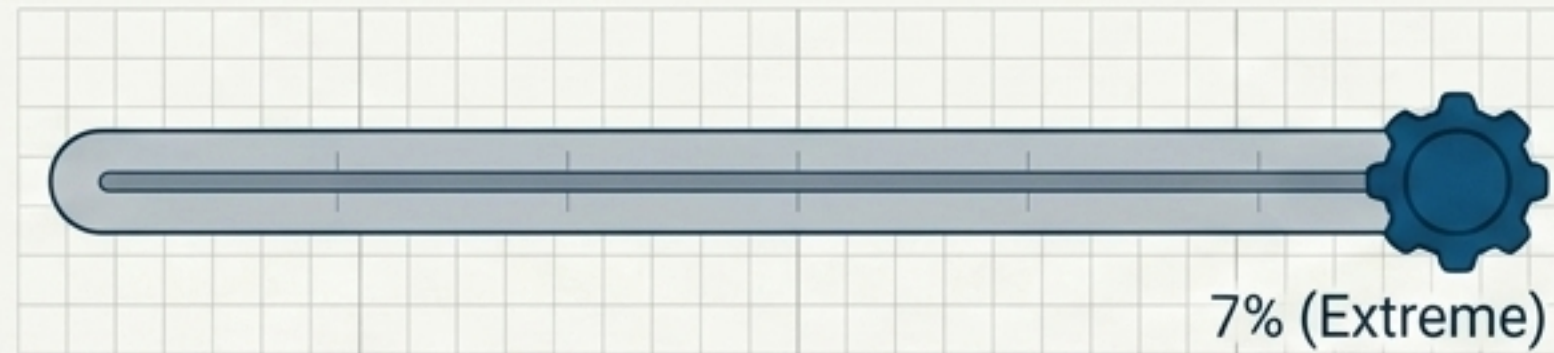
Puntuación de Proximidad: 0.00

Puntuación de Proximidad: 1.00

Análisis de robustez: A prueba de futuro

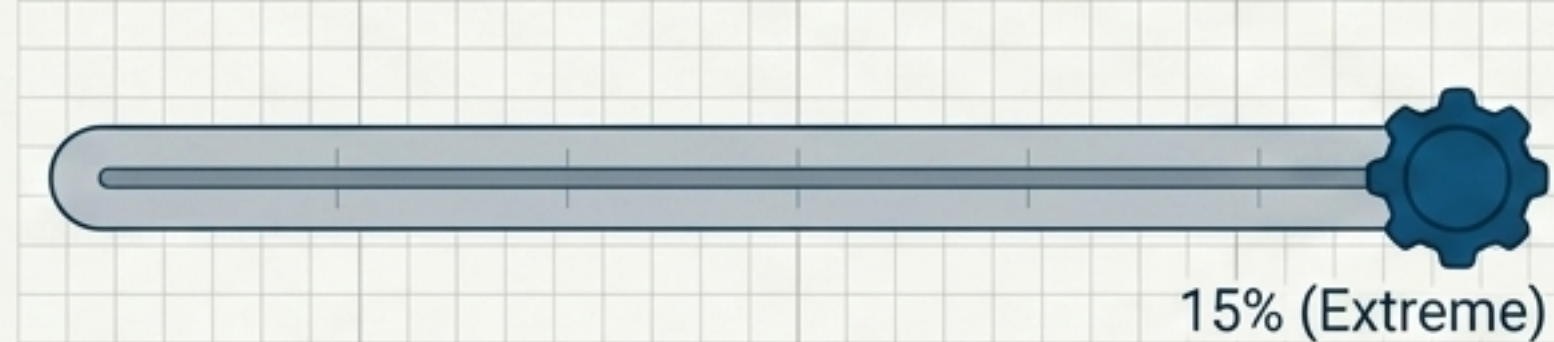
Pruebas de estrés superadas. El método PSD sigue siendo matemáticamente inamovible como la estrategia #1 en todos los escenarios.

¿Fluctuación de la Tasa de Descuento (3% a 7%)?



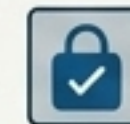
PSD = Estrategia #1

¿Aumento del ruido en sensores al 15%?



PSD = Estrategia #1

¿Alteración drástica de los pesos AHP sociales/ambientales?



PSD = Estrategia #1

De la ceguera reactiva a la infraestructura inteligente

La integración de la telemetría vibratoria (PSD) y la evaluación multicriterio no es solo una mejora incremental. Es el estándar definitivo para salvar infraestructuras, optimizar dinero público y proteger el planeta.

Es hora de dejar de reparar lo que ya está roto y empezar a predecir el futuro.

