

Aplicación de herramientas de analítica y nuevas tecnologías en la logística humanitaria

Renzo Benavente Sotelo
Pontificia Universidad Católica del Perú

 <https://www.linkedin.com/in/renzo-alejandro-benavente-sotelo/>



TABLA DE CONTENIDO

01. VULNERABILIDAD SÍSMICA
EN LIMA METROPOLITANA

02. PROPUESTA DE UN
PLAN DE DISTRIBUCIÓN
DE AYUDA HUMANITARIA

03. RESULTADOS OBTENIDOS

04. CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

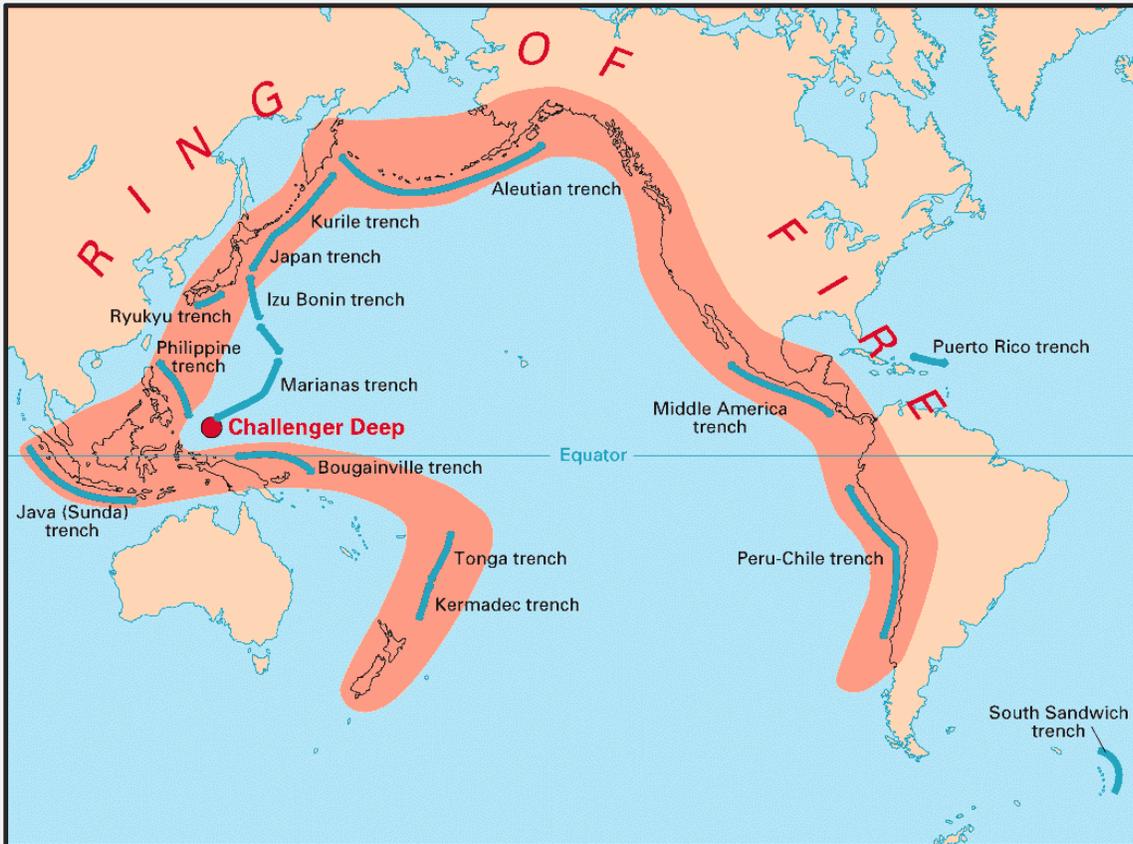


VULNERABILIDAD SÍSMICA EN LIMA METROPOLITANA



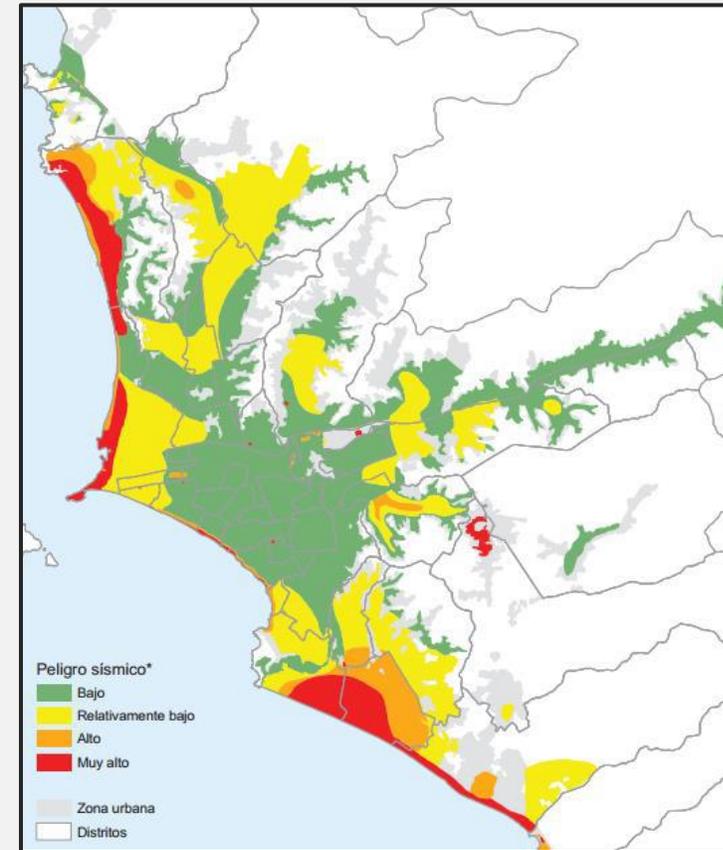
Peligro sísmico

Debido a la ubicación geográfica de Perú existe el peligro sísmico de la ocurrencia de un terremoto de gran magnitud en la ciudad capital.



The Ring of Fire

This Dynamic Earth: The story of plate tectonics

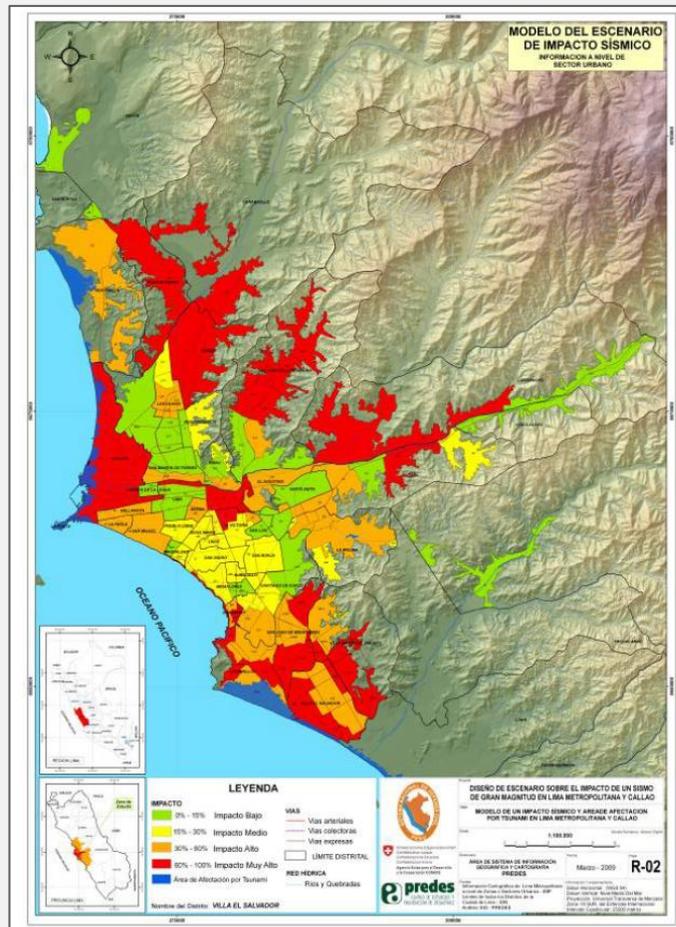


Zonas geotécnicas sísmicas en Lima

PREDES

Riesgo sísmico

El riesgo sísmico es la combinación del peligro sísmico, producto de los factores topográficos, y de la vulnerabilidad de la sociedad.



Modelo de un impacto sísmico en Lima

PREDES

En Lima Metropolitana y Callao existe un silencio sísmico desde el terremoto de 1974 el cual ha ido almacenando energía la cual podría ser liberada con un gran sismo. Este podría tener las siguientes características:

- Magnitud: 8,0 Mw
- Intensidades máximas: VIII escala Mercalli Modificada, entre Lima Metropolitana y Chimbote.
- Aceleraciones máximas promedio: 350 – 400 Gals (cm/s²)
- Epicentro: frente a Lima.
- Hipocentro profundidad: 33 km.

Estrategias Actuales

El Estado peruano tiene presente el constante peligro sísmico con el que convive el país. Por eso tiene un grupo de entidades responsables y planes elaborados para prevenir y responder ante posibles desastres.

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



MANCOMUNIDAD METROPOLITANA DE LIMA

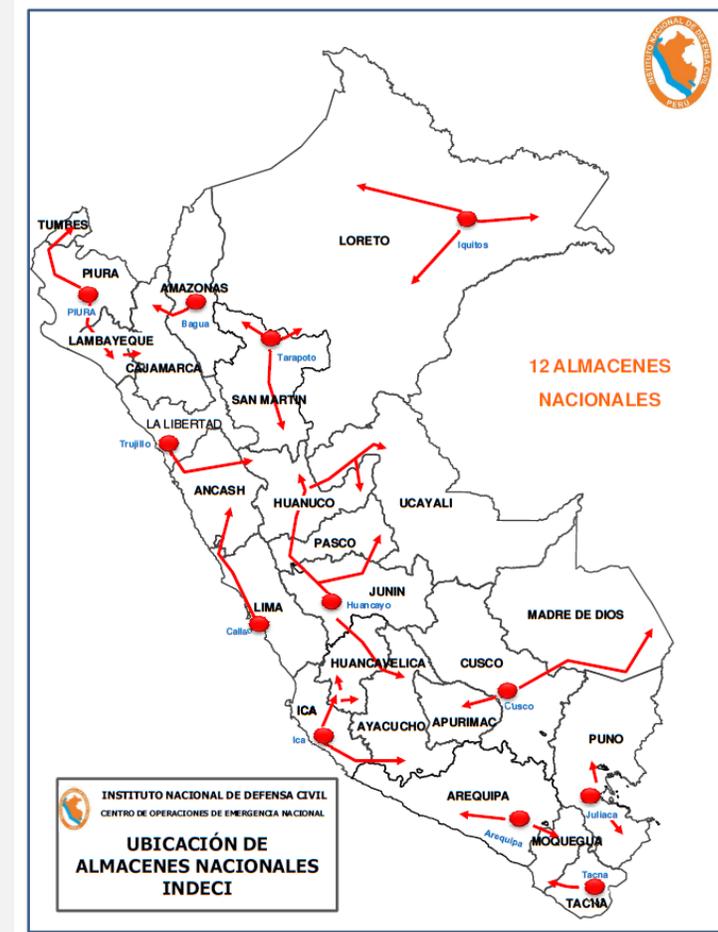
INDECI
INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL

PNUD
Perú

COMISIÓN EUROPEA
Ayuda Humanitaria

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

Plan de Operaciones de emergencia para el área metropolitana de Lima y la región del Callao



Ubicación de almacenes
INDECI



PROPUESTA DE UN PLAN DE DISTRIBUCIÓN DE AYUDA HUMANITARIA



Estrategias a usar

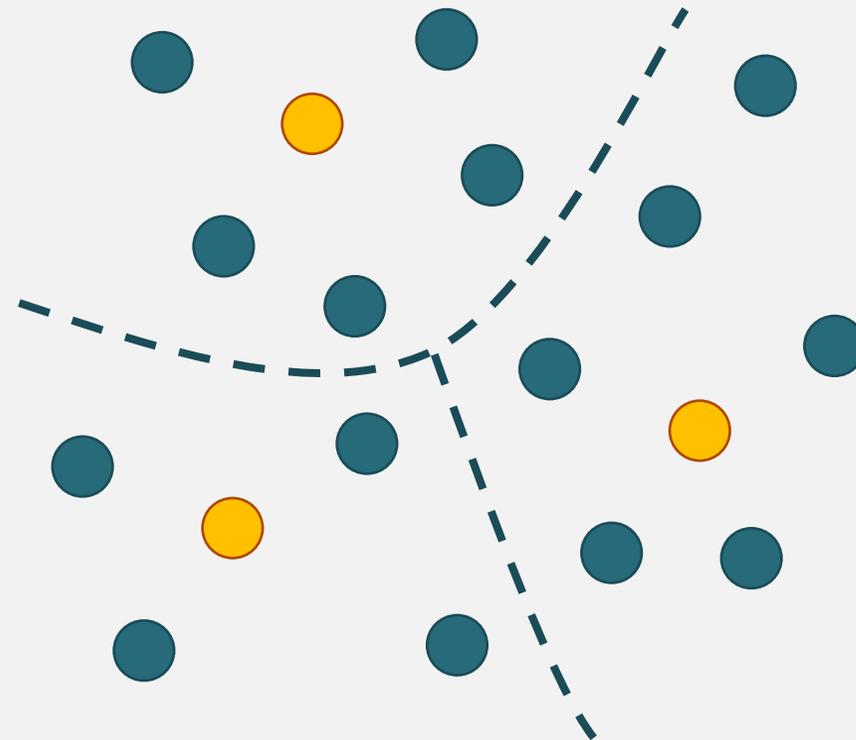
Para tener un buen indicio de cómo abordar el problema de la velocidad de respuesta es importante tener en cuenta el ámbito técnico, como lo son los modelos de optimización, pero también factores sociales pues es una decisión que influirá en la población.

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

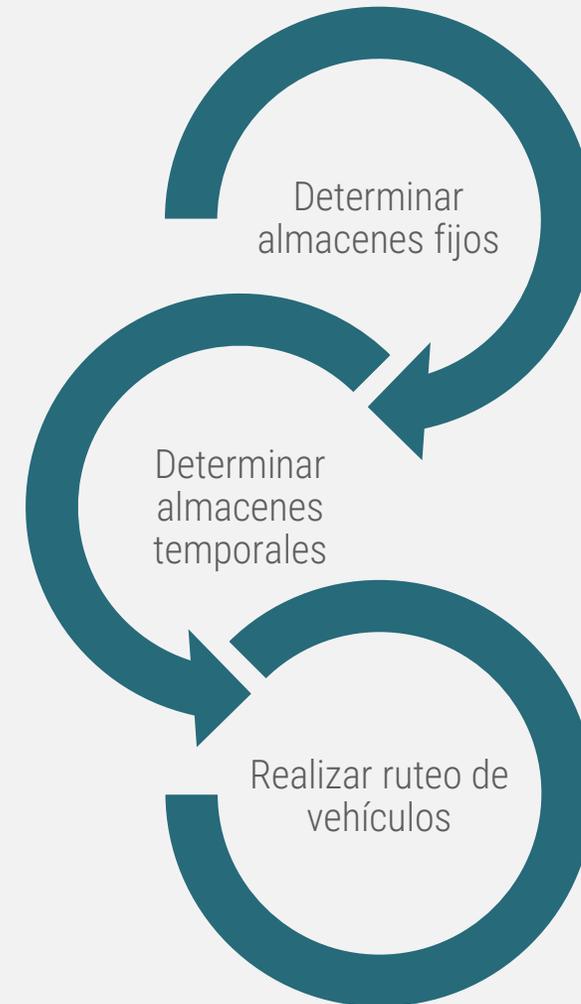
La propuesta para la minimización del impacto social ante un sismo se dividirá en dos etapas.

Antes del sismo:

- Clusterizar geográficamente
- Ubicar almacenes fijos

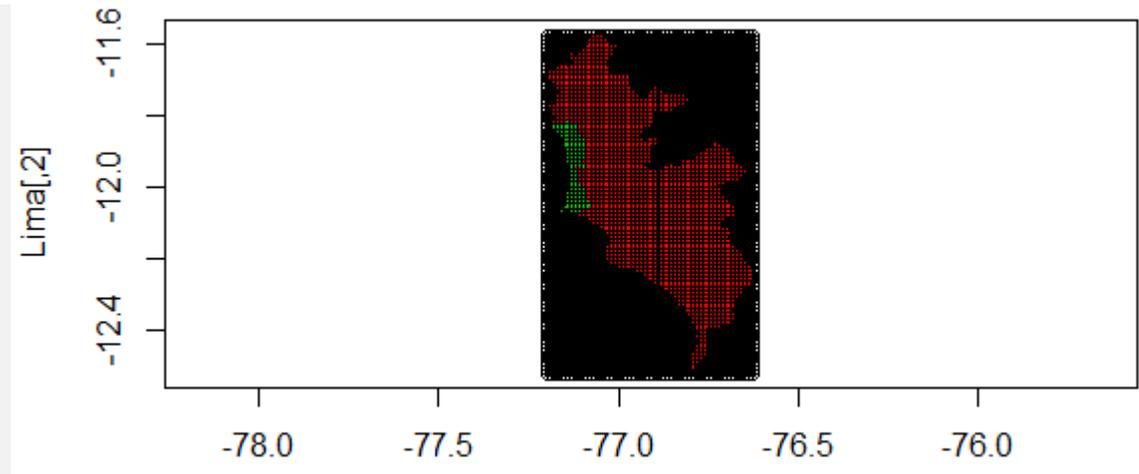
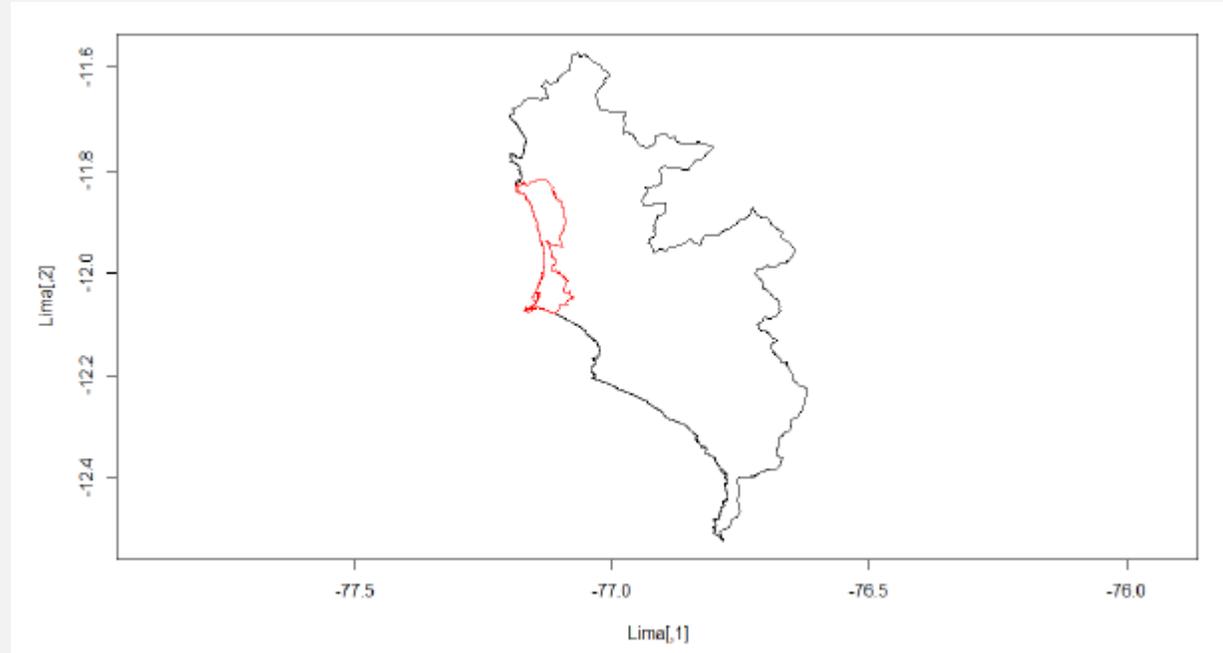
Después del sismo:

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



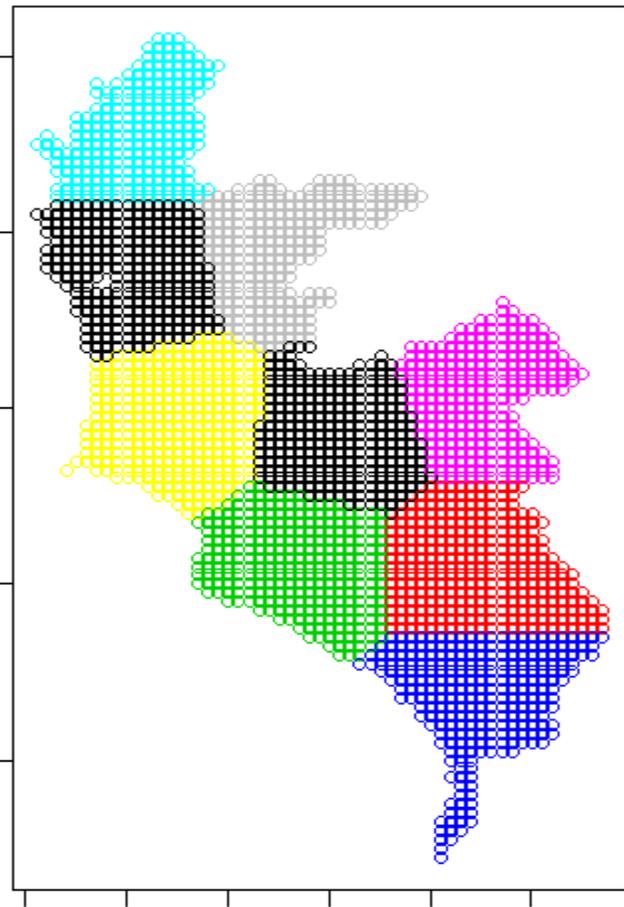
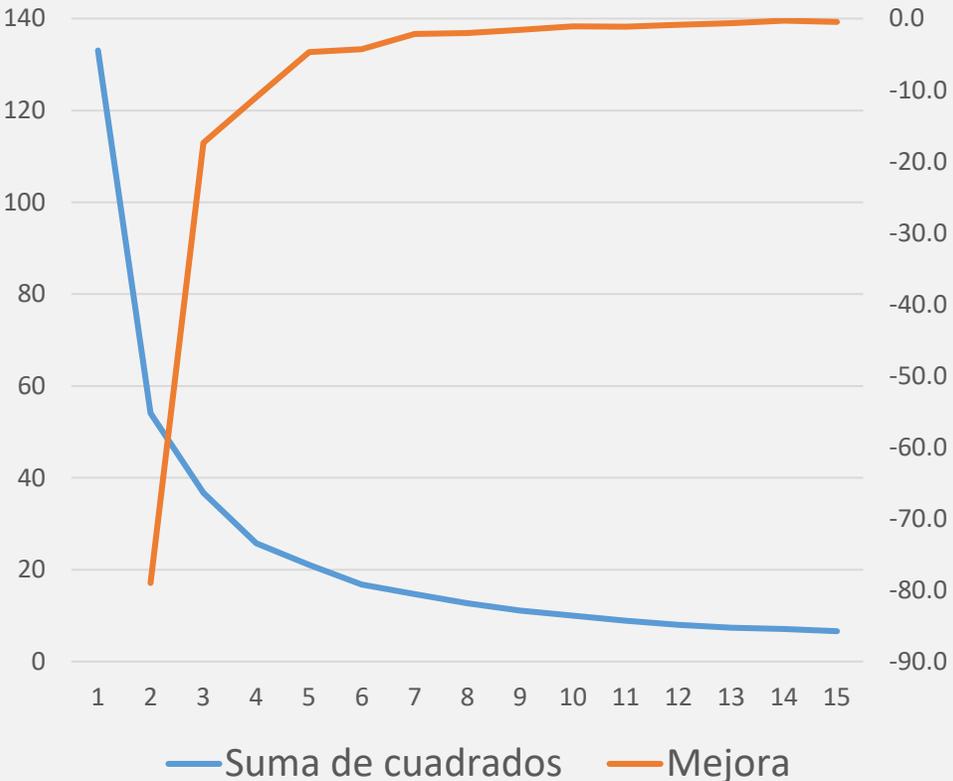
Antes del sismo (1)

Generar los nodos en el mapa.



Antes del sismo (2)

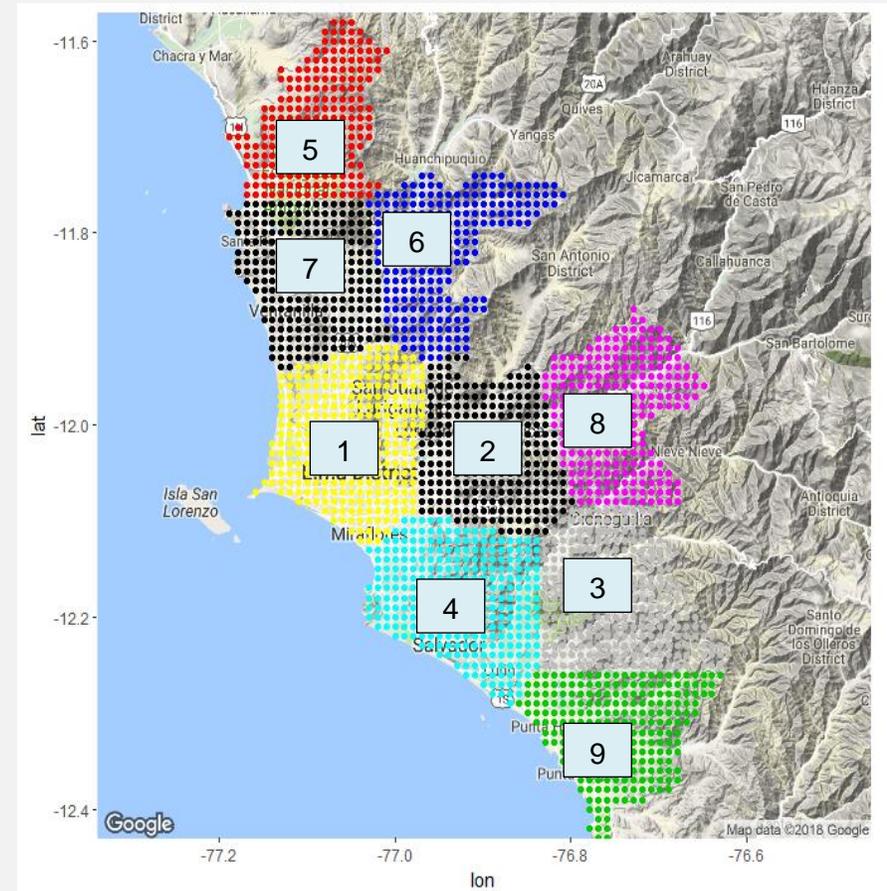
Evaluar el número de clústeres.



Antes del sismo (3)

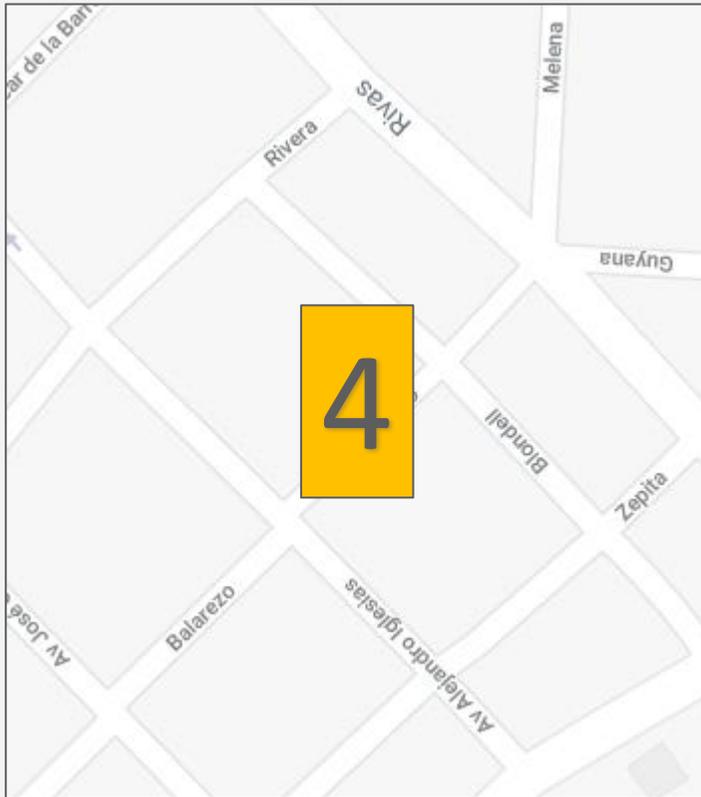
Formar clústeres en el mapa.

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)

Recolección la información de daños en viviendas y en vías.



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



Después del sismo (2)

Calcular almacenes temporales.

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

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

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

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

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

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

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



Después del sismo (3)

Plan de abastecimiento.

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

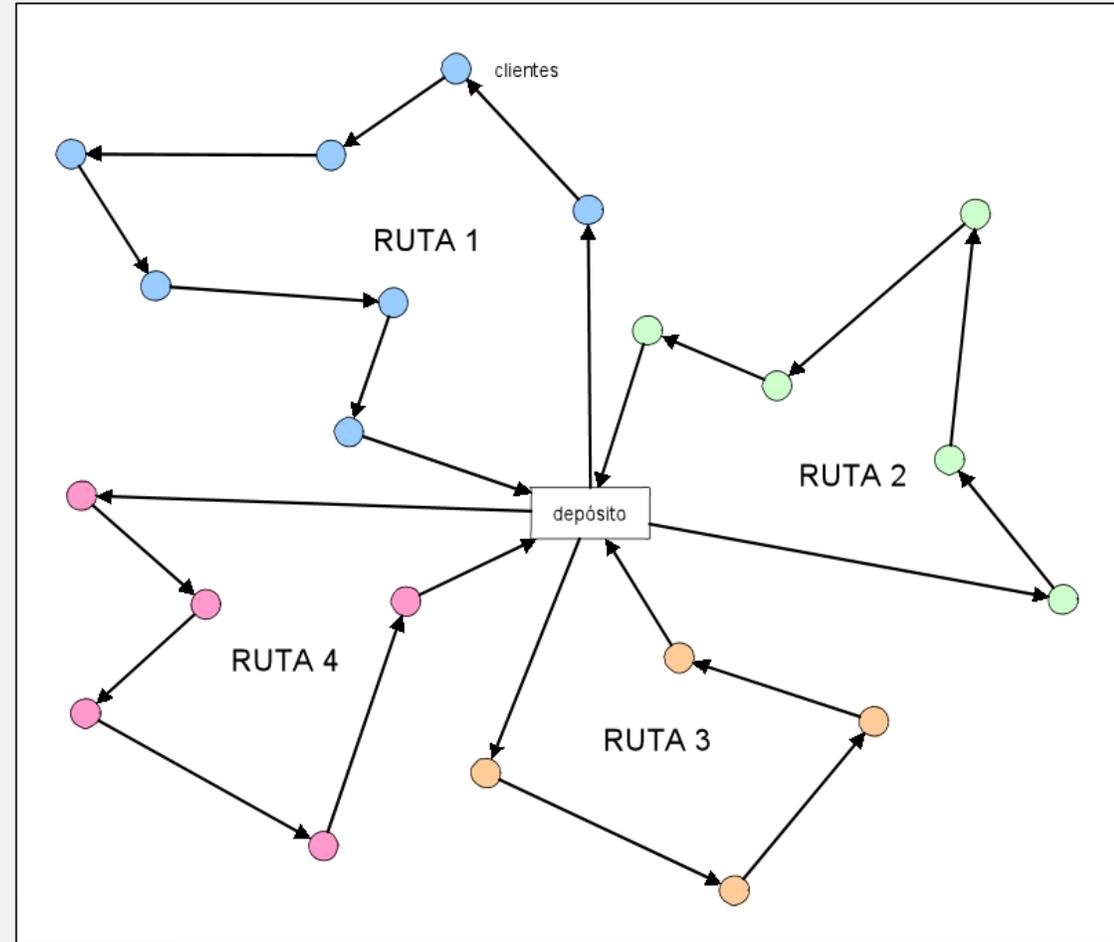
$$\sum_{j \in V} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N$$

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

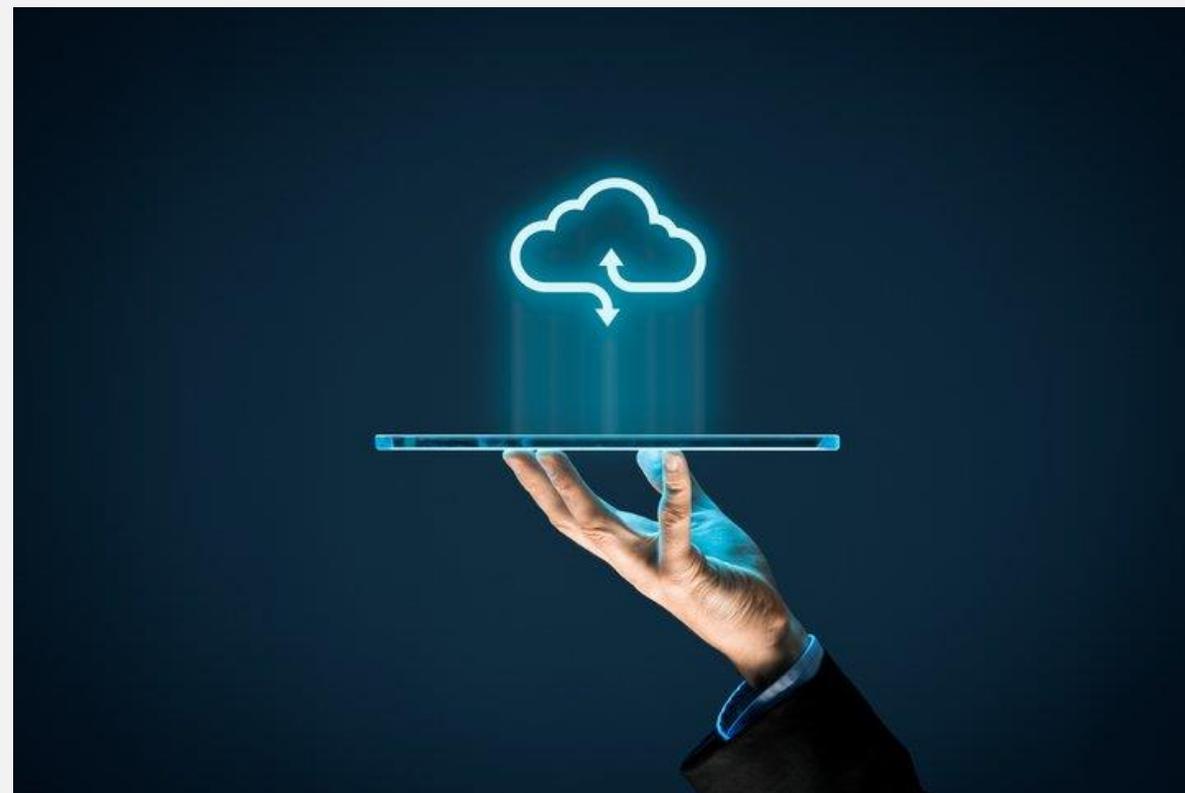
$$\sum_{i \in V} x_{i0} = |K|$$

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

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



Ejecución de los modelos



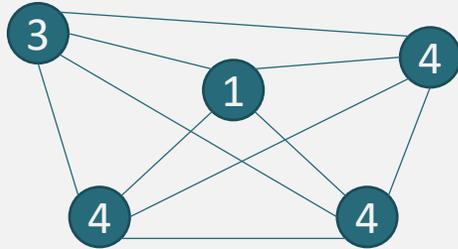
Watson Studio

Welcome to Watson Studio. Let's get started!

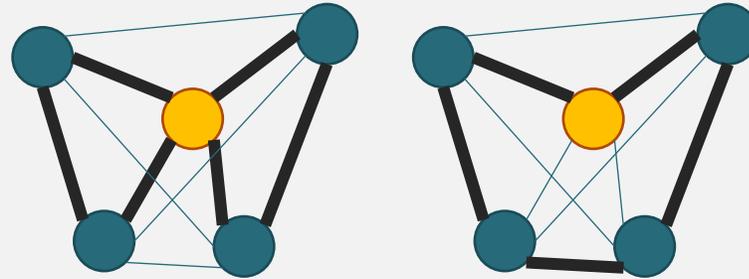


Flexibilidad del modelo

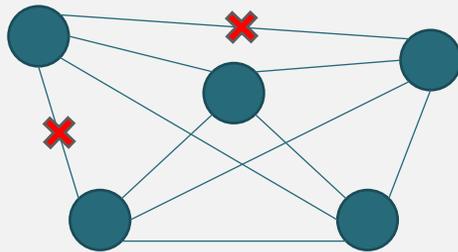
- Modificar las demandas:



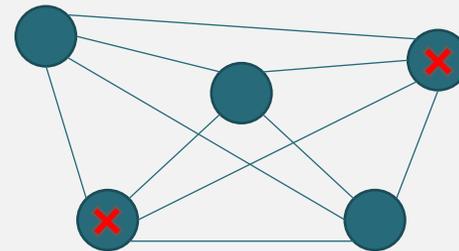
- Modificar capacidad de vehículo:



- Eliminar vías bloqueadas:



- Quitar nodos del análisis:



```
rect width="96" height="96" viewBox="0 0 96 96" style="fill:#fff;stroke:#000;stroke-width:1px;"/>  
</svg>  
<div class="media-control">  
  <svg width="96" height="96" viewBox="0 0 96 96" style="fill:#fff;stroke:#000;stroke-width:1px;"/>  
    <defs>  
      <linearGradient x1="87.565%" y1="15.875%" x2="71.875%" y2="15.875%" style="fill:#fff;stroke:#000;stroke-width:1px;"/>  
        <stop stop-color="#fff" stop-opacity="1" offset="0%"/>  
        <stop stop-color="#fff" offset="100%"/>  
    </defs>  
  </svg>  
</div>
```

RESULTADOS OBTENIDOS



Escenario simulado (1)

Para esta fase primero se generó de manera aleatoria escenarios de cuánto sería la criticidad de cada nodo según la escala del 1 al 5. Se generó 1,000 escenarios de números aleatorios siguiendo una distribución normal con una media que dependía de la vulnerabilidad de la zona.

Distrito	Nodos generados	Población por nodo	Damnificados por nodo	Indicador esperado
Ancón	257	169	4	1
Ate	68	9,266	1,837	4
Barranco	2	14,992	6,094	5
Bellavista	5	14,367	862	4
Breña	1	75,925	4,555	5
Callao	41	9,924	7,939	5
Carabaylo	260	1,161	929	4
Carmen de la Legua	1	41,100	451	3
Chaclacayo	37	1,174	26	1
Chorrillos	30	10,852	2,963	5

ID	LAT	LON	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	-12.1	-77.2	2	2	2	2	2	2	1	3	2	3	2
2	-12.1	-77.1	4	4	4	4	4	5	4	3	4	4	3
3	-12.1	-77.1	4	4	3	4	4	4	4	5	4	4	4
4	-12.1	-77.1	4	3	5	4	4	3	4	4	4	4	4
5	-12.1	-77.1	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5
6	-12.1	-77.1	5	5	5	5	4	5	4	5	5	4	5
7	-12.1	-77.1	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4
8	-12.1	-77.1	5	4	4	4	5	3	5	4	3	4	4
9	-12.1	-77.1	4	4	4	3	4	4	4	4	5	4	4
10	-12.1	-77.1	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4
11	-12.1	-77.1	5	3	5	5	4	4	4	4	4	4	4
12	-12.0	-77.1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
13	-12.0	-77.1	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5
14	-12.0	-77.1	5	5	4	5	5	5	4	5	5	4	5
15	-12.0	-77.1	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5

Simulación:

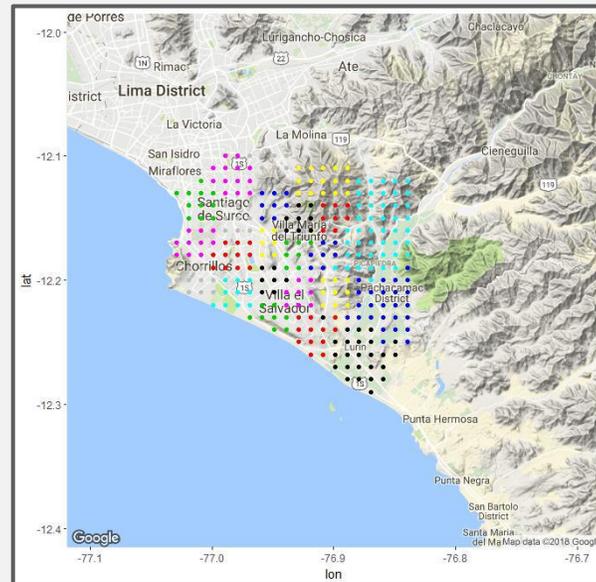
- Nodos: 2,297
- Clústeres: 9
- Réplicas: 1,000

```
minimize Distancia_Total:  
    sum{(i,j) in Matriz} X[i,j]*Distancia1[i,j] +  
    sum{i in Vector} Y[i]*Distancia2[i];
```

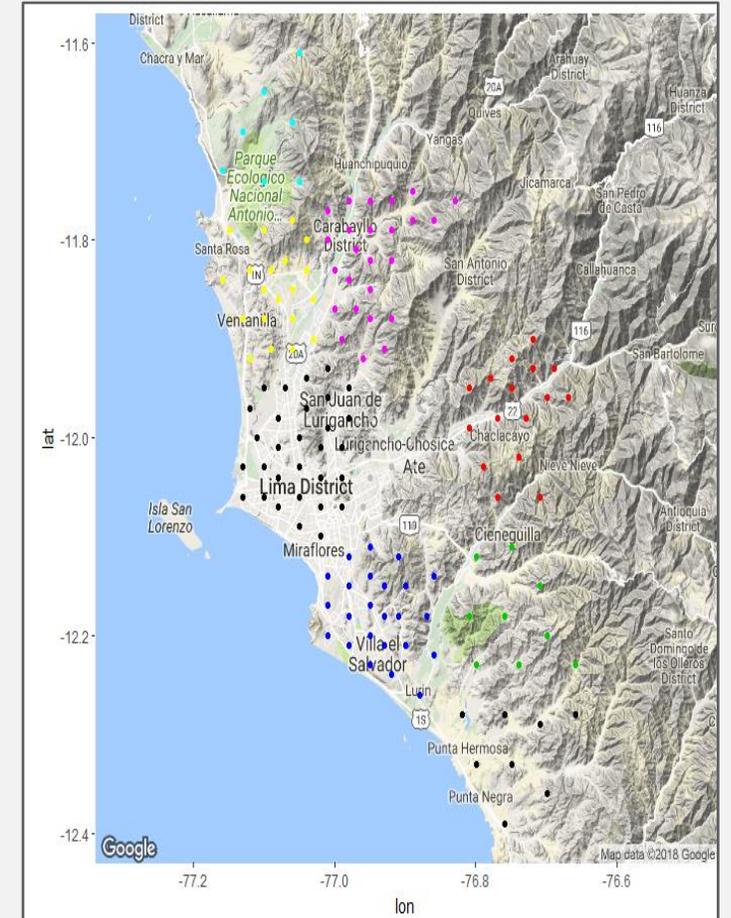
Escenario simulado (2)

El promedio de los resultados de los 1,000 escenarios se muestra consolidado en la tabla siguiente, indicando ubicación de los almacenes fijos y cuántos almacenes temporales tienen asignados.

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



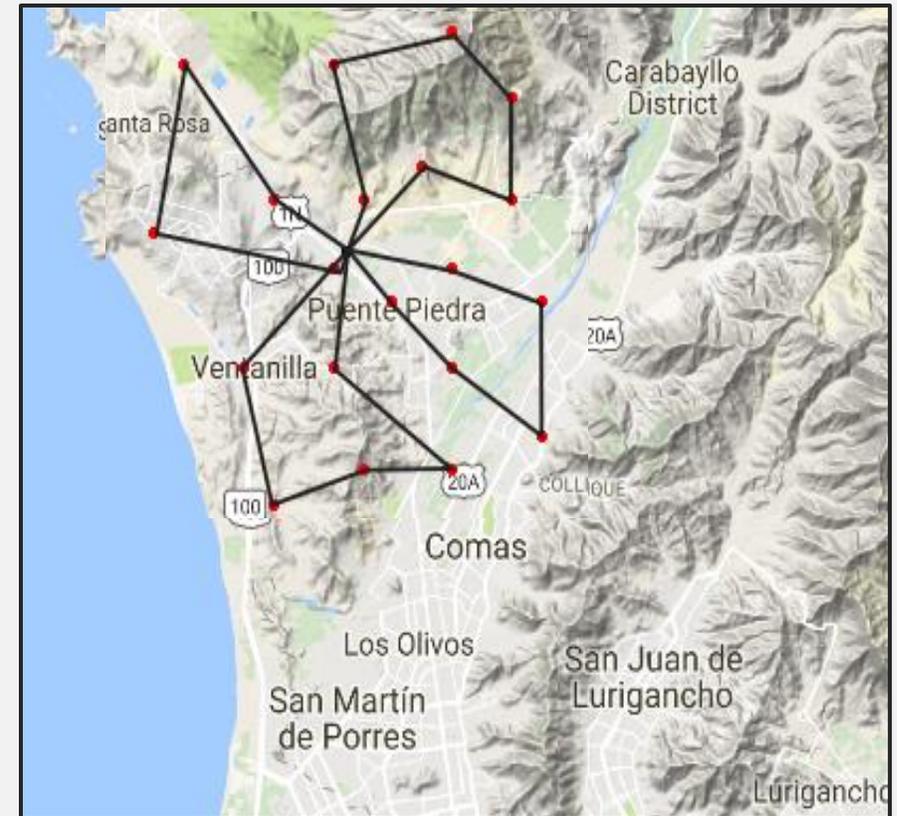
Ejemplo clúster 4
24 grupos



Escenario simulado (3)

Con base en la ubicación de los almacenes temporales, se realiza un plan de ruteo para llegar a todos los nodos demandantes.

```
minimize Distancia_total:  
    sum {(i,j) in Arco:i<>j} X[i,j] * Distancias[i,j];  
  
subject to Todo_entra {i in Nodo: i>1}:  
    sum {j in Nodo:i<>j} X[i,j] = 1;  
  
subject to Todo_sale {i in Nodo: i>1}:  
    sum {j in Nodo:i<>j} X[j,i] = 1;  
  
subject to Vehiculos:  
    sum {j in Nodo: j>1} X[1,j] <= K;  
  
subject to Subtours {(i,j) in Arco: i>1 and j>1 and i<>j}:  
    u[i] - u[j] + Capacidad * X[i,j] <= Capacidad -  
    demanda[i];  
  
subject to Limites {i in Nodo: i>1}:  
    demanda[i] <= u[i] <= Capacidad;
```





CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



Conclusiones y Recomendaciones

- 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 deberá ajustar los parámetros.
- 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.

Uso de tecnologías

Nuevas tecnologías que ayudan a complementar los estudios realizados en el manejo de desastres.

- Autonomous Trucks, Incomplete
- Robotics, Incomplete
- 5G Wireless Networks, Incomplete
- Additive Manufacturing, Incomplete
- Augmented Reality, Incomplete
- APIs, Incomplete
- Delivery Drones, Incomplete
- Crowdsourcing, Incomplete
- Internet of Things, Incomplete
- Blockchain



¿Alguna pregunta?

