

Modelo de Optimización para Localización de Almacenes Preposicionados e Inventory Humanitario

Yulissa del Rocío Hernández Vázquez

Licenciatura en Matemáticas Aplicadas – FCFM UNACH

Asesor: Yofre Hernán García Gómez

Octubre 2025



Contenido

- ① Introducción
- ② Marco Teórico: Problema de Localización
- ③ Modelo de Inventarios EOQ Estocástico
- ④ Función Objetivo Integrada
- ⑤ Métricas de Desempeño
- ⑥ Aplicación en Chiapas
- ⑦ Escenarios Evaluados
- ⑧ Conclusiones
- ⑨ Referencias

Introducción

La alta recurrencia de inundaciones y deslizamientos en **Chiapas** afecta comunidades vulnerables. Este estudio busca optimizar la respuesta humanitaria mediante la planificación previa, la ubicación estratégica de almacenes y la gestión eficiente de recursos.



Objetivo Principal

Desarrollar un modelo matemático integrado para optimizar la logística humanitaria, determinando la ubicación estratégica de almacenes, niveles de inventario y asignación de recursos que minimicen los costos operativos durante emergencias.



Marco Teórico: Problema de Localización

Formulación Matemática

Conjuntos:

- I : Localidades candidatas para almacenes
- J : Localidades demandantes (inundables)
- P : Productos humanitarios

VARIABLES DE DECISIÓN:

- $Y_i = 1$ si se instala almacén en $i \in I$, 0 en otro caso
- $Y_{ij} = 1$ si localidad j es asignada a almacén i , 0 en otro caso

PARÁMETROS CLAVE:

- w_i : Peso posicional (aptitud logística)
- c_{ij} : Costo de transporte
- f_i : Costo fijo de establecimiento

Restricciones de Localización-Asignación

Restricciones del Modelo

Asignación Única:

$$\sum_{i \in I} Y_{ij} = 1 \quad \forall j \in J$$

Factibilidad:

$$Y_{ij} \leq Y_i \quad \forall i \in I, j \in J$$

Número de Almacenes:

$$\sum_{i \in I} Y_i = A$$

Donde A es el número máximo de almacenes a instalar

Modelo de Inventarios EOQ con demanda Estocástica

Cantidad Económica de Pedido:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

Componentes:

- D : Demanda anual del producto
- S : Costo de ordenar por pedido
- H : Costo de mantener inventario



Adaptación para Contexto Humanitario

- **Demandas estocásticas** por incertidumbre en afectación
- **Horizonte temporal** ajustado a emergencias
- **Múltiples productos** con características diferentes

Inventario de Seguridad y Punto de Reorden

Inventario de Seguridad:

$$SS = Z_{\alpha} \cdot \sigma_d \cdot \sqrt{L}$$

Punto de Reorden:

$$R = d \cdot L + SS$$



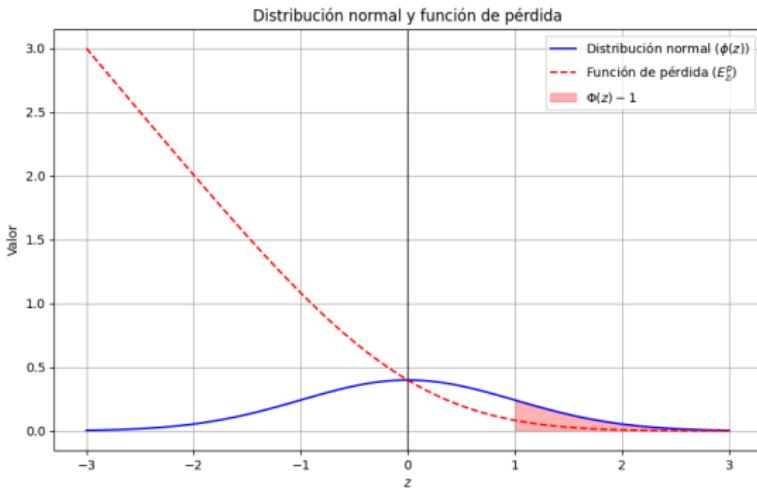
donde:

- Z_{α} : Valor Z para nivel de servicio α (95%)
- σ_d : Desviación estándar de demanda diaria
- L : Tiempo de entrega en días
- d : Demanda diaria promedio

Función de Pérdida Normal

Para estimar el riesgo de escasez, usamos la función de pérdida asociada a la distribución normal:

$$E[Z] = \phi(Z) - Z(1 - \Phi(Z))$$



Aplicación en Fill Rate:

- **Fill Rate** proporción de demanda satisfecha
- **Relación directa** con nivel de servicio
- **Base para cálculo** de costos por escasez

Minimización de Costos Totales

$$\min Z = \sum_{i \in I} f_i Y_i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} w_i c_{ij} Y_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} T C_{ip}$$

Esta función minimiza el **costo total del sistema logístico humanitario**, combinando decisiones de **localización, transporte e inventario**.

Componentes del Costo de Inventario

$$TC_{ip} = \frac{C_i^{op} D_j^p}{Q_{ij}^p} + C_i^{sp} \left(\frac{Q_{ij}^p}{2} + SS \right) + C_i^p D_j^p + \frac{D_j^p}{Q_{ij}^p} (C_i^f + \sigma_d E[Z] B)$$

- **Costo de pedido o preparación:** se reduce al aumentar la cantidad pedida.
- **Costo del mantenimiento o almacenamiento:** considerando el inventario promedio y la seguridad SS .
- **Costo de adquisición:** asociado a la demanda esperada D_j^p del producto p .
- **Costo esperado de faltante:** incorpora la variabilidad de la demanda σ_d y el costo unitario de escasez B .

Peso Posicional (w_i)

Multicriterio para Selección

Componentes del Peso Posicional w_i :

- **Accesibilidad por carretera**
- **Existencia de servicios básicos**
- **Infraestructura disponible**
- **Población**



Objetivo:

Priorizar localidades con **mayor capacidad logística** y **menor vulnerabilidad estructural**

Métricas de Desempeño

Fill Rate del Sistema:

$$FR_{sistema} = \frac{\sum_{i \in I} \sum_{p \in P} D_{ip} \cdot FR_{ip}}{\sum_{i \in I} \sum_{p \in P} D_{ip}},$$

Costo Total por Persona Atendida:

$$Costo_{pe} = \frac{Costo_t}{Poblacion_a},$$

Tiempo Promedio de Respuesta:

$$T_{respuesta} = \frac{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} t_{ij} \cdot Y_{ij}}{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Y_{ij}},$$

donde:

- t_{ij} : tiempo de transporte (horas) desde el almacén i hasta la zona afectada j .

Aplicación en Chiapas

Características de Chiapas:

- **Alta vulnerabilidad** a inundaciones y deslizamientos
- **Topografía compleja** que afecta accesibilidad
- **Población dispersa** en comunidades rurales
- **Recursos limitados** para logística humanitaria

Productos Humanitarios Considerados:

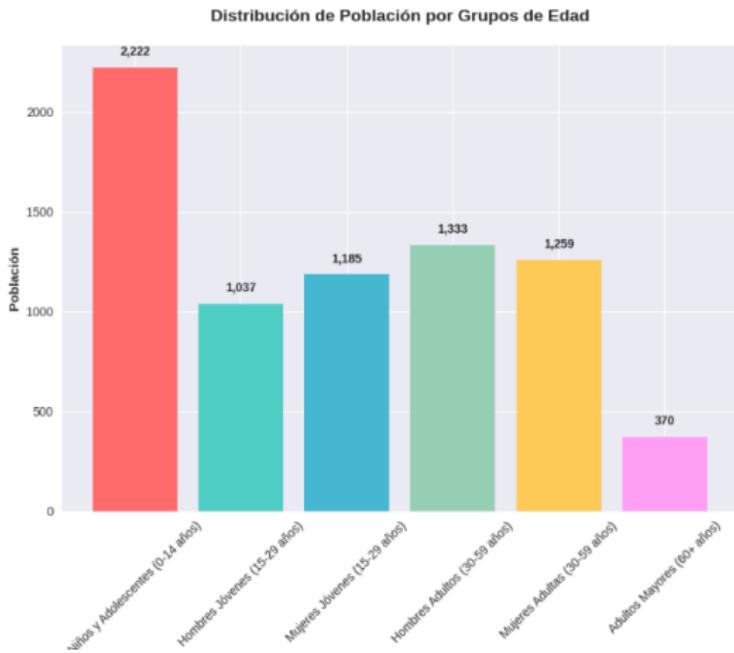
- Agua potable (2 litros/persona/día)
- Alimentos no perecederos
- Kits de medicamentos básicos
- Ropa y cobijas
- Artículos de higiene personal



Grupo de edades y productos específicos

Observaciones clave:

- Necesidades varían según **edad**: niños, adultos y ancianos.
- **Mujeres** requieren kits de higiene distintos a los hombres.
- La logística debe planificar la **distribución según edad y género** para optimizar recursos.



Cálculo del Peso Posicional — Caso Chiapas

El peso posicional w_j integra cinco dimensiones logísticas de relevancia humanitaria, cada una con ponderación del 20 %. Se normalizaron todas las variables en el rango [0, 1]:

$$w_i = 0.20(Diconsa_i + AccesoVial_i + Escuelas_i + Servicios_i + Poblacion_i)$$

Top 5 localidades con mayor potencial logístico (Cacahoatán):

#	Localidad	Peso
1	Salvador Urbina	1.000
2	Faja de Oro	0.983
3	Cacahoatán	0.849
4	Rosario Ixtal	0.749
5	Mixcum	0.657

Escenarios Evaluados — Cacahoatán

Objetivo: Analizar la sensibilidad del modelo ante restricciones espaciales.

Escenario A: Sin radio de afectación

- Se evaluaron **2 almacenes candidatos**.
- El modelo seleccionó **1 almacén óptimo** que cubre las 4 localidades.
- Solución **eficiente en costo y plena cobertura** del territorio.

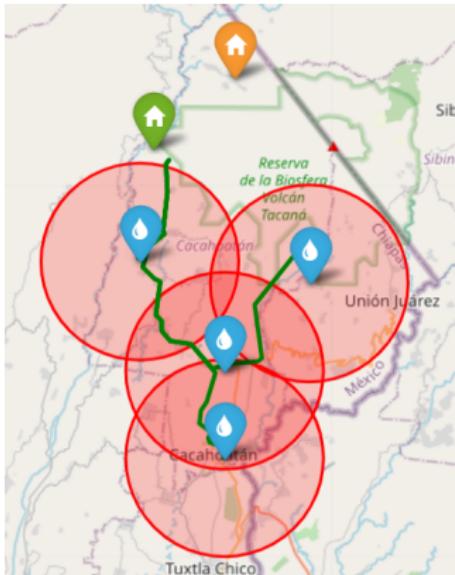
Indicador	Resultado
Cobertura	100 %
Población atendida	7,407 personas
Localidades cubiertas	4
Fill rate promedio	100 %
Costo total anual	\$195,459,693 MXN



Continuación Escenarios Evaluados — Cacahoatán

Escenario B: Con radio de afectación $r = 5 \text{ km}$

- El **almacén 1** queda **dentro del radio de influencia** del segundo.
- El modelo selecciona el **almacén 2** como óptimo.
- Se mantiene **cobertura total**, pero con **mayor eficiencia espacial**.



La restricción geográfica redefine la ubicación óptima, evidenciando la importancia de integrar criterios espaciales en la localización humanitaria.

Factor de Afectación:

- Escenario base: **30%** de población afectada
- Análisis de sensibilidad: **20% - 50%**

Nivel de Servicio:

- Objetivo principal: **95%** fill rate
- Variación: **90% - 99%**

Número de Almacenes:

- Rango evaluado: **1-2 almacenes**
- Trade-off: **Costo vs. Cobertura**

Conclusiones

Hallazgos Principales

Efectividad del Modelo:

- **Integración exitosa** de localización e inventario
- **Balance óptimo** entre costos y nivel de servicio
- **Aplicabilidad práctica** en contextos reales

Contribuciones:

- **Un marco decisional** para planificación pre-desastre
- **Herramienta cuantitativa** para agencias humanitarias
- **Base metodológica** replicable en otros municipios

"Tanto en Chiapas como en Veracruz, los desastres seguirán ocurriendo, pero la preparación puede marcar la diferencia."

Recomendaciones para Cacahoatán

- **Implementar configuración** de un almacén
- **Mantener inventarios** según cálculo EOQ con demanda Estocástica
- **Monitorear continuamente** factores de riesgo

Referencias

- Barojas-Payán, E., D. Sánchez-Partida, et al. 2021. "Optimization Model to Locate Pre-Positioned Warehouses." In *Disaster Risk Reduction in Mexico*, edited by D. Sánchez-Partida, 169–98. Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-67295-9_8.
- Esri México. 2024. "Visor de Infraestructura y Riesgos de Desastres."
<https://atlsrgochis.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=e0e724ad2bb8423894b0cebd1f27a7d5>.
- INEGI. 2024. "Bases de Datos y Visor Geoespacial."
<https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>.
- Secretaría de Educación Pública (SEP). 2024. "Principales Cifras Del Sistema Educativo Nacional."
<https://www.planeacion.sep.gob.mx/principalescifras/>.
- Taha, Hamdy A. 2016. *Operations Research: An Introduction*. 10th ed. Pearson.