

# Modelo de Optimización para Localización de Almacenes Preposicionados e Inventario Humanitario

**Yulissa del Rocío Hernández Vázquez**

Licenciatura en Matemáticas Aplicadas – FCFM UNACH

Asesor: Yofre Hernán García Gómez

Octubre 2025



- 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

# 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.



## 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 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

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

## Inventario de Seguridad:

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

## Punto de Reorden:

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

donde:

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

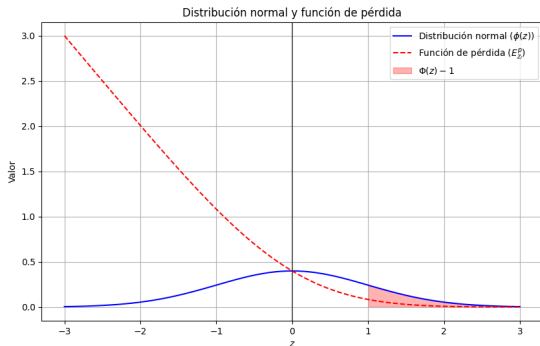




# Función de Pérdida Normal

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

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

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 de 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  $\sigma_d$  y el costo unitario de escasez  $B$ .

## Multicriterio para Selección

Componentes del Peso Posicional  $w_i$ :

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



## Objetivo:

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

## 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  $j$ .

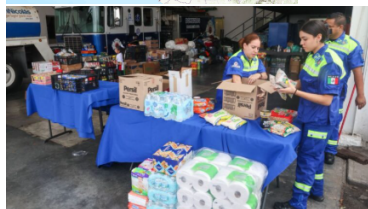
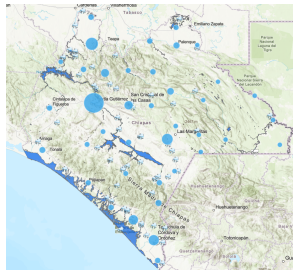
# Aplicación en Chiapas

## 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



# 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	<b>1.000</b>
2	Faja de Oro	<b>0.983</b>
3	Cacahoatán	0.849
4	Rosario Ixtal	0.749
5	Mixcum	0.657

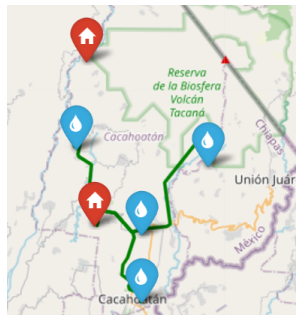
# Escenarios Evaluados — Cacahoatán

**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.

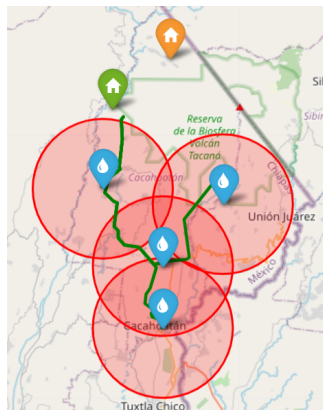
Indicador	Resultado
Cobertura	100 %
Población atendida	7,407 personas
Localidades cubiertas	4
Fill rate promedio	100 %
Costo total anual	\$195,459,693 MXN





Escenario B: Con radio de afectación  $r = 5$  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 - 4 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:

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

*“Chiapas y Veracruz enfrentan desastres distintos, pero comparten una misma esperanza: que la preparación salve más vidas que la reacción, porque entre montañas o planicies, el agua no distingue fronteras, pero la prevención sí puede marcar la diferencia.”*

- **Implementar configuración** de 2 almacenes
- **Mantener inventarios** según cálculo EOQ con demanda Estocástica
- **Monitorear continuamente** factores de riesgo

- 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](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.