



# Optimización de la distribución humanitaria usando matemáticas aplicadas

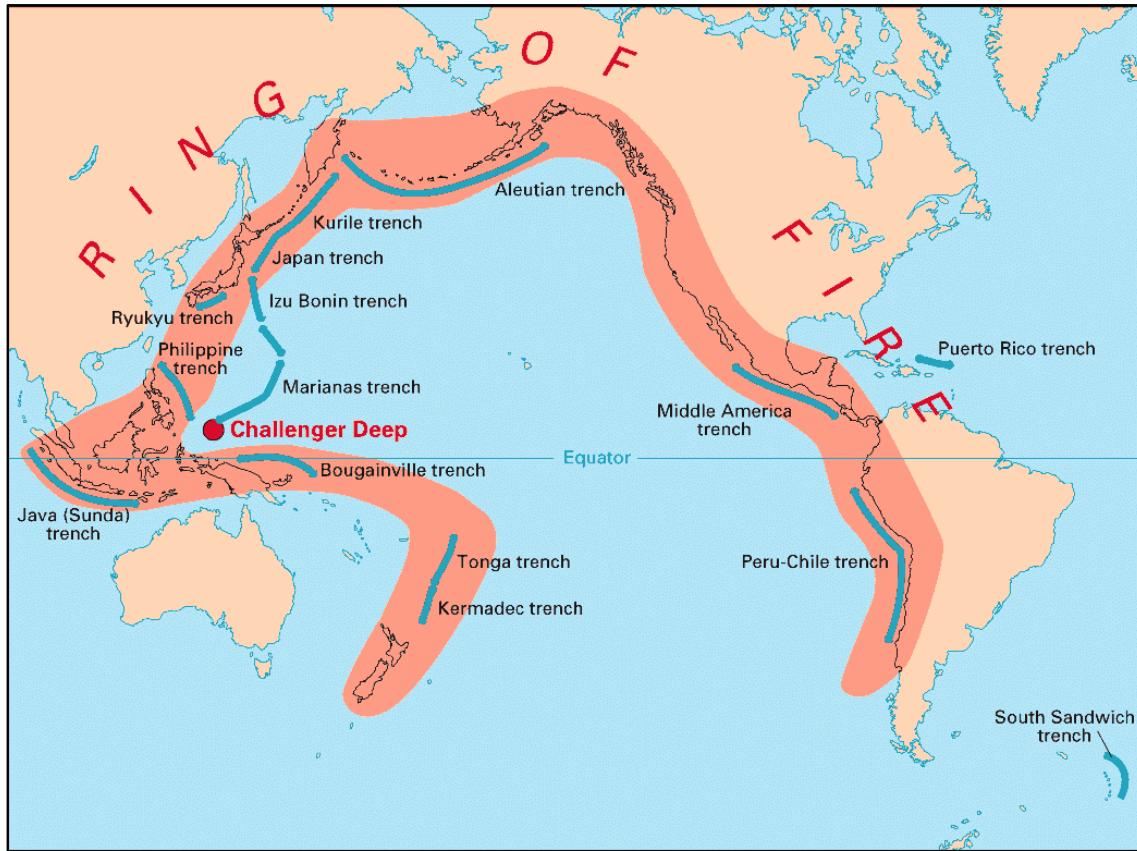
---

RENZO BENAVENTE SOTELO

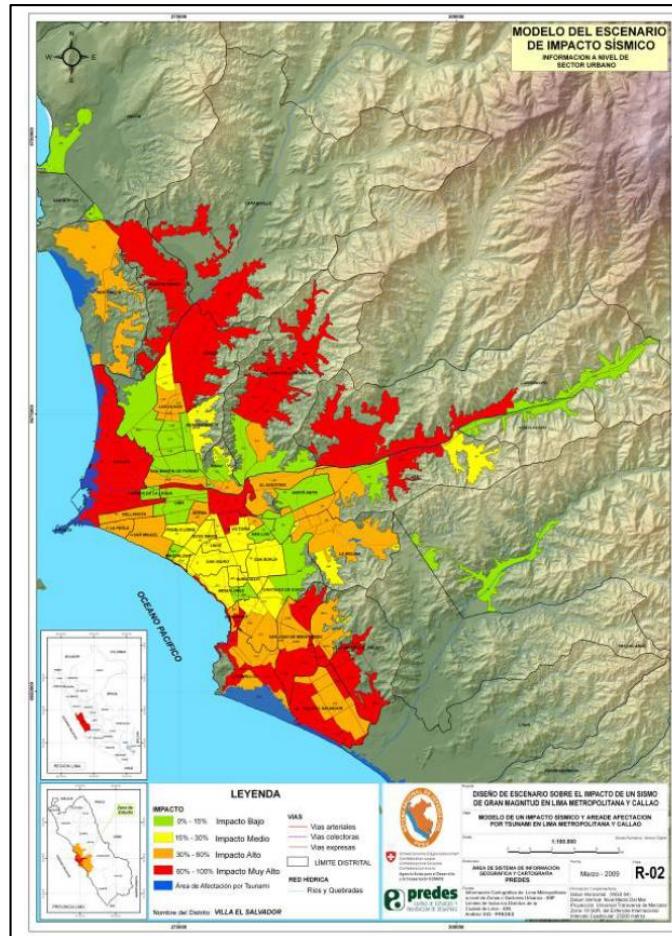
ESCUELA DE POSGRADO

# Peligro sísmico

---



# Vulnerabilidad sísmica



# Estrategias actuales

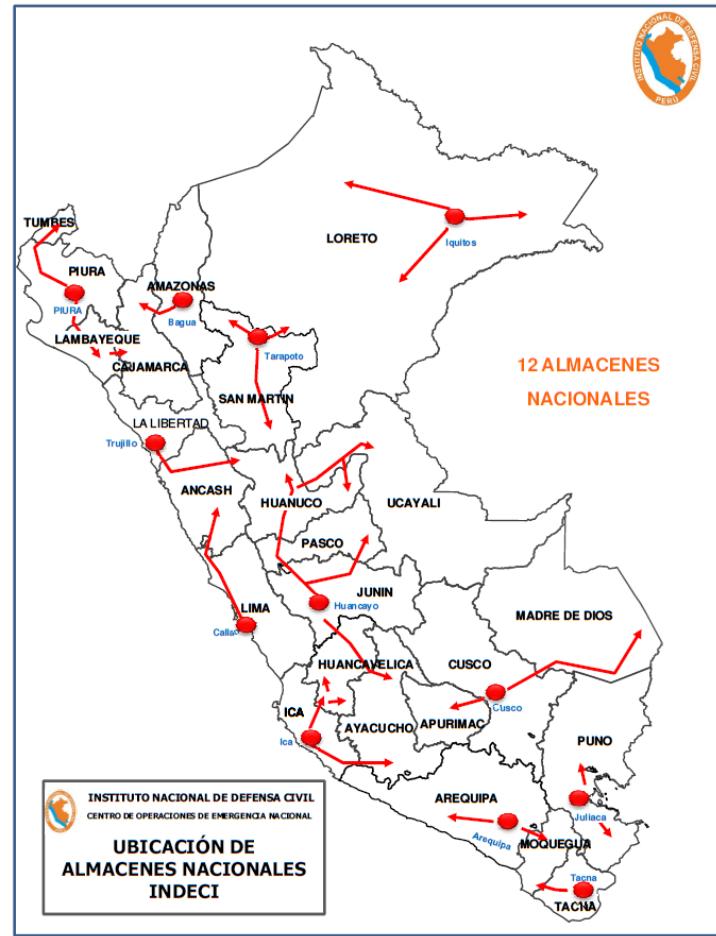
**PLAN DE OPERACIONES DE EMERGENCIA  
PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE LIMA Y  
LA REGIÓN DEL CALLAO**

The cover features several small images: people working at desks, a presentation slide, people outdoors, and logos for the Municipalidad Metropolitana de Lima, INDECI, PNUD, and the European Commission.

PLAN DE OPERACIONES DE EMERGENCIA  
PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE LIMA Y LA REGIÓN DEL CALLAO

ZONA DE PELIGRO DE TSUNAMI  
EN CASO DE SISMO EVACUAR A ZONA ELEVADA

Proyecto No. 00058530:  
"Preparación ante Desastre Sísmico y/o Tsunami y Recuperación Temprana en Lima y Callao"



# Estrategia a usar

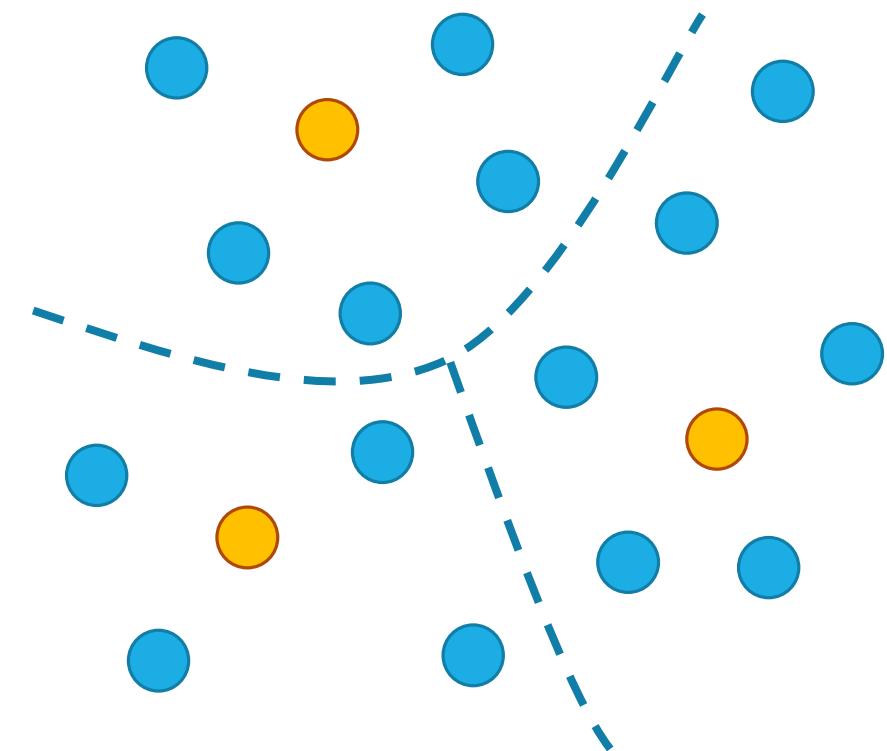
---

## Áreas de decisión:

- Cantidad de almacenes
- Tipo de almacenes
- Tipo de ayuda
- Origen de la ayuda

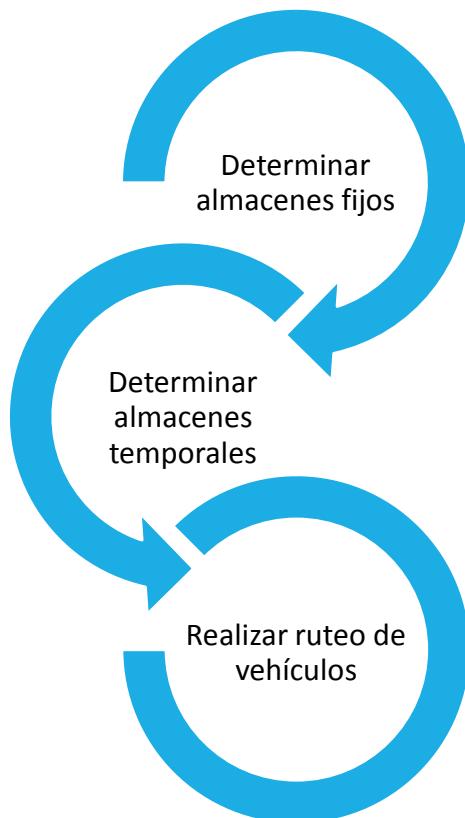
## Áreas de comparación:

- Cobertura
- Velocidad de respuesta
- Costo de inversión



# Fases de la metodología

---



## Antes del sismo:

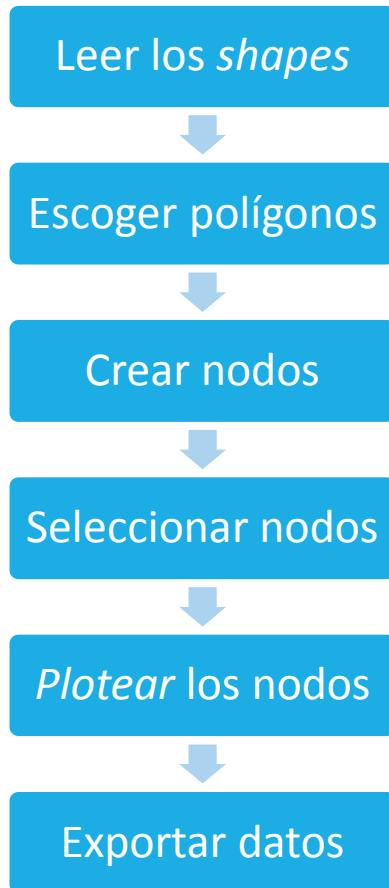
- Clusterizar geográficamente
- Ubicar almacenes fijos

## Después del sismo:

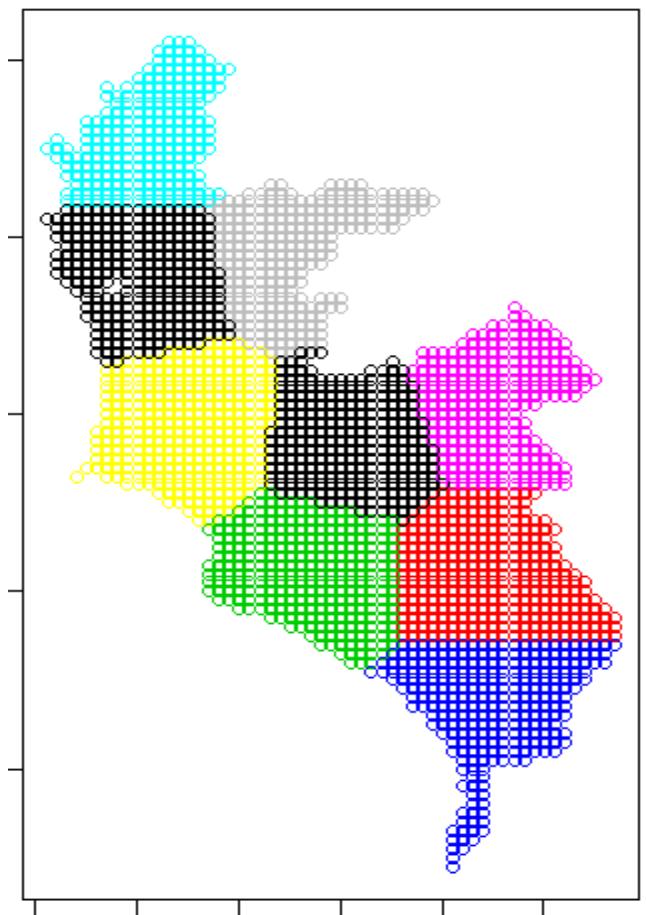
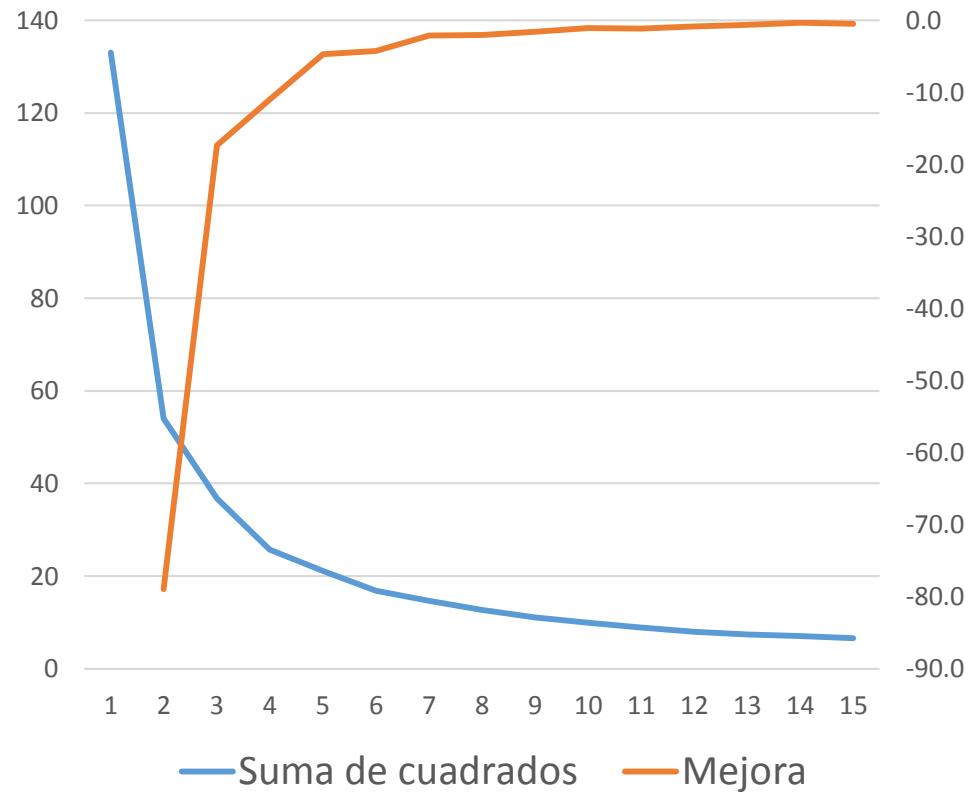
- Ubicar almacenes temporales
- Asignar demanda a los almacenes temporales
- Diseñar rutas de distribución

# Antes del sismo (1): Generar nodos en el mapa

---

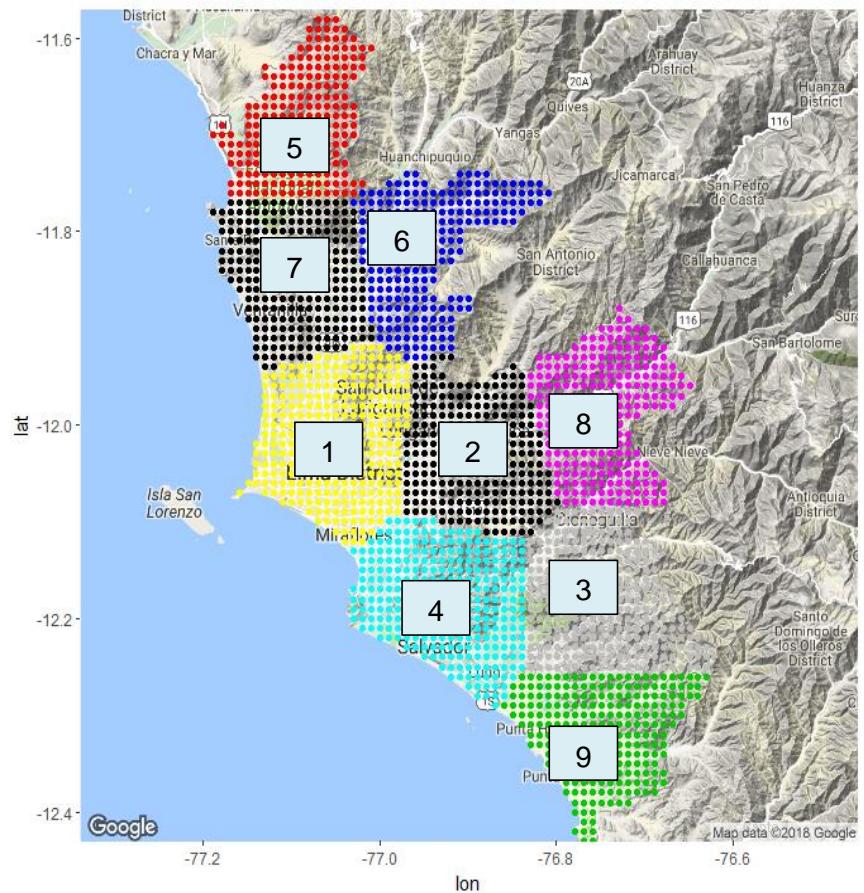


# Antes del sismo (2): Evaluar el número de clústeres



# Antes del sismo (3): Formar clústeres en el mapa

Almacén fijo	Distrito	Nodos
1	Rímac	291
2	Chaclacayo	246
3	Lurín	275
4	Villa María del Triunfo	283
5	Ancón	215
6	Carabayllo	235
7	Puente Piedra	245
8	Lurigancho	251
9	Punta Negra	256



# Después del sismo (1): Recolectar información

---



- 0 – Sin efecto**
- 1 – Muy leve**
- 2 – Leve**
- 3 – Regular**
- 4 – Grave**
- 5 – Muy grave**

# Después del sismo (2): Calcular almacenes temporales

$$\text{Min} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \text{Distancia}_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in I} \text{Lejanía}_i y_i$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq M y_i \quad \forall i \in I$$

$$\sum_{j \in J} \text{Demanda}_j x_{ij} \leq \text{Cobertura} y_i \quad \forall i \in I$$

$$\sum_{j \in J} \text{Demanda}_j x_{ij} \geq \text{MinCap} y_i \quad \forall i \in I$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \geq 1 \quad \forall j \in J$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\} \quad \forall i \in I, j \in J$$

$$y_i \in \{0; 1\} \quad \forall i \in I$$

## Simulación:

- Nodos: 2,297
- Clústeres: 9
- Rélicas: 1,000

## Resultado:

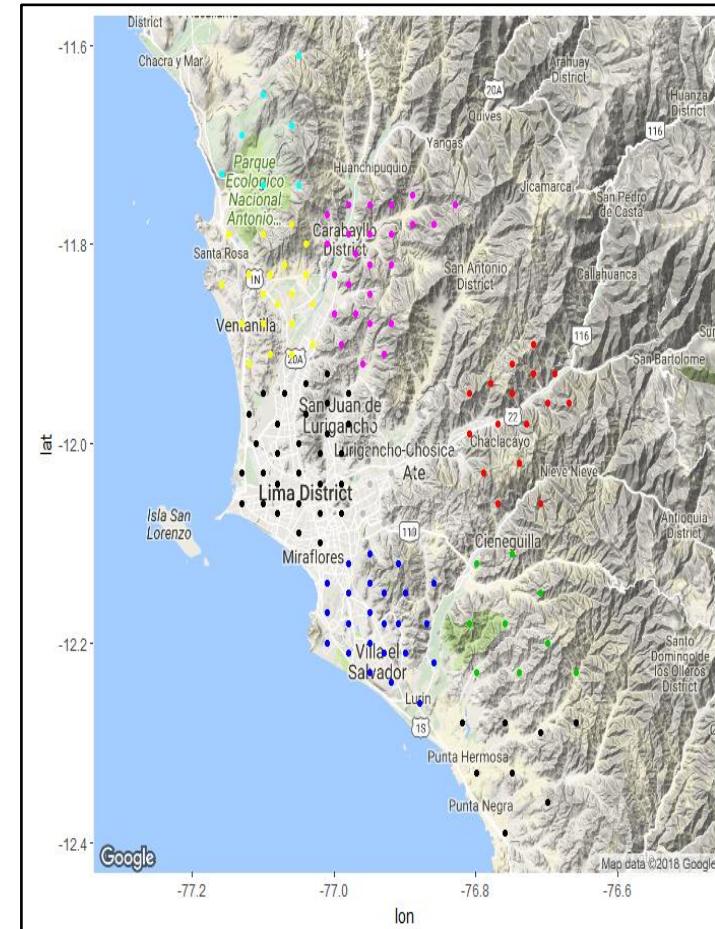
- Almacenes:  $161 \pm 3$



Ejemplo clúster 4 - 24 zonas

# Después del sismo (3): Ubicar almacenes temporales

Almacén fijo	Distrito	Temporales promedio
1	Rímac	30
2	Chaclacayo	16
3	Lurín	9
4	Villa María del Triunfo	24
5	Ancón	7
6	Carabayllo	25
7	Puente Piedra	20
8	Lurigancho	21
9	Punta Negra	9



# Después del sismo (4): Plan de abastecimiento

---

$$\text{Min} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} C_{ij} x_{ij}$$

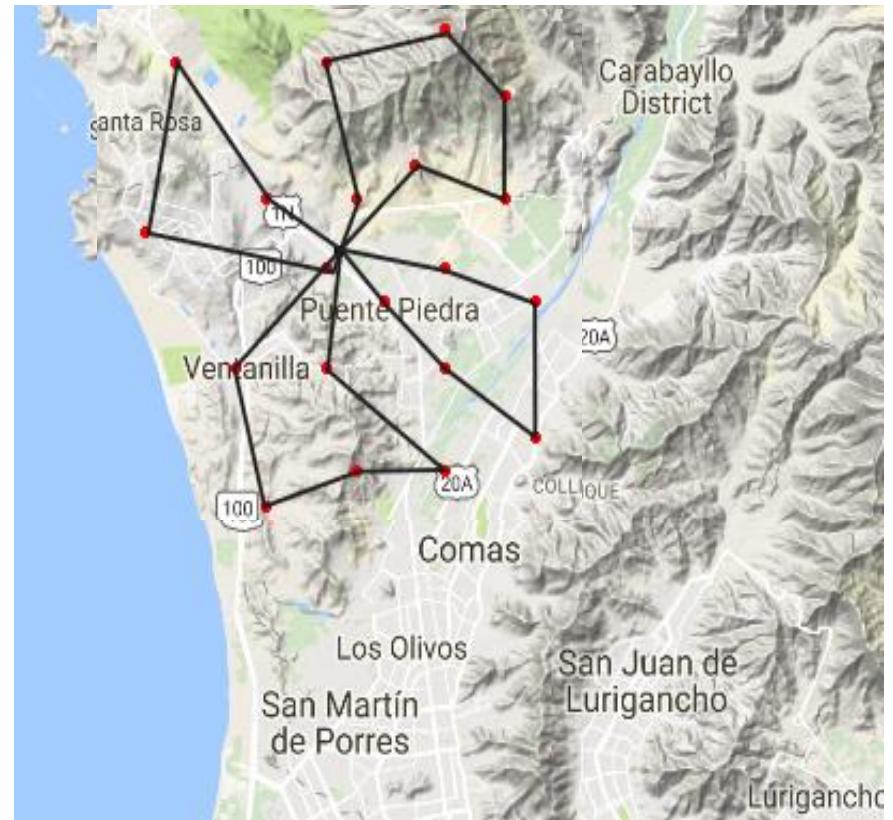
$$\sum_{j \in V} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N$$

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N$$

$$\sum_{i \in V} x_{i0} = |K|$$

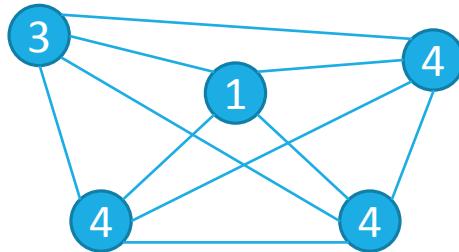
$$\sum_{i \notin S} \sum_{j \in S} x_{ij} \geq r(S) \quad \forall S \subseteq N, S \neq \emptyset$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V$$

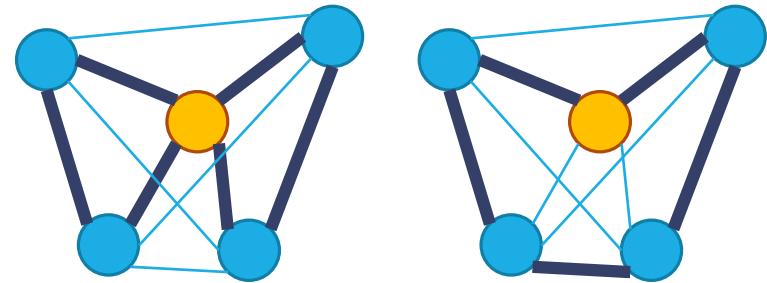


# Después del sismo (5): Flexibilidad del modelo

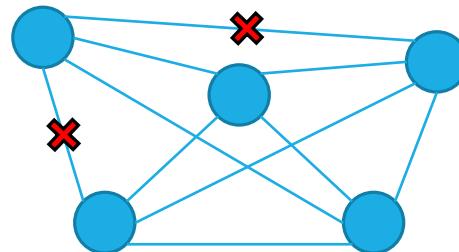
Modificar las demandas:



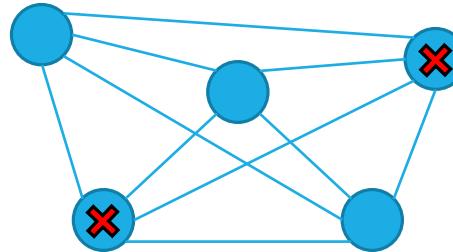
Modificar capacidad de vehículo:



Eliminar vías bloqueadas:



Quitar nodos del análisis:



# Conclusiones

---

- En la fase previa al sismo, se propone dividir Lima Metropolitana y Callao en 9 clústeres de similar extensión territorial, cada uno con un almacén fijo.
- En la fase posterior al sismo, se generó escenarios de ejemplo para cada clúster obteniendo un total de 161 almacenes temporales en Lima Metropolitana y Callao, con su respectivo ruteo.
- En la realidad, cuando suceda un sismo de gran magnitud y se recolecte la información de los daños por cuadrantes, se ejecutarán los modelos de la fase 2 (post sismo).
- La mayor ventaja de esta metodología es su flexibilidad pues cualquier variante planificada solo de deberá ajustar los parámetros.

# Recomendaciones

---

- La metodología propuesta puede ser replicable en otras provincias o incluso países, tanto para terremotos como para algún otro desastre en el que se requiera repartir ayuda humanitaria.
- Para garantizar el éxito del plan propuesto es importante tener concientización en la población.
- Se recomienda tener plantillas ya hechas de los modelos listos para completar con parámetros y ejecutarlos una vez ocurrido el sismo de gran magnitud.
- Para futuras investigaciones, se podría incluir restricciones de poblaciones cercanas a los nodos, o cercanía a instituciones como colegios o universidades en los modelos de ubicaciones de almacenes temporales o incluso el número total de almacenes temporales a construir por una limitante presupuestal.