

Rediseño de la red de distribución de una empresa comercializadora de insumos de construcción

PROBLEMA

La empresa enfrenta limitaciones operativas en su red de distribución: retrasos en entregas, altos costos logísticos, saturación del centro de distribución en Guayaquil y dificultad para atender ciudades con restricciones urbanas. Esto afecta la eficiencia, flexibilidad y nivel de servicio al cliente.

OBJETIVO GENERAL

Rediseñar la red de distribución para septiembre de 2025, incorporando un máximo de tres centros de distribución, garantizando que al menos el 70% de los pedidos se entreguen en menos de cinco horas y que un 30% se realice con vehículos menores a tres toneladas.

PROPUESTA

Especificaciones de diseño

- Modelo de optimización de transbordo (Transshipment Model).
- Restricción de máximo 3 centros de distribución.
- Condición de servicio: $\geq 70\%$ de pedidos entregados en menos de 5 horas.
- Flexibilidad en última milla: $\geq 30\%$ de entregas con vehículos menores a 3 toneladas.
- Variables: costos de transporte, costos fijos de infraestructura, inventario, tiempos de tránsito y cobertura.
- Simulación y evaluación de escenarios comparativos (1, 2 y 3 CDs).

Restricciones

- Los CDs no pueden superar su capacidad física instalada (m^2 , almacenamiento, equipos).
- Limitaciones de costos fijos y variables (infraestructura, transporte, inventario).
- Restricciones urbanas de acceso para vehículos pesados en ciertas ciudades.
- Cumplimiento de condiciones operativas reales: demanda, rutas y disponibilidad de flota.

Modelo de Optimización de Transbordo

Permite decidir la ubicación óptima de los centros de distribución y la asignación de flujos de productos hacia las ciudades, minimizando costos logísticos y garantizando entregas rápidas y confiables.

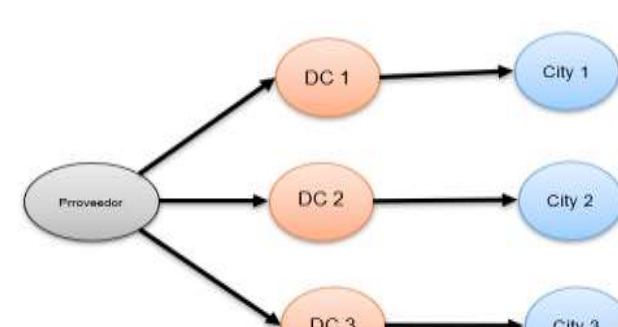
Conjuntos

- I : Conjunto de proveedores (DC principal), $i=\{1\}$
- J : Conjunto de ciudades (Clientes), $j=\{1, \dots, 20\}$
- K : Conjunto de centros de distribución (hub), $k=\{1, \dots, 7\}$
- P : Conjunto de tipos de productos, $p=\{1, \dots, 6\}$

CANDIDATOS DC
Quito
Manta
Portoviejo
Machala
Quevedo
Santa Elena
Milagro
Puerto López

CLIENTES (CIUDADES)
Cuenca
Quito
Cumanda
Daua
Eloy Alfaro
La Libertad
La Troncal
Quito
San Lorenzo
Santa Elena
Milagro
Yaguajay Nuevo

TIPOS DE PRODUCTOS
Cemento
Arena
Piedra
Barras de refuerzo y alambres
Artes de hormigón y grapas
Ladrillos y bloques



Función Objetivo

$$\min z = \underbrace{\sum_{i=1}^1 \sum_{k=1}^7 \sum_{p=1}^6 a_{ik} x_{ikp}}_{\text{Proveedor de transporte - >DC (\$/mes)}} + \underbrace{\sum_{k=1}^7 \sum_{j=1}^{20} \sum_{p=1}^6 (b_{kj} + h + inv) y_{kjp}}_{\text{Centros de distribución de transporte -> Ciudades + manejo de materiales + inventario (\$/mes)}} + \underbrace{\sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^{20} \sum_{p=1}^6 c_{ij} w_{ijp}}_{\text{Proveedor de transporte - >Ciudades (\$/mes)}} + \underbrace{\sum_{k=1}^7 (FC_k^{open} + FC_k^{main}) y_k}_{\text{Costo fijo de apertura y mantenimiento de centros de datos (\$/mes)}} + \underbrace{\lambda T_{total}}_{\text{Costo de penalización por tiempo de tránsito (\$/mes)}}$$
$$T_{total} = \sum_{i=1}^1 \sum_{k=1}^7 \sum_{p=1}^6 T_{ik} x_{ikp} + \sum_{k=1}^7 \sum_{j=1}^{20} \sum_{p=1}^6 T_{kj} y_{kjp} + \sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^{20} \sum_{p=1}^6 T_{ij} w_{ijp}$$

λ : 0.00015 USD por (kg-h)
 γ : 0.30

T_{avg} : se incluye en el modelo sólo como una variable de salida, para medir la calidad del servicio (nivel de tiempo de entrega) una vez que se ha encontrado la solución óptima.

$T_{avg} = \frac{T_{total}}{\sum_{j=1}^{20} \sum_{p=1}^6 Dem_{jp}}$

T_{avg} : Tiempo de tránsito promedio por unidad enviada (horas/kg $\rightarrow$ horas por unidad de entrega). El promedio de tiempo indica «En promedio, ¿cuántas horas se tarda en entregar 1 kg de producto en la red?»

λ : parámetro de ponderación (USD / (kg-h)), que convierte el tiempo en un costo monetario equivalente. En otras palabras, este término introduce la compensación entre costo y tiempo en la función objetivo. Si $\lambda = 0$, el modelo solo minimiza los costos (transporte + inventario + costos fijos). Si $\lambda > 0$, el modelo también penaliza el tiempo de tránsito, favoreciendo las rutas más rápidas, aunque sean ligeramente más caras. Esto es útil cuando la empresa busca equilibrar la eficiencia económica con el nivel de servicio (tiempo de entrega).

Restricciones

Capacidad del Proveedor

$$\sum_{k=1}^7 \sum_{p=1}^6 x_{ikp} + \sum_{j=1}^{20} \sum_{p=1}^6 y_{kjp} \leq Cap(i) \quad \forall i \quad (1)$$

El proveedor no puede enviar más producto del que puede manejar por mes.

Satisfacer la demanda regional

$$\sum_{k=1}^7 y_{kjp} + \sum_{i=1}^1 w_{ijp} = Dem(j,p) \quad \forall j, \forall p \quad (2)$$

La ciudad j debe recibir exactamente su demanda del producto p , ya sea de algún CD o directamente del proveedor.

Conservación del flujo en CC (para cada DC k y producto p)

$$\sum_{i=1}^1 x_{ikp} = \sum_{j=1}^{20} y_{kjp} \quad \forall k, \forall p \quad (3)$$

Unidades: kg/mes. Lo que entra en el centro de distribución k (producto p) debe salir hacia las ciudades durante el periodo modelado.

Capacidad de DC (por cada CC k)

$$\sum_{j \in J} \sum_{p \in P} y_{kjp} \leq CapDC_k \cdot y_k \quad \forall k \in K \quad (4)$$

Unidades: kg/mes. Si el centro de distribución k está cerrado ($y_k=0$), no puede despachar ningún kg; si está abierto ($y_k=1$), el despacho $\leq$ capacidad.

Número mínimo / Número máximo de DCs

$$\sum_{k=1}^7 y_k \leq MinOpen \quad (5)$$

Fuerza un escenario con un máximo de DCs abiertos (útil para probar escenarios de 1 DC, 2 DC, 3 DC).

Tipo de Variables

$$x_{ikp}, y_{kjp}, w_{ijp} \geq 0 \quad \forall i, j, k, p \quad (7)$$

$$y_k \in \{0, 1\}$$

Flujos no negativos, decisión binaria de apertura/cierre para DC.

Participación mínima a través de los centros de distribución (aplicación híbrida)

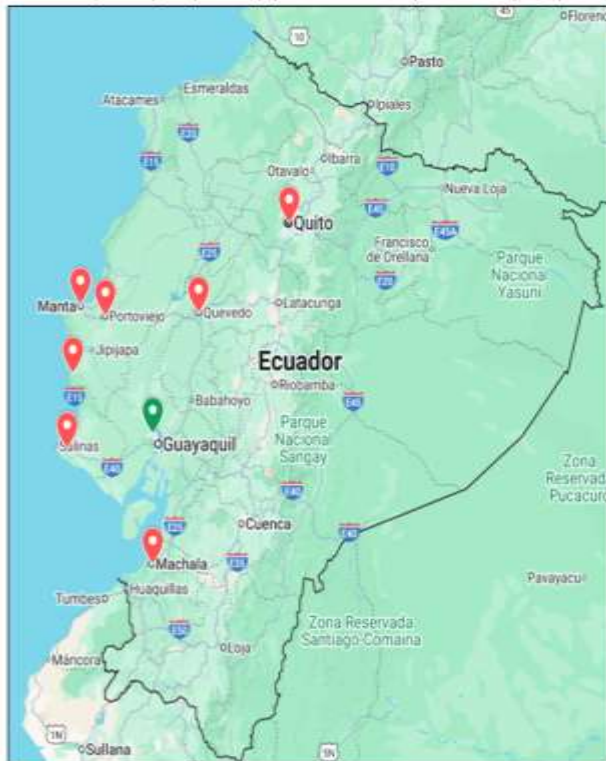
$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} y_{kjp} \geq \gamma \cdot \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} Dem_{jp} \quad (6)$$

Unidades: kg/mes. Se exige que al menos una fracción de la demanda total (en peso) se atiende a través de centros de distribución. Se utiliza para modelar la participación requerida para flotas ligeras (por razones de política).

RESULTADOS

1

DC principal (verde) y candidatos para DC (rojo)



1. Datos de entrada	2. Set up del modelo (GAMS)	3. Ejecución de optimización	4. Resultados	5. Análisis y decisión
Demandas por ciudad Costos de transporte y tiempos de tránsito Costos de manipulación e inventario	Definición de parámetros (costos, tiempos, demanda) Variables de decisión (qué DC abrir, flujos de CD a la ciudad) Función objetivo (minimizar el costo logístico total + tiempo) Restricciones (capacidad, satisfacción de la demanda, etc.)	Escenario 1: 1 DC Escenario 2: 2 DCs Escenario 3: 3 DCs Escenario 4: 4 DCs	Costos, totales (transporte, manipulación, inventario, fijos) Tiempos de viaje (horas/kg) Mejoras en el nivel de servicio	Comparar las compensaciones entre costo y servicio Recomendar configuración óptima

2

Flujos y tiempo promedio desde el DC elegido (Manta) mensual

Desde → Hacia	Total kg	Tiempo ponderado (kg-h)	Tiempo promedio (h/kg)
MTA → MTA	55,310	27,655	0.5
MTA → PTJ	26,160	19,620	0.75
MTA → STL	26,723	100,532	3.5
MTA → PTL	22,248	44,496	2

- Las entregas desde Manta a su propia zona son muy eficientes (0.5 h/kg).
- Santa Elena (STL) presenta el mayor tiempo por kg, lo que refleja una asignación menos eficiente.
- El modelo equilibra el bajo tiempo de transporte con la minimización de costos, por lo tanto, algunos flujos distantes aún pasan por Manta.

3

Flujos y tiempo promedio desde Gye hasta las ciudades con mayor demanda (extracto) mensual

Ciudad	Total kg	Tiempo ponderado (kg-h)	Tiempo promedio (h/kg)
QUI (Quito)	31,392	291,947	9.3
MCH (Machala)	56,359	281,794	5
CVD (Quevedo)	74,048	370,242	5
STL (Santa Elena)	56,815	213,055	3.75

- Los envíos directos a Quito son los más lentos (9.3 h/kg), lo que destaca la importancia de los centros de distribución para los mercados distantes.
- Las ciudades más cercanas a Guayaquil (STL, Machala, Quevedo) muestran tiempos por kg mucho más bajos.
- Esta tabla muestra por qué el modelo prefiere los envíos directos para algunas zonas y los flujos de centros de distribución para otras.



4

Situación actual
Flujos directos desde Gye hacia las ciudades con mayor demanda

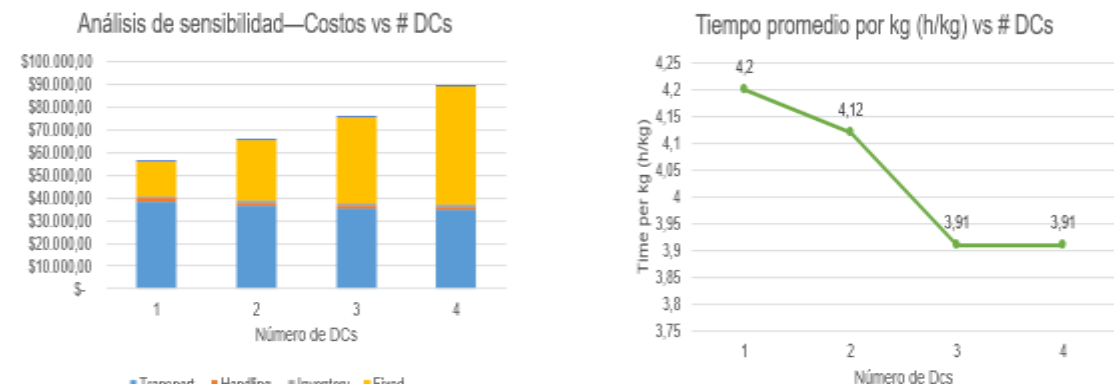
Propuesta de red optimizada
Nuevo centro de distribución en Manta + flujos directos

Tiempo promedio de viaje en kg
52h → 42h (↓19%)

En la red de distribución actual, el tiempo promedio de transporte por kilogramo es de 5.2 horas. Tras la implementación del modelo propuesto, este indicador se redujo a 4.2 horas. Esta mejora representa una reducción del 19 % en el tiempo de tránsito por unidad de producto, lo que se traduce en entregas más rápidas y un mejor servicio al cliente.

5

Análisis de costos (por mes) e indicadores de tiempo vs número de centros de distribución



Abrir un centro de distribución estratégicamente ubicado ofrece la mayor reducción en el tiempo de tránsito por kg, manteniendo al mismo tiempo los costos fijos moderados. Añadir un segundo o tercer centro de distribución reduce aún más el tiempo de tránsito, pero genera rendimientos decrecientes y aumenta significativamente el costo fijo mensual.

6

Costos de red (por mes): línea base y propuesta

Escenario	Costo (USD)	Tiempo por kg (hrs/kg)	Comentario
Base (Directo desde GYE)	\$ 35,565	5.2	El costo más bajo pero tiempos de tránsito más largos
Red propuesta	\$ 56,365	4.2	19% faster, improved service level

En el escenario base, donde todos los envíos se realizan directamente desde Guayaquil a las ciudades, el costo total de transporte asciende a USD 35,565, con un tiempo de tránsito promedio por kilogramo de 5.2 horas. Al comparar esto con la red de distribución optimizada con centros de distribución, los costos aumentan debido a la manipulación adicional y los gastos fijos de CD, pero el tiempo de transporte por kilogramo se reduce a 4.2 horas. Esta reducción del 19 % en el tiempo de tránsito mejora la capacidad de respuesta y el nivel de servicio, compensando parcialmente el aumento de los costos logísticos.

7

Economic feasibility

Escenario	Costo Total (USD/mes)	Costo Incremental vs. Base (USD/mes)	Tiempo (h)	Δh	Ahorro (\$/USD/mes)	Ahorro mínimo requerido	Mínimo Δ (USD/kg-h)
1 DC (Manta)	\$56,364.77	\$5,764.98	4.20	1.00	\$1,808.03	5,764.98	0.013
2 DC (Manta + Pto. López)	\$85,928.73	\$15,326.94	4.12	1.06	\$1,952.87	15,326.94	0.032
3 DC (Portoviejo + Machala + Pto. López)	\$76,169.89	\$25,570.10	3.90	1.30	\$2,350.44	25,570.10	0.045

Para el escenario de un centro de distribución (Manta), la reducción de tiempo es significativa, pero el ahorro por kilogramo-hora (Δ) debería aumentar a 0.013 USD/kg-h para alcanzar el punto de equilibrio.

Para dos centros de distribución (Manta + Puerto López), el Δ requerido asciende a 0.032 USD/kg-h, y para tres centros de distribución, alcanza los 0.045 USD/kg-h. Estos valores indican que cada centro adicional incrementa el análisis financiero necesario para justificar la inversión.

Para cerrar esta brecha, la empresa debería centrarse en:

- Mejoras operativas, como maximizar la utilización de los camiones, considerar rutas y reducir los excedentes en stock, de modo que cada hora ahorrada se traduzca en más kilogramos transportados.
- Análisis estratégicos, como negociar mejores costos fijos para los centros de distribución o explorar opciones de logística de terceros (3PL) para reducir los gastos adicionales.
- Beneficios en el servicio y la sostenibilidad, posicionando las entregas más rápidas y la reducción de CO₂ como un valor añadido que puede atraer clientes o justificar precios premium.

CONCLUSIONES

El modelo de transbordo propuesto optimiza la red de distribución y permite tomar decisiones sobre apertura y asignación de centros de distribución, conciliando costos y niveles de servicio.

Abrir un CD en Manta reduce el tiempo promedio por kg de 5.2 h $\rightarrow$ 4.2 h (↓19%), mejorando significativamente la rapidez de entrega a la costa.

La estrategia recomendada es implementar Ronda 1 (1 CD en Manta) como primer paso, monitorear indicadores clave y luego evaluar la expansión gradual a 2–3 CDs según demanda real y costos.

La configuración de hasta 3 CDs ofrece el mejor balance entre reducción de tiempos y control de costos fijos; escenarios con más de 3 CDs generan costos fijos consistentes con rendimientos marginales decrecientes.

Con la propuesta optimizada se logró que $\approx 72\%$ de los pedidos se entreguen en menos de 5 horas y $\approx 33\%$ de las entregas sean con vehículos < 3 t, cumpliendo los objetivos de servicio y flexibilidad.

El rediseño contribuye a la sostenibilidad: menor tiempo de tránsito y mejor consolidación de carga reducen emisiones y consumo de combustible.

