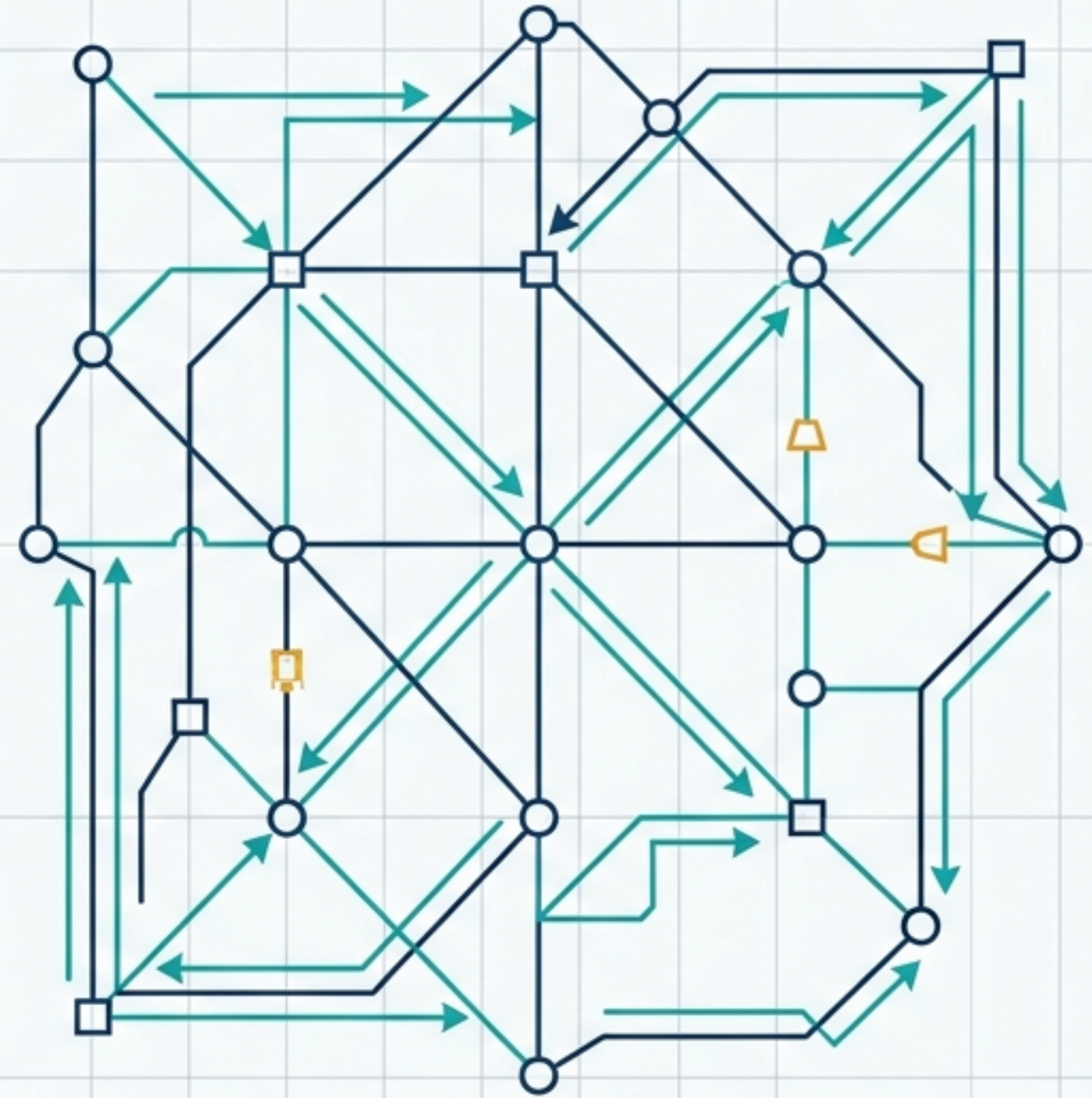


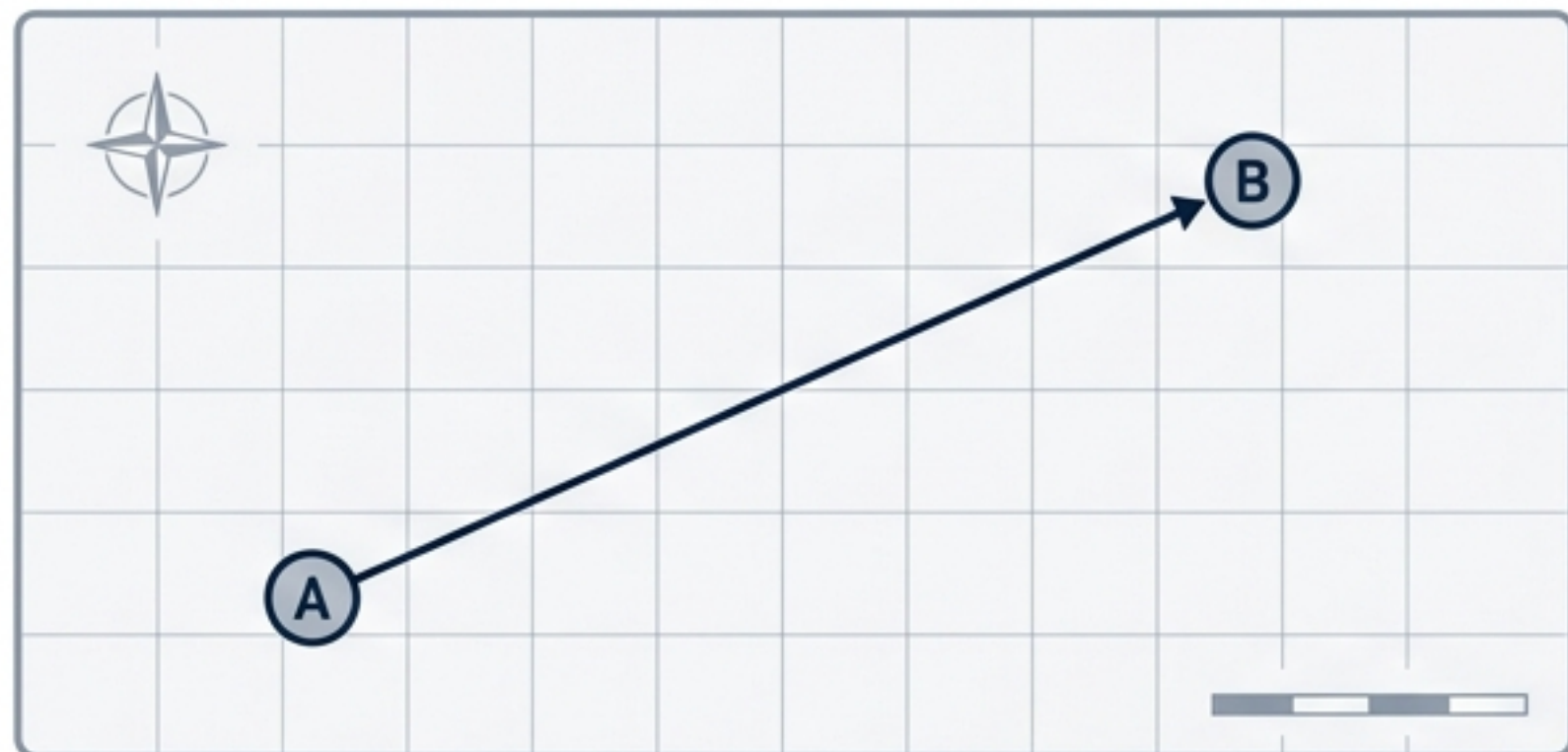
El Cambio de Paradigma en la Optimización Logística



Más allá de la reducción de distancias: Maximizando la rentabilidad real con el modelo algorítmico VRPHESTW.



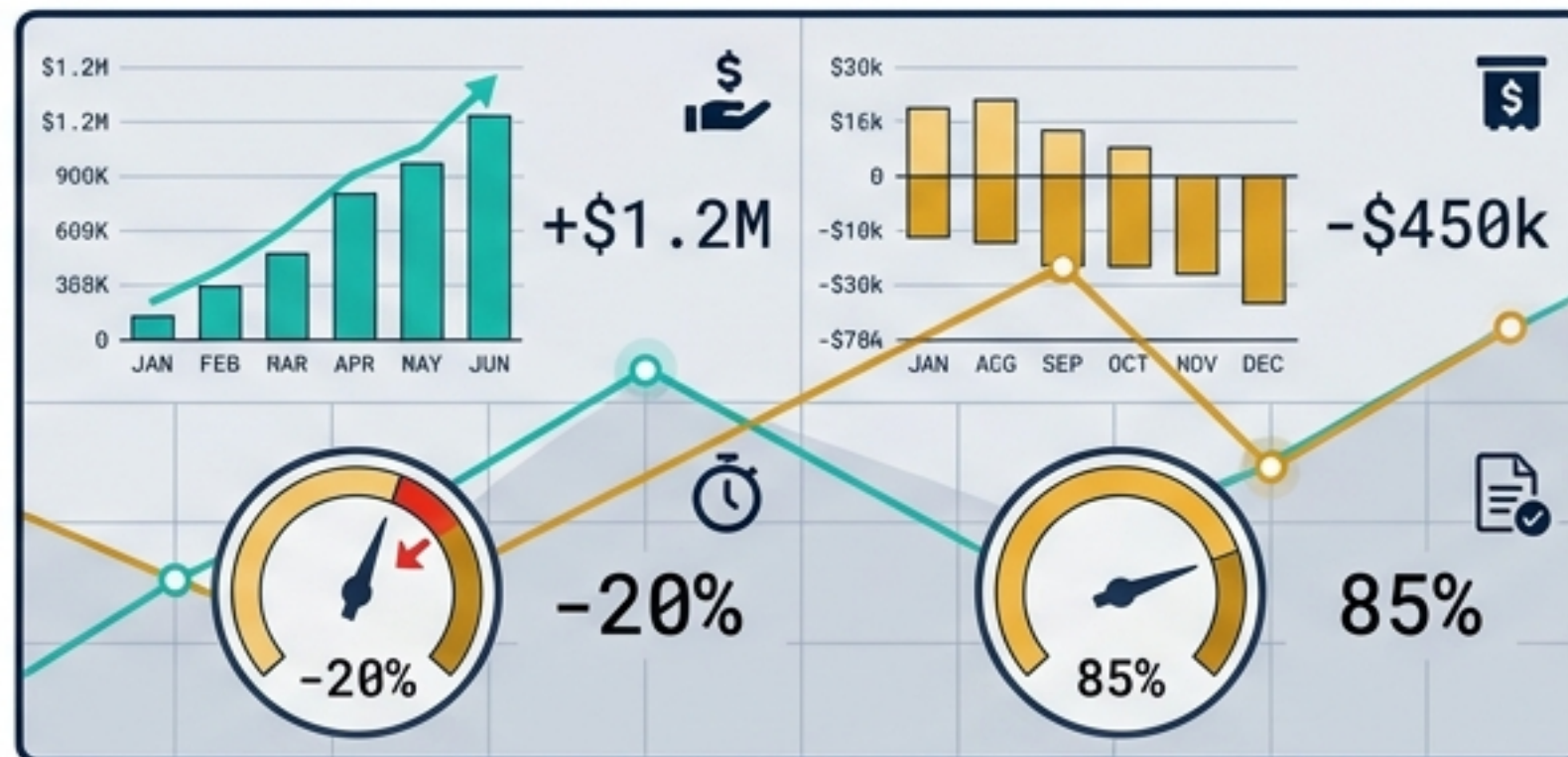
El VRP tradicional ignora la realidad financiera

Theoretical Models



-  Distancia Minimizada
-  Menor Número de Vehículos

Real-World Models



-  Ingresos
-  Costos Operativos
-  Penalizaciones por Tiempo
-  Leyes Laborales

Históricamente, los Problemas de Enrutamiento de Vehículos (VRP) se evalúan mediante una función jerárquica de dos pasos: primero minimizar rutas, luego minimizar distancia. Sin embargo, en escenarios reales, el objetivo no es conducir menos; el objetivo es ganar más.

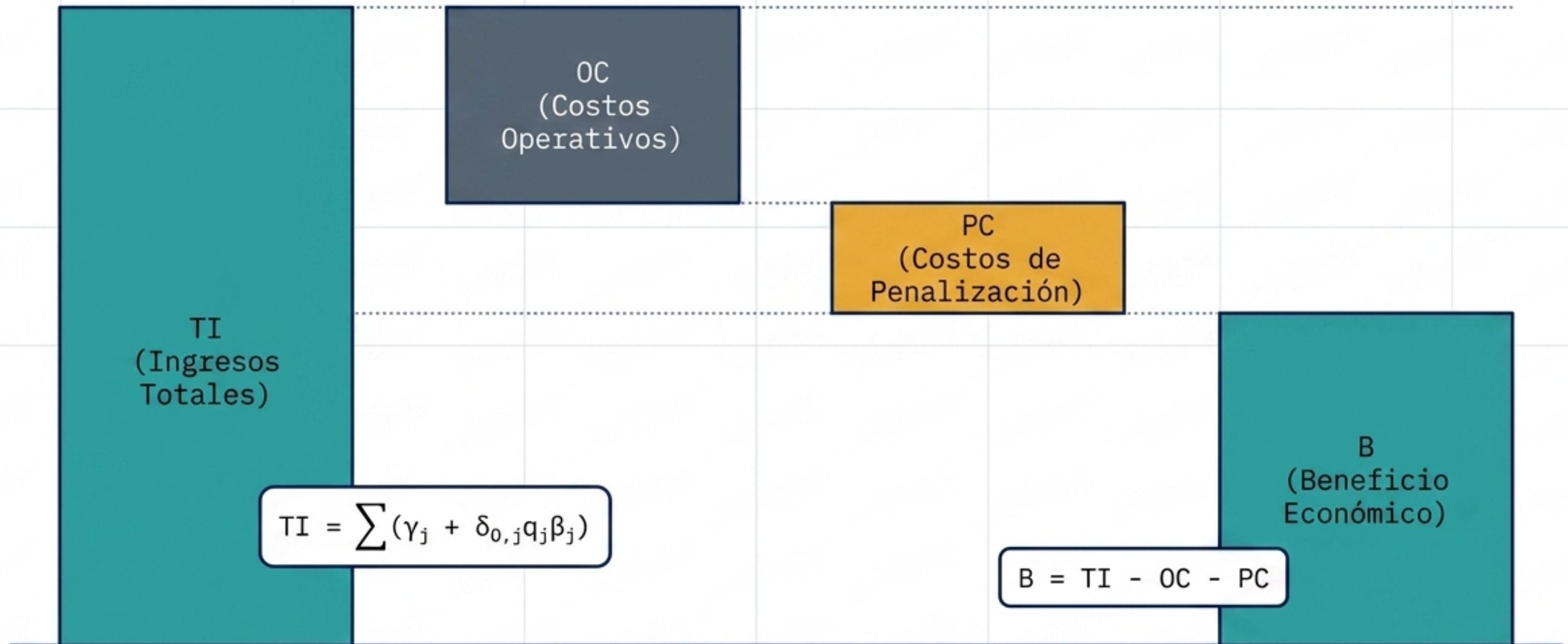
Los modelos académicos optimizan la geometría. El mundo real optimiza la economía.

La evolución estructural de los modelos de enrutamiento

	VRP Básico	VRPTW	VRPHE	VFM	VRPHESTW (El Modelo Propuesto)
Flota	Homogénea	Homogénea	Heterogénea	Mezcla ilimitada	Heterogénea limitada
Restricciones de Tiempo	No	Estrictas	No	Estrictas	Flexibles (Penalizadas)
Capacidad	Fija	Fija	Variable	Variable	Variable
Costos Variables	Iguales	Iguales	Diferentes	Iguales	Diferentes
Objetivo Principal	Distancia	Distancia/ Tiempo	Distancia	Costo	Beneficio Económico Real

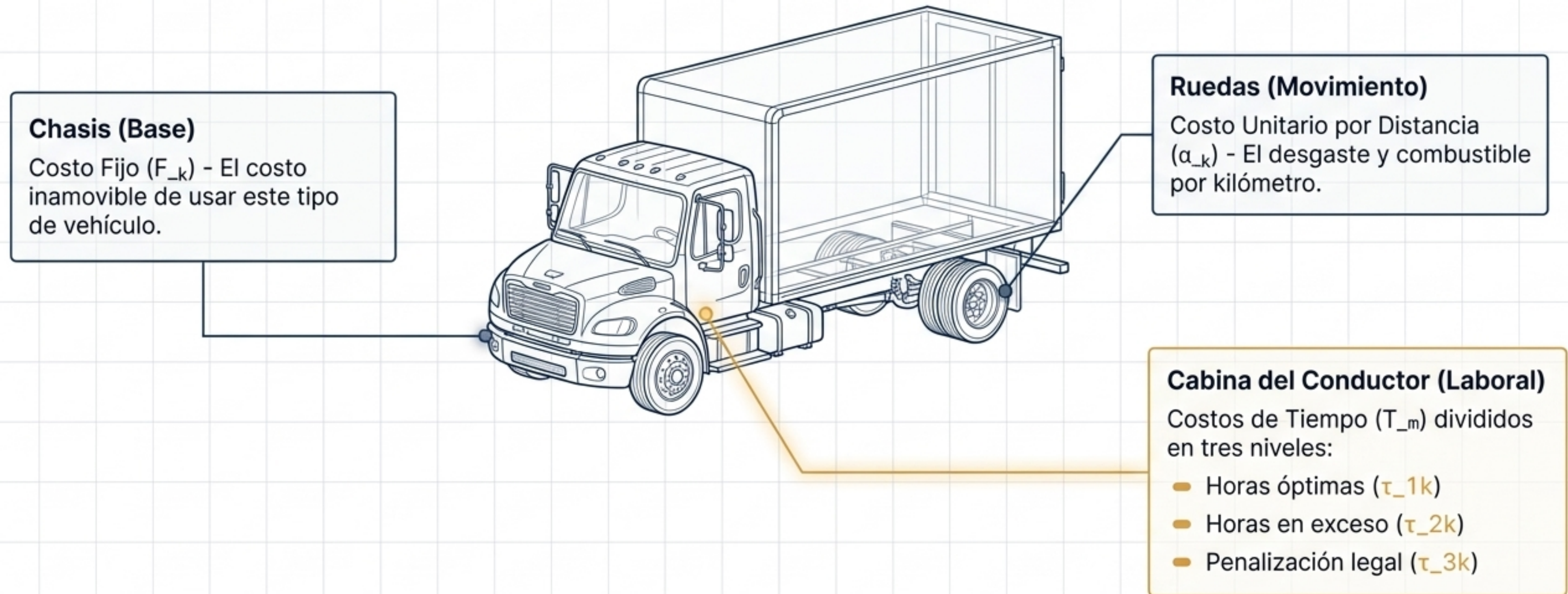
La rentabilidad como única métrica de éxito

El modelo VRPHESTW abandona las funciones teóricas para adoptar una métrica financiera pura.



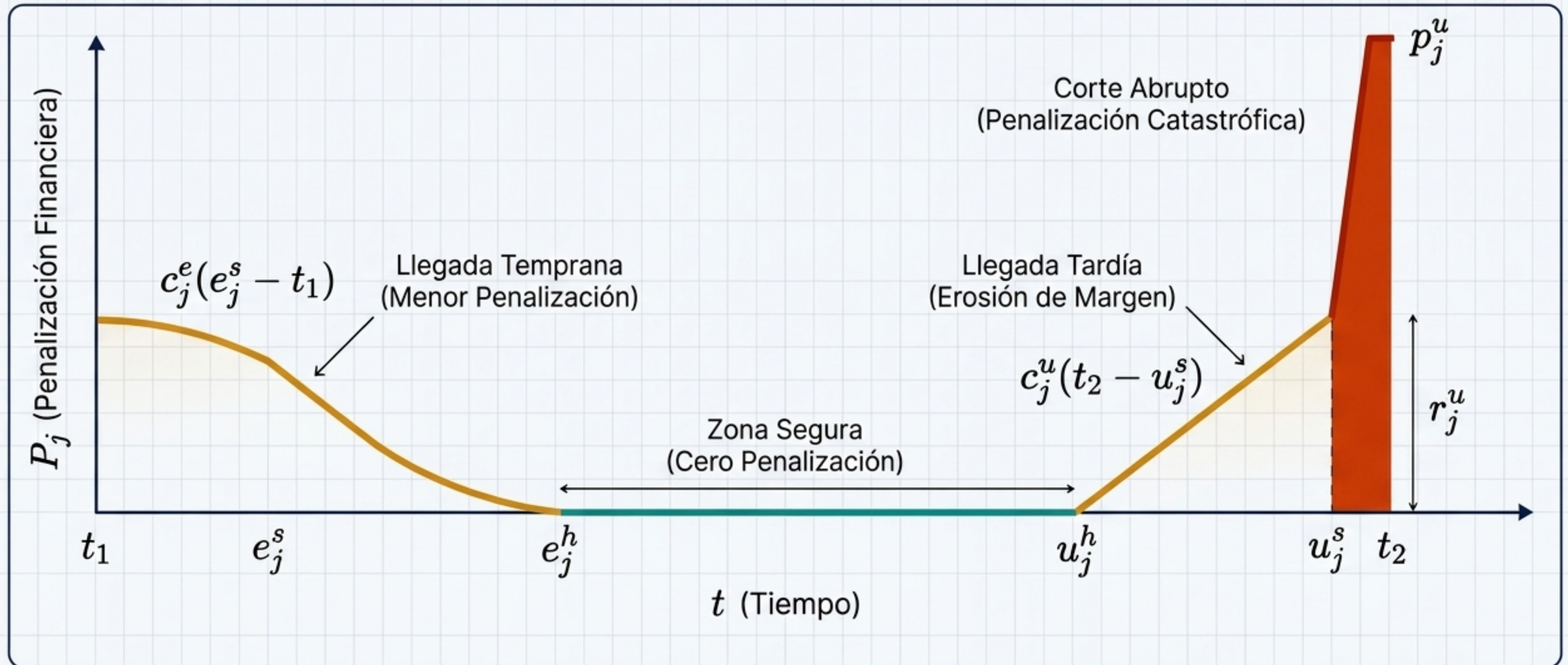
Anatomía financiera de una flota heterogénea

Una flota heterogénea no solo significa camiones de diferentes tamaños. Significa que cada vehículo posee su propia estructura de costos asimétrica, afectando directamente la rentabilidad de cada kilómetro recorrido.



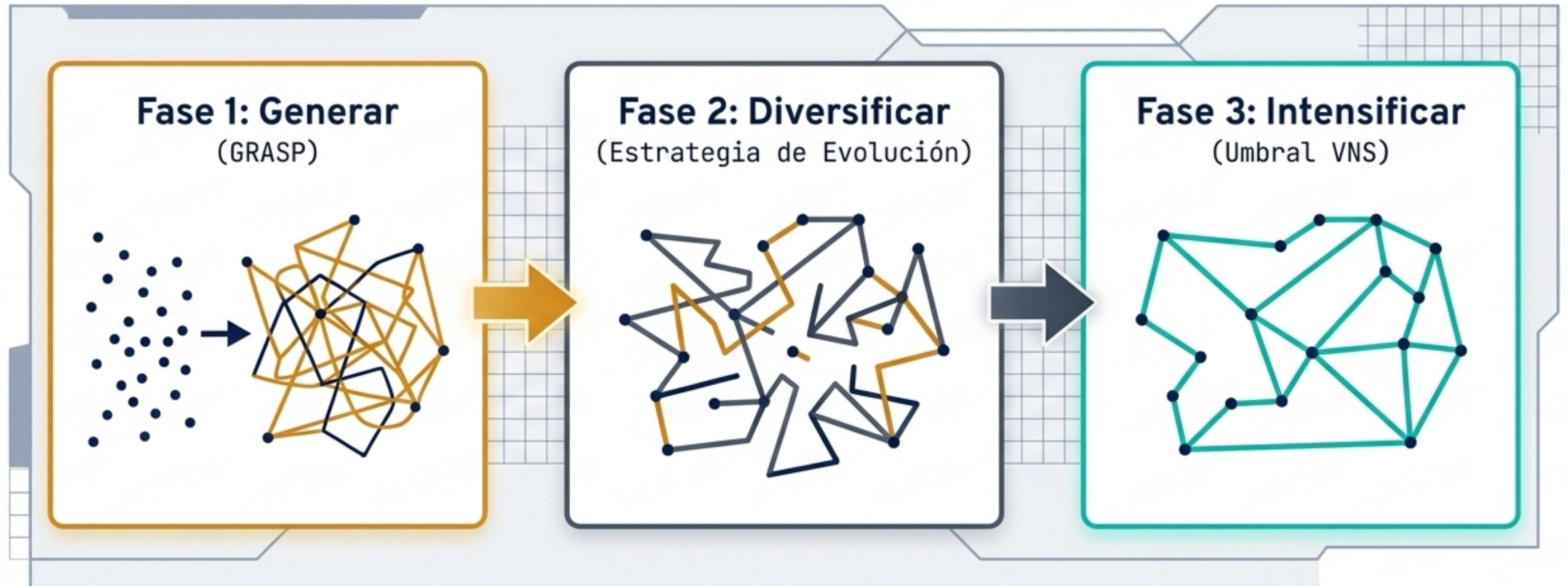
La flexibilización penalizada de las ventanas de tiempo

A diferencia de las ventanas rígidas que simplemente prohíben llegadas tardías, las ventanas "suaves" simulan la realidad comercial: llegar temprano tiene un costo logístico, llegar moderadamente tarde erosiona el margen, y exceder el límite blando resulta en penalizaciones financieras catastróficas.



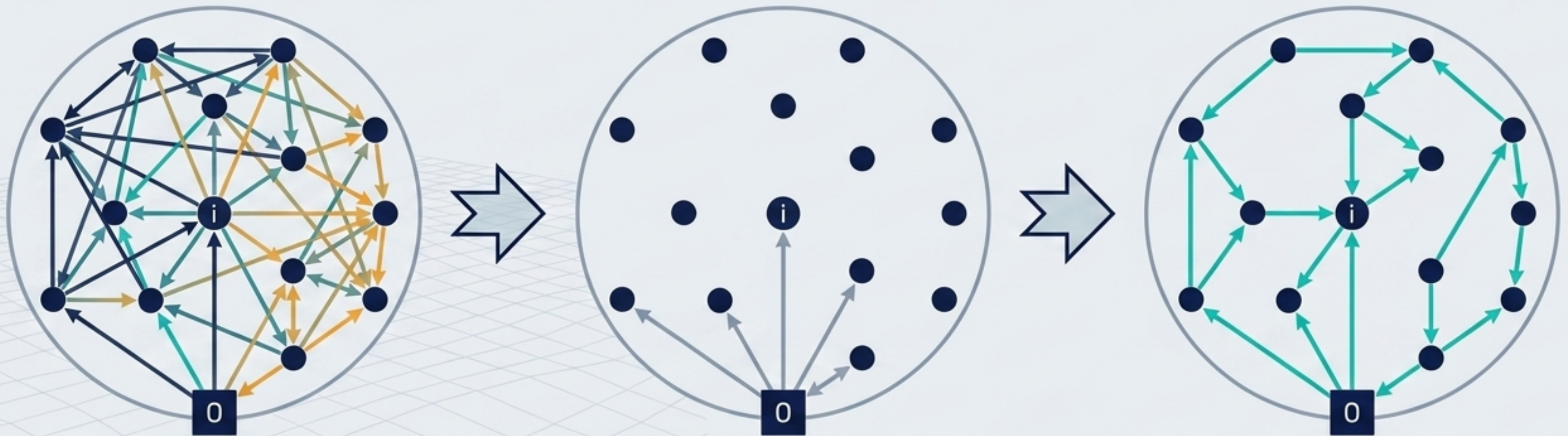
El motor algorítmico híbrido de 3 fases

Resolver el modelo VRPhESTW requiere un motor de búsqueda local robusto. El algoritmo diseñado combina construcción probabilística con estrategias evolutivas para escapar de óptimos locales y maximizar la ganancia final.



Fase 1: Construcción y destrucción inteligente

El procedimiento GRASP construye una solución inicial basada en rentabilidad. Posteriormente, el algoritmo aplica el principio de “Ruina y Recreación” (Ruin & Recreate): destruye subsecciones completas de la ruta (ruina radial o secuencial) para reasignar los clientes de la forma más económica posible.



Solución Inicial GRASP
(Red enmarañada)

Ruina Radial (RR_λ)
(Nodos desconectados)

Recreación Óptima
(Ruta más eficiente)

Fases 2 y 3: Exploración profunda y refinamiento

Diversificación (Estrategia Evolutiva)

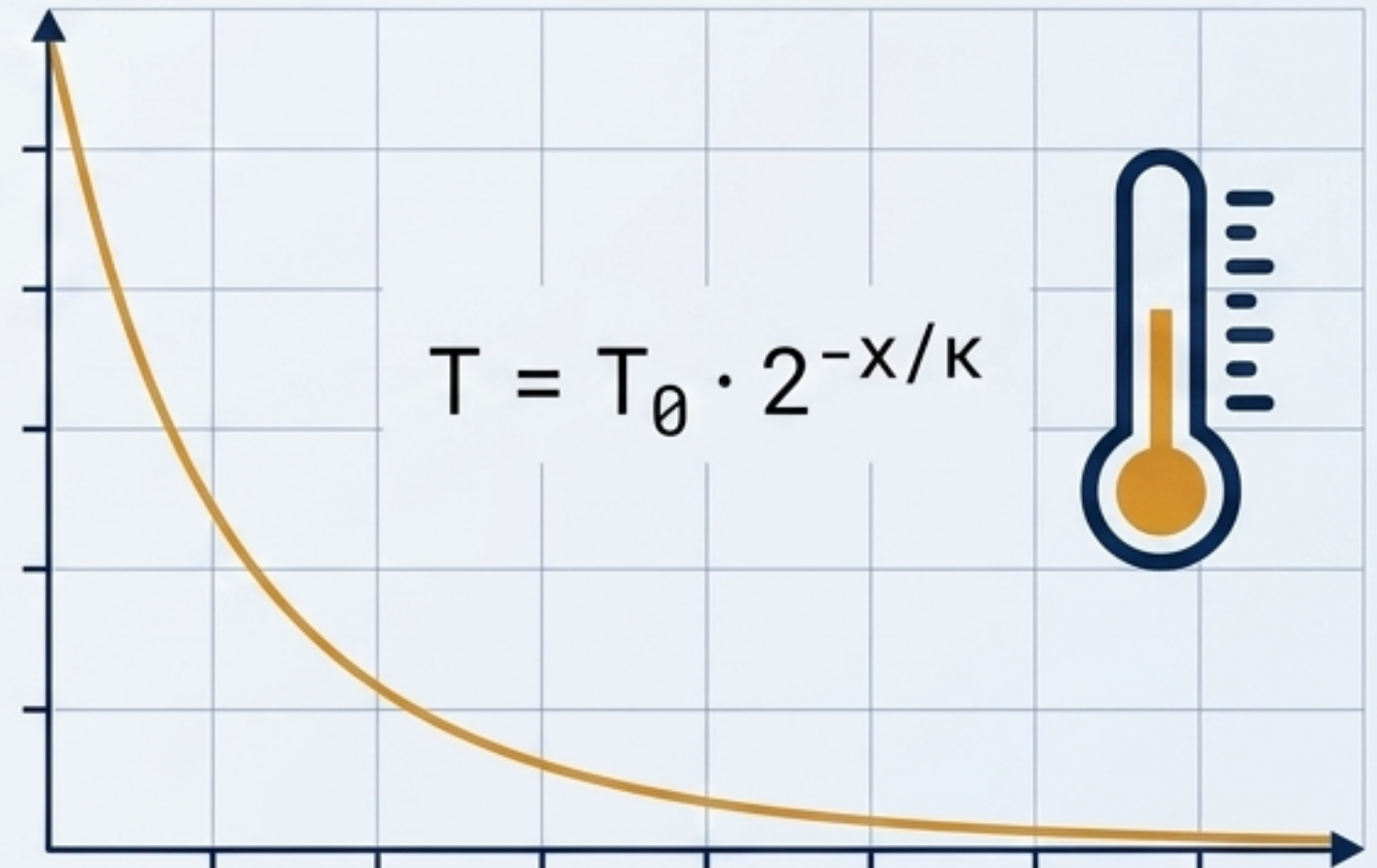
Búsqueda local agresiva. Intercambia nodos, secuencias completas y tipos de vehículos entre rutas. Descarta las sub-óptimas mediante selección extintiva.



- CROSS-exchange
- Intraroute Relocate
- Vehicle Swap

Intensificación (Umbral VNS)

Permite aceptar temporalmente soluciones peores para no quedar atrapado en un mínimo local. El umbral de aceptación se reduce exponencialmente hasta asegurar la solución más rentable.



Adaptación dinámica a escenarios macroeconómicos

El algoritmo fue sometido a pruebas de estrés contra variables fluctuantes. Al operar bajo una función de beneficio neto (en lugar de distancia fija), el modelo reconfigura dinámicamente la flota y las penalizaciones absorbidas en tiempo real cuando cambian las tarifas del mercado.

HES-A (Base)



Métricas de **referencia** establecidas bajo condiciones normales.

HES-B (Costos +10%)



-8.7%
Rentabilidad

La adaptación algorítmica amortigua la caída reestructurando agresivamente el uso de vehículos.

HES-C (Ingresos +10%)

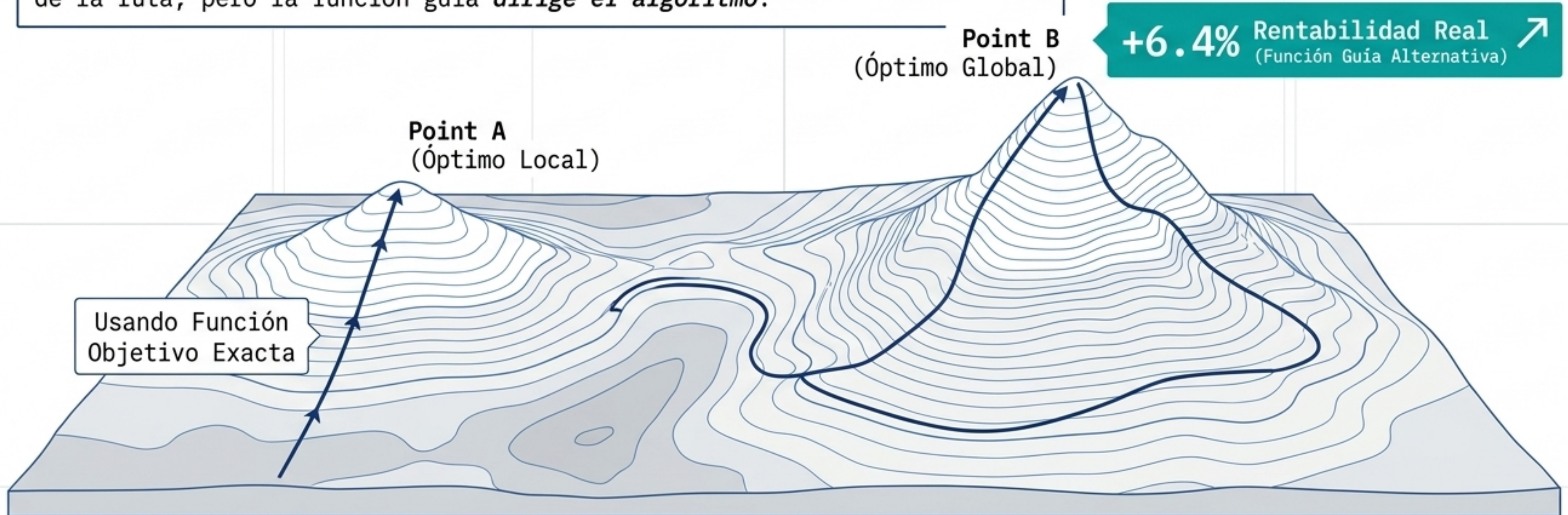


+48.4%
Rentabilidad

El margen de ganancia se dispara al desbloquear rutas distantes o altamente penalizadas que antes no eran rentables.

La paradoja de la función guía

Una revelación crítica del estudio: la función objetivo *mide la calidad*.
Una revelación crítica del estudio: la función objetivo *mide la calidad*
de la ruta, pero la función guía *dirige el algoritmo*.



Insight: Engañar temporalmente al algoritmo (inflando artificialmente los costos de distancia durante la búsqueda) altera la topología del panorama. Esto evita que el sistema se atasque en óptimos locales, logrando saltar a soluciones estructuralmente diferentes que generan hasta un 6.4% más de ganancias reales.

El futuro de la orquestación logística

El diseño de **rutas logísticas** del mundo real exige el abandono de la optimización teórica de distancias. El éxito financiero sostenible depende de tres pilares:



1. Modelado Financiero Integral: Evaluar flotas heterogéneas y ventanas de tiempo mediante ingresos reales vs. costos y penalizaciones.



2. Algoritmos Evolutivos Híbridos: Construir, destruir y refinar rutas continuamente.



3. Estrategia de Navegación: Diseñar funciones guía asimétricas para descubrir la verdadera rentabilidad global.