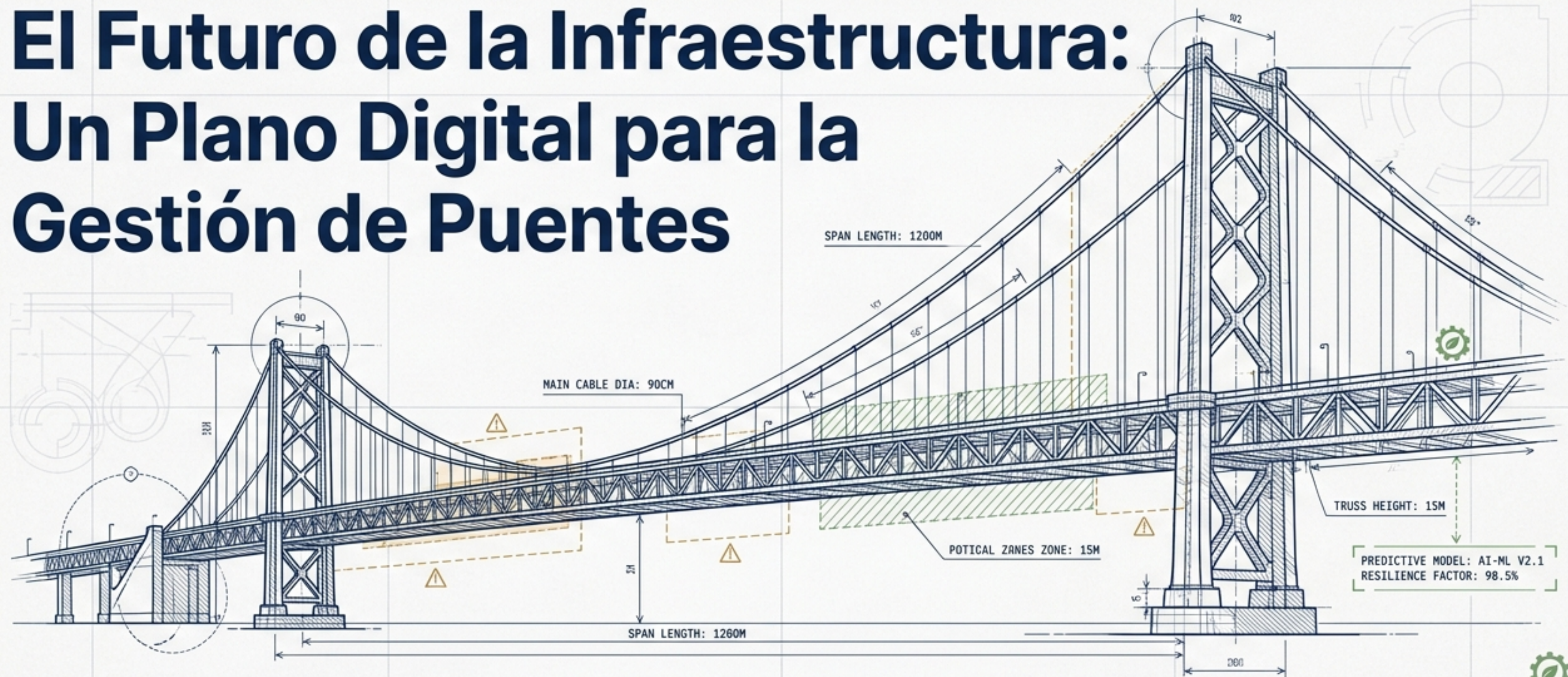


# El Futuro de la Infraestructura: Un Plano Digital para la Gestión de Puentes



Síntesis Ejecutiva: IABMAS 2024

De un mantenimiento reactivo a una  
resiliencia predictiva impulsada por IA.

La convergencia de infraestructuras envejecidas, presupuestos limitados y amenazas climáticas exige un nuevo paradigma.

### Desafío Físico: Degradación Acelerada

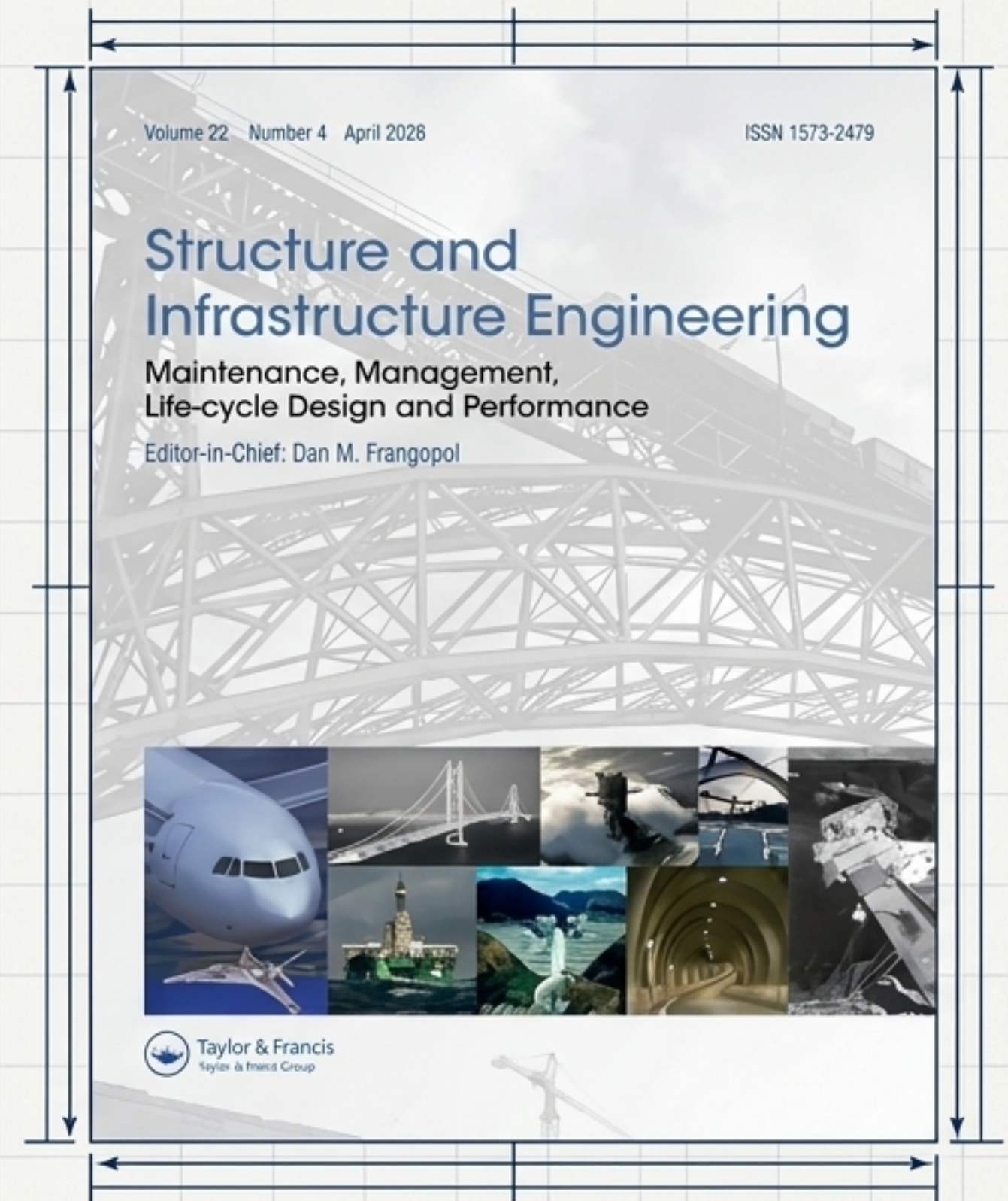
La infraestructura actual supera su vida útil de diseño original, demandando intervenciones más allá del mantenimiento visual rutinario.

### Desafío Ambiental: Amenazas Múltiples

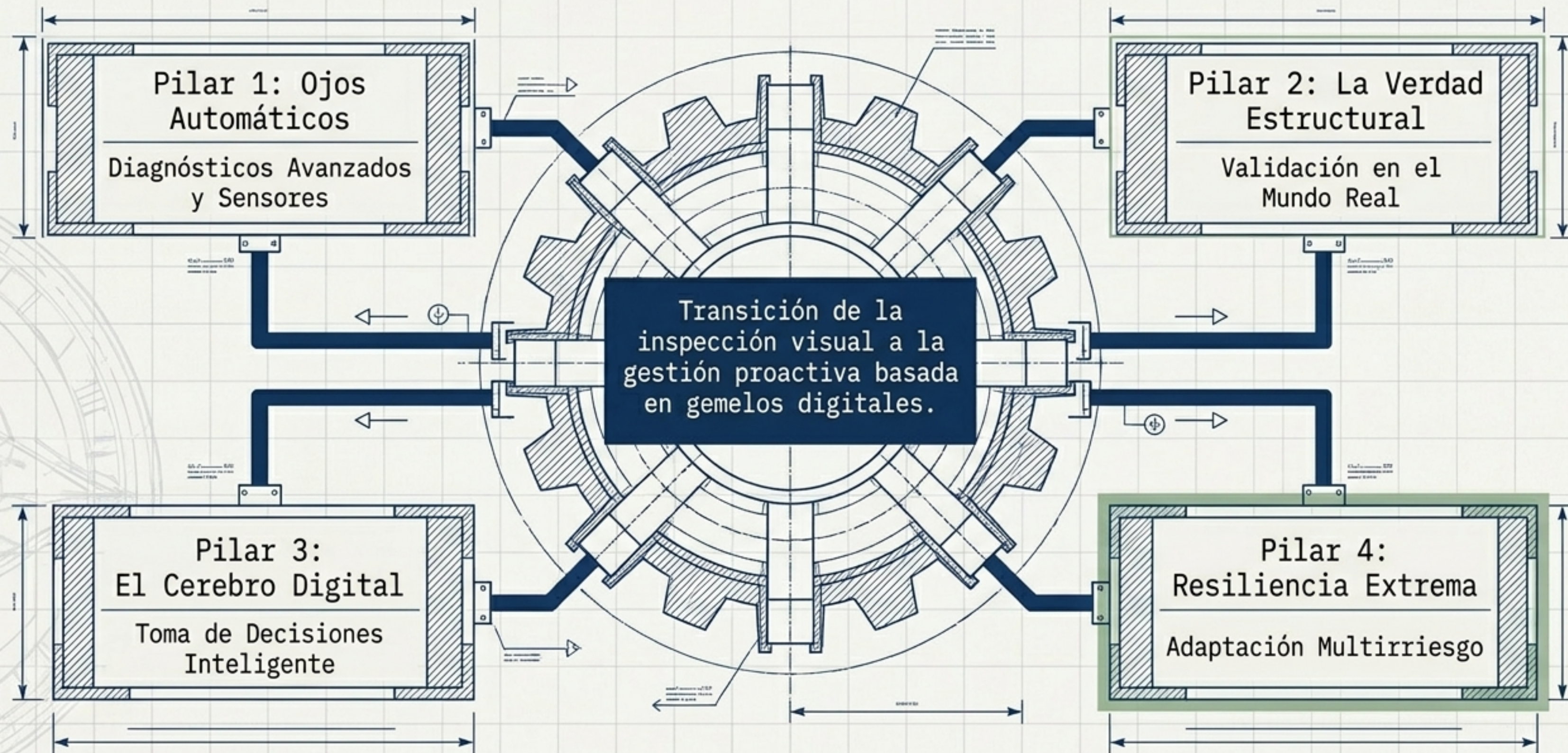
El cambio climático invalida los modelos estáticos tradicionales, introduciendo variables de corrosión acelerada y eventos extremos.

### La Solución: IABMAS 2024

Destilación de 480 investigaciones globales en directrices estratégicas de mantenimiento, seguridad y sostenibilidad.

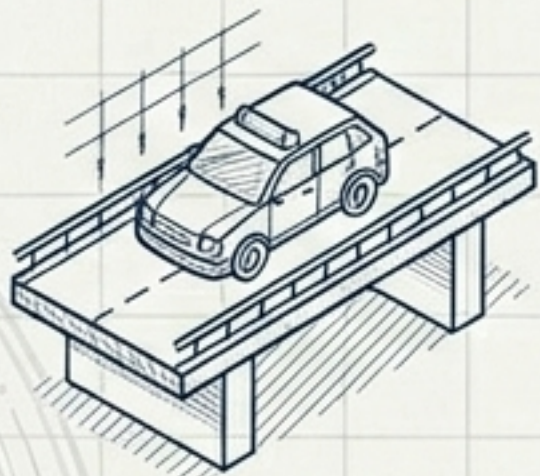


# Cuatro pilares estratégicos para la transformación de la gestión de puentes.



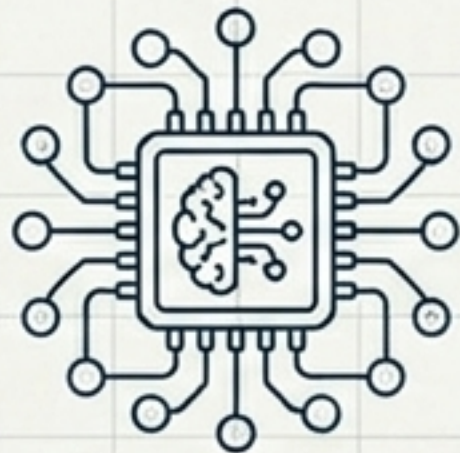
# Pilar 1: Automatización del diagnóstico mediante la integración en cascada.

## Fase 1: Escaneo Rápido (IR)



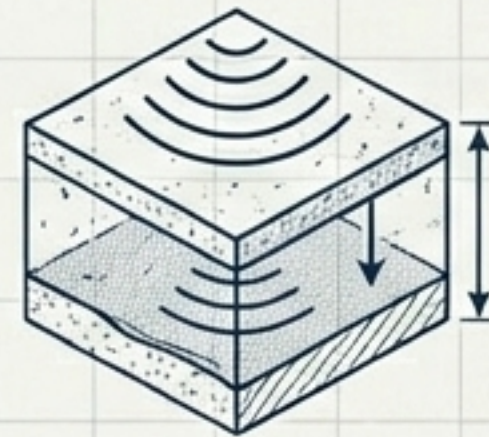
Imágenes infrarrojas montadas en vehículos para un mapeo térmico a gran escala de la plataforma del puente.

## Fase 2: Detección Autónoma (IA)



Metamodelos etiquetan imágenes IR no procesadas en tiempo real, localizando anomalías sin trabajo manual.

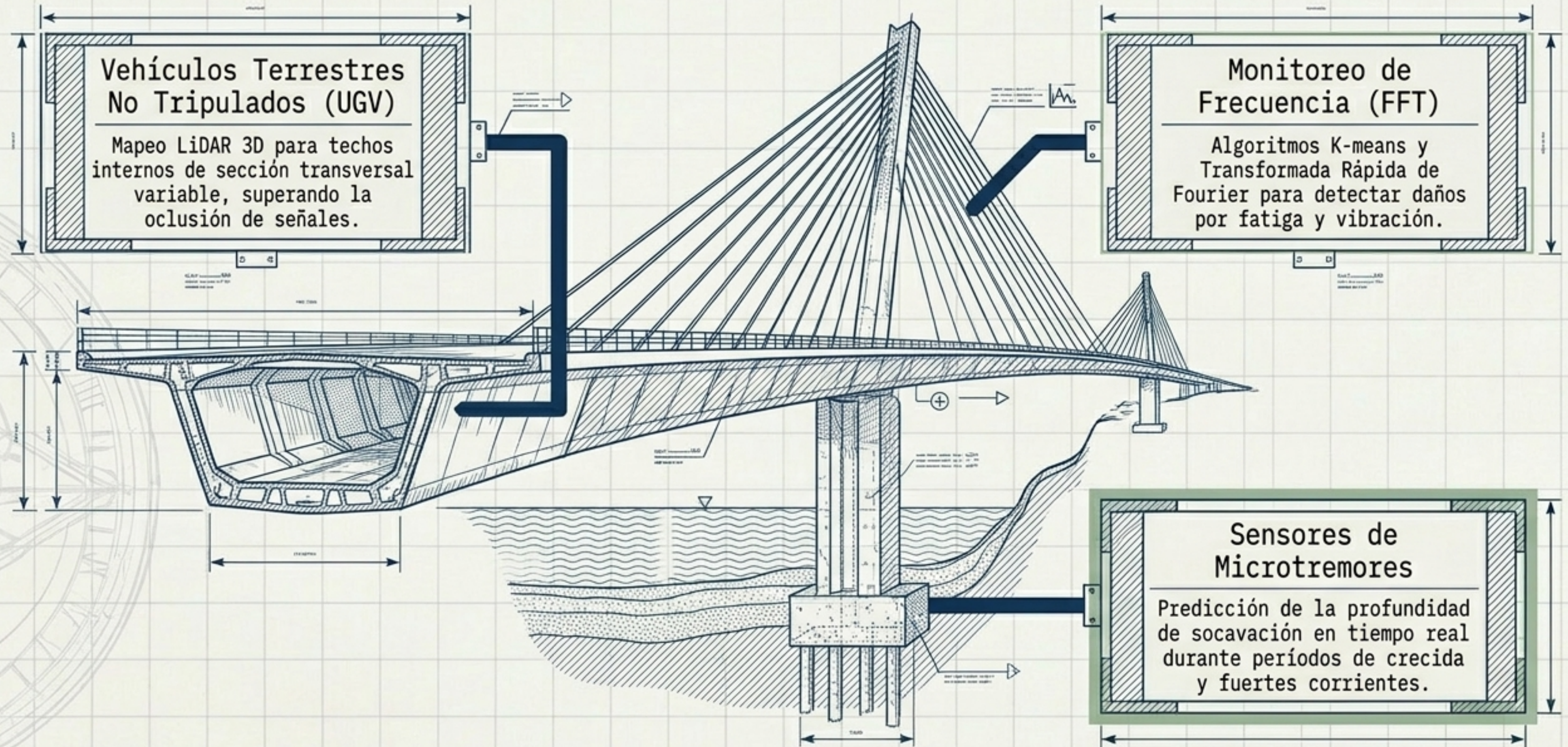
## Fase 3: Análisis Profundo (UT)



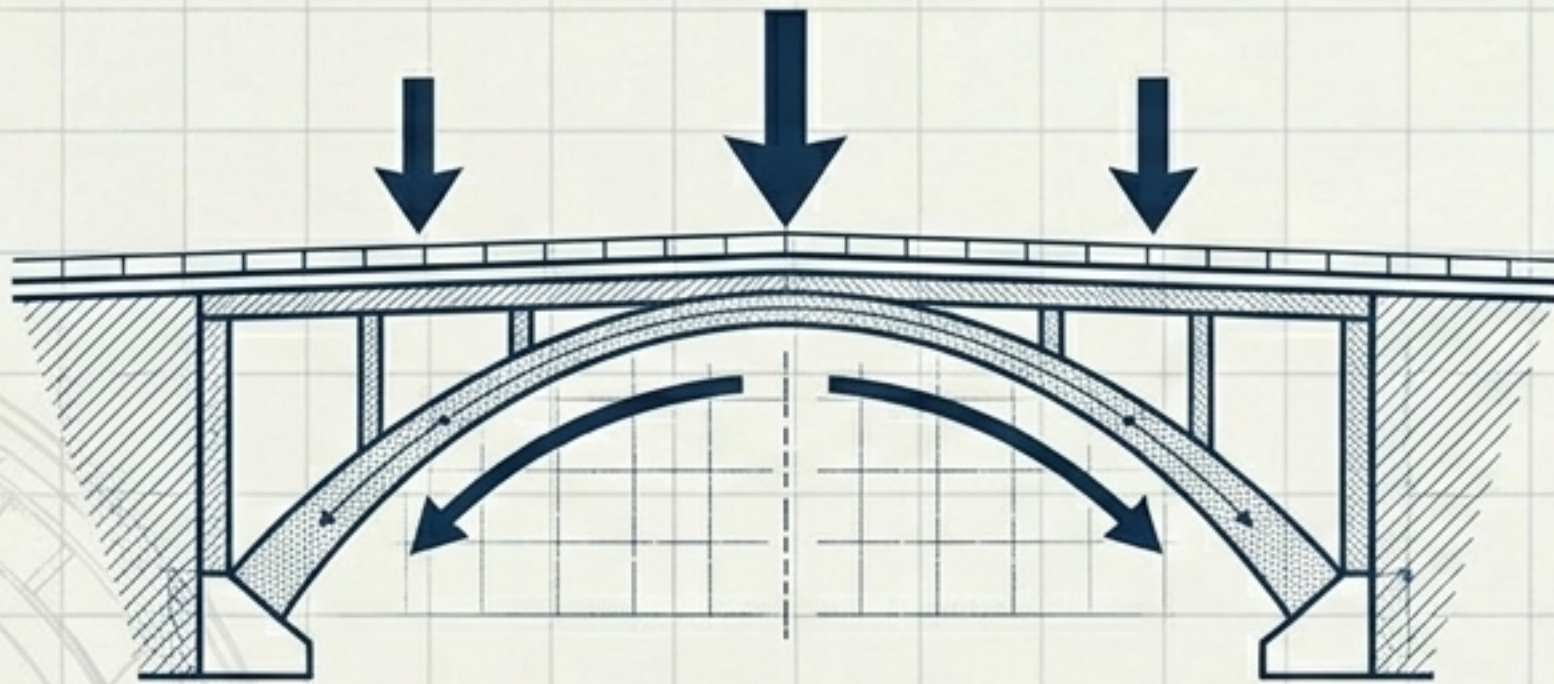
Tomografía de ultrasonido dirigida a coordenadas marcadas por IA para determinar profundidad y delaminación.

Flujo de trabajo unificado: Mayor velocidad de inspección con máxima precisión de coordenadas globales.

# Inspección omnidireccional: Asignando la tecnología adecuada a cada componente crítico.

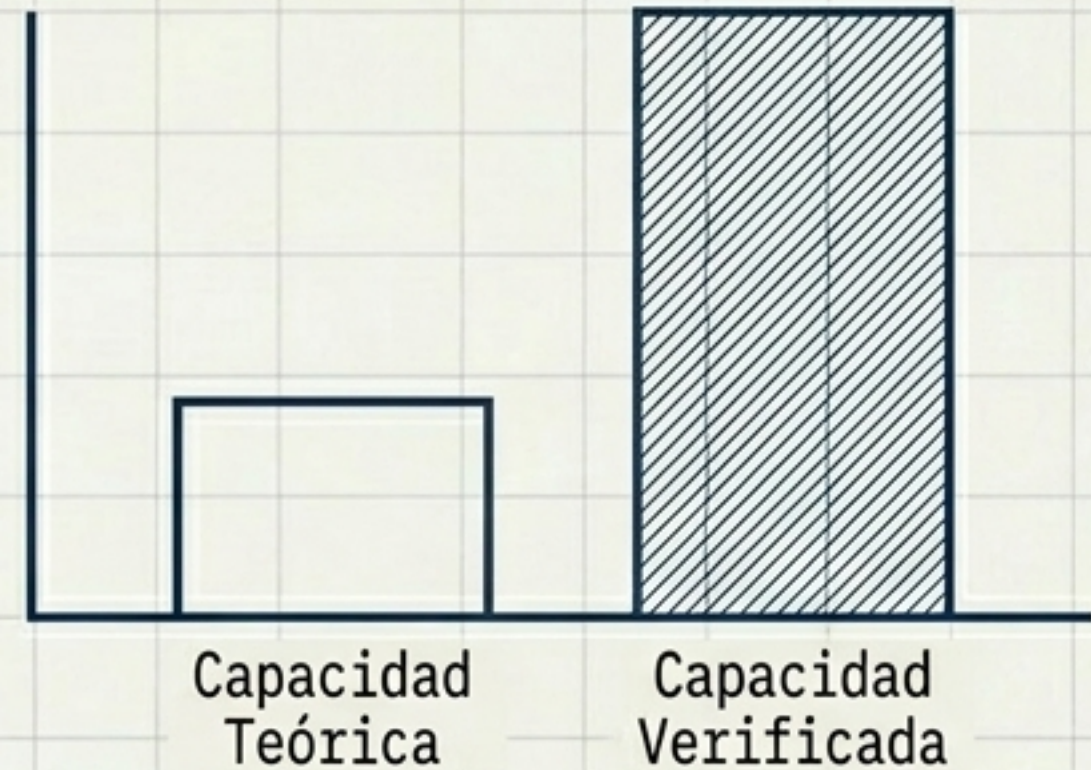


## Pilar 2: Revelando la verdadera capacidad estructural mediante pruebas físicas in situ.



Ensayos de Colapso

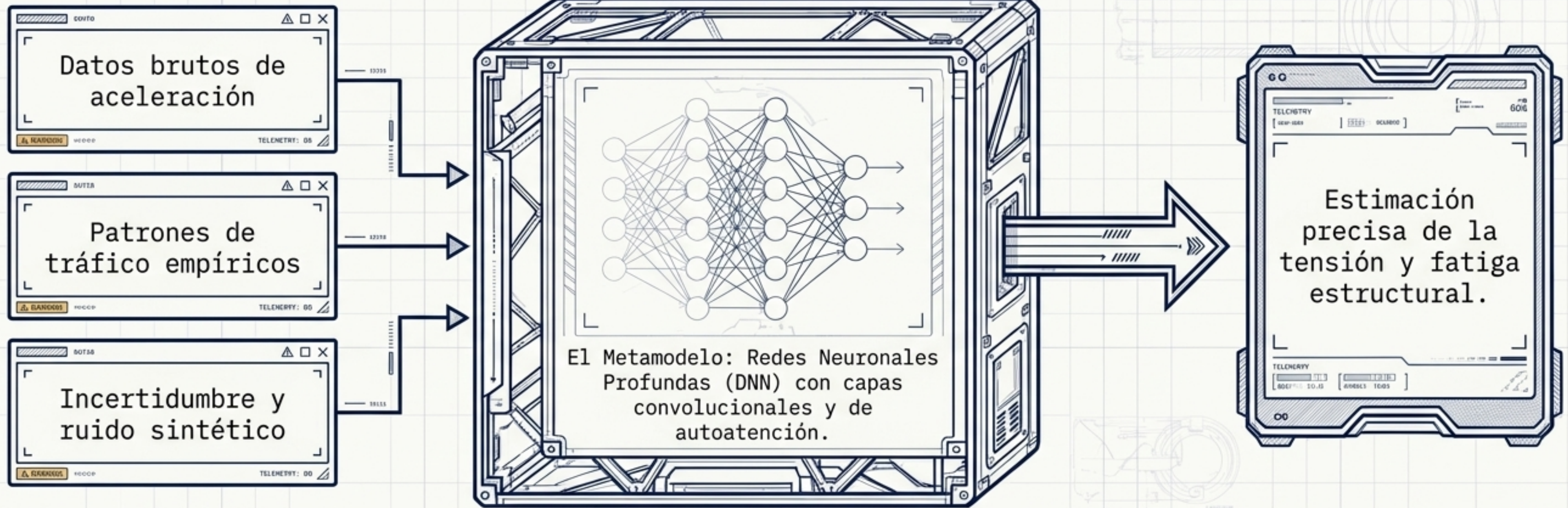
El caso del Puente Vecht (1962). Las pruebas físicas revelaron mecanismos ocultos (acción de membrana y arco de compresión). Las capacidades reales demostraron ser muy superiores a las estrictas evaluaciones teóricas de cizallamiento.



Pruebas de Carga (Proof Loading)

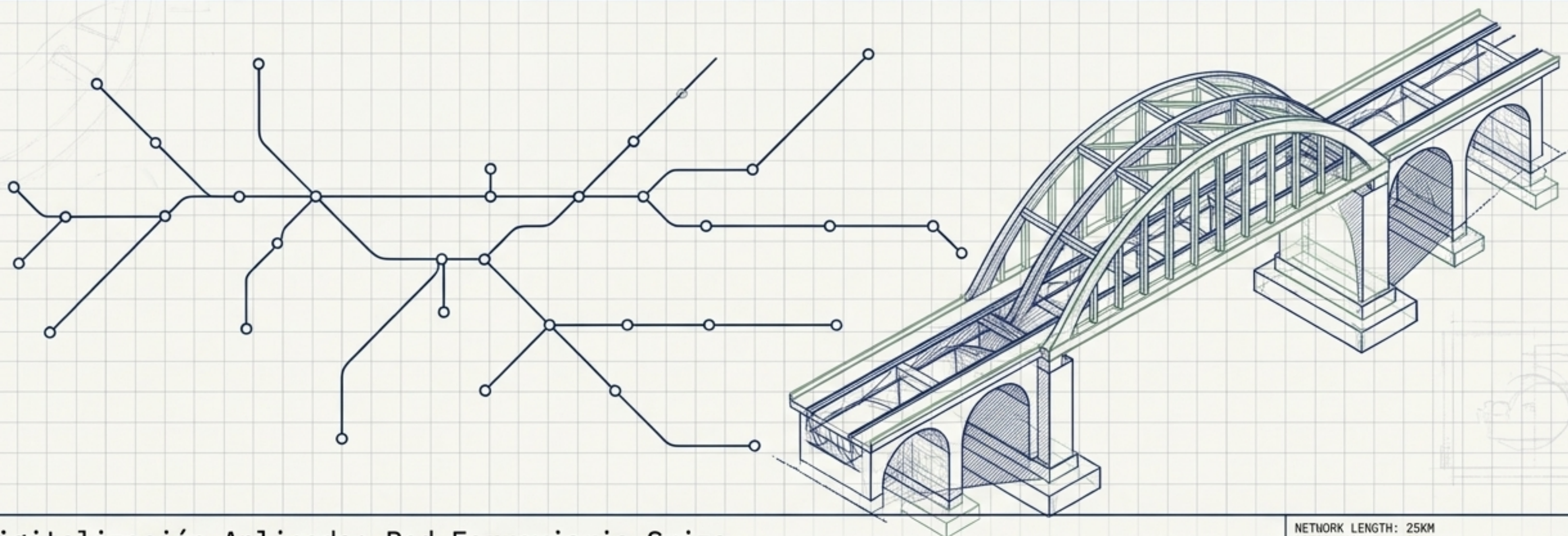
Uso de carga de prueba para reclasificar puentes de concreto sin refuerzo a capacidades superiores y comprender la acción de marco en U en puentes metálicos históricos, extendiendo su vida útil legal.

# Estimación indirecta de tensiones: Reemplazando sensores físicos con Redes Neuronales.



**Insight Clave:** El ensamblaje de modelos mantiene la estabilidad matemática incluso bajo fluctuaciones severas de temperatura, democratizando el monitoreo de la salud estructural.

## Pilar 3: Sistemas centralizados que fusionan algoritmos predictivos con BIM.



### Digitalización Aplicada: Red Ferroviaria Suiza

NETWORK LENGTH: 25KM  
BRIDGE COUNT: 30  
DATA TYPE: BIM+PREDICTIVE

Conexión de algoritmos predictivos con modelos BIM en una red de 25 km y 30 puentes. Permite visualizar tiempos de posesión de vías, costos de intervención y programación centralizada para múltiples partes interesadas.

### Integración Humano-Tecnológica



BALANCE REQ.:  
ALGORITHMIC + EXPERT JUDGMENT

La digitalización es una herramienta, no un fin. Los BMS adaptativos exigen un equilibrio riguroso entre la tecnología algorítmica y el juicio experto del ingeniero humano para garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

# Matriz Comparativa: Seleccionando el motor de decisión adecuado para cada nivel.

Lógica Difusa	MCDM / TOPSIS-SMAA	Opciones Reales	Valor de la Información (VOI)
Caso de Uso Ideal			
Reparaciones a nivel de componente estructural.	Selección de materiales y sostenibilidad.	Redes de puentes bajo riesgo sísmico.	Programación óptima de inspecciones.
Mecanismo Analítico			
Transforma indicadores químicos (cloruro, carbonatación) en un Índice de Daño (CDI).	Maneja incertidumbres en criterios de ciclo de vida y emisiones de CO <sub>2</sub> .	Optimiza el timing exacto de las retroadaptaciones evaluando el costo-beneficio.	Inferencia Bayesiana sobre deflexiones estáticas para reducir la incertidumbre estructural.

## Pilar 4: Diseñando estrategias de contramedida contra eventos extremos y amenazas múltiples.

### Riesgo Hidrodinámico

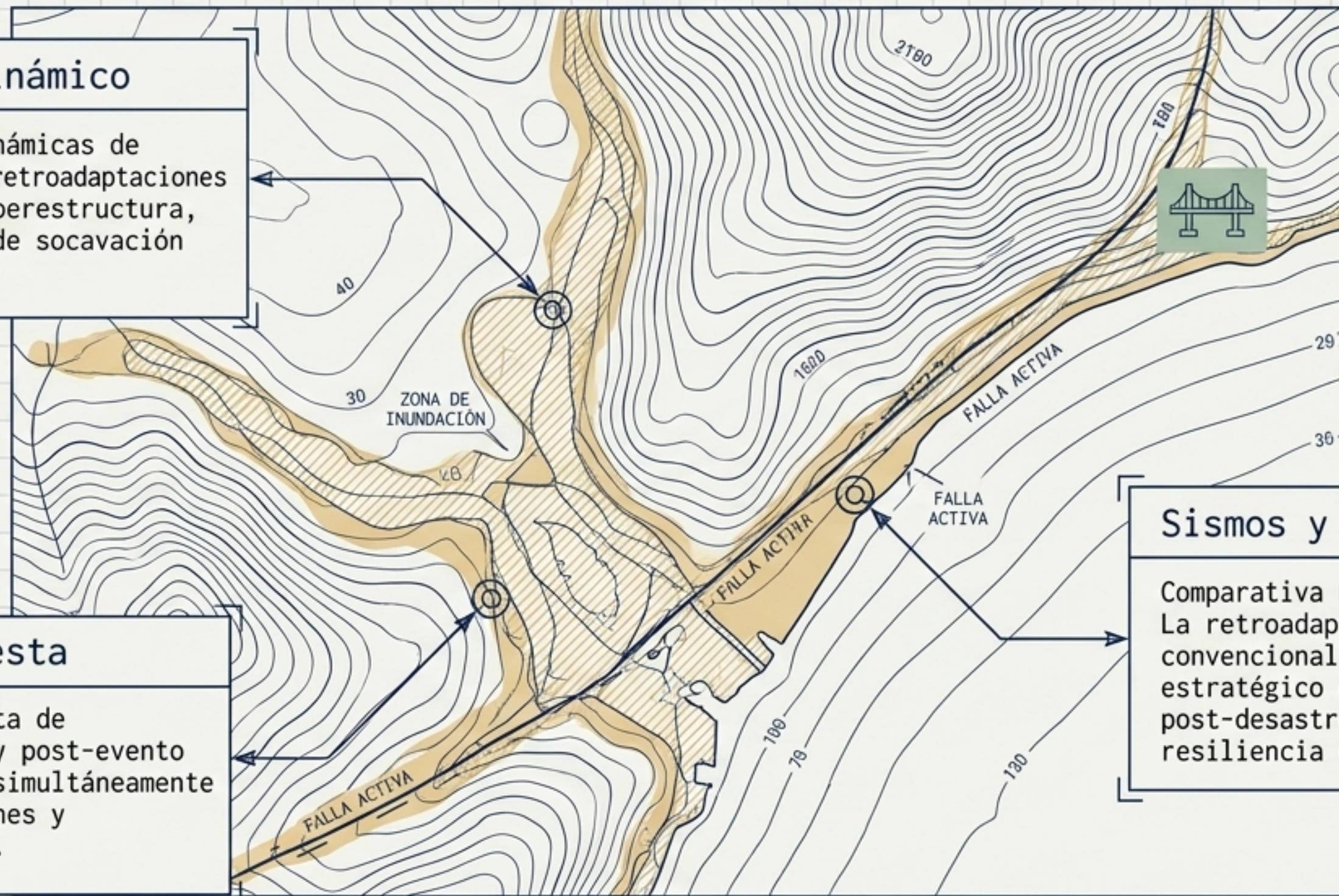
Las fuerzas hidrodinámicas de inundaciones exigen retroadaptaciones inmediatas en la superestructura, no solo prevención de socavación en los cimientos.

### Amenaza Compuesta

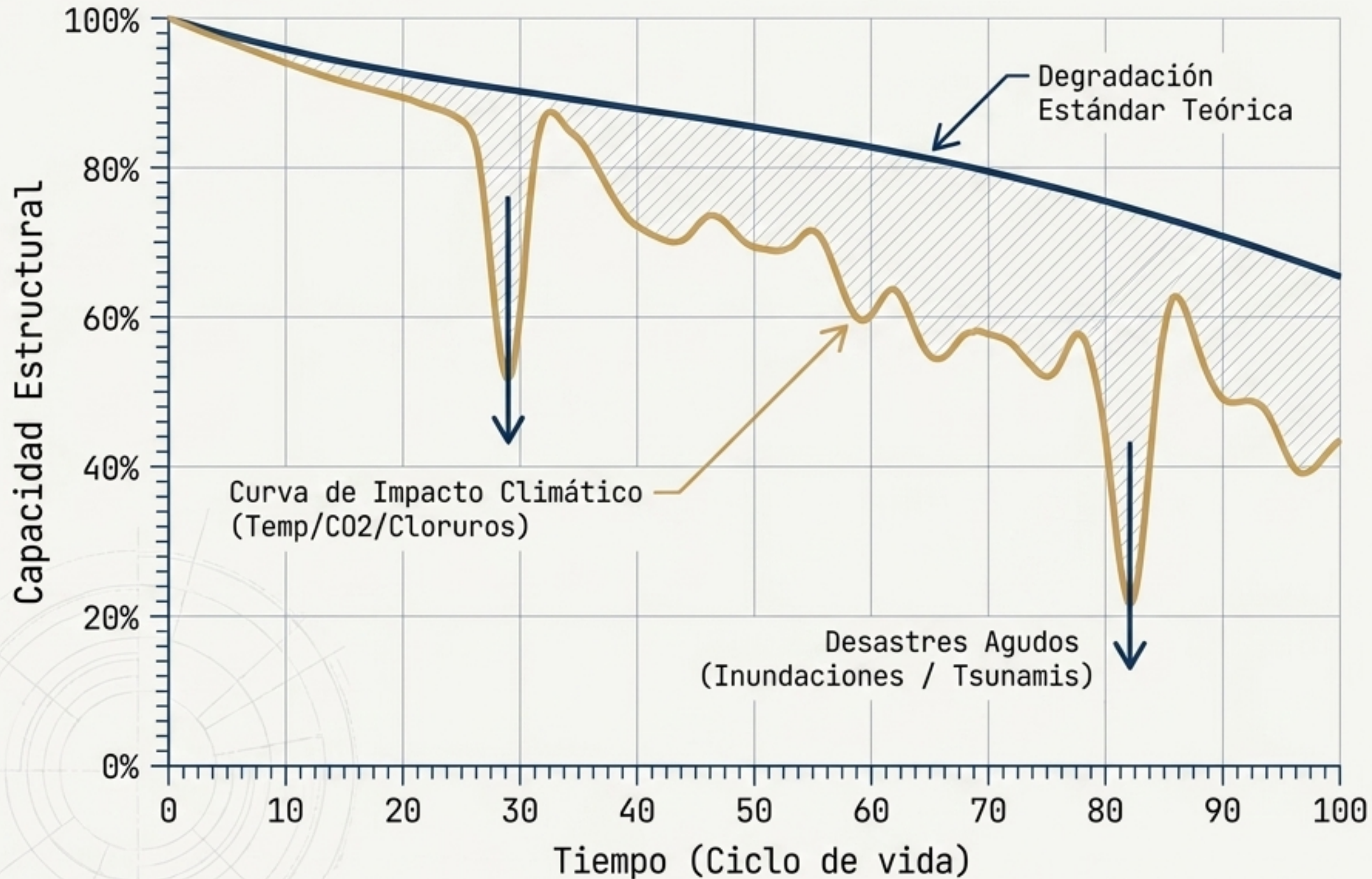
Priorización estricta de intervenciones pre y post-evento en redes sometidas simultáneamente a sismos, inundaciones y corrosión acelerada.

### Sismos y Tsunamis

Comparativa multiobjetivo: La retroadaptación sísmica convencional vs. el despliegue estratégico de vigas temporales post-desastre para mantener la resiliencia de la red.



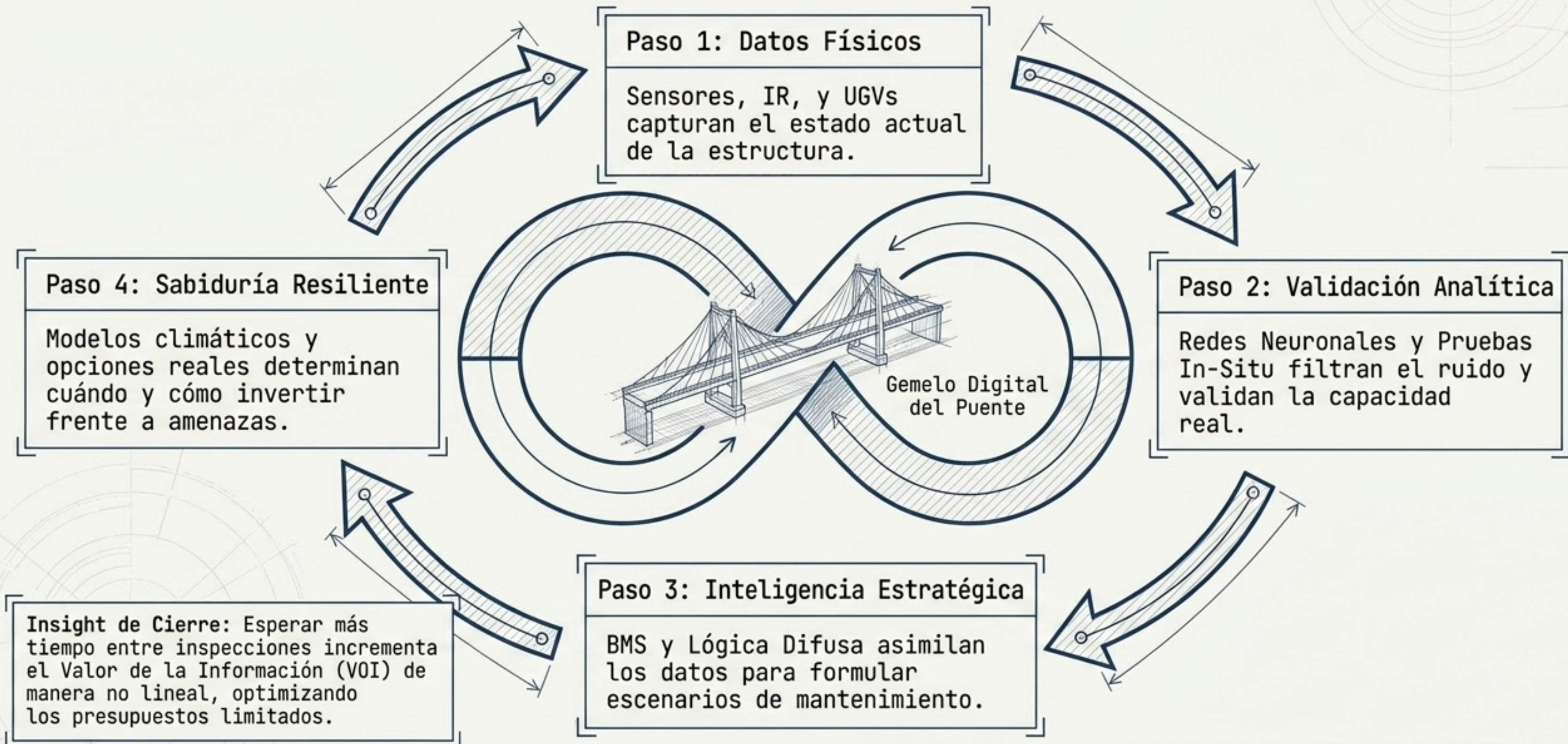
# La Curva de Degradación Acelerada: El impacto climático exige modelos no estacionarios.



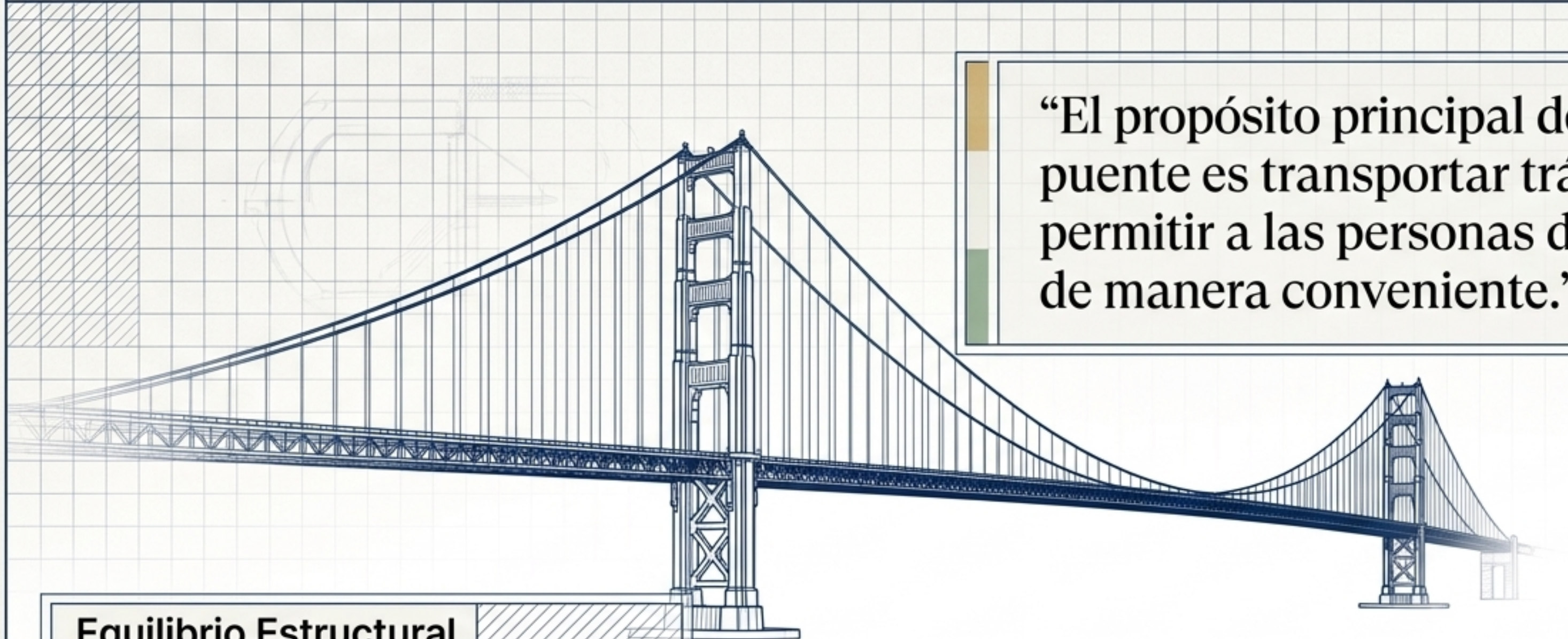
## Callout de Modelado

Los modelos estáticos han caducado. La transición hacia Autómatas Celulares Celulares no estacionarios y modelos de Memoria a Corto y Largo Plazo (LSTM) es imperativa para predecir tasas de deterioro fluctuantes frente al cambio climático.

# El Ecosistema Unificado: De la captura de datos físicos a la sabiduría estratégica.



**La visión final:** Armonizar tecnología extrema con eficiencia, economía y elegancia.



“El propósito principal de cualquier puente es transportar tráfico y permitir a las personas desplazarse de manera conveniente.”

### Equilibrio Estructural

La adopción de Gemelos Digitales, Inteligencia Artificial y Marcos de Resiliencia no debe inflar los costos de diseño de manera irreal. La infraestructura del futuro exige precaución, realismo y una integración armoniosa con el entorno urbano.

**Seguridad predictiva impulsada por datos.  
Diseñada para la sociedad.**