

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

### OPTIMIZACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE ALMACENES DE ABASTECIMIENTO PARA LA ATENCIÓN DE UN TERREMOTO DE GRAN MAGNITUD EN LIMA METROPOLITANA Y CALLAO

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Industrial**, que presenta la bachiller:

**Verónica Rebeca Serpa Oshiro**

**ASESOR: Ing. Jorge Vargas Florez**

Lima, enero de 2014

# ÍNDICE

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Conceptos básicos.....	1
1.1.1 Peligro.....	1
1.1.2 Desastre .....	1
1.1.3 Vulnerabilidad .....	3
1.1.4 Riesgo.....	3
1.1.5 Resiliencia .....	4
1.2 La logística y la gestión de la cadena de suministro .....	4
1.2.1 Estrategia de inventario .....	7
1.2.2 Estrategia de ubicación de almacenes .....	11
1.2.3 Estrategia de transporte .....	12
1.3 La logística humanitaria y la gestión de desastres .....	13
1.3.1 Estructura de la cadena de ayuda humanitaria .....	18
1.3.2 Gestión del riesgo de desastres .....	19
1.3.3 Indicadores de la gestión de desastres .....	20
1.3.4 La Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y la Media Luna Roja.....	21
1.4 Herramientas de la investigación de operaciones .....	23
1.4.1 La investigación de operaciones .....	23
1.4.2 Teoría de la programación lineal .....	24
1.4.3 Programación entera .....	26
CAPÍTULO 2: LOGÍSTICA HUMANITARIA EN EL PERÚ .....	28
2.1 Desastres naturales en el Perú.....	28
2.1.1 Características del Perú .....	28
2.1.2 Antecedentes históricos de desastres .....	30
2.2 Situación actual de la logística humanitaria en el Perú.....	31
2.2.1 Instituto Nacional de Defensa Civil .....	31
2.2.2 Política Nacional de Atención y Prevención de Desastres .....	32
2.2.3 Plan de Operaciones de Emergencia de Lima y Callao. ....	33
2.3 Respuesta ante emergencias .....	36
2.3.1 Asistencia de vivienda temporal .....	37
2.3.2 Asistencia alimentaria.....	37
2.3.3 Asistencia no alimentaria.....	38

2.3.4	Dotación de agua temporal.....	39
2.4	Situación actual de Lima Metropolitana y Callao .....	40
2.4.1	Características generales .....	40
2.4.2	Parámetros de vulnerabilidad .....	40
CAPÍTULO 3: CANTIDAD Y UBICACIÓN DE LOS ALMACENES DE ABASTECIMIENTO EN LIMA METROPOLITANA Y CALLAO .....		43
3.1	Almacenes de abastecimiento .....	43
3.2	Metodología del estudio .....	46
3.3	Presentación del escenario más crítico .....	47
3.3.1	Descripción y características .....	47
3.3.2	Magnitud de la ayuda necesaria.....	49
3.4	Determinación de la cantidad y ubicación de los almacenes.....	58
3.4.1	Zonas vulnerables y zonificación sísmica de Lima y Callao .....	58
3.4.2	Restricciones en la ubicación de los almacenes .....	59
3.4.3	Capacidad de los almacenes.....	62
3.4.4	Aplicación del modelo de asignación para los almacenes .....	64
3.4.5	Resultados del modelo .....	71
3.4.6	Análisis de sensibilidad.....	81
CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA.....		83
4.1	Evaluación de los criterios para determinar la capacidad de los almacenes.....	83
4.1.1	Criterio 1: número de damnificados.....	83
4.1.2	Criterio 2: superficie territorial.....	84
4.2	Análisis Costo - Beneficio .....	85
4.2.1	Costo de implementación de un almacén.....	85
4.2.2	Presupuesto del INDECI.....	87
4.2.3	Beneficio de la propuesta .....	88
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		91
5.1	Conclusiones.....	91
5.2	Recomendaciones .....	92
BIBLIOGRAFÍA .....		94

## Índice de tablas

Tabla 2. 1: Principales emergencias ocurridas en el Perú en el periodo 1950-2012 ....	30
Tabla 2. 2: Áreas de Funciones de Respuesta y Tareas .....	34
Tabla 2. 3: Raciones y grupos de productos .....	38
Tabla 2. 4: Necesidades básicas de agua para asegurar la supervivencia .....	39
Tabla 2. 5: Número máximo de personas por fuente de agua .....	40
Tabla 2. 6: Resumen de Parámetros e Indicadores de Estimación de Vulnerabilidad..	42
Tabla 3. 1: Número y ubicación de los almacenes de Defensa Civil según tipo de almacén.....	44
Tabla 3. 2: Distritos de Lima y Callao incluidos en el estudio .....	48
Tabla 3. 3: Escala de daños del estudio .....	49
Tabla 3. 4: Cantidad y porcentaje de personas afectadas por distrito (distritos incluidos en el estudio del PREDES) – Parte I.....	51
Tabla 3. 4: Cantidad y porcentaje de personas afectadas por distrito (distritos incluidos en el estudio del PREDES) – Parte II.....	52
Tabla 3. 5: Cantidad y porcentaje de personas afectadas por distrito (distritos no incluidos en el estudio del PREDES) .....	54
Tabla 3. 6: Cantidad de personas afectadas por distrito al año 2012 – Parte I.....	56
Tabla 3. 6: Cantidad de personas afectadas por distrito al año 2012 – Parte II.....	57
Tabla 3. 7: Distritos no considerados en el modelo.....	61
Tabla 3. 8: Zonas geotécnicas sísmicas .....	61
Tabla 3. 9: Capacidades de los almacenes según el criterio 1 .....	63
Tabla 3. 10: Capacidades de los almacenes según el criterio 2 .....	63
Tabla 3. 11: Distancias en km entre los distritos de Lima Metropolitana y Callao .....	65
Tabla 3. 12: Resultados criterio 1 (A = 22).....	72
Tabla 3. 13: Resultados criterio 1 (A = 27).....	73
Tabla 3. 14: Resultados criterio 1 (A = 32).....	74
Tabla 3. 15: Resultados criterio 1 (A = 37).....	75
Tabla 3. 16: Resumen de resultados – Primer criterio: número de damnificados.....	76
Tabla 3. 17: Resultados criterio 2 (A = 22).....	77
Tabla 3. 18: Resultados criterio 2 (A = 27).....	78
Tabla 3. 19: Resultados criterio 2 (A = 32).....	79

Tabla 3. 20: Resultados criterio 2 (A = 37).....	80
Tabla 3. 21: Resumen de resultados – Segundo criterio: superficie territorial.....	81
Tabla 4. 1: Cálculo del área necesaria para la construcción de almacenes. ....	86
Tabla 4. 2: Costo total de implementación de los almacenes.....	87
Tabla 4. 3: Plan presupuestal INDECI 2013.....	87
Tabla 4. 4: Distancias y tiempos de viaje entre Lima y los almacenes de INDECI.....	90
Tabla 4. 5: Resultados del modelo propuesto versus la situación actual.....	90



## Índice de figuras

Figura 1. 1: Clasificación de los Principales Peligros .....	2
Figura 1. 2: Gestión de la Cadena de Suministro.....	5
Figura 1. 3: Triángulo de la Planeación.....	6
Figura 1. 4: Esquema del Enfoque Multicriterio.....	10
Figura 1. 5: El Espacio Humanitario y sus Principios .....	14
Figura 1. 6: Preparación ante Emergencias.....	15
Figura 1. 7: Respuesta a Emergencias .....	15
Figura 1. 8: Estructura de la Cadena de Ayuda Humanitaria .....	19
Figura 2. 1: Cinturón de Fuego .....	28
Figura 2. 2: Fenómenos geológicos de superficie causados por sismos .....	29
Figura 2. 3: Mapa de Lima Metropolitana y Callao.....	41
Figura 3. 1: Mapa de almacenes de Defensa Civil.....	45
Figura 3. 2: Gráfico de la población estimada de Lima 2007-2015. <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 3. 3: Mapa de Zonas Geotécnicas Sísmicas de Lima.....	60
Figura 3. 4: Distancia vs. número de almacenes .....	82

# CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

## 1.1 Conceptos básicos

Antes de abordar el tema de la logística humanitaria, es importante exponer los conceptos que se utilizarán a lo largo de esta tesis.

### 1.1.1 Peligro

Un peligro es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno o un proceso, ya sea natural o causado por el hombre, potencialmente dañino para un grupo de personas, sus pertenencias y medio ambiente, si no se toman las precauciones necesarias. (Mesa de Concertación para la Lucha contra la Pobreza, 2009).

Los peligros se caracterizan por su severidad, intensidad, magnitud y probabilidad de ocurrencia. Asimismo, la magnitud del impacto depende principalmente de la exposición y vulnerabilidad del elemento afectado.

Es importante realizar una apropiada identificación de los peligros existentes, de manera que se pueda determinar su potencial, características, comportamiento y la exposición que los elementos tales como personas, ecosistemas, entre otros, puedan tener a él. (Ocola, 2007).

### 1.1.2 Desastre

La UNISDR<sup>1</sup> (2009) define un desastre como el resultado de un peligro que ha impactado en una comunidad, causando daños humanos, materiales y/o ambientales en ella. Los desastres son el resultado de una combinación de exposición al peligro, la vulnerabilidad ante él y la capacidad de reducir o responder ante las consecuencias negativas del mismo, una vez que este se ha convertido en un desastre, y son estas variables las que determinarán la magnitud de los daños. Por esta razón, la MCLCP<sup>2</sup> (2009) afirma que los desastres son “la resultante de un proceso de construcción de

---

<sup>1</sup> UNISDR: United Nations International Strategy for Disaster Reduction. [en línea].

<sup>2</sup> MCLCP: Mesa de Concertación para la Lucha Contra la Pobreza. *Gestión del Riesgo de Desastres para la Planificación del Desarrollo Local*.

condiciones de vulnerabilidad causados por el hombre y de un desarrollo inadecuado e insostenible” (p.18).

Los desastres pueden ser naturales o tecnológicos (inducidos por la actividad del hombre), dependiendo de la naturaleza del peligro que los origina. Entre los principales desastres naturales tenemos terremotos, tsunamis, tornados, erupciones volcánicas, entre otros. Asimismo, las explosiones y los derrames químicos son ejemplos de desastres tecnológicos. Podemos ver la clasificación de los principales peligros en la figura 1.1 (tomado del INDECI<sup>3</sup>).

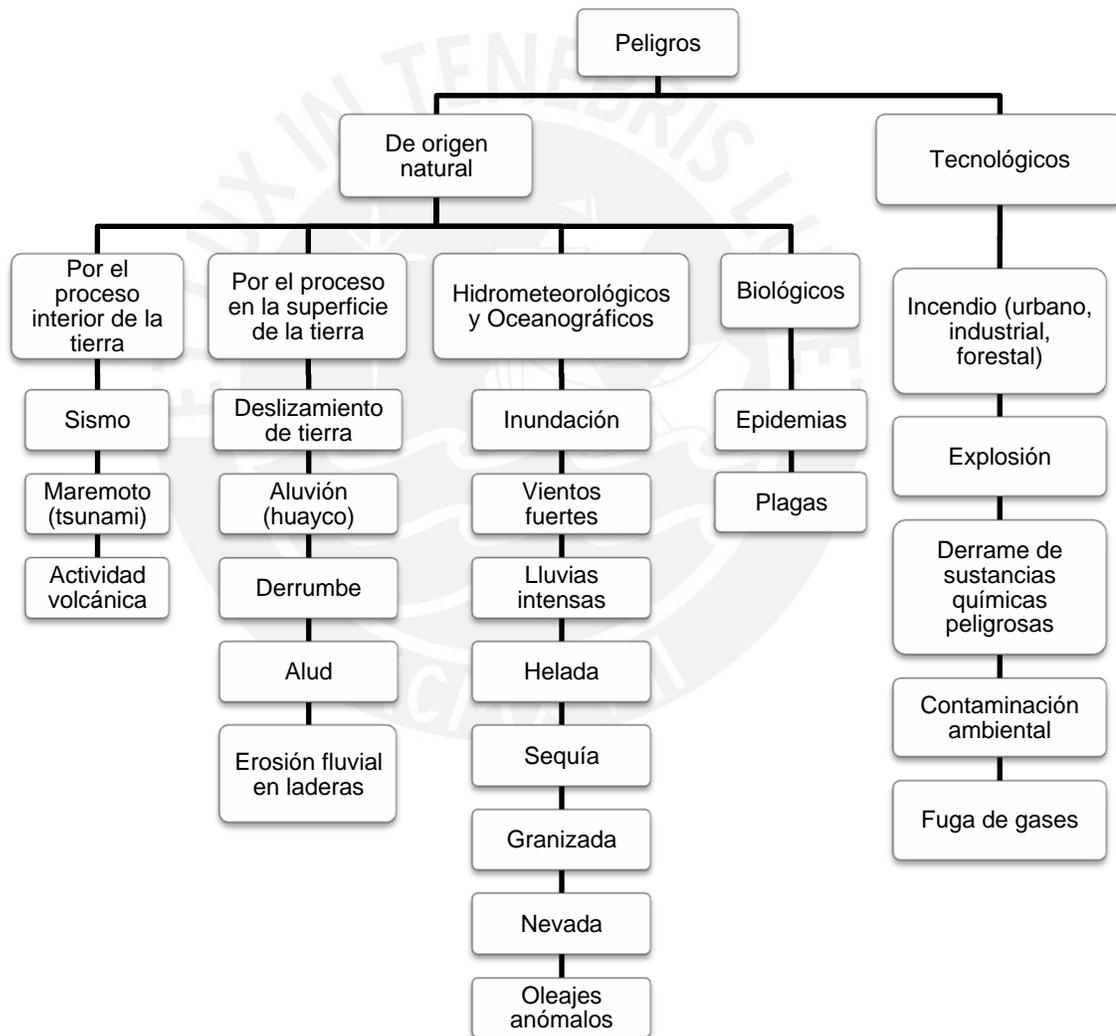


Figura 1. 1: Clasificación de los principales peligros  
Fuente: INDECI (2009)  
Elaboración propia

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Defensa Civil (2009). *Gestión del Riesgo de Desastres para la Planificación del Desarrollo Local*.

### 1.1.3 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es el grado en que un sistema (grupo humanos, ecosistema, etc.) se ve expuesto a sufrir daños, ante un peligro; así como la capacidad de recuperarse del impacto negativo del mismo. La UNISDR (2009) la define como el conjunto de características o circunstancias en un sistema que lo hacen susceptible a sufrir los efectos de un peligro.

Los dos tipos básicos de vulnerabilidad son la económica y la física. La primera es característica de las personas de bajos recursos y se refiere a la incapacidad de protegerse mejor y de recuperarse ante un peligro debido a las limitaciones económicas. La vulnerabilidad física se refiere a la susceptibilidad ante el peligro, de un grupo humano o ambiente, debido a sus características físicas (Ocola, 2007).

### 1.1.4 Riesgo

La UNISDR<sup>4</sup> (2004) define el riesgo como la probabilidad de que un peligro se convierta en un desastre, ocasionando pérdidas o daños.

El riesgo se expresa mediante la siguiente notación:

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Es decir, sólo existe el riesgo, en la medida en que estén presentes ambos factores, en el mismo espacio y tiempo.

De esto se puede concluir que si se conocen con certeza los peligros y vulnerabilidades a los que estamos expuestos, y si con ese conocimiento se trabaja para mitigarlos, entonces disminuye el riesgo.

Si bien no siempre es posible eliminar por completo el riesgo, el objetivo es reducirlo a un nivel aceptable, de manera que sus posibles consecuencias negativas sean tolerables para la sociedad. Este nivel de riesgo aceptable dependerá de la naturaleza del peligro y de los elementos expuestos a él. (Ocola, 2007).

---

<sup>4</sup> UNISDR: United Nations International Strategy for Disaster Reduction. [en línea]. Disponible en: <http://www.unisdr.org/2004/campaign/booklet-eng/Booklet-english.pdf>

Para llegar a este nivel de riesgo aceptable, es necesaria una gestión de reducción de riesgo, la cual se define como el esfuerzo sistemático de analizar y reducir los factores que son causa de desastres. Esta gestión también incluye una adecuada preparación ante una emergencia.

### 1.1.5 Resiliencia

El término resiliencia hace referencia a la capacidad de una sociedad para resistir y recuperarse de los efectos de un desastre de manera oportuna y eficiente, contando con los recursos necesarios para hacerlo, preservando y restaurando sus funciones y estructuras, luego de ocurrido el desastre. (UNISDR, 2009).

Lo que se busca en este estudio es que el Estado cuente con los recursos necesarios para abastecer a la población en caso de emergencia, de manera que las víctimas cuenten con lo necesario para subsistir y recuperarse del desastre. Los almacenes de abastecimiento entonces, permitirán tener una sociedad más resiliente ante una emergencia, ya que el primer paso para la recuperación luego del desastre, es mantener la integridad física de los afectados.

## 1.2 La logística y la gestión de la cadena de suministro

La RAE (2001) define la logística como el “conjunto de medios y métodos necesarios para llevar a cabo la organización de una empresa, o de un servicio, especialmente de distribución”. Una definición más completa nos dice que la logística es una parte de la gestión de la cadena de suministro, que genera valor mediante el control del flujo y el posicionamiento eficiente y efectivo del inventario (bienes, servicios e información) desde el punto de origen al punto de consumo. (Bowersox et al., 2002).

La gestión de la cadena de suministros, va más allá de la logística; incluye las funciones de producción, logística y marketing y las interacciones que se llevan a cabo entre las empresas que forman parte del flujo del producto.

Conseguir que los diferentes actores de una cadena, trabajen de manera conjunta, requiere una visión que va más allá de la logística: requiere de una gestión integrada de la cadena de suministro. Este enfoque permitirá llevar el desempeño logístico a un nivel inter-organizacional, lo cual es necesario en la logística de ayuda humanitaria. (Tomasini y Van Wassenhove, 2009).

La administración de la cadena de suministro implica entonces, una coordinación sistemática y estratégica de las funciones tradicionales de una organización y de las tácticas sincronizadas de todos los actores involucrados en la cadena, que permita combinar los flujos de productos, servicios, información, financiero, de personas, y de conocimientos en un plan de ejecución sin fallas que produzca una respuesta adecuada, en el momento adecuado y en las condiciones deseadas, con el fin de crear valor para el producto. Estos conceptos se muestran en la figura 1.2

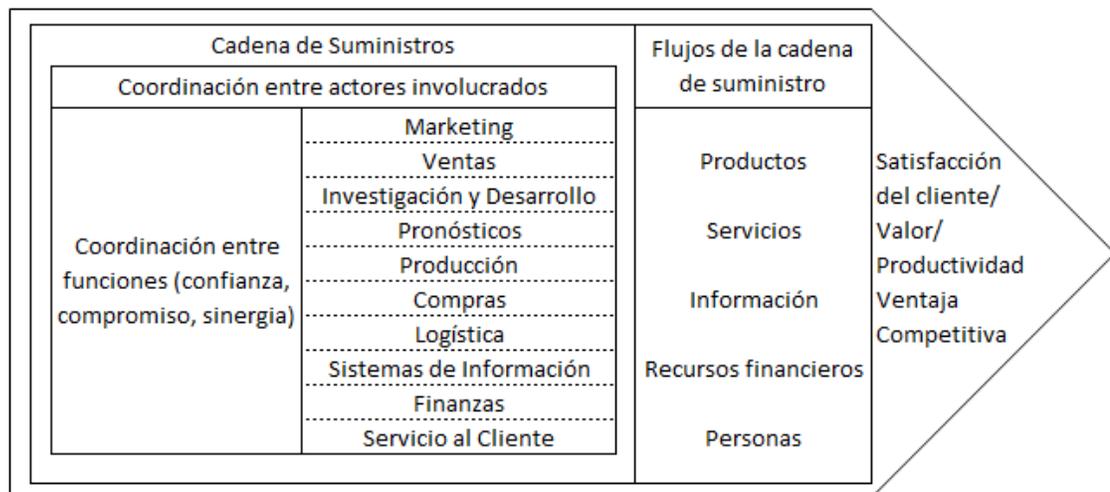


Figura 1. 2: Gestión de la cadena de suministro  
Fuente: Ballou, R. (2004)  
Elaboración propia

Para que esto pueda darse, Tomasini y Van Wassenhove (2009) afirman que la cadena de suministro debe tener tres características principales:

- Agilidad: “es la capacidad de crecer y prosperar en un entorno de cambio constante e imprevisible” (Oloruntoba y Grey, 2006, p.116), involucra también la habilidad de responder rápidamente ante los cambios inesperados o perturbaciones externas.
- Adaptabilidad: habilidad de ajustar la cadena de suministro a los requerimientos actuales del mercado y al ambiente en el que se desarrolla.
- Alineamiento: consiste en crear las condiciones necesarias en que pueda desarrollarse un sentido de unidad entre todos los actores de la cadena, de

manera que los objetivos de cada uno de ellos estén alineados y respondan a los mismos intereses.

La consecución de los objetivos de una determinada cadena de suministro sólo será posible mediante el cumplimiento de las características mencionadas, así como de una administración efectiva de la misma, lo que consiste en llevar a cabo, con éxito, tres tareas fundamentales: planear, organizar y controlar. En el caso de la administración de la cadena de suministro, la planeación es una etapa fundamental para la consecución de los objetivos de la misma, ya que es en ella, donde se toman las decisiones referentes a las estrategias de inventario, localización de instalaciones y transporte.

En la figura 1.3, se muestra el triángulo de la planeación que involucra las actividades fundamentales de la administración de la cadena de suministro.



Figura 1. 3: Triángulo de la planeación

Fuente: Ballou, R. (2004)

Elaboración propia

La estrategia de localización, no sólo involucra la disposición geográfica de las instalaciones, sino también el número y tamaño de las mismas, y la asignación de demanda del mercado para cada una de ellas. La estrategia de manejo de inventarios

hace referencia a la administración de los niveles de inventario, mediante métodos de reabastecimiento y control de los mismos. Finalmente, la estrategia de transporte incluye la selección del modo de transporte y el establecimiento y programación de rutas para lograr un flujo efectivo de productos. Las decisiones con respecto a ubicación, inventario y transporte, deben tomarse de manera integrada, pues cada área de decisión se interrelaciona con las demás.

### 1.2.1 Estrategia de inventario

Como ya se mencionó, la estrategia de inventarios hace referencia a la administración de los niveles de inventario. El primer paso para definir esta estrategia es elaborar un pronóstico de los niveles de demanda; este es un dato de entrada vital para la planeación y control de las actividades de la gestión de la cadena de suministro, ya que los niveles de demanda afectan los niveles de capacidad, las necesidades financieras y la estructura de la organización. En este caso, el inventario tendrá que ser, necesariamente, el suficiente para abastecer a toda la población de Lima Metropolitana y Callao, afectada por una emergencia.

#### a) Proyección de la población

Para esta tesis, la demanda en cuestión es igual a la población vulnerable que necesitará ser abastecida con los suministros de emergencia. Es por ello, que se utilizará el método de proyección histórica. Este es útil cuando se dispone de una cantidad de información histórica razonable y las variaciones en el tiempo son estables y bien definidas. Ambos requisitos se cumplen en los datos de población, por lo que se considera razonable la aplicación de este método.

El último censo realizado a nivel nacional fue en el año 2007. A partir de este punto, se realizará la proyección histórica, que permitirá definir la población en situación de vulnerabilidad en Lima Metropolitana y Callao, que se necesitaría atender en caso de una emergencia en la actualidad.

El INEI<sup>5</sup> utiliza métodos matemáticos para realizar los cálculos que permitan obtener la estimación de la población para un periodo determinado de tiempo. La elección del

---

<sup>5</sup> Instituto Nacional de Estadística e Informática. [en línea].  
<http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0335/cap2.HTM>

método a elegir se realiza de acuerdo con la tendencia demográfica que se haya observado en el país en los últimos años. Por otro lado, debe considerarse que estos métodos sólo son efectivos si los periodos de proyección son cortos (5 años o menos por lo general). A continuación, se presentan los métodos de proyección utilizados con base en la tendencia demográfica.

1) Método lineal:

Este método sólo se utiliza para proyecciones en periodos muy cortos, debido a que implica crecimientos absolutos constantes, lo que no se cumple demográficamente. Para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$N_t = N_0(1 + r * t)$$

Donde:

$N_0$  y  $N_t$  = Población al inicio y al final de período

$t$  = Tiempo en años entre  $N_0$  y  $N_t$

$r$  = tasa de crecimiento observado en el periodo. Se calcula mediante la fórmula:

$$r = \frac{\frac{N_t}{N_0} - 1}{t}$$

2) Método geométrico o exponencial:

Este método supone que la población crece proporcionalmente cada periodo de tiempo. La fórmula a utilizar es la siguiente:

$$N_t = N_0(1 + r)^t$$

Donde:

$N_0$  y  $N_t$  = Población al inicio y al final de período

$t$  = Tiempo en años entre  $N_0$  y  $N_t$

$r$  = tasa de crecimiento observado en el periodo. Se calcula mediante la fórmula:

$$r = \left(\frac{N_t}{N_0}\right)^{\frac{1}{t}} - 1$$

### 3) Método parabólico:

Este método puede ser aplicado, cuando se dispone de estimaciones de la población de tres o más fechas y la tendencia no es lineal ni geométrica. Para ello, se utiliza una ecuación polinómica de segundo grado. La fórmula es la siguiente:

$$N_t^2 = a + bx + ct$$

Donde:

$t$  = Intervalo cronológico en años, medido desde fecha de la primera estimación

$N_t$  = Es el volumen poblacional estimado  $t$  años después de la fecha inicial.

$a, b, c$  = Constantes. Se calculan despejando la ecuación para las fechas pasadas.

### b) Método de gestión de inventarios

En el caso de los almacenes para casos de emergencia, la cantidad de inventario deberá ser la suficiente para abastecer a toda la población en situación de vulnerabilidad asignada a un almacén en particular. Dicho esto, para este caso, no es posible trabajar con los sistemas de gestión de inventarios más usados, como el lote económico (EOQ), el método *Just In Time*, el modelo de revisión periódica (POQ), entre otros. Estos métodos determinísticos no aplican debido al factor de inmediatez no pronosticable de la demanda esperada y a que los productos sólo serán renovados si se han utilizado, habiendo ocurrido una emergencia, o si han quedado obsoletos.

Los productos en el almacén de abastecimiento son muy variados, pues van desde abrigo hasta enseres y es necesario determinar el periodo de renovación de los inventarios, según el tipo de artículo. El método ABC permite “diferenciar la gestión de inventario en dependencia de las características de los artículos que la componen”. (Parada, 2009, p.171).

El método ABC convencional toma en cuenta criterios de importancia económica para una empresa. Sin embargo, en el caso de los almacenes de abastecimiento, no hay ganancia alguna, por lo que el método ABC multicriterio sería el más adecuado, ya que toma en cuenta criterios de valor de consumo, importancia del artículo, movimiento, dificultad en el aprovisionamiento, entre otros. La aplicación de este método puede darse según uno o varios parámetros base seleccionados. A continuación, se muestra el esquema general del enfoque multicriterio (figura 1.4).

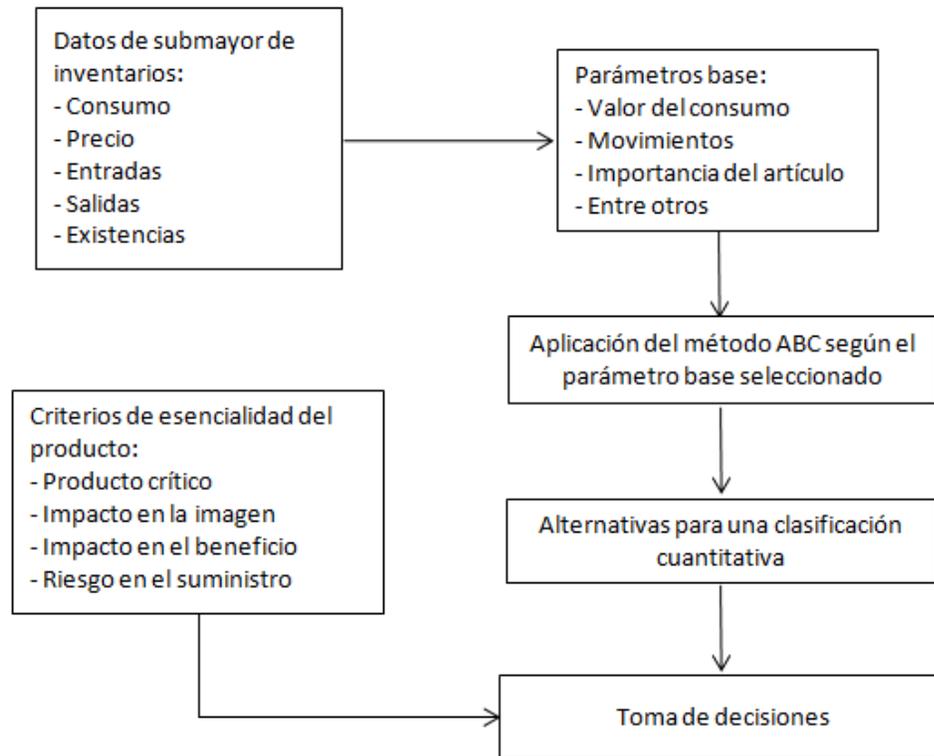


Figura 1. 4: Esquema del enfoque multicriterio  
Parada, O. (2009)  
Elaboración propia

El parámetro base a utilizar para la renovación de inventarios, podría ser en este caso, la obsolescencia de los artículos en el almacén.

El ejemplo más claro para el uso de este método, se da en los almacenes de la Cruz Roja. En ellos se tienen *kits* de alimentos, ropa, equipos de telecomunicaciones, entre otros. En el caso de los alimentos, el principal factor a considerar es la fecha de vencimiento de los productos y su poca tolerancia al calor o la humedad, por lo que

deberían renovarse respetando la fecha de caducidad de los mismos, pero la revisión de los stock debe ser semanal, para verificar que la temperatura no los dañe o que no hayan roedores u otros animales. En el caso de los equipos de telecomunicaciones, la revisión podría realizarse cada seis meses, el factor principal sería en este caso la dificultad en el aprovisionamiento, pues son artículos como antenas, equipos de radio frecuencia, que en algunos casos son importados y podrían tener un mayor *lead time*. Sin embargo, pueden tenerse almacenados por años sin que deban ser reemplazados, lo contrario a lo que ocurría con los alimentos.

### 1.2.2 Estrategia de ubicación de almacenes

Las decisiones sobre ubicación implican tanto la disposición geográfica, como el número y tamaño de las instalaciones que se utilizarán. Para resolver el problema de la ubicación de instalaciones, se deben tomar en cuenta los movimientos del producto y los costos asociados, desde los puntos de almacenamiento hasta la ubicación de los clientes. Esta parte de la planeación será el foco del presente estudio.

Ballou (2004) clasifica los problemas de ubicación en cuatro categorías:

- 1) Fuerza impulsora: la ubicación se ve principalmente determinada por un factor crítico. Por ejemplo, en el caso de los almacenes de abastecimiento, estos deberían encontrarse en una zona no vulnerable, desde la cual pueda abastecerse a la mayor cantidad de personas, es decir, debe estar en una zona céntrica, por lo que las fuerzas impulsoras serían la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta.
- 2) Número de instalaciones: se debe considerar la división de la demanda entre los diferentes almacenes, así como los costos de transporte.
- 3) Opciones discretas: los métodos de ubicación continuos analizan todas las ubicaciones posibles en un espacio continuo. Sin embargo, los métodos de ubicación discretos (más usados en la práctica) seleccionan la mejor ubicación de un grupo de alternativas identificadas por criterios de sensatez. En el caso de los almacenes de abastecimiento, por ejemplo, no sería sensato colocar uno cerca a una zona de derrumbes.

- 4) Horizonte de tiempo: los métodos estáticos se utilizan para planes de ubicación de un solo periodo, en cambio los métodos dinámicos, son usados para planes que involucran varios periodos. Esto sucede cuando las instalaciones suponen una inversión fija y los costos de una reubicación son altos.

### 1.2.3 Estrategia de transporte

Esta estrategia no sólo involucra la selección del mejor método de transporte de los productos, sino también el diseño de rutas más adecuado para encontrar el mejor camino que debería seguir un vehículo en la red de transporte que minimice el tiempo, la distancia y los costos, maximizando la utilización del equipo de transporte. (Bowersox et al., 2002).

Según Bowersox et. al (2002), en el desempeño del transporte, tres factores son fundamentales:

- Costo: incluye el costo del envío de la carga de un punto a otro, así como los gastos relacionados al mantenimiento del inventario en tránsito.
- Velocidad: determina el tiempo requerido para completar el traslado de la carga de inventario, y por lo tanto, el tiempo que este se encuentra no disponible. Un aspecto crítico será elegir el medio de transporte que combine adecuadamente costo y velocidad.
- Consistencia en el transporte: se refiere a las variaciones en el tiempo que se necesita para realizar un determinado movimiento (mismo origen y fin) en diferentes ocasiones. Cuando existe deficiencia en este aspecto, los stocks de seguridad se hacen aún más necesarios para prevenir roturas de stock. La velocidad y la consistencia determinan la calidad del transporte.

### 1.3 La logística humanitaria y la gestión de desastres

En el caso de la logística humanitaria y la gestión de desastres, aplican todos los conceptos explicados anteriormente; sin embargo, la diferencia fundamental radica en que en este caso existen elementos imposibles de determinar de manera previa, lo que hace mucho más complicada la gestión de esta cadena, principalmente por temas de incertidumbre, riesgo e impacto. Es imposible conocer cuándo va a darse un desastre, por lo que la cadena de suministro humanitaria debe estar en condiciones de ponerse en funcionamiento en cualquier momento. Cualquier ineficiencia en esta cadena incrementará el riesgo de perder un mayor número de vidas humanas y extenderá el tiempo de recuperación de la población afectada.

Para poder definir una acción como humanitaria, ésta debe tener las siguientes características (Tomasini y Van Wassenhove, 2009):

- Humanidad: implica mitigar el sufrimiento humano, donde sea que éste ocurra.
- Neutralidad: significa que la ayuda debe ser brindada sin importar quién la solicite, sin tomar partido por un grupo u otro.
- Imparcialidad: la ayuda debe ser brindada sin ningún tipo de discriminación, priorizando los casos más urgentes.

La unión de estas características, permitirá crear un espacio adecuado para la labor humanitaria. Este espacio humanitario se define como una zona donde todas las personas estén protegidas de la violencia y puedan actuar libremente. Este concepto se encuentra ilustrado en la figura 1.5.

De las definiciones presentadas, podemos decir que la logística humanitaria es el proceso de planear, implementar y controlar el flujo eficiente de suministros, información y recursos en general, en caso de desastres, para aliviar el sufrimiento de las personas vulnerables. (Thomas y Kopczak, 2005).

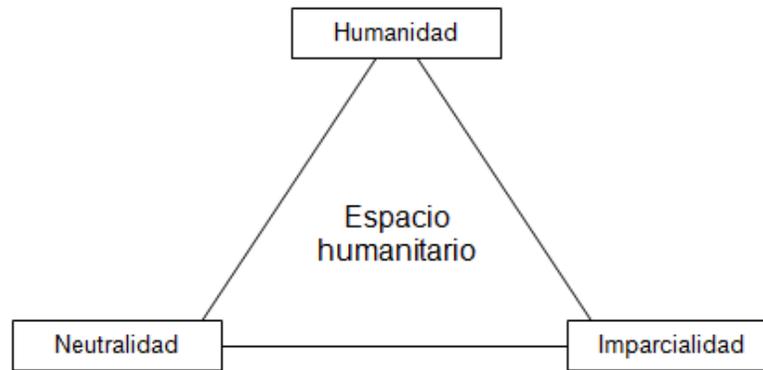


Figura 1. 5: El espacio humanitario y sus principios  
Fuente: Tomasini y Van Wassenhove (2009).  
Elaboración propia

Esta gestión de la cadena de ayuda humanitaria o gestión de desastres involucra las cuatro etapas que se mencionan a continuación<sup>6</sup>:

- a) Mitigación: aplacar el impacto de un desastre mediante la implementación de leyes y mecanismos que permitan reducir el riesgo y la vulnerabilidad.
- b) Preparación: implementación de una adecuada estrategia que permita implementar un plan de respuesta efectivo, una vez producido el desastre. Esta etapa involucra actividades que se realizan con el fin de tener mejores capacidades en caso de una emergencia. Sus principales elementos se muestran en la figura 1.6.
- c) Respuesta: brindar la ayuda necesaria, una vez que se ha producido el desastre. Hace referencia a las medidas que se ejecutan una vez producido el desastre, aplicando los procedimientos establecidos. En esta etapa las acciones clave son cuatro: conocimiento de la situación, activación y despliegue de recursos y capacidades, coordinación de acciones de respuesta y cierre de operaciones como se ilustra en la figura 1.7.

<sup>6</sup> Plan de Operaciones de Emergencia para el área metropolitana de Lima y la Región del Callao.



Figura 1. 6: Preparación ante emergencias  
Fuente: INDECI, 2011



Figura 1. 7: Respuesta a emergencias  
Fuente: INDECI, 2011

- d) Rehabilitación: se busca retornar a un estado de normalidad, restableciendo las condiciones de vida, infraestructura y seguridad en las zonas afectadas, pero mejorando los aspectos que puedan reducir el riesgo y la vulnerabilidad ante un nuevo desastre.

Dentro de esta gestión, la etapa más importante es la preparación, pues permite brindar un adecuado plan de respuesta en caso de una emergencia. En esta etapa existen cinco elementos claves para obtener resultados positivos<sup>7</sup>:

- Recursos humanos: es importante contar con personal preparado. Este es un punto complicado, pues los voluntarios no siempre están capacitados y los profesionales en este tema son pocos.
- Gestión del conocimiento: es necesario aprender de experiencias pasadas, y comunicar este aprendizaje a otros, de manera que el conocimiento llegue a más personas.
- Logística: la gestión logística es el elemento central y más crítico de la etapa de preparación, pues de ella dependerá llevar la ayuda en el lugar y momento correctos.
- Recursos financieros: la liquidez financiera es importante, así como la recepción de donaciones.
- Comunidad: la colaboración de todos los actores del ecosistema humanitario (gobiernos, organizaciones humanitarias, etc.) es de vital importancia, pues su conocimiento conjunto es lo que hará posible una adecuada preparación.

Conseguir que la gestión de la cadena de suministro sea eficiente es un trabajo complicado; sin embargo, como se explicará a continuación, esto es aún más difícil en el caso de la ayuda humanitaria, por las características que presenta esta cadena (Tomasini y Van Wassenhove, 2009):

- Objetivos ambiguos: en el campo de la ayuda humanitaria, las acciones son espontáneas, poco coordinadas y son realizadas bajo la presión y la responsabilidad de salvar vidas. Es por ello, que conseguir el grado de compromiso requerido de parte de los actores involucrados es muy difícil.

---

<sup>7</sup> Tomasini, R. y Van Wassenhove L. (2009). *Humanitarian Logistics*.

- Recursos limitados: en primer lugar, el recurso humano porque se ve expuesto a una gran demanda tanto física como emocional; por otro lado, la cantidad de personal capacitado es limitada. En segundo lugar, está el capital, pues los fondos no suelen estar disponibles a tiempo, o no son suficientes. Finalmente, tenemos la infraestructura, que se ve afectada por el desastre, o resulta ser insuficiente.
- Alta incertidumbre: la incapacidad de obtener los recursos necesarios a tiempo y el escenario no previsible en el que ocurre la emergencia, genera un sentimiento de incertidumbre en la situación, pues los resultados dependen de estos factores imprevistos y dinámicos que son únicos en cada situación.
- Urgencia: existen un gran número de tareas por realizar, se deben realizar en el menor tiempo posible y con recursos escasos.

Por otro lado, es importante tener en cuenta que una vez que ha ocurrido el desastre, la planeación y coordinación de las actividades dependerán también de la etapa en la que se encuentre el desastre. Este pasa por tres etapas en términos de la intensidad de tareas a realizar: creciente, sostenida y decreciente.

En la primera fase, el tiempo es crítico, deben eliminarse todos los cuellos de botella, de manera que la ayuda pueda llegar rápidamente. Se requiere una coordinación por comando, el cual describe un enfoque centralizado donde un líder gestiona recursos, habilidades e información y genera soluciones.

En la fase sostenida, cuando el factor tiempo ya no es tan apremiante, se requieren coordinaciones consensuadas donde las soluciones sean coordinadas y aceptadas por los actores involucrados.

Finalmente, en la última fase, las coordinaciones son más esporádicas, pues ya sólo se requiere coordinar los últimos detalles de la ayuda e intercambiar ideas y consejo entre organizaciones.

### 1.3.1 Estructura de la cadena de ayuda humanitaria

Las características de una cadena de suministro de ayuda humanitaria varían de acuerdo al tipo de desastre y a los actores involucrados. Sin embargo, existen elementos comunes a todas ellas (Balcik et al., 2010):

- Abastecimiento de suministros: los suministros pueden ser obtenidos de manera local o global. En ambos casos deben considerarse la cantidad y calidad de suministros necesarios, los *lead times* involucrados, costos logísticos (es necesario administrar el presupuesto disponible en estos casos), y la capacidad de transporte. También se pueden obtener suministros mediante donaciones; sin embargo, es importante considerar que un exceso de las mismas (sobre todo cuando se reciben donaciones innecesarias) podría ser contraproducente, pues se consume el tiempo del personal, recursos logísticos y producen congestión en el sistema.
- Almacenamiento: los suministros, en muchos casos, son almacenados de manera preventiva ante un desastre en centros de distribución, predefinidos de manera estratégica. Asimismo, se pueden establecer puntos de abastecimiento temporales que sólo serán utilizados como apoyo para las operaciones logísticas de ayuda, una vez ocurrido un desastre.
- Transporte: este es uno de los elementos principales en la cadena de ayuda humanitaria y también uno de los más desafiantes, debido a una serie de factores: los daños originados en la infraestructura, recursos limitados de transporte, el volumen de suministros a ser transportados y la dificultad que se presenta para acceder a las áreas afectadas.

En la figura 1.8, se presentan todos los componentes descritos anteriormente:

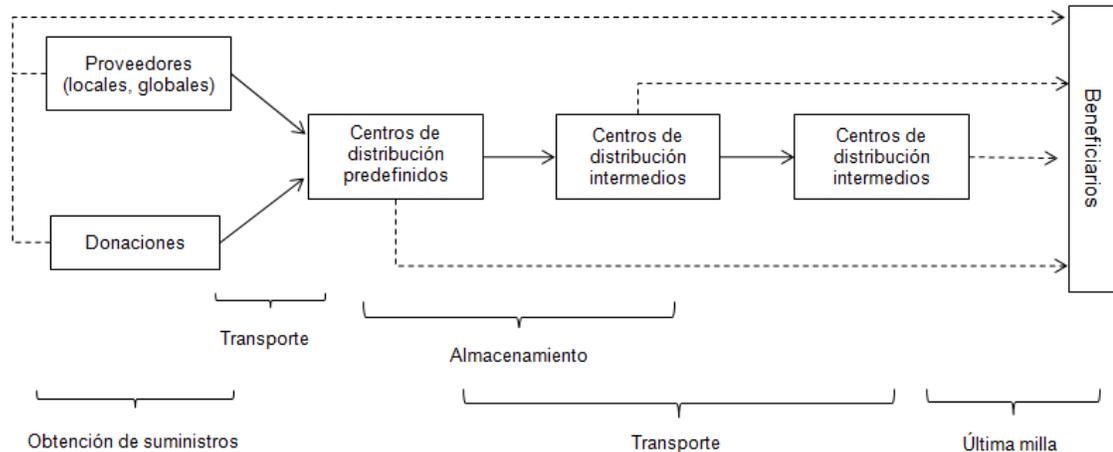


Figura 1. 8: Estructura de la cadena de ayuda humanitaria

Fuente: Balcik et al. (2010)

Elaboración propia

### 1.3.2 Gestión del riesgo de desastres

El INDECI ha definido cuatro procesos dentro de la gestión del riesgo de desastres para el Sistema Nacional de Defensa Civil (SINADECI)<sup>8</sup>:

- 1) Estimación del riesgo: implica el levantamiento de información sobre los peligros naturales y/o tecnológicos de una determinada zona, que permita analizar las condiciones de vulnerabilidad y determinar el riesgo esperado.
- 2) Reducción del riesgo: “Agrupa las acciones de prevención, disminución de vulnerabilidades y preparación” (INDECI, 2009, p.22). La prevención hace referencia a las actividades diseñadas para protegerse contra los efectos de un desastre.
- 3) Respuesta: acciones realizadas una vez que se ha suscitado la emergencia, con la finalidad de mitigar sus efectos. Implica la evaluación de daños y la asistencia de techo, abrigo y alimentos; así como, la normalización de actividades en la zona afectada.

<sup>8</sup> Instituto Nacional de Defensa Civil (2009). *Gestión del Riesgo de Desastres para la Planificación del Desarrollo Local*.

- 4) Reconstrucción: recuperación del estado normal que se tenía antes de ocurrir el desastre, tomando en cuenta medidas de prevención, con la finalidad de evitar una situación similar o que las proporciones del desastre sean menores. Esta etapa es clave en la gestión del riesgo, pues no sólo se trata de la solución efectiva ante un desastre, sino de estar adecuadamente preparado, mediante las lecciones aprendidas en desastres anteriores.

### 1.3.3 Indicadores de la gestión de desastres

En el ámbito de la Gestión de Desastres, es importante destacar que ésta no sólo puede ser llevada a cabo de manera ambigua, sino que debe ser adecuadamente medida mediante indicadores que permitan conocer el estado en el que se encuentra tanto a nivel nacional como internacional. En el presente estudio, se mostrarán los indicadores propuestos por las Naciones Unidas y la Organización Mundial de la Salud.

En mayo de 2012, la OMS celebró una Conferencia de Expertos en temas de salud, desarrollo y ambiente, en el marco de la Conferencia de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. En esta conferencia, se identificaron indicadores básicos de salud que permiten identificar el progreso en un enfoque más integrado de la Gestión de Desastres (OMS, 2012). Entre los más importantes tenemos los siguientes:

- Número y porcentaje de muertes y damnificados provocados por los desastres, reportados anualmente a nivel nacional e internacional.
- Porcentaje de uso de tierra, construcción, infraestructura y planes de desarrollo económico que incorporan la evaluación del impacto de posibles desastres.
- La población media por unidad de salud en un país (indicador de referencia menor a 10 000 personas por unidad).
- Número de países que cuentan con un programa nacional de gestión de riesgo de desastres y un órgano regulador y coordinador, con énfasis en poblaciones vulnerables.

Por otro lado, el Marco de Acción de Hyogo, adoptado en el año 2005 en la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres<sup>9</sup> (EIRD, 2008), resalta también la importancia de la evaluación del riesgo y la creación de comunidades más resilientes y preparadas ante los desastres. Para ello, propone algunos de los indicadores que se mencionarán a continuación. La escala de calificación para los mismos es de 1 a 5, donde 1 significa “menos logrado” y 5, “más logrado”.

- Existencia de políticas y marcos nacionales, institucionales y jurídicos para la reducción del riesgo de desastres, con responsabilidades y capacidades descentralizadas a todo nivel.
- Las evaluaciones de los riesgos nacionales y locales, basadas en datos sobre las amenazas y las vulnerabilidades, están disponibles e incluyen valoraciones del riesgo para cada sector clave.
- Hay disponible información relevante sobre los desastres y la misma es accesible a todo nivel y para todos los grupos involucrados. La reducción del riesgo de desastres es un objetivo integral de las políticas y los planes relacionados con el medio ambiente, lo que incluye la gestión de los recursos naturales y el uso del suelo, al igual que la adaptación al cambio climático.
- Existencia de reservas financieras y mecanismos de contingencia habilitados para respaldar una respuesta y una recuperación efectivas cuando sean necesarias.

#### 1.3.4 La Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y la Media Luna Roja

La Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja es la mayor organización humanitaria del mundo. Se encarga de dirigir y controlar la asistencia internacional a las víctimas de desastres naturales y tecnológicos, refugiados y a los afectados por emergencias<sup>10</sup>.

<sup>9</sup> Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. (2008). Disponible en: [http://bvpad.indec.gov.pe/doc/cds/CD\\_MAH\\_R/el\\_salvador.pdf](http://bvpad.indec.gov.pe/doc/cds/CD_MAH_R/el_salvador.pdf).

<sup>10</sup> Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y la Media Luna Roja. Disponible en: [http://cruzroja.org/temp\\_site/restaurado/index.php?option=com\\_content&view=article&id=109&Itemid=105](http://cruzroja.org/temp_site/restaurado/index.php?option=com_content&view=article&id=109&Itemid=105)

Parte de la labor que realiza la Cruz Roja consiste en brindar productos de primera necesidad a los afectados en caso de una emergencia. Para ello, ha establecido un catálogo con los productos esenciales que se necesitarían para dar una rápida primera respuesta, los cuales son almacenados en tres unidades logísticas que cubren los requerimientos regionales de acuerdo a la siguiente división geográfica:

- Panamá - América
- Dubái – Europa, África, Medio Oriente y África del Norte
- Kuala Lumpur – Asia y el Pacífico

Estos productos se proveen en forma de *kits* o ERU's (*Emergency Response Units*) con tipos de productos específicos, que son vendidos a un precio por debajo del precio de mercado, y sólo en casos de emergencia. Existen *kits* de campo personales, de transporte, telecomunicaciones, entre otros. A continuación, se detallan las políticas de almacenamiento de los *kits* personales, y los principales productos que los componen. El detalle puede revisarse en el anexo 1.

#### Productos alimentarios

Para garantizar la calidad de los productos alimentarios, la Cruz Roja se basa en estándares reconocidos a nivel mundial como el ISO o el *Codex Alimentarius* publicado por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura) y la OMS (Organización Mundial de la Salud), que dan las especificaciones mínimas necesarias para trabajar con alimentos.

Con respecto al almacenamiento de los alimentos, se debe tener un estricto cuidado debido a insectos y roedores, la fecha de caducidad de los productos y la humedad. Es por ello, que la revisión de estos stocks debe hacerse como mínimo de manera semanal, mientras que cada tres meses, es necesario mover el stock y fumigar los almacenes.

#### Productos no alimentarios

Dentro de estos productos encontramos artículos de identificación con el logo de la Cruz Roja, artículos domésticos (fósforos, baterías, cajas, bolsas de basura, entre otros), productos de higiene, artículos de cocina, de uso personal (repelente, casacas,

guantes entre otros), de seguridad (alarmas y extintores) y artículos de cobijo y muebles (sillas plegables, carpas, bolsas de dormir, entre otros).

En el caso de estos productos, el periodo entre revisiones puede ser de hasta tres meses, mientras que los almacenes deben ser fumigados, al menos cada seis meses. Se debe proteger los artículos de la humedad, por lo que los almacenes deben encontrarse en lugares secos y con ventilación adecuada.

## 1.4 Herramientas de la investigación de operaciones

### 1.4.1 La investigación de operaciones

La investigación de operaciones tiene sus raíces en servicios militares prestados durante la Segunda Guerra Mundial. En este contexto, “existía la urgente necesidad de asignar recursos escasos a las distintas maniobras militares y a las actividades que componían cada operación de la manera más eficaz” (Hillier & Lieberman, 2006, p.1), razón por la cual, se reclutó a un grupo de científicos para que hicieran una ‘investigación de operaciones’ militares y aplicaran el método científico a problemas estratégicos y tácticos que se presentaban.

Actualmente, la investigación de operaciones es aplicada a la conducción y coordinación de actividades en una gran variedad de áreas. El proceso es similar al usado por el método científico: se empieza con la observación y la formulación del problema y se recolectan datos; luego, se construye el modelo matemático; y finalmente, se procede a probar o validar el modelo. Este debe ser una representación precisa de la situación real, de manera que las conclusiones obtenidas del modelo, sean válidas también en la realidad.

Como resultado de este modelo, la Investigación de Operaciones busca hallar una mejor solución o solución óptima al problema, identificando el mejor curso de acción posible.

A continuación, se explican las fases regulares de un estudio de investigación operativa:

- a) Definición del problema y recolección de datos: en esta etapa, se determinan los objetivos específicos del sistema, las restricciones, el tiempo disponible,

entre otros elementos esenciales para empezar el estudio. Asimismo, se procede a la recolección de datos relevantes que permitan lograr una comprensión integral del problema; mientras más exactos sean los datos de entrada, mejores y más exactas serán las conclusiones que se obtenga del modelo.

- b) **Formulación del modelo matemático:** un modelo representativo es de gran importancia en un estudio, pues permite extraer la esencia del problema, haciendo más sencillo su análisis. Este modelo, en el caso de la investigación operativa, contiene variables de decisión, que representan las decisiones a tomar; con estas variables, se formula una función objetivo que refleja la medida de desempeño del problema. Asimismo, se expresan las condiciones y limitaciones que deben tener los valores que asumen las variables, estas son llamadas restricciones. Finalmente, todos los coeficientes empleados reciben el nombre de parámetros. Cabe resaltar que estos suelen obtenerse con base en estimaciones, por lo que es necesario analizar como cambiaría el valor de las variables de decisión, si se modificaran los parámetros; este proceso es conocido como análisis de sensibilidad.
- c) **Obtención de soluciones a partir del modelo:** consiste en el desarrollo de un procedimiento que permita hallar una solución a partir del modelo formulado. En esta etapa, también se incluye el análisis postóptimo, para conocer qué sucedería con la solución óptima, si se introducen cambios en el modelo. Es aquí donde se realiza el análisis de sensibilidad.
- d) **Prueba del modelo:** antes de usar el modelo, este debe ser probado exhaustivamente, para poder hallar y corregir todas las fallas posibles. A este proceso se le conoce como validación del modelo.
- e) **Implementación:** una vez que se ha validado el modelo, se puede proceder a implementarlo, llevando los resultados obtenidos al campo real del problema.

#### 1.4.2 Teoría de la programación lineal

“La programación lineal involucra la planeación de las actividades, para obtener un resultado entre todas las alternativas factibles” (Hillier y Lieberman, 2006, p.25). Para

explicar esta teoría, se utilizará un ejemplo sencillo, que permita ilustrar todos los elementos de este modelo.

Se tiene el siguiente problema<sup>11</sup>: se desea conocer el número de lotes de cada producto que deben ser fabricados por una empresa, para maximizar sus ganancias.

Los datos de la empresa son los siguientes:

Planta	Tiempo de producción por lote (horas)		Tiempo de producción disponible a la semana (horas)
	Producto 1	Producto 2	
1	1	0	4
2	0	2	12
3	3	2	18
Ganancia por lote (\$)	3000	5000	

En primer lugar, deben definirse las variables de decisión:

$x_1$  = número de lotes del producto 1 fabricados por semana

$x_2$  = número de lotes del producto 2 fabricados por semana

$Z$  = ganancia semanal en miles de dólares

En este caso, sólo existen 2 variables de decisión:  $x_1$  y  $x_2$ .

La función objetivo sería entonces:  $Z = 3x_1 + 5x_2$

Lo que se desea en este caso es maximizar la ganancia.

$$x_1 \leq 4$$

$$2x_2 \leq 12$$

Las restricciones del modelo son las siguientes:  $3x_1 + 2x_2 \leq 18$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Podemos apreciar que todas las funciones presentadas son lineales, por lo que este es un problema de programación lineal. Cabe resaltar, que mientras más variables de decisión y restricciones se tengan, la resolución del problema será más compleja.

<sup>11</sup> Tomado de Hillier, F. & Lieberman, G. (2006). *Introducción a la Investigación de Operaciones*.

### 1.4.3 Programación entera

El modelo de programación entera es un modelo de programación lineal que incluye la restricción de que las variables deben ser enteras. En algunos casos, sólo algunas variables son enteras, mientras que otras mantienen el principio de divisibilidad; este modelo recibe el nombre de programación entera mixta.

Además de la aplicación más común de usar este tipo de programación cuando se requiere que las variables sean número enteros (número de productos a fabricar, personal asignado a una determinada tarea, entre otros), su aplicación más importante se da en la resolución de problemas de toma de decisiones tipo sí o no. En estos casos, las variables de decisión, pueden tomar sólo dos valores, por lo que también se les denomina variables binarias<sup>12</sup>:

$x = 1$ , si la decisión es sí

$x = 0$ , si la decisión es no.

A continuación, se presenta un ejemplo de la aplicación de este tipo de programación (Hillier, 2010, p.430).

Una empresa evalúa la posibilidad de construir una nueva fábrica en Los Ángeles y/o San Francisco. También piensa construir un nuevo almacén, pero la decisión sobre el lugar en donde lo instalará está restringida a la ciudad donde se construya la nueva fábrica. En la siguiente tabla, se muestra el valor presente neto y el capital disponible es de \$ 10 millones.

Pregunta	Variable de decisión	Valor presente neto	Capital requerido
¿Construir la fábrica en Los Ángeles?	$x_1$	\$ 9 millones	\$ 6 millones
¿Construir la fábrica en San Francisco?	$x_2$	\$ 5 millones	\$ 3 millones
¿Construir el almacén en Los Ángeles?	$x_3$	\$ 6 millones	\$ 5 millones
¿Construir el almacén en San Francisco?	$x_4$	\$ 4 millones	\$ 2 millones

<sup>12</sup> Taha, H. (2004) Investigación de Operaciones.

### Solución

Función objetivo: Maximizar  $Z = 9x_1 + 5x_2 + 6x_3 + 4x_4$

Restricciones:

Capital disponible:  $6x_1 + 3x_2 + 5x_3 + 2x_4 \leq 10$

Las últimas dos decisiones son mutuamente excluyentes, pues sólo se construirá un almacén:  $x_3 + x_4 \leq 1$

Asimismo, dependen de las decisiones 1 y 2, pues la empresa construirá el almacén en una ciudad, sólo si la fábrica se ubica ahí. Entonces:

$$x_3 \leq x_1 \rightarrow x_3 - x_1 \leq 0$$

$$x_4 \leq x_2 \rightarrow x_4 - x_2 \leq 0$$

Finalmente:  $x_j$  es binaria, para  $j = 1, 2, 3, 4$

Utilizando el software Lingo, se obtienen los siguientes resultados:

$$x_1 = 1 \quad x_2 = 1 \quad x_3 = 0 \quad x_4 = 0$$

$Z = \$ 14$  millones

Según estos resultados, se construirán fábricas en Los Ángeles y San Francisco, pero no se instalarán almacenes. Este resultado permite maximizar el valor presente neto, siendo éste de \$ 14 millones.

## CAPÍTULO 2: LOGÍSTICA HUMANITARIA EN EL PERÚ

### 2.1 Desastres naturales en el Perú

#### 2.1.1 Características del Perú

El Perú se encuentra ubicado en la parte central y occidental de América del Sur; tiene una extensión de 1,285,215.6 km<sup>2</sup> y está dividido en 24 regiones, donde se concentra una población de 28 millones 220 mil 764 habitantes, según los resultados del último censo realizado por el INEI en el año 2007.

Nuestro país está localizado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, un sector con alta actividad sísmica con respecto al resto del mundo (figura 2.1). Por esta razón, uno de los fenómenos naturales que más afecta al país son los terremotos, los cuales a su vez, ocasionan otros fenómenos como maremotos, aluviones, deslizamientos, entre otros.



Figura 2. 1: Cinturón de Fuego

Un terremoto es “la vibración de la corteza terrestre ocasionada por la liberación de energía que se da al producirse movimientos de reajuste en las placas del globo terráqueo”.<sup>13</sup> Para medir su magnitud se utiliza la escala Richter, que mide la energía liberada en un movimiento telúrico; y para medir su intensidad (definida con relación a sus efectos más visibles), la escala Mercalli (vea anexo 2). En la figura 2.2 se mencionan los principales fenómenos geológicos causados por los sismos.

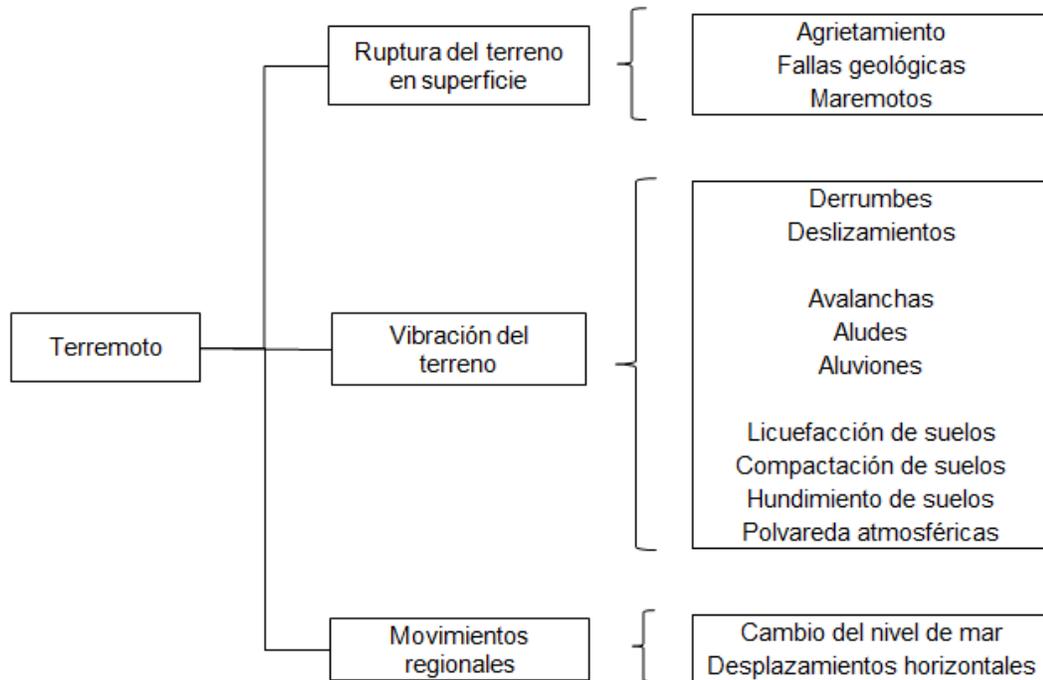


Figura 2. 2: Fenómenos geológicos de superficie causados por sismos

Fuente: Ocola, L. (2007)

Elaboración propia

<sup>13</sup> Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. Disponible en: <http://www.eird.org/esp/rincon-lectura/terremotos.htm>

## 2.1.2 Antecedentes históricos de desastres

A continuación, se presentan las principales emergencias ocurridas en nuestro país, ocasionadas por fenómenos naturales entre los años 1950-2012<sup>14</sup>.

Fecha	Principales lugares afectados	Desastre	Muertos	Número total de afectados	Estimación de daños (Millones de US\$)
30/01/2012	Ica	Movimiento sísmico		4435	
28/10/2011	Ica	Movimiento sísmico	1	2681	
01/04/2010	Ambo (Huánuco)	Deslizamiento de tierra	68	1054	
16/12/2009	Ayacucho	Deslizamiento de tierra	59	1153	
05/05/2009	Chamanacucho (La Libertad)	Deslizamiento de tierra	33	162	
02/03/2009	Carabaya (Puno)	Deslizamiento de rocas	33		
15/08/2007	Pisco, Ica, Chincha	Movimiento sísmico	593	658331	600
27/03/2006	Ubinas, Matalaque (Moquegua)	Erupción volcánica		3000	
09/08/2001	Antambaba (Apurímac)	Movimiento sísmico	4	3965	
23/06/2001	Arequipa, Moquegua, Tacna	Movimiento sísmico	145	349978	300
31/10/1999	(Ayacucho)	Movimiento sísmico		6580	
03/04/1999	Arequipa	Movimiento sísmico	1	1550	
29/01/1998	Choco (Arequipa)	Avalancha	31	7	
14/01/1998	Santa Teresa (Cusco)	Deslizamiento de tierra	14	2600	
20/02/1997	Canchis, La Convención (Cusco)	Deslizamiento de tierra	300	30000	
12/11/1996	Ica, Palpa, Nazca	Movimiento sísmico	14	75970	
21/02/1996	Costa del Perú	Tsunami	7	752	
24/07/1991	Arequipa	Movimiento sísmico	11	1535	
04/04/1991	Nueva Cajamarca (San Martín)	Movimiento sísmico	53	45750	
04/06/1990	Moyoyamba (San Martín)	Erupción volcánica		4000	
29/05/1990	Moyoyamba (San Martín)	Movimiento sísmico	200	100800	1
27/02/1990	San Miguel (Cajamarca)	Deslizamiento de tierra	33		
03/02/1988	Apurímac, Cusco, Madre de Dios	Deslizamiento de tierra	80	6025	
04/12/1987	San Juan Ubrique (Junín)	Deslizamiento de tierra	70		
09/01/1987	Chuschi (Ayacucho)	Deslizamiento de tierra	25	385	
28/03/1982	Cusco	Deslizamiento de tierra	200	30000	
31/12/1981	Yanacocha (Cajamarca)	Deslizamiento de tierra	70		
22/06/1981	Ayacucho, Huancavelica	Movimiento sísmico	10	12256	
16/02/1979	Arequipa	Movimiento sísmico	13	1100	
03/10/1974	Lima	Movimiento sísmico	78	43674	10
25/04/1974	Mayunmarca (San Martín)	Deslizamiento de tierra	310	13500	21.7
18/03/1971	Chungar (Cerro de Pasco)	Deslizamiento de tierra	600		
09/12/1970	Piura, Tumbes	Movimiento sísmico	29	15252	2
31/05/1970	Chimbote (Ancash)	Movimiento sísmico	66794	3216240	530
01/10/1969	Huancayo (Junín)	Movimiento sísmico	150	3216	5
19/06/1968	Moyoyamba (San Martín)	Movimiento sísmico	11	420	0.1
13/01/1960	Arequipa	Movimiento sísmico	57		
15/01/1958	Arequipa	Movimiento sísmico	28		
21/05/1950	Cusco	Movimiento sísmico	83	200	

Tabla 2. 1: Principales emergencias ocurridas en el Perú en el periodo 1950-2012

Fuente: The International Database

<sup>14</sup> Base de datos creada en: International Database. <http://www.emdat.be/database>

## 2.2 Situación actual de la logística humanitaria en el Perú

En el presente capítulo, se describirán los protocolos y procedimientos establecidos por el Estado Peruano para la atención de emergencias, y se mostrarán las principales funciones del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), organismo encargado de administrar y velar por el cumplimiento de estos procedimientos.

### 2.2.1 Instituto Nacional de Defensa Civil

El 19 de febrero de 2011, se creó el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) mediante la ley N°29664, con la finalidad de reducir los riesgos y minimizar sus efectos mediante políticas, lineamientos y procesos de la gestión de desastres.

El instituto Nacional de Defensa Civil es un organismo público ejecutor que conforma el SINAGERD y se encarga de coordinar y supervisar la implementación del Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

El artículo N°13 de dicha ley describe las funciones principales del INDECI. A continuación, se mencionan las más importantes (Diario Oficial El Peruano, 2011, p.5):

- a) Realizar la supervisión, seguimiento y evaluación de la implementación de los procesos de preparación, respuesta y rehabilitación.
- b) Coordinar la asistencia humanitaria solicitada por países afectados por los desastres, conforme a la normatividad vigente.
- c) Coordinar la respuesta ante desastres, cuando la sobrepasen la capacidad de los gobiernos regionales y locales.
- d) Proponer la normativa para la coordinación y distribución de los recursos de ayuda humanitaria.
- e) Diseñar y proponer la política para el desarrollo de capacidades en la administración pública en lo que se refiere a gestión reactiva del riesgo.

- f) Realizar estudios e investigaciones inherentes a la preparación, respuesta y rehabilitación, así como supervisar, monitorear y evaluar la implementación de los procesos.
- g) Orientar y promover los lineamientos para la formación y entrenamiento del personal operativo que interviene en la preparación, respuesta y rehabilitación.

## 2.2.2 Política Nacional de Atención y Prevención de Desastres

En el Perú, se ha creado la Política Nacional de Desarrollo que agrupa todas las estrategias y directivas relacionadas con la problemática de desastres, para reducir sus impactos socioeconómicos en el país<sup>15</sup>.

El objetivo principal de esta política es el siguiente (SINADECI, 2004):

Optimizar la gestión de desastres a nivel nacional, incorporar el concepto de prevención en el proceso del desarrollo y lograr un sistema integrado, ordenado, eficiente y descentralizado con participación de las autoridades y población en general, eliminando o reduciendo las pérdidas de vidas, bienes materiales y ambientales, y por ende el impacto socio-económico. (p. 30).

Dentro de los objetivos específicos, tenemos los siguientes:

- Estimar el riesgo de desastres.
- Capacitar a la población para incrementar su capacidad de respuesta efectiva en caso de desastres.
- Promover la priorización de la prevención en planes y programas de desarrollo.

El instrumento principal que tiene el Estado Peruano para la prevención y atención de desastres es el Sistema Nacional de Defensa Civil, creado el 28 de marzo de 1972 y regido por el INDECI; concebido como un “conjunto organizado de entidades públicas y privadas que en razón de sus competencias tuvieran que ver con los diferentes campos comprometidos en las tareas de prevención y atención de desastres” (SINADECI, 2004, p.35).

---

<sup>15</sup> Sistema Nacional de Defensa Civil (2004). *Plan Nacional de Atención y Prevención de Desastres*.

Existen cuatro tipos de planes para la prevención y atención de desastres:

- 1) Plan de Prevención y Atención de Desastres: define objetivos y estrategias que orientan las actividades para la reducción de riesgos, preparativos para la mitigación del impacto de las emergencias y rehabilitación en casos de desastres.
- 2) Plan de Operaciones de Emergencia: plan operativo que guía la preparación y respuesta ante emergencias.
- 3) Plan de Contingencia: presenta los procedimientos de coordinación, alerta y respuesta ante desastres u otros eventos inminentes que puedan afectar al país.
- 4) Plan de Seguridad en Defensa Civil: conjunto de acciones destinadas a organizar la seguridad, preparar, controlar y mitigar los impactos negativos de un fenómeno natural o tecnológico.

### 2.2.3 Plan de Operaciones de Emergencia de Lima y Callao.

Como parte del Plan de Atención y Prevención de Desastres, el INDECI ha desarrollado el Plan de Operaciones de Emergencia para Lima y Callao. Este tiene la finalidad de definir tareas a realizarse en el caso de una emergencia, de manera que se respuesta sea rápida y eficiente. El Plan de Operaciones de Emergencia se define de la siguiente manera:

Es el instrumento que define, a partir de la situación actual y las condiciones de riesgo de un territorio, las funciones de respuesta, los elementos de administración, logística, seguimiento y monitoreo, que permiten responder de manera efectiva ante situaciones de emergencia, favoreciendo la preservación de la vida, la mitigación y la reducción de los efectos sobre los bienes, la economía y el ambiente. (INDECI, 2011, p.21).

#### 2.2.3.1 Áreas funcionales ante una emergencia

El Plan de Operaciones de Emergencia de Lima y Callao define tareas de respuesta en caso de que se produzca un desastre, asignando funciones y responsabilidades a las

instituciones correspondientes. Estas tareas están agrupadas en áreas funcionales de acuerdo al ámbito al que pertenecen. Se tienen 40 tareas agrupadas en 6 áreas funcionales, las cuales se mencionan a continuación<sup>16</sup>:

Áreas funcionales	Tareas
Área Funcional I Rescate y Seguridad	1.1 Búsqueda y rescate 1.2 Medidas de seguridad y de tránsito 1.3 Control de incendios 1.4 Evacuación masiva de zonas afectadas y en riesgo 1.5 Emergencias de materiales peligrosos
Área Funcional II Salud	2.1 Atención prehospitalaria 2.2 Atención hospitalaria 2.3 Vigilancia epidemiológica posdesastre 2.4 Salud ambiental 2.5 Manejo de cadáveres 2.6 Salud Mental
Área Funcional III Asistencia Humanitaria	3.1 Empadronamiento 3.2 Techo de emergencia en lote 3.3 Instalación y manejo de albergues 3.4 Asistencia alimentaria 3.5 Asistencia no alimentaria 3.6 Dotación de agua temporal 3.7 Protección de grupos vulnerables 3.8 Reunificación familiar
Área Funcional IV Servicios Generales, Hábitat y Medio Ambiente	4.1 Monitoreo de eventos naturales y/o inducidos, y riesgos concatenados 4.2 Evaluación de daños y restablecimiento de servicios de transporte y comunicaciones 4.3 Evaluación de daños y restablecimiento de servicios de agua y saneamiento 4.4 Evaluación de daños y restablecimiento de servicios de energía 4.5 Evaluación de daños en edificaciones públicas y privadas 4.6 Estabilización y/o demolición de estructuras, remoción y manejo de escombros 4.7 Evaluación de daños y restablecimiento de servicios de educación
Área Funcional V Dirección y Manejo de la Emergencia	5.1 Planificación integral y coordinación de la emergencia 5.2 Información pública 5.3 Asuntos legales y administrativos 5.4 Coordinación de la evaluación de daños y análisis de necesidades – EDAN 5.5 Gestión de información y comunicaciones del Centro de Operaciones de Emergencia (COE) 5.6 Coordinación de la cooperación internacional 5.7 Coordinación con otras regiones y el sector privado 5.8 Planificación de la recuperación económica y social
Área Funcional VI Logística y recursos para las operaciones y toma de decisiones	6.1 Inventario de recursos y análisis de necesidades logísticas 6.2 Administración de almacenes 6.3 Manejo de donaciones 6.4 Manejo de recursos (personal, equipos, instalaciones, materiales) 6.5 Coordinación y manejo de medios de transporte (movilidad) 6.6 Manejo de la seguridad ocupacional y servicios a los respondientes (salud alimentos y otros)

Tabla 2. 2: Áreas de funciones de respuesta y tareas  
Fuente: Instituto Nacional de Defensa Civil (2011)  
Elaboración propia

<sup>16</sup> Instituto Nacional de Defensa Civil (2011). *Plan de Operaciones de Emergencia para el área metropolitana de Lima y la Región del Callao*.

### 2.2.3.2 Tareas logísticas de respuesta

Área de Rescate y Seguridad: se encarga de la coordinación de acciones inmediatas, una vez ocurrido el desastre, teniendo como principal objetivo, salvaguardar la mayor cantidad de vidas humanas posible y controlar efectos derivados del desastre como incendios, explosiones, entre otros, manteniendo la seguridad de la población.

Área de Salud: busca garantizar la atención médica en situaciones de emergencia, mediante un sistema organizado, que permita resguardar la integridad tanto física como mental de la población afectada.

Área de Asistencia Humanitaria: brinda atención social, principalmente todo lo relacionado con brindar techo, abrigo, alimento y cubrir necesidades básicas. Esta área se encarga de la gestión de los almacenes de abastecimiento; en ellos encontramos suministros clasificados en techo, enseres, abrigo y herramientas. Los alimentos, agua y medicinas no se encuentran en estos almacenes, y se consiguen y distribuyen bajo otras políticas que serán revisadas más adelante.

Área de Servicios Generales, Hábitat y Medio Ambiente: se encarga de evaluar los daños a los servicios vitales, saneamiento, energía, telecomunicaciones, edificaciones y medio ambiente, para tomar decisiones que permitan una rápida rehabilitación del hábitat y medio ambiente.

Área de Dirección y Manejo de la Emergencia: se encarga de realizar todas las coordinaciones relacionadas al manejo de la emergencia, la toma de decisiones, y el seguimiento de las actividades de respuesta.

Área de Logística y Recursos: comprende las actividades de logística y tiene como finalidad proveer los suministros, equipos y personal en los lugares y momentos requeridos para atender a los afectados por una emergencia.

Las tareas logísticas de respuesta son las siguientes:

- 1) Inventario de recursos y análisis de necesidades logísticas: consiste en evaluar los daños y la cantidad de afectados, y con dicha información, determinar la magnitud de las necesidades de la comunidad, de manera que se prioricen los recursos para brindar una ayuda efectiva.

- 2) Administración de almacenes: distribución de los suministros para la población afectada. Incluye el registro de recursos en el inventario, la preparación para la distribución, el transporte y la entrega de los mismos.
- 3) Manejo de donaciones: solicitud de donaciones, recepción, administración y distribución eficiente y adecuada de los suministros donados.
- 4) Manejo de recursos: asignar personal, equipos, instalaciones y materiales, de acuerdo a las necesidades de los afectados.
- 5) Coordinación y manejo de medios de transporte: organizar todos los medios de transporte disponible, asignar rutas y destinos, para llegar a todos los afectados.
- 6) Manejo de la seguridad ocupacional y servicios a los respondientes: asegurar que las personas que trabajan en las tareas de respuesta, cuenten con asistencia, recursos, servicios y cualquier otro apoyo que necesiten para cumplir con su labor de manera íntegra.

### 2.3 Respuesta ante emergencias

Como se ha visto en el Plan de Operaciones de Emergencia, se tienen 40 tareas principales, definidas para el control de las emergencias; sin embargo, en este capítulo se tratarán las más relevantes para la asistencia humanitaria.

Para definir adecuadamente la forma en que deben llevarse a cabo estas tareas, uno de los principales documentos de soporte es el Manual Esfera<sup>17</sup>, que es “un conjunto de principios comunes y normas mínimas universales que guían la acción en áreas vitales de la respuesta humanitaria”<sup>18</sup> (El Proyecto Esfera, 2011). Este manual ha sido creado por el Proyecto Esfera, una iniciativa que reúne a 18 organizaciones humanitarias con el fin de mejorar la calidad de la asistencia humanitaria en el mundo.

A continuación, se describe la manera en que se llevan a cabo las principales tareas de respuesta ante una emergencia.

---

<sup>17</sup> El Proyecto Esfera (2011). *Carta Humanitaria y Normas Mínimas para la Respuesta Humanitaria*

<sup>18</sup> El Proyecto Esfera [en línea]. 2011.

### 2.3.1 Asistencia de vivienda temporal

Se proveen los elementos necesarios para resguardar a las personas cuyas viviendas han quedado severamente dañadas, y que por lo tanto se les ordenó evacuarlas.

Se inicia con la evaluación de los daños en la vivienda y limpieza del lote, y se prosigue con la distribución de materiales y techos de emergencia (módulos o carpas) a los afectados. El alojamiento es instalado en el lote propiedad de la familia afectada, después de una evaluación de los daños que garantice las condiciones de seguridad necesarias, así como el acceso a los servicios básicos.

En los casos en que la vivienda quedó destruida y el lote se encuentra ubicado en una zona de riesgo y/o no tiene acceso a servicios básicos, se reubica a los afectados en albergues.

Los factores clave para considerar un lote como apto para la instalación de un techo de emergencia o determinar la ubicación del albergue –además de la seguridad- son el acceso, el estado de la infraestructura vial y la cercanía de los puntos de transporte que permitan la entrega de la asistencia humanitaria.

### 2.3.2 Asistencia alimentaria

Para brindar la asistencia alimentaria, la atención inicial se enfoca en la disposición de uso de los stocks más cercanos mediante los municipios y comedores de emergencia, y la movilización de stocks más alejados a la zona de emergencia, de manera que se puedan cubrir por completo las necesidades nutricionales de las personas afectadas, en especial de los grupos de riesgo (niños, adultos mayores, enfermos y madres gestantes).

Para lograr una adecuada asistencia alimentaria, se requiere un enfoque integrado todas las actividades propias de la gestión de la cadena de suministro: elección de productos necesarios, búsqueda de proveedores, compra, garantía de calidad, envasado, transporte y almacenamiento adecuado. En primer lugar, se debe evaluar la capacidad local y sólo en caso que ésta no fuera suficiente, se debe recurrir a fuentes externas.

Una de las principales fuentes locales es el Programa Nacional de Atención Alimentaria (PRONAA), que entrega las raciones de alimentos mostradas en la tabla 2.3. Estas pueden ser crudas o cocidas, dependiendo de la emergencia.

Grupo	Alimento	Ración 1 (gramos/ día)	Ración 2 (gramos/ día)
Cereales	Arroz, cebada, maíz, quinua, trigo, otros	120	140
Menestras	Arveja, fríjol, lenteja, soya, otros	20	20
Producto animal	Charqui, conserva u otro	25	25
Grasa	Manteca vegetal, aceite	15	15
Harinas	Maíz, trigo, sémola, plátano, yuca, chuño, papa seca u otros	15	0
Producto pescado	Sal yodada	5	0
		200	200

Tabla 2. 3: Raciones y grupos de productos  
Fuente: PRONAA (2012)  
Elaboración propia

### 2.3.3 Asistencia no alimentaria

Los artículos no alimentarios son aquellos relacionados a abrigo, herramientas y enseres (utensilios de cocina, artículos de higiene, entre otros). Para ello se deben tener en cuenta ciertos lineamientos:

- Las personas deben contar con las herramientas necesarias para la construcción, mantenimiento de viviendas o remoción de escombros.
- Cada hogar (4 ó 5 personas) debe contar con dos ollas, una fuente, un cuchillo y dos cucharones.
- Todos los hogares deben contar con *kits* de limpieza que incluyan toallas, cepillo de dientes, alcohol, entre otros.
- Cada persona debe contar con un conjunto de mantas, ropa de cama, un colchón y un mosquitero.
- Cada persona debe contar con un vaso, plato y cubiertos.

En el Perú, los artículos de asistencia no alimentaria se encuentran en almacenes ubicados en distintos puntos del país, para ser distribuidos por el INDECI, en casos de emergencia. Los artículos también provienen de las donaciones internacionales.

Estos artículos son agrupados en *kits*, estos pueden ser personales o por familia. Los *kits* personales contienen artículos de higiene y de abrigo. Las herramientas y enseres son entregados por familia.

#### 2.3.4 Dotación de agua temporal

Es vital identificar las fuentes de agua disponibles y cuya calidad para el consumo haya sido verificada, así como la vulnerabilidad de las vías por donde puedan trasladarse camiones cisternas. Asimismo, se debe identificar las zonas prioritarias que deben ser abastecidas (hospitales, centros de concentración, entre otros).

Para asegurar la supervivencia de los afectados, se debe suministrar de 7.5 a 15 litros diarios por persona. El detalle se muestra en la tabla 2.4.

Agua para beber y utilizar con los alimentos	2.5 - 3 litros
Prácticas básicas de higiene	2 - 6 litros
Agua para cocinar	3 - 6 litros

Tabla 2. 4: Necesidades básicas de agua para asegurar la supervivencia  
Fuente: El Proyecto Esfera (2011)  
Elaboración propia

Por otro lado, el número máximo de personas adecuado por fuente de agua será aproximadamente la que se muestra en la tabla 2.5.

Para el abastecimiento de agua, uno de los principales recursos a utilizar es el Plan de Emergencia para Situaciones de Desastre de SEDAPAL, el cual contiene los lineamientos y procedimientos a seguir para el suministro de agua potable en casos de emergencia.

250 personas por grifo	sobre la base de un caudal de 7.5 litros/minuto
500 personas por bomba manual	sobre la base de un caudal de 17 litros/minuto
400 personas por cada pozo abierto	sobre la base de un caudal de 12.5 litros/minuto

Tabla 2. 5: Número máximo de personas por fuente de agua  
Fuente: El Proyecto Esfera (2011)  
Elaboración propia

## 2.4 Situación actual de Lima Metropolitana y Callao

### 2.4.1 Características generales

La ciudad de Lima se encuentra ubicada en la región central de la costa peruana y tiene una extensión de 2.665 km<sup>2</sup>. Está conformada por 43 distritos de la provincia de Lima y 6 distritos de la Provincia Constitucional del Callao; y concentra el 29% de la población del país. (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2008). En la figura 2.3, se pueden apreciar los distritos de Lima Metropolitana y Callao.

### 2.4.2 Parámetros de vulnerabilidad

El Centro de Estudio y Prevención de Desastres del Programa de Estudio, Desarrollo y Sociedad (PREDES) ha definido parámetros que en conjunto permiten determinar el nivel de vulnerabilidad de las edificaciones de un determinado sector o distrito (2009):

- Densidad poblacional: alta (450 a más hab/ha), media alta (350-450 hab/ha), media (250-350 hab/ha), media baja (150-250 hab/ha) y baja (70-150 hab/ha).
- Material de construcción predominante: se consideran los cuatro materiales de construcción predominantes en la ciudad de Lima: ladrillo/cemento, adobe, madera y quincha.



Figura 2. 3: Mapa de Lima Metropolitana y Callao

- Tipología constructiva de vivienda: casa independiente, departamento en edificio, vivienda en vecindad, vivienda improvisada (tipo de vivienda predominante en zonas de fácil acceso ocupadas de manera informal) y locales no destinados para habitación humana.
- Estado de conservación de la vivienda: deteriorada, en consolidación (viviendas en proceso de construcción en zonas ocupadas de manera informal), densificada (edificios de departamentos con alta densidad), consolidada (viviendas concluidas en barrios residenciales).
- Altura de la vivienda

En la tabla 2.6 se detallan los indicadores de cada uno de los parámetros mencionados.

Parámetro	Indicador	Descripción	Nivel de vulnerabilidad
Población			
Densidad	Habitantes por sector/ Área ocupada por sector	Alta	Muy Alto
		Media Alta	Alto
		Media	Medio
		Media Baja	Bajo
		Baja	
Vivienda			
Material de construcción predominante	Mayor cantidad de viviendas con el mismo material constructivo de muros en un distrito/sector	Adobe	Muy Alto
		Quincha	Alto
		Ladrillo/Cemento	Medio
		Madera	Bajo
Tipología constructiva	Mayor cantidad de viviendas con la misma tipología constructiva en un distrito/sector	Vivienda Improvisada	Muy Alto
		Quinta	Alto
		Edificio	Medio
		Casa Independiente	Bajo
Estado de conservación	Mayor cantidad de viviendas con el mismo estado de conservación en un distrito/sector	Deteriorada	Muy Alto
		En consolidación	Alto
		Densificada	Medio
		Consolidada	Bajo
Altura	Número de pisos predominante en el distrito/sector	Cuatro pisos a más	Muy Alto
		Tres pisos	Alto
		Dos pisos	Medio
		Un piso	Bajo

Tabla 2. 6: Resumen de parámetros e indicadores de estimación de vulnerabilidad

Fuente: PREDES, 2009

Elaboración propia

## CAPÍTULO 3: CANTIDAD Y UBICACIÓN DE LOS ALMACENES DE ABASTECIMIENTO EN LIMA METROPOLITANA Y CALLAO

### 3.1 Almacenes de abastecimiento

Los almacenes de Defensa Civil están jerarquizados en almacenes nacionales, regionales y locales; en ellos se depositan los bienes de ayuda humanitaria destinados a proporcionar techo y abrigo a la población afectada en caso de emergencias. Estos bienes son ítems esenciales para la subsistencia de los afectados luego de un desastre.<sup>19</sup>

- Almacenes nacionales: son almacenes ubicados de manera estratégica, de manera que permitan dar una rápida respuesta en caso de desastres que superen la capacidad de respuesta del Gobierno Regional. Su finalidad es reabastecer a los almacenes regionales. Son administrados por el INDECI.
- Almacenes regionales: ubicados en las capitales de los departamentos o en donde lo decida el Gobierno Regional, para dar una respuesta rápida ante emergencias ocurridas en su jurisdicción. Tienen como finalidad abastecer a los almacenes locales y son administrados por los propios gobiernos regionales.
- Almacenes locales o adelantados: instalaciones ubicadas lejos de los almacenes regionales o en localidades de difícil acceso, para distribuir a tiempo y de manera oportuna, los bienes de ayuda humanitaria en estos lugares. Su administración está a cargo de las municipalidades provinciales o distritales. Son abastecidos por los almacenes regionales<sup>20</sup>.

Actualmente, se cuenta con 12 almacenes nacionales, 24 almacenes regionales y 138 almacenes adelantados, distribuidos como se muestra en la tabla 3.1. Asimismo, en la figura 3.1 se ilustra el mapa de estos almacenes.

<sup>19</sup> Instituto Nacional de Defensa Civil (2010). *Compendio Estadístico de Prevención y Atención de Desastres 2009*. Lima, Perú: Autor

<sup>20</sup> Resolución Jefatural N° 059-2011. Lima, Perú. 14 de marzo de 2011.

Los bienes de ayuda humanitaria que se depositan en estos almacenes se encuentran detallados en el catálogo de bienes de ayuda humanitaria, definido por la Dirección Nacional de Operaciones del Instituto Nacional de Defensa Civil. Estos bienes se clasifican en abrigo, enseres, techo y herramientas. (vea el anexo 3).

Región	Total	Número de almacenes		
		Almacenes nacionales	Almacenes regionales	Almacenes adelantados
Amazonas	8	1	1	6
Ancash	5		1	4
Apurímac	6		1	5
Arequipa	9	1	1	7
Ayacucho	4		1	3
Cajamarca	10		1	9
Cusco	7	1	1	5
Huancavelica	5		1	4
Huánuco	9		1	8
Ica	5	1	1	3
Junín	5	1	1	3
La Libertad	8	1	1	6
Lambayeque	7		1	6
Lima	6	1	1	4
Loreto	12	1	1	10
Madre de Dios	4		1	3
Moquegua	6		1	5
Pasco	4		1	3
Piura	18	1	1	16
Puno	12	1	1	10
San Martín	4	1	1	2
Tacna	7	1	1	5
Tumbes	6		1	5
Ucayali	7		1	6
<b>TOTAL</b>	<b>174</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>138</b>

Tabla 3. 1: Número y ubicación de los almacenes de Defensa Civil según tipo de almacén

Fuente: INDECI, 2010

Elaboración propia

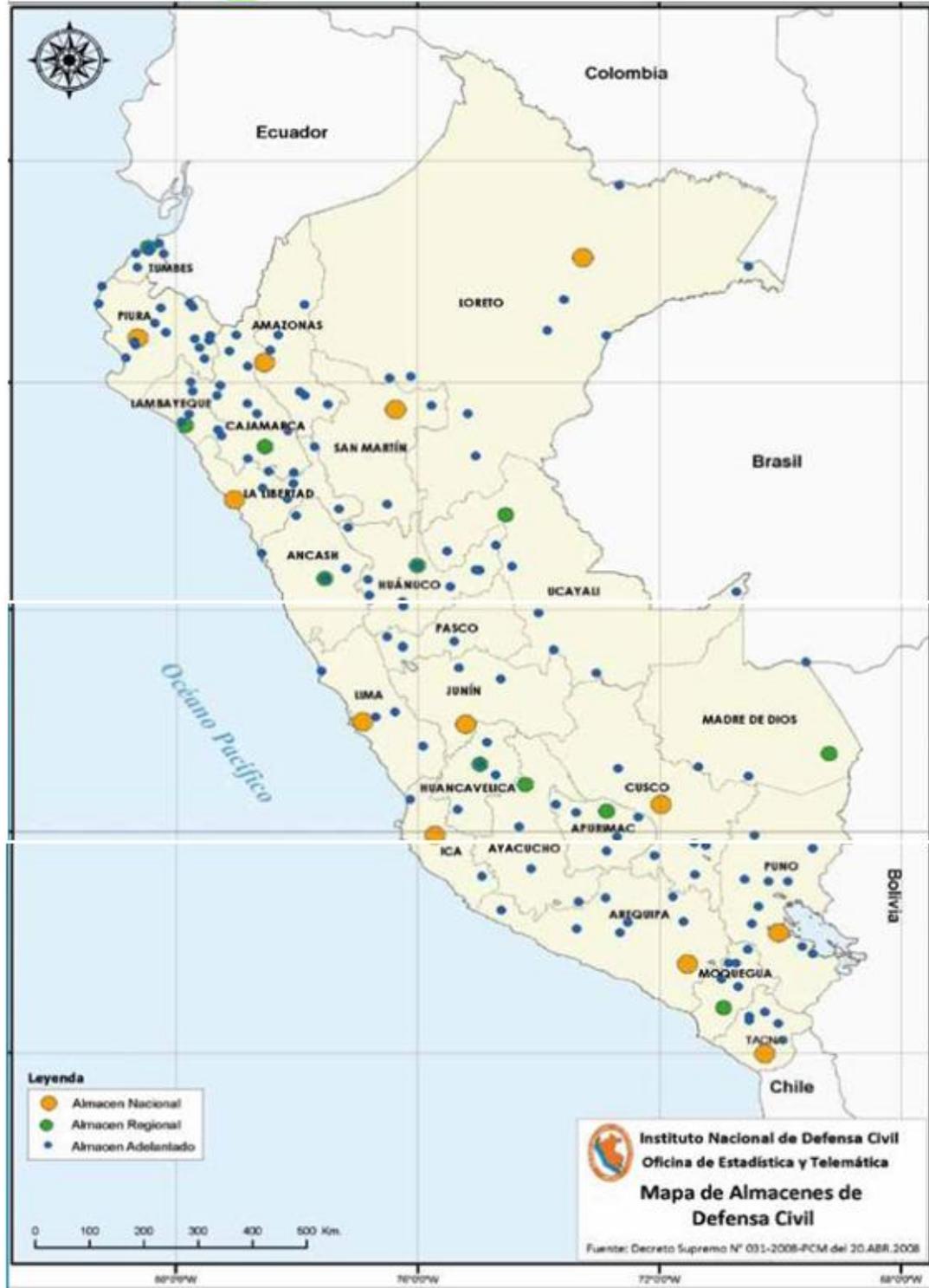


Figura 3. 1: Mapa de almacenes de Defensa Civil  
 Fuente: INDECI, 2010

Lima cuenta actualmente con 6 almacenes: 1 nacional, 1 regional y 4 adelantados, los cuales serían los encargados de abastecer a Lima metropolitana y Callao en caso de una emergencia. Si estos almacenes no pudieran cubrir la demanda, los almacenes ubicados en otras provincias no afectadas deberían complementar la ayuda.

### 3.2 Metodología del estudio

Para definir la cantidad y ubicación de los almacenes, se trabajará de acuerdo con la siguiente metodología.

- 1) Se presentará el escenario más crítico en el cual deberían implementarse los almacenes de abastecimiento de ayuda humanitaria.
- 2) Con base en este escenario, se determinará la población afectada que necesitaría de los recursos alojados en los almacenes de ayuda humanitaria. Para ello se trabajará con estimaciones sobre la cantidad de viviendas que quedarían inhabitables en el escenario planteado. Luego se calculará el promedio de habitantes por vivienda en cada distrito y con ello se podrá determinar el número total de personas afectadas.
- 3) Para determinar las posibles ubicaciones de los almacenes, se descartará todos aquellos distritos cuyo suelo sea tipo III, IV o V, los cuales son de alto o muy alto riesgo sísmico, o que se encuentren muy cerca al litoral debido al riesgo de tsunamis.
- 4) Se determinarán las distancias entre distritos, las cuales se utilizarán en la función objetivo del modelo. Estas distancias representan las rutas más largas en cada caso, debido a que en una situación de emergencia, las vías principales podrían encontrarse obstruidas.
- 5) Se formulará un modelo de programación lineal entera mixta, con el fin de obtener la ubicación óptima de los almacenes y atender a los damnificados.
- 6) Para determinar la capacidad de los almacenes se trabajará con dos criterios: en el primero, la capacidad estará ligada a la cantidad de damnificados de cada distrito; en el segundo, se tomará como factor principal la superficie territorial de los distritos.

- 7) Finalmente, el modelo se resuelve para 37, 32, 27 y 22 almacenes respectivamente. Se presume que en cada caso la solución óptima tenderá a tomar el máximo número de almacenes posible, porque así se lograría el menor tiempo de respuesta, definido como tiempo transcurrido entre el momento en que se produce la emergencia y la llegada de ayuda humanitaria. Sin embargo, la finalidad de presentar diversas soluciones, además de obtener la cantidad y ubicación de los almacenes, es determinar la cantidad de kilómetros ahorrados, conforme aumentan estos. Asimismo, analizar si el ahorro generado compensa el costo adicional de construir un nuevo almacén.

### 3.3 Presentación del escenario más crítico

#### 3.3.1 Descripción y características

Para determinar el escenario más crítico, se ha utilizado el estudio realizado por el PREDES<sup>21</sup> sobre el diseño del escenario y el impacto de un sismo de gran magnitud que tiene como base el estudio previo del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) sobre la vulnerabilidad y riesgo sísmico en Lima y Callao. El estudio involucra a 41 de los 49 distritos de Lima Metropolitana y Callao, según se muestra en la tabla 3.2.

Los ocho distritos no incluidos en el estudio del PREDES son Lurín, Pachacámac, Pucusana, Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo, Santa María y Santa Rosa; sin embargo, estos sí serán considerados en la formulación del modelo.

Para este estudio, se ha asumido un evento sísmico, seguido de un tsunami, que presente las características siguientes:

Ubicación: 70 kilómetros al oeste del Distrito de la Punta

Epicentro: 12° 04' 04" S, 77° 48' 39" W frente a Lima

Magnitud: 8.0 (Mw)

Intensidad máxima: VIII (Mercalli Modificada)

Profundidad: 33 km

---

<sup>21</sup> Centro de Estudios y Prevención de Desastres (2009). *Diseño de escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao.*

Extensión afectada: un evento real de este tipo, afectaría a las provincias de Lima, Ancash, Ica, Huánuco, Junín, Pasco y Huancavelica.

Lima Norte	Lima Sur	Lima Central	Lima Este	Callao
1. Ancón	9. Chorrillos	13. Barranco	28. Ate Vitarte	36. Bellavista
2. Carabaylo	10. San Juan de Miraflores	14. Breña	29. Chaclayo	37. Callao
3. Comas	11. Villa María del Triunfo	15. Cercado de Lima	30. Lurigancho (Chosica)	38. Carmen de la Legua
4. Independencia	12. Villa El Salvador	16. Jesús María	31. Cieneguilla	39. La Perla
5. Los Olivos		17. Lince	32. La Molina	40. La Punta
6. Puente Piedra		18. Magdalena	33. San Juan de Lurigancho	41. Ventanilla
7. Rímac		19. Miraflores	34. Santa Anita	
8. San Martín de Porres		20. Pueblo Libre	35. El Agustino	
		21. San Borja		
		22. San Isidro		
		23. San Luis		
		24. San Miguel		
		25. Surquillo		
		26. Surco		
		27. La Victoria		

Tabla 3. 2: Distritos de Lima y Callao incluidos en el estudio  
Fuente: PREDES, 2009

Un tsunami provocado por un sismo de estas características provocaría olas con una altura máxima de 6 metros y un ancho de hasta 200 km. El distrito de La Punta sería el lugar al que llegarían primero las olas, con un tiempo de llegada de 11 minutos; mientras que para el resto del litoral, el tiempo de llegada estaría entre 17 y 20

minutos. (PREDES, 2009). El estudio también considera cuatro niveles de daño en estructuras, los cuales se presentan en la tabla 3.3.

Nivel de daño	Relación de daño	Daño estructural	Daño no estructural	Descripción del daño
Bajo	0.01 - 15%	Ninguno	Localizado	Daño no estructural puntual (grietas en muros y tabiques), posible daño en componentes metálicos y eléctricos. Costo de reparación menor al 15% del valor de mercado.
Moderado	15 - 30%	Ligero	Moderado/ extensivo	Daño estructural ligero y no estructural considerable. Costo de reparación menor al 30% del valor de mercado.
Alto	30 - 60%	Considerable	Cercano al total	Daño estructural considerable y no estructural excesivo. Se requiere reparar o reemplazar muchos elementos estructurales.
Muy alto	60 - 100%	Grave	Grave/ colapso	Edificio declarado en ruina. Más económico demoler que reparar. Posible colapso total en terremoto o futuras réplicas.

Tabla 3. 3: Escala de daños del estudio  
Fuente: PREDES, 2009

### 3.3.2 Magnitud de la ayuda necesaria

Para el cálculo de la magnitud de la ayuda necesaria en un evento de las proporciones descritas en el punto 3.3.1, se está trabajando con los datos del último censo nacional elaborado por el INEI en el año 2007. Con base en los datos obtenidos del número hogares por vivienda y el número de personas por hogar, se procederá a estimar el número de personas aproximado que habitan una vivienda en cada uno de los distritos de Lima Metropolitana y Callao.

El número de viviendas afectadas por un desastre se ha obtenido del estudio “Diseño de escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao” elaborado por el Centro de Estudios y Prevención de Desastres. Con el dato de la cantidad de viviendas afectadas y el número de personas por vivienda, podemos

obtener el número aproximado de personas que se estima serían perjudicadas por un desastre de las condiciones mencionadas con base en la población del año 2007, como se muestra en las siguientes expresiones<sup>22</sup>:

$$\begin{array}{|l} \text{Promedio de personas} \\ \text{por vivienda en el} \\ \text{distrito } i \end{array} = \begin{array}{|l} \text{Promedio de hogares} \\ \text{por vivienda en el} \\ \text{distrito } i \end{array} \times \begin{array}{|l} \text{Promedio de} \\ \text{personas por hogar} \\ \text{en el distrito } i \end{array}$$

$$\begin{array}{|l} \text{Total de personas} \\ \text{afectadas} \\ \text{en el distrito } i \end{array} = \begin{array}{|l} \text{Promedio de personas} \\ \text{por vivienda en el} \\ \text{distrito } i \end{array} \times \begin{array}{|l} \text{Número de viviendas} \\ \text{inhabitables en el} \\ \text{distrito } i \end{array}$$

Luego con el número aproximado de personas, se obtendrá un porcentaje de personas afectadas<sup>23</sup> con base en la población total de cada distrito.

$$\begin{array}{|l} \text{Porcentaje de} \\ \text{afectados en el} \\ \text{distrito } i \end{array} = \frac{\begin{array}{|l} \text{Total de personas afectadas} \\ \text{en el distrito } i \end{array}}{\begin{array}{|l} \text{Población total en el distrito } i \\ \text{(2007)} \end{array}} \times 100\%$$

Estos cálculos se muestran en la tabla 3.4. Por ejemplo, para el distrito de Ancón:

- Al multiplicar el promedio de hogares por vivienda (1.03) por el promedio de personas por hogar (3.7), se obtiene el promedio de personas por vivienda que resulta ser 3.8 (tercera columna).
- Se multiplica este resultado por el número de viviendas inhabitables (165), y se obtiene un total de 631 personas afectadas (quinta columna).
- Como la población total en Ancón para el año 2007 era de 33,367 personas, 631 representa el 1.9% de este total (última columna).

<sup>22</sup> Cabe resaltar que se entiende "hogar" como una familia nuclear, mientras que "vivienda" se refiere a la construcción donde viven estos hogares.

<sup>23</sup> Se utilizará el término de personas afectadas para referirnos a aquellos que por las condiciones en las que ha quedado su vivienda, necesitarán de los bienes de ayuda humanitaria, en la etapa posterior al desastre.

Distrito	Promedio de hogares por vivienda	Promedio de personas por hogar	Promedio de personas por vivienda	Número de viviendas inhabitables	Total de personas afectadas	Población total (2007)	Porcentaje de afectados
Ancón	1.03	3.7	3.8	165	631	33,367	1.9%
Ate	1.07	3.9	4.2	13,846	58,506	478,278	12.2%
Barranco	1.02	3.5	3.5	2,411	8,532	33,903	25.2%
Bellavista	1.10	3.9	4.3	658	2,854	75,163	3.8%
Breña	1.02	3.5	3.6	867	3,137	81,909	3.8%
Callao	1.12	4.0	4.5	43,834	197,922	415,888	47.6%
Carabaylo	1.09	4.0	4.4	23,467	102,960	213,386	48.3%
Carmen de la Legua	1.15	4.0	4.6	86	398	41,863	1.0%
Chaclacayo	1.09	3.9	4.2	183	777	41,110	1.9%
Chorrillos	1.09	4.0	4.4	10,885	47,625	286,977	16.6%
Cieneguilla	1.05	3.7	3.9	46	180	26,725	0.7%
Comas	1.16	4.2	4.9	47,518	230,781	486,977	47.4%
El Agustino	1.12	4.2	4.7	1,822	8,502	180,262	4.7%
Independencia	1.16	4.1	4.8	975	4,675	207,647	2.3%
Jesús María	1.01	3.4	3.4	456	1,553	66,171	2.3%
La Molina	1.03	3.8	3.9	1,493	5,881	132,498	4.4%
La Perla	1.10	3.9	4.3	555	2,388	61,698	3.9%
La Punta	1.01	3.4	3.4	49	168	4,370	3.8%
La Victoria	1.03	3.7	3.8	1,835	6,930	192,724	3.6%
Lima	1.04	3.6	3.8	5,201	19,581	299,493	6.5%

Tabla 3. 4: Cantidad y porcentaje de personas afectadas por distrito (distritos incluidos en el estudio del PREDES)  
(Parte I)

Fuentes: INEI, SIRAD

Elaboración propia

Distrito	Promedio de hogares por vivienda	Promedio de personas por hogar	Promedio de personas por vivienda	Número de viviendas inhabitables	Total de personas afectadas	Población total (2007)	Porcentaje de afectados
Lince	1.01	3.3	3.4	393	1,330	55,242	2.4%
Los Olivos	1.06	4.0	4.2	2,004	8,363	318,140	2.6%
Lurigancho	1.08	3.9	4.2	14,960	62,926	169,359	37.2%
Magdalena del Mar	1.03	3.5	3.6	316	1,126	50,764	2.2%
Miraflores	1.01	2.9	2.9	654	1,918	85,065	2.3%
Pueblo Libre	1.03	3.6	3.7	489	1,811	74,164	2.4%
Puente Piedra	1.07	4.1	4.4	25,575	111,797	233,602	47.9%
Rímac	1.06	3.8	4.1	1,109	4,534	176,169	2.6%
San Borja	1.02	3.6	3.6	707	2,575	105,076	2.5%
San Isidro	1.01	3.1	3.2	447	1,413	58,056	2.4%
San Juan de Lurigancho	1.10	4.1	4.5	61,864	278,078	898,443	31.0%
San Juan de Miraflores	1.18	4.2	5.0	24,127	119,481	362,643	32.9%
San Luis	1.05	3.7	3.9	267	1,050	54,634	1.9%
San Martín de Porres	1.13	4.0	4.5	1,315	5,928	579,561	1.0%
San Miguel	1.04	3.7	3.8	794	3,056	129,107	2.4%
Santa Anita	1.10	4.0	4.4	3,006	13,273	184,614	7.2%
Santiago de Surco	1.03	3.7	3.8	2,238	8,446	289,597	2.9%
Surquillo	1.03	3.6	3.7	592	2,171	89,283	2.4%
Ventanilla	1.04	3.7	3.8	2,835	10,870	277,895	3.9%
Villa el Salvador	1.14	4.2	4.8	20,859	100,337	381,790	26.3%
Villa María del Triunfo	1.08	4.0	4.3	27,428	119,221	378,470	31.5%

Tabla 3. 5: Cantidad y porcentaje de personas afectadas por distrito (distritos incluidos en el estudio del PREDES)  
(Parte II)

Fuentes: INEI, SIRAD  
Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente, en el estudio realizado por el PREDES, sólo se incluyen a 41 de los 49 distritos que se encuentran ubicados en Lima Metropolitana y Callao. Por lo tanto, para estos ocho distritos, no se cuenta con el dato del número de viviendas inhabitables luego del desastre, por lo que se asumirá que las viviendas afectadas son aquellas con alto grado de vulnerabilidad: viviendas en quinta, viviendas improvisadas y locales no destinados para habitación humana.

Número de viviendas inhabitables en el distrito $i$	=	Viviendas en quinta	+	Viviendas improvisadas	+	Locales no destinados para habitación
---	---	---------------------	---	------------------------	---	---------------------------------------

Estos datos se han obtenido del último censo del INEI y se muestran en la tabla 3.5. Por ejemplo, en el caso de Pachacámac, se han considerado 2,660 viviendas inhabitables, resultado que se obtuvo de sumar 93 viviendas en quinta, 2,538 viviendas improvisadas y 29 locales no destinados para habitación. Los resultados de todas las demás columnas, fueron hallados de la misma forma que en la tabla 3.4.

Sólo en el caso de Lurín, se ha considerado un porcentaje calculado de manera diferente: Lurín, al igual que Puente Piedra, presenta en su mayoría suelo no compacto, edificaciones construidas sin asesoría técnica y en lugares inadecuados<sup>24</sup>, razón por la cual se le asignará el mismo porcentaje de afectados que a este distrito (47.9%).

Con la información del último censo y otros previos realizados en el país, el INEI ha estimado el crecimiento de la población hasta el año 2015. En el figura 3.2, se muestra la tendencia de tal estimación para Lima; en el anexo 4, se muestran las estimaciones por cada distrito.

<sup>24</sup> Diario La República. La Molina, Lurín y Puente Piedra colapsarían ante gran sismo.

Distrito	Promedio de hogares por vivienda	Promedio de personas por hogar	Promedio de personas por vivienda	Viviendas en quinta	Viviendas improvisadas	Locales no destinados para habitación	Número de viviendas inhabitables	Total de personas afectadas	Población total (2007)	Porcentaje de afectados
Pachacámac	1.04	3.7	3.8	93	2,538	29	2,660	10,232	68,441	15.0%
Pucusana	1.02	3.6	3.7	35	497	10	542	1,997	10,633	18.8%
Punta Hermosa	1.02	3.1	3.2	0	54	3	57	183	5,762	3.2%
Punta Negra	1.05	3.4	3.6	0	30	4	34	121	5,284	2.3%
San Bartolo	1.05	3.5	3.7	0	232	4	236	875	5,812	15.1%
Santa María	1.06	3.3	3.5	5	7	1	13	46	761	6.0%
Santa Rosa	1.02	3.5	3.6	0	160	8	168	605	10,903	5.5%

Tabla 3. 6: Cantidad y porcentaje de personas afectadas por distrito (distritos no incluidos en el estudio del PREDES)

Fuentes: INEI, SIRAD

Elaboración propia

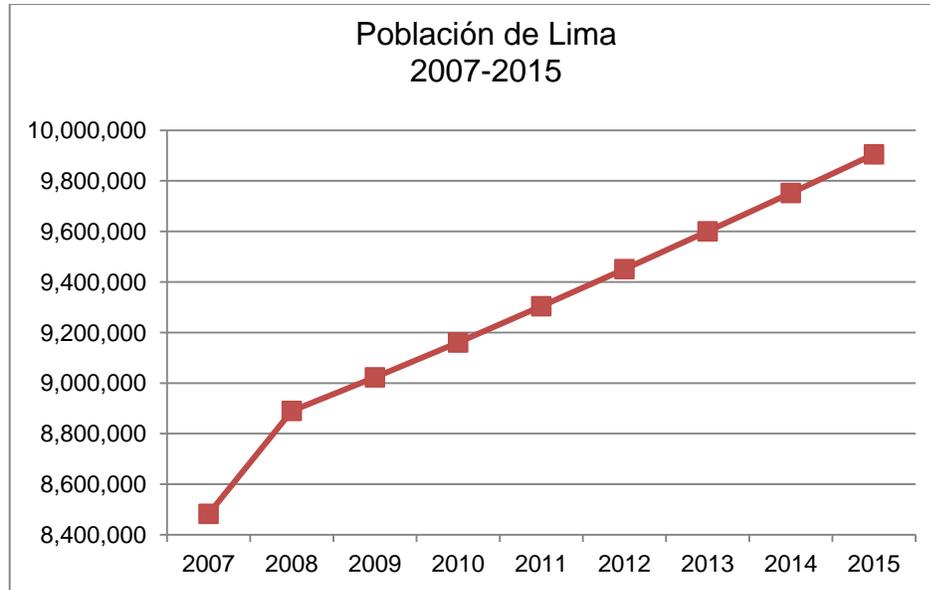


Figura 3. 2: Gráfico de la población estimada de Lima 2007-2015  
Fuente: INEI (2009)  
Elaboración propia

Con base en la población proyectada al año 2012, se procederá a aplicar los porcentajes de afectados obtenidos anteriormente en las tablas 3.4 y 3.5. En la tabla 3.6, se muestra la población estimada que se vería afectada en el caso de un terremoto de 8.0 Mw grados con un posterior tsunami. Sin embargo, para hacer más reales los cálculos, se debe tomar en cuenta que existe un porcentaje de personas que fallecerían en un evento como este; estos porcentajes se obtuvieron del estudio del PREDES (2009) y se muestran en el anexo 5. Para el caso de los distritos no contemplados en el estudio, se estimaron tomando como referencia a otros distritos de características semejantes o con un porcentaje similar de afectados.

Luego de restar el porcentaje de fallecidos, se obtiene una nueva población afectada corregida, la cual se muestra también en la tabla 3.6. Los valores hallados en esta tabla se obtienen como se describe a continuación:

$$\text{Población afectada en el distrito } i = \text{Población 2012 en el distrito } i \times \text{Porcentaje de afectados en el distrito } i$$

$$\text{Población afectada corregida en el distrito } i = \text{Población afectada en el distrito } i \times (1 - \text{Porcentaje de fallecidos en el distrito } i)$$

Distrito	Población 2012	Porcentaje de afectados	Población afectada	Porcentaje de fallecidos	Población afectada corregida
Ancón	39,769	1.9%	752	0.10%	751
Ate	573,948	12.2%	70,209	0.36%	69,954
Barranco	31,959	25.2%	8,043	0.92%	7,969
Bellavista	74,287	3.8%	2,821	0.40%	2,810
Breña	79,456	3.8%	3,043	0.40%	3,031
Callao	417,622	47.6%	198,747	1.41%	195,954
Carabaylo	267,961	48.3%	129,293	1.30%	127,612
Carmen de la Legua	42,065	1.0%	400	0.10%	400
Chaclacayo	43,180	1.9%	816	0.10%	815
Chorrillos	314,835	16.6%	52,248	0.63%	51,918
Cieneguilla	38,328	0.7%	258	0.10%	258
Comas	517,881	47.4%	245,427	1.30%	242,235
El Agustino	189,924	4.7%	8,958	0.50%	8,913
Independencia	216,503	2.3%	4,874	0.19%	4,865
Jesús María	71,364	2.3%	1,675	0.20%	1,672
La Molina	157,638	4.4%	6,997	0.38%	6,971
La Perla	60,886	3.9%	2,357	0.40%	2,348
La Punta	3,793	3.8%	146	0.39%	145
La Victoria	182,552	3.6%	6,564	0.41%	6,537
Lima	286,849	6.5%	18,754	0.43%	18,674
Lince	52,961	2.4%	1,275	0.20%	1,272
Los Olivos	355,101	2.6%	9,335	0.20%	9,316
Lurigancho	201,248	37.2%	74,774	0.79%	74,186
Lurín	76,874	47.9%	36,790	1.30%	36,312
Magdalena del Mar	54,386	2.2%	1,206	0.16%	1,204

Tabla 3. 7: Cantidad de personas afectadas por distrito al año 2012

(Parte I)

Fuentes: INEI, SIRAD

Elaboración propia

Distrito	Población 2012	Porcentaje de afectados	Población afectada	Porcentaje de fallecidos	Población afectada corregida
Miraflores	84,473	2.3%	1,905	0.17%	1,902
Pachacámac	102,691	15.0%	15,352	0.60%	15,260
Pucusana	14,403	18.8%	2,705	0.70%	2,686
Pueblo Libre	77,038	2.4%	1,881	0.20%	1,877
Puente Piedra	305,537	47.9%	146,224	1.30%	144,323
Punta Hermosa	6,935	3.2%	220	0.30%	219
Punta Negra	6,878	2.3%	158	0.30%	157
Rímac	171,921	2.6%	4,425	0.21%	4,416
San Bartolo	7,008	15.1%	1,055	0.60%	1,049
San Borja	111,568	2.5%	2,734	0.20%	2,729
San Isidro	56,570	2.4%	1,377	0.20%	1,374
San Juan de Lurigancho	1,025,929	31.0%	317,536	0.94%	314,549
San Juan de Miraflores	393,493	32.9%	129,645	0.93%	128,435
San Luis	57,368	1.9%	1,103	0.10%	1,102
San Martín de Porres	659,613	1.0%	6,747	0.16%	6,736
San Miguel	135,086	2.4%	3,198	0.40%	3,185
Santa Anita	213,561	7.2%	15,354	0.10%	15,339
Santa María	1,220	6.0%	74	0.43%	74
Santa Rosa	15,399	5.5%	854	0.43%	850
Santiago de Surco	326,928	2.9%	9,535	0.24%	9,512
Surquillo	92,328	2.4%	2,245	0.20%	2,240
Ventanilla	370,517	3.9%	14,493	0.40%	14,435
Villa el Salvador	436,289	26.3%	114,660	0.58%	113,993
Villa María del Triunfo	426,462	31.5%	134,339	0.87%	133,171
<b>TOTAL</b>			<b>1,813,581</b>		<b>1,795,736</b>

Tabla 3. 8: Cantidad de personas afectadas por distrito al año 2012  
(Parte II)

Fuentes: INEI, SIRAD

Elaboración propia

Por ejemplo, tomando el caso de Ate, el porcentaje de afectados obtenido para este distrito es de 12.2%, es decir, 70,209 personas afectadas (tercera columna), de las cuales, se calcula que fallecerían el 0.36%, con lo que quedaría una población afectada de 69,954 personas (última columna).

$$573,948 \times 12.2\% = 70,209$$

$$70,209 \times (1 - 0.36\%) = 69,954$$

Finalmente, la última columna de la tabla 3.6, muestra la población afectada estimada final corregida para el 2012 que debería ser atendida en una emergencia como la descrita. Dicha cifra es de 1,795,736 personas afectadas en Lima Metropolitana y Callao.

### 3.4 Determinación de la cantidad y ubicación de los almacenes

#### 3.4.1 Zonas vulnerables y zonificación sísmica de Lima y Callao

En el Perú, hay ciertos factores que se presume incrementan o contribuyen a la vulnerabilidad en caso de desastres naturales, entre los principales tenemos:

- Construcciones en adobe y albañilería, estructuras que son de alta vulnerabilidad en caso ocurriese un terremoto. En el último censo realizado por el INEI en el año 2007, se registraron 80,271 viviendas cuyo material predominante en paredes era adobe o tapia en Lima Metropolitana, mientras que el Atlas Estadístico del INEI del año 2010, refiere que 6,765 son de este material en la Provincia Constitucional del Callao. Las cifras citadas representan el 4.7% y el 3.4% del total de viviendas en Lima Metropolitana y Callao, respectivamente.
- Alta densidad de población por cada hospital.
- Informalidad, porque no se cumplen con los dispositivos legales para el adecuado uso de tierras.
- Viviendas con un alto nivel de ocupantes.
- Ubicación de viviendas en laderas pronunciadas (peligro de deslizamientos), regiones costeras bajas (peligro de maremotos) y en zonas de tierras blandas.

Según el CISMID, en Lima, se pueden distinguir cinco zonas sísmicas, estas han sido clasificadas de acuerdo con las características mecánicas de los suelos de un determinado terreno y a las consideraciones dadas por el Código de Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Construcciones.

En la tabla 3.8 se muestra el peligro asociado a cada una de las zonas sísmicas de Lima<sup>25</sup> y se presenta su distribución geográfica en la figura 3.3<sup>26</sup> (CISMID, 2004). En el anexo 6, se detallan las características de cada una de las zonas mencionadas, y en el anexo 7, se muestra el tipo de suelo en cada sector urbano de Lima Metropolitana y Callao.

### 3.4.2 Restricciones en la ubicación de los almacenes

Con base en la evidencia anterior, en el modelo trabajado, se excluyen 12 distritos como posibles sedes de los almacenes de abastecimiento, debido a la alta vulnerabilidad que presentan. Este es el caso de Callao, Chorrillos, La Perla, Lurín, Pucusana, Puente Piedra, Punta Negra, San Bartolo, San Juan de Miraflores, Santa María, y Villa El Salvador, que según el Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico del CISMID, están ubicados en las zonas III, IV o V calificadas como de peligro alto y muy alto o incierto (vea el anexo 6). Esto se detalla en la tabla 3.7.

Según la zonificación sísmica presentada en la tabla 3.8, las zonas III, IV y V son áreas con alto peligro sísmico, porque sus suelos se caracterizan por tener depósitos de arenas, depósitos marinos y suelos pantanosos, lo cual provoca que sus factores de amplificación sísmica sean elevados, conforme las definiciones que se muestran en el anexo 6; además algunos de los distritos, clasificados en la zona V colindan con el mar sin acantilado, por lo que su ubicación los hace vulnerables a un probable tsunami posterior a la ocurrencia del terremoto, o son terrenos de comportamiento incierto.

---

<sup>25</sup> CISMID (2005). *Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico en 42 distritos de Lima y Callao*.

<sup>26</sup> CISMID (2004). *Microzonificación Sísmica de Lima*.

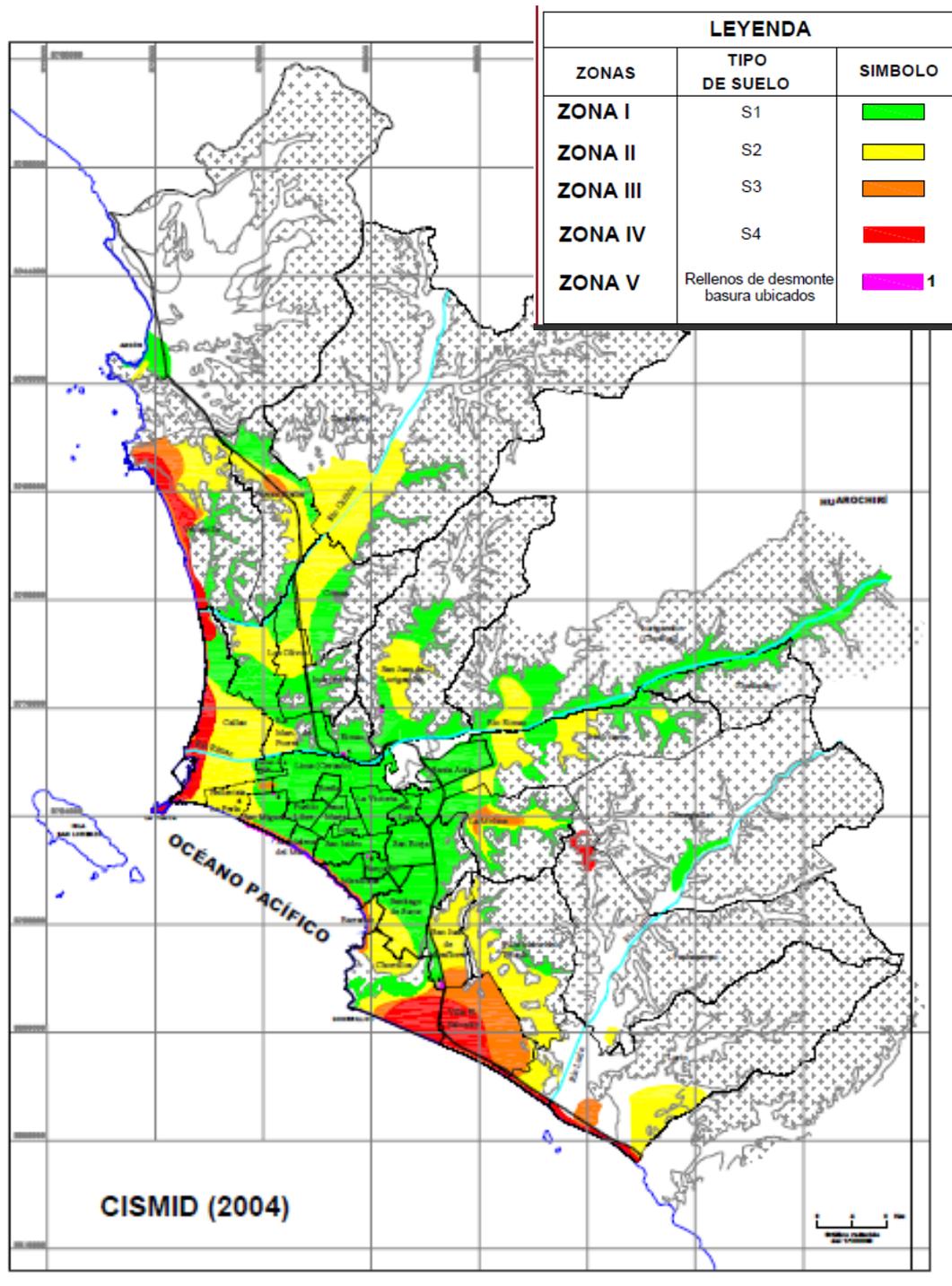


Figura 3. 3: Mapa de zonas geotécnicas sísmicas de Lima  
Fuente: CISMID (2004)

Distrito	Motivo de vulnerabilidad
Callao	Zona sísmica tipo III
Chorrillos	Zona sísmica tipo III
La Perla	Proximidad al mar
La Punta	Zona sísmica tipo IV
Lurín	Suelo no compacto
Pucusana	Proximidad al mar
Puente Piedra	Suelo no compacto
Punta Negra	Proximidad al mar
San Bartolo	Proximidad al mar
San Juan de Miraflores	Zona sísmica tipo III
Santa María	Proximidad al mar
Villa El Salvador	Zona sísmica tipo III y IV

Tabla 3. 9: Distritos no considerados en el modelo  
Elaboración propia

Zonas sísmicas	Tipo de suelo	Peligro sísmico
Zona I	Roca	Bajo
Zona II	Suelos granulados finos y suelos arcillosos sobre grava aluvial o coluvial	Relativamente bajo
Zona III	Arena eólica (sin agua)	Alto
Zona IV	Arena eólica (con agua)	Muy alto
Zona V	Rellenos	

Tabla 3. 10: Zonas geotécnicas sísmicas  
Fuente: CISMID (2005)  
Elaboración propia

### 3.4.3 Capacidad de los almacenes

La capacidad máxima de un almacén se entiende como la cantidad máxima de personas a las que puede abastecer. Para determinar esta capacidad, se trabajará empleando dos criterios distintos: el número de damnificados y la superficie territorial del distrito. Cada uno dará lugar a un escenario independiente, en el cual se resolverá el modelo para distintas cantidades máximas de almacenes.

#### a) Criterio 1: Número de damnificados

Para el primer criterio, se trabajará utilizando el número de damnificados por distrito, de manera que los almacenes tengan la capacidad suficiente para abastecer al distrito en el que se encuentran ubicados. En el caso de los distritos donde no puede colocarse un almacén, este número de damnificados debe sumarse a la capacidad de los distritos adyacentes. Por ejemplo, la cantidad de damnificados en Callao es de 195,954; pero como este distrito no se ubicará un almacén, se le agrega dicha cifra a la cantidad de damnificados que deben atender los distritos de Carmen de la Legua, Bellavista y Ventanilla. Si se colocara el almacén en Ventanilla, este debería tener la capacidad suficiente para atender a los 14,435 damnificados de este distrito más los 195,954 del Callao, es decir que debería tener capacidad para abastecer a 354,712 personas. Las capacidades obtenidas se muestran en la tabla 3.9, las cifras están redondeadas y los cálculos realizados en el anexo 8.

#### b) Criterio 2: Superficie territorial del distrito

Para este segundo criterio, se trabajará según la superficie territorial de cada distrito, ya que un distrito de menor tamaño podría tener menor disponibilidad de terreno para situar un almacén que otro de mayor tamaño. Se utilizará como referencia el distrito de mayor superficie territorial que es Carabayllo con una capacidad para atender a 300,000 damnificados. A partir de este número, el resto de distritos tendrán una capacidad proporcional a la superficie que ocupan, para ello, se agrupó los distritos en rangos de superficie y se trabajó con la superficie promedio de cada rango para luego determinar el porcentaje de superficie territorial con respecto a Carabayllo. Los cálculos se muestran en el anexo 9 y las capacidades obtenidas en la tabla 3.10.

Distrito	Capacidad	Distrito	Capacidad
Ancón	145,000	Magdalena del Mar	1,200
Ate	70,000	Miraflores	2,000
Barranco	60,000	Pachacámac	52,000
Bellavista	200,000	Pueblo Libre	2,000
Breña	3,000	Punta Hermosa	40,000
Carabayllo	270,000	Rímac	4,500
Carmen de la Legua	196,000	San Borja	3,000
Chaclacayo	820	San Isidro	1,400
Cieneguilla	300	San Juan de Lurigancho	315,000
Comas	386,000	San Luis	1,000
El Agustino	9,000	San Martín de Porres	150,000
Independencia	5,000	San Miguel	3,000
Jesús María	2,000	Santa Anita	15,000
La Molina	135,000	Santa Rosa	1,000
La Victoria	6,500	Santiago de Surco	190,000
Lima	20,000	Surquillo	2,500
Lince	1,300	Ventanilla	355,000
Los Olivos	9,500	Villa María del Triunfo	410,000
Lurigancho	75,000		

Tabla 3. 11: Capacidades de los almacenes según el criterio 1  
Elaboración propia

Distrito	Capacidad	Distrito	Capacidad
Ancón	223,000	Magdalena del Mar	3,000
Ate	62,000	Miraflores	10,000
Barranco	3,000	Pachacámac	147,000
Bellavista	3,000	Pueblo Libre	3,000
Breña	3,000	Punta Hermosa	117,000
Carabayllo	300,000	Rímac	10,000
Carmen de la Legua	3,000	San Borja	10,000
Chaclacayo	32,000	San Isidro	10,000
Cieneguilla	223,000	San Juan de Lurigancho	117,000
Comas	40,000	San Luis	3,000
El Agustino	10,000	San Martín de Porres	32,000
Independencia	10,000	San Miguel	10,000
Jesús María	3,000	Santa Anita	10,000
La Molina	62,000	Santa Rosa	18,500
La Victoria	10,000	Santiago de Surco	32,000
Lima	18,500	Surquillo	3,000
Lince	3,000	Ventanilla	62,000
Los Olivos	10,000	Villa María del Triunfo	62,000
Lurigancho	223,000		

Tabla 3. 12: Capacidades de los almacenes según el criterio 2  
Elaboración propia

### 3.4.4 Aplicación del modelo de asignación para los almacenes

Para determinar la cantidad y ubicación de los almacenes en Lima Metropolitana y Callao, se formulará un modelo matemático de programación lineal entera mixta que permita minimizar la distancia total recorrida desde los almacenes hacia los distritos damnificados. Dicho objetivo se reflejará en la reducción en el tiempo de respuesta luego de producida la emergencia.

En el anexo 10, se muestra la tabla con las distancias entre los distritos de Lima y Callao. Con estas distancias, se formulará la función objetivo de minimización de la distancia total recorrida.

Estas distancias han sido calculadas considerando las rutas más largas entre distritos, con el propósito de ubicar el modelo en un escenario más desfavorable para el propósito de ayuda humanitaria oportuna. Esto es altamente probable luego de un desastre, porque en tal situación, las vías principales podrían encontrarse destruidas o congestionadas por el flujo vehicular, sobre todo en los distritos con una mayor densidad poblacional. Por esta razón, no se ha tomado en cuenta en el modelo los tiempos de transporte entre distritos, ya que estos a menudo no contemplan los retrasos por destrucción o congestión de las rutas. En la tabla 3.11, se puede visualizar parte de la tabla contenida en el anexo 10.

A continuación, se explica la notación del modelo matemático:

Variables de decisión e índices

$X_{ij}$  es una variable entera y representa el número de personas damnificadas en el distrito  $j$  que serían abastecidas por el almacén ubicado en el distrito  $i$ .

$Y_i$  es la variable binaria que indica si el distrito  $i$  contará o no con un almacén, mientras que  $D_j$  es el parámetro para la demanda (número de damnificados) en el distrito  $j$ . Asimismo,  $D_i$  representa la capacidad del almacén ubicado en el distrito  $i$ , y  $A$  la cantidad total de almacenes.

	1	2	3	4	...	46	47	48	49
Distrito	Ancón	Ate	Barranco	Bellavista	...	Surquillo	Ventanilla	Villa El Salvador	Villa María del Triunfo
Ancón	0.0	59.7	71.0	49.8	...	68.2	23.5	70.7	74.6
Ate	59.7	0.0	36.0	37.1	...	34.5	67.2	49.4	37.2
Barranco	71.0	36.0	0.0	19.0	...	4.7	46.7	18.6	20.8
Bellavista	49.8	37.1	19.0	0.0	...	20.3	42.0	38.3	36.7
Breña	50.2	32.4	12.0	10.8	...	12.2	36.9	33.2	31.5
Callao	51.6	38.0	24.1	5.6	...	26.0	24.5	42.1	40.6
Carabaylo	27.0	50.5	39.2	41.2	...	65.1	18.7	64.7	63.0
Carmen de la Legua	46.9	39.9	19.8	3.5	...	29.4	35.7	42.1	35.8
Chaclacayo	75.1	21.8	45.3	42.7	...	43.6	68.9	56.9	51.8
Chorrillos	71.4	44.9	8.9	25.6	...	11.1	45.7	16.6	17.7
Cieneguilla	83.0	66.6	39.1	66.1	...	48.0	72.1	52.2	32.3
Comas	36.6	38.4	27.1	22.4	...	43.0	21.2	43.4	41.7
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	⋮	⋮	⋮
San Isidro	54.0	33.2	8.9	16.3	...	4.6	41.0	22.3	23.3
San Juan de Lurigancho	51.7	25.7	21.6	14.2	...	22.0	38.2	34.8	33.3
San_Juan_de_Miraflores	67.9	30.4	26.5	29.9	...	10.3	54.5	9.4	7.4
San Luis	62.3	28.6	12.0	24.8	...	9.3	50.1	27.2	19.5
San Martín de Porres	38.2	38.2	23.7	12.1	...	31.8	30.3	44.6	38.2
San Miguel	50.6	35.3	14.7	4.0	...	17.4	43.2	33.8	37.9
Santa Anita	59.7	17.5	19.8	24.6	...	15.3	45.9	30.4	26.6
Santa_María	103.0	71.4	46.5	63.6	...	47.3	87.6	42.8	50.9
Santa_Rosa	11.1	62.1	50.7	46.0	...	31.6	18.4	67.3	65.6
Santiago de Surco	72.1	38.4	1.7	20.8	...	5.9	47.7	18.5	27.9
Surquillo	68.2	34.5	4.7	20.3	...	0.0	44.3	19.4	17.1
Ventanilla	23.5	67.2	46.7	42.0	...	44.3	0.0	62.9	61.3
Villa_El_Salvador	70.7	49.4	18.6	38.3	...	19.4	62.9	0.0	11.4
Villa María del Triunfo	74.6	37.2	20.8	36.7	...	17.1	61.3	11.4	0.0

Tabla 3. 13: Distancias en kilómetros entre los distritos de Lima Metropolitana y Callao  
Fuente: Google Maps  
Elaboración propia  
(Tomada del anexo 10)

$w_{ij}$  representa la decisión de recorrer la distancia  $ij$ . Si  $w_{ij}$  es cero, entonces no se recorrerá la distancia  $d_{ij}$ ; en caso  $w_{ij}$  sea igual a uno sí se recorrerá dicha distancia.

$k$  representa los distritos en donde no se instalarán almacenes.

Finalmente  $d_{ij}$  representa la distancia del distrito  $i$  al distrito  $j$ .

La formulación del modelo es la siguiente:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{49} \sum_{j=1}^{49} (w_{ij} * d_{ij}) \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{49} X_{ij} \geq D_j \quad ; \quad i \neq k \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{49} X_{ij} - CY_i \leq 0 \quad ; \quad i \neq k \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{49} Y_i \leq A \quad (4)$$

$$w_{ij} - X_{ij} \leq 0 \quad ; \quad i \neq k \quad (5)$$

$$X_{ij} \leq M(1 - v_{ij}) \quad \forall \quad M \gg 0 \quad ; \quad i \neq k \quad (6)$$

$$-w_{ij} + 1 \leq Mv_{ij} \quad ; \quad i \neq k \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{49} X_{ij} \geq Y_i \quad ; \quad i \neq k \quad (8)$$

$$X_{ij} \text{ entero} \quad Y_i \in \{0,1\} \quad w_{ij} \in \{0,1\} \quad (9)$$

La función objetivo (1) minimiza la distancia total recorrida, la cual se representa por la expresión  $w_{ij} * d_{ij}$ , donde  $w_{ij}$  agrega la distancia entre  $i$  y  $j$  a la sumatoria, en caso esta sea igual a uno.

Las restricciones (2) indican que la cantidad de beneficiados en el distrito  $j$  por el almacén ubicado en  $i$  debe ser mayor o igual a la demanda  $D_j$  en el distrito  $j$ .

Las restricciones (3) aseguran que la cantidad de personas atendidas en los diferentes distritos por el almacén  $i$  debe ser menor o igual a la capacidad del almacén en cuestión.

La restricción (4) limita los almacenes a una cantidad menor o igual a  $A$ . Las restricciones (5) aseguran que si  $X_{ij} = 0$ , entonces  $w_{ij} = 0$ , lo que significa que si no se despacha nada de  $i$  a  $j$ , entonces no se recorre la distancia entre estos distritos.

Las restricciones (6) y (7) son del tipo “si... entonces” y aseguran que se anote en la función objetivo la distancia  $d_{ij}$  en caso el distrito  $i$  despache al distrito  $j$ , es decir que dicha distancia se recorra. Así cuando  $X_{ij} > 0$ , es decir, si se despachan kits del distrito  $i$  al distrito  $j$ , entonces la variable binaria  $v_{ij}$  debe ser cero; luego en (7) si  $v_{ij} = 0$ , necesariamente  $w_{ij} = 1$ , dicho  $w_{ij}$  se anotará en la función objetivo que multiplicará al  $d_{ij}$  correspondiente y se cargará en dicha función la distancia recorrida.

El grupo de restricciones (8) asegura que no se instale un almacén en caso no haya despachos desde un distrito  $i$ , así si la sumatoria  $X_{ij}$  es cero, entonces  $Y_i$  será también igual a cero, dicho de otra manera, si no hay despacho del distrito  $i$  a ningún distrito  $j$ , entonces no se deberá instalar un almacén en el distrito  $i$ .

Este modelo se formuló con el lenguaje de modelado del LINGO versión 13. Este modelo tiene 1813 variables enteras, 1850 variables binarias y 7 familias de restricciones. Debido a la magnitud del modelo, sólo se muestra, a continuación, parte de la función objetivo y la primera ecuación de cada familia de restricciones.

Función objetivo:

A continuación, se muestra la función objetivo generada con LINGO, cada coeficiente es la distancia recorrida desde el distrito  $i$  al  $j$ , así por ejemplo, el coeficiente 59.7 es la distancia desde Ancón hasta Ate.

```

MIN=
59.7 * W_ANCON_ATE + 71 * W_ANCON_BARRANCO + 49.8 * W_ANCON_BELLAVISTA+
50.2 * W_ANCON_BREÑA + 45.6 * W_ANCON_CALLAO + 27 * W_ANCON_CARABAYLLO+
46.9 * W_ANCON_CARMEN_DE_LA_LEGUA + 75.1 * W_ANCON_CHACLACAYO +
71.4 * W_ANCON_CHORRILLOS + 83 * W_ANCON_CIENEGUILLA +
36.6 * W_ANCON_COMAS + 53.3 * W_ANCON_EL_AGUSTINO +
42.7 * W_ANCON_INDEPENDENCIA + 51.6 * W_ANCON_JESUS_MARIA +
70.1 * W_ANCON_LA_MOLINA + 50.5 * W_ANCON_LA_PERLA
+ ... +
27.9 * W_VILLA_MARIA_DEL_TRIUNFO_SANTIAGO_DE_SURCO +
17.1 * W_VILLA_MARIA_DEL_TRIUNFO_SURQUILLO +
61.3 * W_VILLA_MARIA_DEL_TRIUNFO_VENTANILLA +
11.4 * W_VILLA_MARIA_DEL_TRIUNFO_VILLA_EL_SALVADOR

```

Restricciones:

El grupo de restricciones (2) se refiere a los requerimientos por parte de las personas afectadas. En este caso, el distrito 1 (Ancón) tiene una demanda de 751 personas afectadas. La restricción correspondiente generada con LINGO para el distrito de Ancón es la siguiente. Para el resto de distritos son similares.

```
X_ANCON_ANCON + X_ATE_ANCON + X_BARRANCO_ANCON + X_BELLAVISTA_ANCON +
X_BREÑA_ANCON + X_CARABAYLLO_ANCON + X_CARMEN_DE_LA_LEGUA_ANCON +
X_CHACLACAYO_ANCON + X_CIENEGUILLA_ANCON + X_COMAS_ANCON +
X_EL_AGUSTINO_ANCON + X_INDEPENDENCIA_ANCON + X_JESUS_MARIA_ANCON +
X_LA_MOLINA_ANCON + X_LA_VICTORIA_ANCON + X_LIMA_ANCON +
X_LINCE_ANCON + X_LOS_OLIVOS_ANCON + X_LURIGANCHO_ANCON +
X_MAGDALENA_DEL_MAR_ANCON + X_MIRAFLORES_ANCON + X_PACHACAMAC_ANCON +
X_PUEBLO_LIBRE_ANCON + X_PUNTA_HERMOSA_ANCON + X_RIMAC_ANCON +
X_SAN_BORJA_ANCON + X_SAN_ISIDRO_ANCON +
X_SAN_JUAN_DE_LURIGANCHO_ANCON + X_SAN_LUIS_ANCON +
X_SAN_MARTIN_DE_PORRES_ANCON + X_SAN_MIGUEL_ANCON +
X_SANTA_ANITA_ANCON + X_SANTA_ROSA_ANCON + X_SANTIAGO_DE_SURCO_ANCON +
X_SURQUILLO_ANCON + X_VENTANILLA_ANCON +
X_VILLA_MARIA_DEL_TRIUNFO_ANCON >= 751
```

El siguiente grupo de restricciones (3) se refieren a la capacidad de los almacenes. Si se ubicara el almacén en el distrito, por ejemplo, de Ancón, este tendría capacidad máxima para abastecer a 223,000 personas afectadas. La restricción correspondiente generada con LINGO para Ancón es la siguiente. Las restricciones para el resto de distritos son similares.

```
X_ANCON_ANCON + X_ANCON_ATE + X_ANCON_BARRANCO + X_ANCON_BELLAVISTA +
X_ANCON_BRE_A + X_ANCON_CALLAO + X_ANCON_CARABAYLLO +
X_ANCON_CARMEN_DE_LA_LEGUA + X_ANCON_CHACLACAYO + X_ANCON_CHORRILLOS +
X_ANCON_CIENEGUILLA + X_ANCON_COMAS + X_ANCON_EL_AGUSTINO +
X_ANCON_INDEPENDENCIA + X_ANCON_JESUS_MARIA + X_ANCON_LA_MOLINA +
X_ANCON_LA_PERLA + X_ANCON_LA_PUNTA + X_ANCON_LA_VICTORIA +
X_ANCON_LIMA + X_ANCON_LINCE + X_ANCON_LOS_OLIVOS +
X_ANCON_LURIGANCHO + X_ANCON_LURIN + X_ANCON_MAGDALENA_DEL_MAR +
X_ANCON_MIRAFLORES + X_ANCON_PACHACAMAC + X_ANCON_PUCUSANA +
X_ANCON_PUEBLO_LIBRE + X_ANCON_PUENTE_PIEDRA + X_ANCON_PUNTA_HERMOSA +
X_ANCON_PUNTA_NEGRA + X_ANCON_RIMAC + X_ANCON_SAN_BARTOLO +
X_ANCON_SAN_BORJA + X_ANCON_SAN_ISIDRO +
X_ANCON_SAN_JUAN_DE_LURIGANCHO + X_ANCON_SAN_JUAN_DE_MIRAFLORES +
X_ANCON_SAN_LUIS + X_ANCON_SAN_MARTIN_DE_PORRES + X_ANCON_SAN_MIGUEL +
X_ANCON_SANTA_ANITA + X_ANCON_SANTA_MARIA + X_ANCON_SANTA_ROSA +
X_ANCON_SANTIAGO_DE_SURCO + X_ANCON_SURQUILLO + X_ANCON_VENTANILLA +
X_ANCON_VILLA_EL_SALVADOR +
X_ANCON_VILLA_MAR_A_DEL_TRIUNFO <= 223000 * Y_ANCON
```

El grupo (4) es una sola restricción y limita el número de distritos que contarán con un almacén. Se trabajará distintas soluciones, modificando este parámetro en cada una de ellas. La restricción correspondiente generada con LINGO es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 & Y\_ANCON + Y\_ATE + Y\_BARRANCO + Y\_BELLAVISTA + Y\_BREÑA + Y\_CARABAYLLO + \\
 & Y\_CARMEN\_DE\_LA\_LEGUA + Y\_CHAACLACAYO + Y\_CIENEGUILLA + Y\_COMAS + \\
 & Y\_EL\_AGUSTINO + Y\_INDEPENDENCIA + Y\_JESÚS\_MARIA + Y\_LA\_MOLINA + \\
 & Y\_LA\_VICTORIA + Y\_LIMA + Y\_LINCE + Y\_LOS\_OLIVOS + Y\_LURIGANCHO + \\
 & Y\_MAGDALENA\_DEL\_MAR + Y\_MIRAFLORES + Y\_PACHACAMAC + Y\_PUEBLO\_LIBRE + \\
 & Y\_PUNTA\_HERMOSA + Y\_RIMAC + Y\_SAN\_BORJA + Y\_SAN\_ISIDRO + \\
 & Y\_SAN\_JUAN\_DE\_LURIGANCHO + Y\_SAN\_LUIS + Y\_SAN\_MARTIN\_DE\_PORRES + \\
 & Y\_SAN\_MIGUEL + Y\_SANTA\_ANITA + Y\_SANTA\_ROSA + Y\_SANTIAGO\_DE\_SURCO + \\
 & Y\_SURQUILLO + Y\_VENTANILLA + Y\_VILLA\_MAR\_A\_DEL\_TRIUNFO \leq A
 \end{aligned}$$

donde  $A = \{22, 27, 32, 37\}$

La familia de restricciones (5) para el distrito de Ancón se muestra a continuación. Como se explicó, estas aseguran que si  $X_{ij}$  es igual a cero, entonces, la variable binaria  $w_{ij}$  también tomará valor igual a cero, lo que significa que si no hay despacho del distrito  $i$  al distrito  $j$ , entonces no debe anotarse en la función objetivo dicha distancia porque no se recorre.

$$\begin{aligned}
 & X\_ANCON\_ANCON - W\_ANCON\_ANCON \geq 0; \\
 & X\_ANCON\_ATE - W\_ANCON\_ATE \geq 0; \\
 & X\_ANCON\_BARRANCO - W\_ANCON\_BARRANCO \geq 0; \\
 & X\_ANCON\_BELLAVISTA - W\_ANCON\_BELLAVISTA \geq 0; \\
 & X\_ANCON\_BRE\_A - W\_ANCON\_BRE\_A \geq 0; \\
 & X\_ANCON\_CALLAO - W\_ANCON\_CALLAO \geq 0; \\
 & X\_ANCON\_CARABAYLLO - W\_ANCON\_CARABAYLLO \geq 0; \\
 & X\_ANCON\_CARMEN\_DE\_LA\_LEGUA - W\_ANCON\_CARMEN\_DE\_LA\_LEGUA \geq 0; \\
 & X\_ANCON\_CHAACLACAYO - W\_ANCON\_CHAACLACAYO \geq 0; \\
 & X\_ANCON\_CHORRILLOS - W\_ANCON\_CHORRILLOS \geq 0; \\
 & X\_ANCON\_CIENEGUILLA - W\_ANCON\_CIENEGUILLA \geq 0; \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 & X\_ANCON\_VILLA\_MAR\_A\_DEL\_TRIUNFO - W\_ANCON\_VILLA\_MAR\_A\_DEL\_TRIUNFO \geq 0
 \end{aligned}$$

Las restricciones “si... entonces” de las familias (6) y (7) se muestran a continuación para el distrito de Ancón.

```

X_ANCON_ANCON + 750000 * V_ANCON_ANCON <= 750000
X_ANCON_ATE + 750000 * V_ANCON_ATE <= 750000
X_ANCON_BARRANCO + 750000 * V_ANCON_BARRANCO <= 750000
X_ANCON_BELLAVISTA + 750000 * V_ANCON_BELLAVISTA <= 750000
X_ANCON_BREÑA + 750000 * V_ANCON_BREÑA <= 750000
X_ANCON_CALLAO + 750000 * V_ANCON_CALLAO <= 750000
X_ANCON_CARABAYLLO + 750000 * V_ANCON_CARABAYLLO <= 750000
X_ANCON_CARMEN_DE_LA_LEGUA + 750000 * V_ANCON_CARMEN_DE_LA_LEGUA <= 750000
X_ANCON_CHACLACAYO + 750000 * V_ANCON_CHACLACAYO <= 750000
X_ANCON_CHORRILLOS + 750000 * V_ANCON_CHORRILLOS <= 750000
X_ANCON_CIENEGUILLA + 750000 * V_ANCON_CIENEGUILLA <= 750000
X_ANCON_COMAS + 750000 * V_ANCON_COMAS <= 750000
X_ANCON_EL_AGUSTINO + 750000 * V_ANCON_EL_AGUSTINO <= 750000
X_ANCON_INDEPENDENCIA + 750000 * V_ANCON_INDEPENDENCIA <= 750000
.
.
.
X_ANCON_VILLA_EL_SALVADOR + 750000 * V_ANCON_VILLA_EL_SALVADOR <= 750000
X_ANCON_VILLA_MARIA_DEL_TRIUNFO +
750000 * V_ANCON_VILLA_MARIA_DEL_TRIUNFO <= 750000

- W_ANCON_ANCON - 750000 * V_ANCON_ANCON <= - 1
- W_ANCON_ATE - 750000 * V_ANCON_ATE <= - 1
- W_ANCON_BARRANCO - 750000 * V_ANCON_BARRANCO <= - 1
- W_ANCON_BELLAVISTA - 750000 * V_ANCON_BELLAVISTA <= - 1
- W_ANCON_BREÑA - 750000 * V_ANCON_BREÑA <= - 1
- W_ANCON_CALLAO - 750000 * V_ANCON_CALLAO <= - 1
- W_ANCON_CARABAYLLO - 750000 * V_ANCON_CARABAYLLO <= - 1
- W_ANCON_CARMEN_DE_LA_LEGUA - 750000 * V_ANCON_CARMEN_DE_LA_LEGUA <= -1
- W_ANCON_CHACLACAYO - 750000 * V_ANCON_CHACLACAYO <= - 1
- W_ANCON_CHORRILLOS - 750000 * V_ANCON_CHORRILLOS <= - 1
- W_ANCON_CIENEGUILLA - 750000 * V_ANCON_CIENEGUILLA <= - 1
.
.
.
- W_ANCON_VILLA_MARIA_DEL_TRIUNFO -
750000 * V_ANCON_VILLA_MARIA_DEL_TRIUNFO <= - 1

```

Como se explicó anteriormente, la existencia de los almacenes se asegura con el grupo de restricciones (8) en donde si en un distrito  $i$  no despacha a ningún distrito  $j$ , la variable  $Y_{ij}$  será cero. Las restricciones generadas con LINGO son las siguientes para el distrito de Ancón. Para el resto de distritos son similares.

```

X_ANCON_ANCON + X_ANCON_ATE + X_ANCON_BARRANCO + X_ANCON_BELLAVISTA +
X_ANCON_BREÑA + X_ANCON_CALLAO + X_ANCON_CARABAYLLO +
X_ANCON_CARMEN_DE_LA_LEGUA + X_ANCON_CHACLACAYO + X_ANCON_CHORRILLOS +
X_ANCON_CIENEGUILLA + X_ANCON_COMAS + X_ANCON_EL_AGUSTINO +
X_ANCON_INDEPENDENCIA + X_ANCON_JESUS_MARIA + X_ANCON_LA_MOLINA +
X_ANCON_LA_PERLA + X_ANCON_LA_PUNTA + X_ANCON_LA_VICTORIA +
X_ANCON_LIMA + X_ANCON_LINCE + X_ANCON_LOS_OLIVOS +

```

X\_ANCON\_LURIGANCHO + X\_ANCON\_LURIN + X\_ANCON\_MAGDALENA\_DEL\_MAR +  
 X\_ANCON\_MIRAFLORES + X\_ANCON\_PACHACAMAC + X\_ANCON\_PUCUSANA +  
 X\_ANCON\_PUEBLO\_LIBRE + X\_ANCON\_PUENTE\_PIEDRA + X\_ANCON\_PUNTA\_HERMOSA +  
 X\_ANCON\_PUNTA\_NEGRA + X\_ANCON\_R\_MAC + X\_ANCON\_SAN\_BARTOLOLO +  
 X\_ANCON\_SAN\_BORJA + X\_ANCON\_SAN\_ISIDRO +  
 X\_ANCON\_SAN\_JUAN\_DE\_LURIGANCHO + X\_ANCON\_SAN\_JUAN\_DE\_MIRAFLORES +  
 X\_ANCON\_SAN\_LUIS + X\_ANCON\_SAN\_MARTIN\_DE\_PORRES + X\_ANCON\_SAN\_MIGUEL +  
 X\_ANCON\_SANTA\_ANITA + X\_ANCON\_SANTA\_MARIA + X\_ANCON\_SANTA\_ROSA +  
 X\_ANCON\_SANTIAGO\_DE\_SURCO + X\_ANCON\_SURQUILLO + X\_ANCON\_VENTANILLA +  
 X\_ANCON\_VILLA\_EL\_SALVADOR + X\_ANCON\_VILLA\_MAR\_A\_DEL\_TRIUNFO >= Y\_ANCON

### 3.4.5 Resultados del modelo

A continuación, se muestran los resultados obtenidos al correr el modelo para cada escenario propuesto. En cada uno de ellos, se indican los distritos donde se colocarán los almacenes y a qué distritos y en qué cantidades abastecerán.

La evaluación de los resultados, así como el análisis de los criterios y escenarios propuestos, serán trabajados en el capítulo 4.

Criterio 1: número de damnificados

a) A = 22 almacenes

<b>Distrito donde se ubica el almacén</b>	<b>Distrito(s) al (a los) que abastece</b>	<b>Atención</b>
Ancón	Ancón	751
Ate	Ate	69,954
Bellavista	Bellavista	2,810
	Carmen de la Legua	400
	La Perla	2,348
	La Punta	145
	Lima	18,674
	San Miguel	3,185
Carabaylo	Carabaylo	127,612
Carmen de la Legua	Callao	195,954
Chaclacayo	Chaclacayo	815
Cieneguilla	Cieneguilla	258
Comas	Comas	242,235
El Agustino	El Agustino	8,913
La Molina	Santa Anita	15,339
	La Molina	6,971
La Victoria	Lince	1,272
	La Victoria	1,080
	Jesús María	1,672
	San Isidro	1,374
	San Luis	1,102
Lima	Breña	3,031
	La Victoria	5,457
	Magdalena del Mar	1,204
	Pueblo Libre	1,877
	Rímac	4,416
Lurigancho	Lurigancho	74,186
Pachacámac	Lurín	36,312
	Pachacámac	15,260
	Punta Negra	157
Punta Hermosa	Pucusana	2,686
	Punta Hermosa	219
	San Bartolo	1,049
	Santa María	74
San Borja	San Borja	2,729
San Juan de Lurigancho	San Juan de Lurigancho	314,549
San Martín de Porres	Independencia	4,865
	Los Olivos	9,316
	San Martín de Porres	6,736
Santa Rosa	Santa Rosa	850
Santiago de Surco	Barranco	7,969
	Chorrillos	51,918
	Miraflores	1,902
	Santiago de Surco	9,512
	Surquillo	2,240
Ventanilla	Puente Piedra	144,323
	Ventanilla	14,435
Villa María del Triunfo	San Juan de Miraflores	128,435
	Villa El Salvador	113,993
	Villa María del Triunfo	133,171

Tabla 3. 14: Resultados criterio 1 (A = 22)

b) A = 27 almacenes

Distrito donde se ubica el almacén	Distrito(s) al (a los) que abastece	Atención
Ancón	Ancón	751
Ate	Ate	69,954
Bellavista	Bellavista	2,810
	Carmen de la Legua	400
	La Perla	2,348
	La Punta	145
	Lima	18,674
	San Miguel	3,185
Breña	Jesús María	1,672
	Magdalena del Mar	1,204
Carabaylo	Carabaylo	127,612
Carmen de la Legua	Callao	195,954
Chaclacayo	Chaclacayo	815
Cieneguilla	Cieneguilla	258
Comas	Comas	242,235
El Agustino	El Agustino	8,913
Independencia	Independencia	4,865
La Molina	Santa Anita	15,339
	La Molina	6,971
La Victoria	Breña	3,031
	Lince	1,272
	San Luis	1,102
Lurigancho	Lurigancho	74,186
Miraflores	Miraflores	1,902
Pachacámac	Pachacámac	15,260
	Lurín	36,312
	Punta Negra	157
Pueblo Libre	Pueblo Libre	1,877
Punta Hermosa	Pucusana	2,686
	Punta Hermosa	219
	San Bartolo	1,049
	Santa María	74
Rímac	Rímac	4,416
San Borja	San Borja	2,729
San Isidro	San Isidro	1,374
San Juan de Lurigancho	San Juan de Lurigancho	314,549
San Martín de Porres	Los Olivos	9,316
	San Martín de Porres	6,736
Santa Rosa	Santa Rosa	850
Santiago de Surco	Barranco	7,969
	Chorrillos	51,918
	La Victoria	6,537
	Santiago de Surco	9,512
	Surquillo	2,240
Ventanilla	Puente Piedra	144,323
	Ventanilla	14,435
Villa María del Triunfo	San Juan de Miraflores	128,435
	Villa El Salvador	113,993
	Villa María del Triunfo	133,171

Tabla 3. 15: Resultados criterio 1 (A = 27)

c)  $A = 32$  almacenes

<b>Distrito donde se ubica el almacén</b>	<b>Distrito(s) al (a los) que abastece</b>	<b>Atención</b>
Ancón	Ancón	751
Ate	Ate	69,954
Bellavista	Bellavista	2,810
	Carmen de la Legua	400
	La Perla	2,348
	La Punta	145
	San Miguel	3,185
Breña	Breña	1,705
	La Victoria	1,295
Carabaylo	Carabaylo	127,612
Carmen de la Legua	Callao	195,954
Chaclacayo	Chaclacayo	815
Cieneguilla	Cieneguilla	258
Comas	Comas	242,235
El Agustino	El Agustino	8,913
Independencia	Independencia	4,865
	Jesús María	1,672
Jesús María	Jesús María	1,672
	Magdalena del Mar	4
La Molina	La Molina	6,971
	Santa Anita	15,339
La Victoria	La Victoria	5,242
	San Luis	1,102
Lima	Breña	1,326
	Lima	18,674
Lince	Lince	1,272
Lurigancho	Lurigancho	74,186
Magdalena del Mar	Magdalena del Mar	1,200
Miraflores	Miraflores	1,902
Pueblo Libre	Pueblo Libre	1,877
Pachacámac	Lurín	36,312
	Pachacámac	15,260
	Punta Negra	157
Punta Hermosa	Punta Hermosa	219
	Pucusana	2,686
	San Bartolo	1,049
	Santa María	74
Rímac	Rímac	4,416
San Borja	San Borja	2,729
San Isidro	San Isidro	1,374
San Juan de Lurigancho	San Juan de Lurigancho	314,549
San Martín de Porres	Los Olivos	9,316
	San Martín de Porres	6,736
Santa Rosa	Santa Rosa	850
Santiago de Surco	Barranco	7,969
	Chorrillos	51,918
	Santiago de Surco	9,512
Surquillo	Surquillo	2,240
Ventanilla	Ventanilla	14,435
	Puente Piedra	144,323
Villa María del Triunfo	San Juan de Miraflores	128,435
	Villa El Salvador	113,993
	Villa María del Triunfo	133,171

Tabla 3. 16: Resultados criterio 1 ( $A = 32$ )

d) A = 37 almacenes

Distrito donde se ubica el almacén	Distrito(s) al (a los) que abastece	Atención
Ancón	Ancón	751
Ate	Ate	69,954
Barranco	Barranco	7,969
Bellavista	Bellavista	2,810
	Carmen de la Legua	400
	La Perla	2,348
	La Punta	145
	San Miguel	3,185
Breña	Breña	2,707
	La Victoria	139
Carabaylo	Carabaylo	127,612
Carmen de la Legua	Callao	195,954
Chaclacayo	Chaclacayo	815
Cieneguilla	Cieneguilla	258
Comas	Comas	242,235
El Agustino	El Agustino	8,462
	Santa Anita	538
Independencia	Independencia	4,865
Jesús María	Breña	324
	Jesús María	1,672
	Magdalena del Mar	4
La Molina	La Molina	6,971
La Victoria	La Victoria	6,398
	San Luis	102
Lima	Lima	18,674
Lince	Lince	1,272
Los Olivos	Los Olivos	9,316
Lurigancho	Lurigancho	74,186
Magdalena del Mar	Magdalena del Mar	1,200
Miraflores	Miraflores	1,902
Pachacámac	Lurín	36,312
	Pachacámac	15,260
	Punta Negra	157
Pueblo Libre	Pueblo Libre	1,877
Punta Hermosa	Punta Hermosa	219
	Pucusana	2,686
	San Bartolo	1,049
	Santa María	74
Rímac	Rímac	4,416
San Borja	San Borja	2,729
San Isidro	San Isidro	1,374
San Juan de Lurigancho	San Juan de Lurigancho	314,549
	El Agustino	252
San Luis	San Luis	1,000
San Martín de Porres	San Martín de Porres	6,736
Santa Anita	Santa Anita	15,000
Santa Rosa	Santa Rosa	850
Santiago de Surco	Chorrillos	51,918
	Santiago de Surco	9,512
Surquillo	Surquillo	2,240
Ventanilla	Puente Piedra	144,323
	Ventanilla	14,435
Villa María del Triunfo	San Juan de Miraflores	128,435
	Villa El Salvador	113,993
	Villa María del Triunfo	133,171

Tabla 3. 17: Resultados criterio 1 (A = 37)

La tabla 3.16 muestra el resumen de los resultados obtenidos en cada una de las corridas del modelo, según el primer criterio empleado para el cálculo de la capacidad máxima de los almacenes.

Número de almacenes	Kilómetros recorridos	Demanda abastecida
6	779.4	1,795,735
22	287.7	1,795,735
27	249.4	1,795,735
32	221.9	1,795,735
36	212.3	1,795,735

Tabla 3. 18: Resumen de resultados – Primer criterio: número de damnificados

En la tabla mostrada, podemos notar que para el último escenario evaluado ( $A=37$  almacenes), el resultado óptimo contempla una cantidad de 36 almacenes necesarios para abastecer a toda la población afectada en caso de emergencia. Es decir, que para  $A=36$  ó  $A=37$ , el resultado óptimo será el mismo.

Cabe resaltar que el punto de quiebre para este criterio, se encontró en  $A=6$  almacenes, donde se obtuvo un resultado de 779.4 km recorridos para satisfacer la misma demanda que en los escenarios anteriormente evaluados; mostrando que en el rango  $A < 6$  no es posible satisfacer la restricción de la demanda del modelo propuesto, dicho de otra manera, el modelo para  $A < 6$  no tiene solución factible.

Criterio 2: Superficie territorial

a) A = 22 almacenes

Distrito donde se ubica el almacén	Distrito(s) al (a los) que abastece	Atención
Ancón	Ancón	751
	San Juan de Lurigancho	222,249
Ate	Ate	62,000
Carabaylo	Carabaylo	127,612
	Comas	87,997
	Puente Piedra	84,391
Chaclacayo	Chaclacayo	815
	Lurigancho	29,192
Cieneguilla	Cieneguilla	258
	Comas	114,238
	Villa María del Triunfo	108,504
Comas	Comas	40,000
La Molina	Santa Anita	15,339
	La Molina	6,971
	Chorrillos	39,690
La Victoria	Breña	3,031
	La Victoria	6,537
Lima	Pueblo Libre	1,877
	Lima	16,223
	Carmen de la Legua	400
Los Olivos	Los Olivos	9,316
Lurigancho	Lurigancho	44,994
	Callao	178,006
Pachacámac	San Juan de Miraflores	128,435
	Punta Negra	157
	Pachacámac	15,260
Punta Hermosa	Lurín	36,312
	Punta Hermosa	219
	San Bartolo	1,049
	Pucusana	2,686
	Santa María	74
	Villa el Salvador	76,660
San Borja	San Borja	2,729
	San Luis	1,102
San Isidro	Jesús María	1672
	Lince	1,272
	Magdalena del Mar	1,204
	Miraflores	1,902
	San Isidro	1,374
San Juan de Lurigancho	Surquillo	2,240
	El Agustino	8,913
	Ate	7,954
	Rimac	4,416
	San Juan de Lurigancho	92,300
San Martín de Porres	Callao	17,948
	Independencia	4,865
	Lima	2,451
	San Martín de Porres	6,736
San Miguel	Bellavista	2,810
	La Perla	2,348
	La Punta	145
	San Miguel	3,185
Santa Rosa	Santa Rosa	850
	Ventanilla	14,435
Santiago de Surco	Barranco	7,969
	Chorrillos	14,519
	Santiago de Surco	9,512
Ventanilla	Puente Piedra	59,932
Villa María del Triunfo	Villa el Salvador	37,333
	Villa María del Triunfo	24,667

Tabla 3. 19: Resultados criterio 2 (A = 22)

b) A = 27 almacenes

Distrito donde se ubica el almacén	Distrito(s) al (a los) que abastece	Atención
Ancón	Ancón	751
	Comas	222,249
Ate	Ate	62,000
Bellavista	Carmen de la Legua	400
	La Perla	2,348
	La Punta	145
Carabaylo	Carabaylo	127,612
	Puente Piedra	144,323
Chaclacayo	Chaclacayo	815
	Lurigancho	31,185
Cieneguilla	Callao	113,941
	Cieneguilla	258
	Villa María del Triunfo	108,801
Comas	Comas	19,986
	Callao	20,014
El Agustino	El Agustino	8,913
Independencia	Independencia	4,865
La Molina	Santa Anita	15,339
	La Molina	6,971
	Chorrillos	37,399
La Victoria	San Luis	1,102
	La Victoria	6,537
Lima	Breña	3,031
	Lima	15,469
Los Olivos	Los Olivos	9,316
Lurigancho	Lurigancho	43,001
	San Juan de Lurigancho	179,999
Pachacámac	Pachacámac	15,260
	Punta Negra	157
	San Juan de Miraflores	128,435
Punta Hermosa	Lurín	36,312
	Pucusana	2,686
	Punta Hermosa	219
	San Bartolo	1,049
	Santa María	74
Villa el Salvador	76,660	
Rímac	Lima	3,205
	Rímac	4,416
San Borja	San Borja	2,729
San Isidro	Jesús María	1,672
	Lince	1,272
	Magdalena del Mar	1,204
	Miraflores	1,902
	San Isidro	1,374
Surquillo	2,240	
San Juan de Lurigancho	San Juan de Lurigancho	117,000
San Martín de Porres	San Juan de Lurigancho	25,264
	San Martín de Porres	6,736
San Miguel	Bellavista	2,810
	Pueblo Libre	1,877
	San Miguel	3,185
Santa Anita	Ate	7,954
Santa Rosa	Santa Rosa	850
	Ventanilla	14,434
Santiago de Surco	Barranco	7,969
	Chorrillos	14,519
	Santiago de Surco	9,512
Ventanilla	Callao	61,999
Villa María del Triunfo	Villa el Salvador	37,333
	Villa María del Triunfo	24,370

Tabla 3. 20: Resultados criterio 2 (A = 27)

c)  $A = 32$  almacenes

Distrito donde se ubica el almacén	Distrito(s) al (a los) que abastece	Atención
Ancón	Ancón	751
	Comas	222,249
Ate	Ate	62,000
Bellavista	Bellavista	2,810
	La Punta	145
Carabayllo	Carabayllo	127,612
	Puente Piedra	144,323
Chaclacayo	Chaclacayo	815
	Lurigancho	31,185
Cieneguilla	Callao	123,819
	Cieneguilla	258
	Villa María del Triunfo	98,923
Comas	Comas	22,450
	San Juan de Lurigancho	17,550
El Agustino	El Agustino	8,913
Independencia	Independencia	4,865
La Molina	Chorrillos	41,736
	La Molina	6,971
	Santa Anita	13,293
La Victoria	La Victoria	6,537
	San Luis	1,102
Lima	Carmen de la Legua	400
	Lima	18,100
Lince	Jesús María	1,672
	Lince	1,272
Los Olivos	Los Olivos	9,316
Lurigancho	Lurigancho	43,001
	San Juan de Lurigancho	179,999
Magdalena del Mar	Magdalena del Mar	1,204
Miraflores	Miraflores	1,902
	San Juan de Miraflores	8,098
Pueblo Libre	Lima	574
	Pueblo Libre	1,877
Pachacámac	Lurín	36,312
	Pachacámac	15,260
	Pucusana	2,686
	Punta Negra	157
	San Juan de Miraflores	92,585
Punta Hermosa	Punta Hermosa	219
	San Bartolo	1,049
	Santa María	74
	Villa el Salvador	113,993
Rímac	Rímac	4,416
San Borja	San Borja	2,729
San Isidro	Breña	3,031
	San Isidro	1,374
San Juan de Lurigancho	San Juan de Lurigancho	117,000
San Martín de Porres	Callao	25,264
	San Martín de Porres	6,736
San Miguel	La Perla	2,348
	San Miguel	3,185
Santa Anita	Ate	7,954
	Santa Anita	2,046
Santa Rosa	Santa Rosa	850
Santiago de Surco	Barranco	7,969
	Chorrillos	10,182
	Santiago de Surco	9,512
Surquillo	Surquillo	2,240
Ventanilla	Ventanilla	14,435
	Callao	46,871
Villa María del Triunfo	San Juan de Miraflores	27,752
	Villa María del Triunfo	34,248

Tabla 3. 21: Resultados criterio 2 ( $A = 32$ )

d) A = 37 almacenes

Distrito donde se ubica el almacén	Distrito(s) al (a los) que abastece	Atención
Ancón	Ancón	751
	Comas	202,235
Ate	Ate	62,000
Barranco	Barranco	3,000
Bellavista	Bellavista	2,810
	La Punta	145
Breña	Breña	3,000
Carabayllo	Carabayllo	127,612
	Puente Piedra	144,323
Carmen de la Legua	Carmen de la Legua	400
Chaclacayo	Chaclacayo	815
	Lurigancho	31,185
Cieneguilla	Callao	123,125
	Cieneguilla	258
	Villa María del Triunfo	99,617
Comas	Comas	40,000
El Agustino	El Agustino	8,913
Independencia	Independencia	4,865
Jesús María	Breña	31
	Jesús María	1,672
La Molina	La Molina	6,971
	San Juan de Miraflores	39,690
	Santa Anita	15,339
La Victoria	La Victoria	6,537
	Rímac	3,463
Lima	Lima	18,500
Lince	Lince	1,272
Los Olivos	Los Olivos	9,316
Lurigancho	Lurigancho	43,001
	San Juan de Lurigancho	179,999
	Magdalena del Mar	1,204
Miraflores	Miraflores	1,902
	Santiago de Surco	8,098
Pachacámac	Lurín	36,312
	Pachacámac	15,260
	Pucusana	2,686
	Punta Negra	157
	San Juan de Miraflores	92,585
Pueblo Libre	Lima	1,123
	Pueblo Libre	1,877
Punta Hermosa	Punta Hermosa	219
	San Bartolo	1,049
	Santa María	74
	Villa el Salvador	113,993
Rímac	Rímac	953
	San Juan de Lurigancho	9,047
San Borja	San Borja	2,729
San Isidro	San Isidro	1,374
	San Juan de Lurigancho	8,626
San Juan de Lurigancho	San Juan de Lurigancho	116,877
San Luis	San Luis	1,102
San Martín de Porres	Callao	25,264
	San Martín de Porres	6,736
San Miguel	La Perla	2,348
	San Miguel	3,185
Santa Anita	Ate	7,954
Santa Rosa	Santa Rosa	850
Santiago de Surco	Barranco	4,969
	Chorrillos	25,617
	Santiago de Surco	1,414
Surquillo	Surquillo	2,240
Ventanilla	Callao	47,565
	Ventanilla	14,435
Villa María del Triunfo	Chorrillos	26,301
	Villa María del Triunfo	33,554

Tabla 3. 22: Resultados criterio 2 (A = 37)

A continuación la tabla 3.21 muestra el resumen de los resultados obtenidos:

Número de almacenes	Kilómetros recorridos	Demanda abastecida
20	669.2	1,798, 026
22	641.7	1,798,026
27	582.3	1,803,448
32	546.1	1,798,199
37	538.3	1,800,524

Tabla 3. 23: Resumen de resultados – Segundo criterio: superficie territorial

Cabe resaltar que el punto de quiebre para este criterio, se encontró en  $A=20$  almacenes, donde se obtuvo un resultado de 669.2 km recorridos para satisfacer la a toda la población afectada; mostrando que en el rango  $A < 20$  no es posible satisfacer la restricción de la demanda del modelo propuesto, es decir, el modelo para  $A < 20$  no tiene solución factible.

#### 3.4.6 Análisis de sensibilidad

Los resultados obtenidos al variar el parámetro  $A$  en cada una de las corridas permiten analizar la sensibilidad de la distancia frente a un incremento en el número de almacenes.

En la figura 3.4 podemos observar claramente que para ambos criterios, el total de kilómetros recorridos se reduce de manera moderada al incrementar el número máximo de almacenes en el rango de 22 a 32, donde las disminuciones en las distancias recorridas se encuentran por debajo de los 12 kilómetros por almacén adicional implementado.

Para el primer criterio de superficie territorial, la diferencia entre tener 22 y 27 almacenes es de 59 km menos por recorrer; mientras que al pasar de 22 a 32 almacenes, la distancia se reduce en 95 km. Para el segundo criterio de número de damnificados, la distancia recorrida es menos sensible al incremento del número de almacenes. La diferencia entre 22 y 27 almacenes es de tan solo 38 km mientras que

al incrementar el número de almacenes de 22 a 32, la distancia solo se reduce en 66 km.

A partir de los 32 almacenes, la disminución de kilómetros totales recorridos se vuelve mínima, siendo menor a los 2 kilómetros por almacén adicional implementado. Incluso en el caso del criterio del número de damnificados, para el escenario donde  $A=37$  almacenes, el modelo da como resultado óptimo la cantidad de 36 almacenes para cubrir a toda la población afectada. Esto revela que en el rango de 32 a 37 almacenes, el beneficio marginal de incrementar la capacidad de respuesta, reflejada en kilómetros recorridos es poco considerable; razón por la cual quizá no compense un aumento en el presupuesto necesario para construir un almacén adicional. Este punto será revisado con más profundidad en el siguiente capítulo.

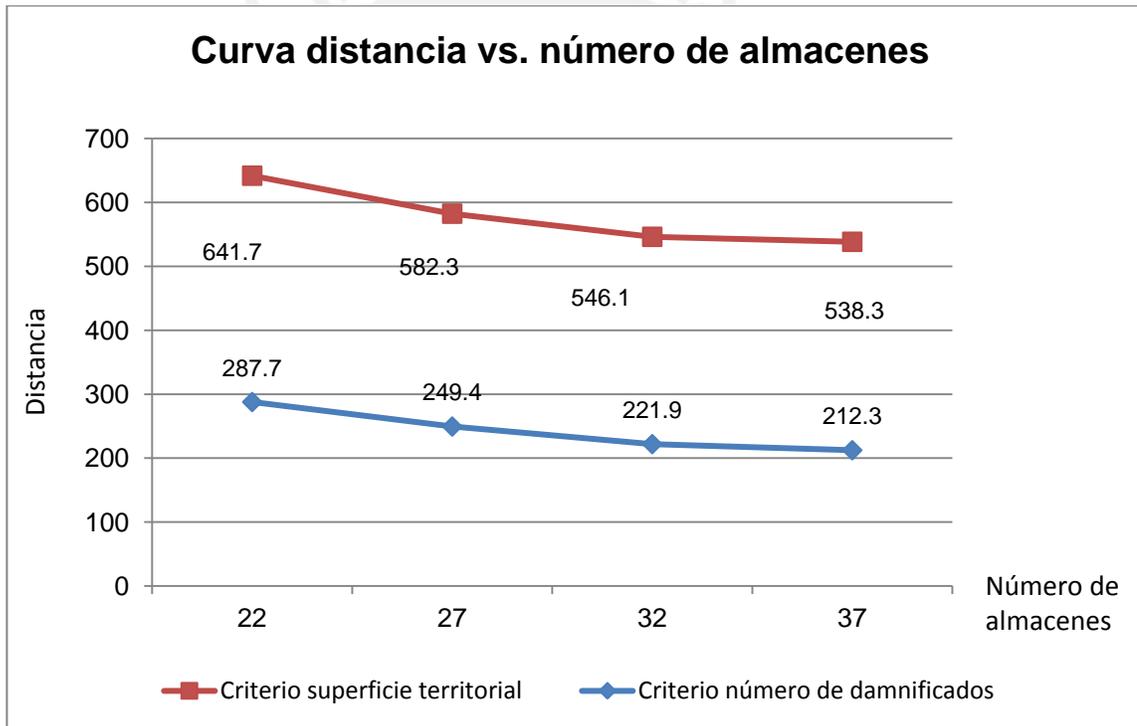


Figura 3. 4: Curva distancia vs. número de almacenes  
Elaboración propia

## CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

### 4.1 Evaluación de los criterios para determinar la capacidad de los almacenes

En la figura 3.4, se mostró las distancias recorridas en ocho escenarios, empleando dos criterios diferentes para determinar la capacidad de los almacenes de abastecimiento; el objetivo de este acápite consiste en evaluar los pros y contras de estos criterios.

Cabe resaltar que hay diversos criterios para determinar la capacidad de los almacenes, así por ejemplo, asignar la misma capacidad o determinarla según la facilidad de acceso al distrito, entre otros. Sin embargo, como escenario inicial o punto de partida para otros estudios del tema, se consideró importante trabajar según los criterios expuestos.

#### 4.1.1 Criterio 1: número de damnificados

En el primer caso, para el criterio del número de damnificados, se trabaja con la premisa de que la capacidad de un determinado almacén debe ser suficiente para abastecer al distrito en el que se encuentra y a los distritos que no pueden albergar un almacén (si estos fueran adyacentes), debido a sus condiciones sísmicas. Tomando en cuenta esta premisa, era lógico inferir que la distancia total recorrida siempre sería menor para este criterio en comparación con el de superficie territorial (vea las tablas 3.16 y 3.21).

Este criterio sería adecuado debido a que el propósito es poder satisfacer a toda la población afectada en el menor tiempo posible y esto se conseguirá más fácilmente en este caso. Así, un distrito con un gran número de damnificados tendrá un almacén de mayor capacidad; de igual manera, un almacén ubicado en un distrito adyacente a uno de los 12 más vulnerables, deberá tener la capacidad suficiente para abastecerlos a ambos. Al utilizar este criterio, el tiempo de respuesta se reducirá considerablemente y se refleja en la reducción de los kilómetros totales recorridos.

Este criterio, sin embargo, no considera otros factores que sería importante tomar en cuenta. El primero y tal vez importante hace referencia al espacio disponible en el

distrito; pues no necesariamente un distrito con un gran número de damnificados tendrá el tamaño suficiente para albergar un almacén de mayor capacidad. Para ilustrar esta idea, Carabayllo y Comas que son distritos aledaños, el primero tiene una superficie territorial mucho mayor a la de Comas; sin embargo la cantidad de damnificados en este distrito es aproximadamente el 50% de los estimados para Comas. En este caso, es probable que Comas no cuente con un espacio disponible tan amplio como para abastecer a sus más de 242,000 damnificados, mientras que Carabayllo podría sí tenerlo, tal vez porque es el distrito de mayor superficie en Lima Metropolitana y Callao. Así como este, podemos encontrar otros ejemplos, en los que podría ser necesario considerar factores adicionales además del número de damnificados, pues en algunos casos la baja cantidad de damnificados en un distrito podría deberse a una baja densidad poblacional, lo que podría significar terreno disponible para la colocación de un almacén.

Otro factor a tomar en cuenta podría ser la posibilidad de colocar un almacén en un determinado distrito según la accesibilidad. Por otro lado, quizás sea razonable pensar que en algunos casos el número de damnificados esté ligado al índice de pobreza del distrito, debido a la precariedad de las viviendas. En estos distritos con altos índices de pobreza, gran parte de su superficie está compuesta por terrenos sin asfaltar, por tanto, podría ser más complicada la ubicación de un almacén de gran capacidad en estas zonas.

#### 4.1.2 Criterio 2: superficie territorial

El segundo criterio basado en la superficie territorial toma en cuenta el tamaño del distrito para determinar la capacidad de los almacenes. En este caso la capacidad es proporcional al tamaño del distrito donde se ubica, pues sería razonable suponer que un distrito de mayor tamaño podría albergar un almacén de mayor capacidad. Para este segundo caso, podemos ver que la distancia total recorrida en todos los escenarios evaluados es bastante mayor que para el criterio de número de damnificados (vea las tablas 3.16 y 3.21); sin embargo, este enfoque podría dar resultados que reflejen mejor cómo se sería la situación si se aplicara este modelo en un escenario real.

Este criterio, al igual que el anterior, podría estar dejando de lado algunos factores relevantes por considerar si se quisiera realizar un nuevo estudio a partir de esta

investigación. En primer lugar, la superficie territorial extensa de un distrito no implica necesariamente que el terreno sea apto para la colocación de un almacén de gran magnitud, debido al tipo de terreno o la accesibilidad a la zona. Por ejemplo, como se mencionó anteriormente, si el territorio del distrito no cuenta con asfaltado podría ser más complicado colocar un almacén en comparación con un distrito que sí.

A pesar de que este modelo tiene un beneficio de impacto social, otro aspecto importante que debe ser tomado en cuenta es el presupuesto disponible para la colocación de los almacenes, porque la capacidad de un almacén también dependerá del costo del metro cuadrado en determinada zona o distrito y de los recursos asignados. Asimismo, el costo de mantenimiento o reposición de los elementos que se encuentran en el almacén también podría variar según el distrito donde este se encuentre. Por ejemplo, en un distrito más cercano al mar, el tiempo de vida útil de los enseres metálicos sería menor por efecto de la corrosión, lo cual incrementaría los costos de reposición por obsolescencia.

Como se mencionó, este estudio debe tomarse como punto de partida para nuevas investigaciones más amplias sobre el tema que incluyan otros factores no contemplados en esta tesis.

## 4.2 Análisis Costo - Beneficio

### 4.2.1 Costo de implementación de un almacén

A continuación se presentarán los costos de los almacenes que actualmente administra el INDECI. Estos datos han sido obtenidos de la resolución jefatural N° 006-2013, que sostiene lo siguiente:

- a) El INDECI administra bienes de ayuda humanitaria para 90,000 personas aproximadamente repartidos en 12 almacenes nacionales. Estos se complementan con los bienes que existen en los almacenes regionales y las donaciones internas y externas.
- b) El stock físico valorizado de bienes de ayuda humanitaria que administra el INDECI al 31 de diciembre de 2012 asciende a 38,912,456 nuevos soles, de los cuales, 22,607,704 soles corresponden al stock físico ubicado en el almacén

nacional de Lima. Este stock se encuentra repartido entre los doce almacenes nacionales que administra el INDECI.

- c) El INDECI debe transferir a los almacenes regionales, un stock valorizado en 19,473,109 nuevos soles.

De la información contenida en los puntos a) y b) podemos concluir que el stock valorizado asignado per cápita sería de 432 nuevos soles<sup>27</sup>. En el modelo de optimización trabajado se ha considerado abastecer a toda la población afectada lo que representa 1,795,735 personas; es decir, que se necesitaría un stock valorizado en 775.8 millones de soles. Es importante considerar que en una situación real, no sería adecuado esperar que los recursos de Lima Metropolitana y Callao satisfagan a todas las personas damnificados, ya que en un evento de esta magnitud, se contaría también con donaciones nacionales e internacionales.

Por otro lado, para realizar el cálculo del tamaño del almacén, se consideraron los productos de primera necesidad en caso de una emergencia (esto sin considerar agua y alimentos, ya que manejan políticas de distribución especiales debido a su corto periodo de vida útil). Los cálculos fueron realizados según el Manual para el Manejo Logístico de Suministros Humanitarios<sup>28</sup> (OPS, 2000), y se tomó como base un almacén lo suficientemente grande como para abastecer a 100,000 personas:

	Necesidad por persona	Total necesario	Volumen unitario (m3)	Volumen total (m3)	Área (m2)	Acceso y ventilación (m2)	Área total (m2)
Frazada (comprimida)	1	100,000	0.006	642.9	214.3	42.9	257.1
Colcha de 1 ½ plaza	1	100,000	0.003	321.4	107.1	21.4	128.6
Muda de ropa	1	100,000	0.006	566.7	188.9	37.8	226.7
Bidón de plástico con tapa	0.17	16,667	0.020	333.3	111.1	22.2	133.3
Caja de utensilios de cocina y enseres	0.17	16,667	0.113	1,875.0	625.0	125.0	750.0
Kit de higiene	1	100,000	0.002	202.5	67.5	13.5	81.0
Carpa familiar para 6 personas	0.17	16,667	0.180	3,000.0	1,000.0	200.0	1,200.0
<b>TOTAL</b>							<b>2,776.7</b>

Tabla 4. 24: Cálculo del área necesaria para la construcción de almacenes.  
Elaboración propia

Entonces, para abastecer a 100,000 personas serían necesarios 2,777 m<sup>2</sup>; como la estimación del número de damnificados es de 1,795,735 personas, se necesitarían

<sup>27</sup> El stock valorizado en los almacenes nacionales es de 38,912,456 nuevos soles, suficiente para abastecer a 90,000 personas, lo que significa un stock valorizado per cápita de 432 nuevos soles.

<sup>28</sup> Se considera que los almacenes tendrán 3 metros de altura y se añade un 20% adicional al área necesaria para el acceso y ventilación.

49,862 m<sup>2</sup> de terreno, si se implementasen todos los almacenes. Considerando un costo promedio del metro cuadrado en Lima de 595 soles<sup>29</sup> (en zonas no residenciales o comerciales), entonces el costo total del terreno necesario para la construcción de los almacenes sería de 29.7 millones de soles.

Según las cifras anteriores, el costo total de implementación de los almacenes sería de 805.4 millones de soles, como se muestra en la tabla 4.2. Es importante considerar que en una situación real no sería adecuado esperar que los recursos de Lima Metropolitana y Callao satisfagan a todas las personas damnificadas, ya que en un evento de esta magnitud se contaría también con donaciones nacionales e internacionales. Por otro lado, se debe tomar en cuenta que el costo del terreno será efectuado una única vez y los gastos de reposición de inventario se darían únicamente cuando finalice la vida útil de los mismos.

Concepto	Monto (S/.)
Bienes de ayuda humanitaria	775,757,520
Terreno para la construcción de almacenes	29,667,890
<b>Total</b>	<b>805,425,410</b>

Tabla 4. 25: Costo total de implementación de los almacenes

#### 4.2.2 Presupuesto del INDECI

Para el año 2013, el INDECI cuenta con un presupuesto de 110,099,701 soles, el cual se planea distribuir entre los siguientes grupos de gasto:

Grupo genérico del gasto	Monto asignado (S/.)
Personal y obligaciones sociales	1,958,000
Pensiones y otras prestaciones sociales	73,946,121
Bienes y servicios	33,305,639
Otros gastos	127,941
Adquisición de activos no financieros	764,000
<b>Total</b>	<b>110,099,701</b>

Tabla 4. 26: Plan presupuestal INDECI 2013  
Fuente: Resolución jefatural N°400-2012

<sup>29</sup> Información obtenida de [www.arquitecturaperu.com](http://www.arquitecturaperu.com), blog especializado en arquitectura, inmobiliaria y construcción.

Por otro lado, como se mencionó en el acápite anterior, a finales del año 2012, el INDECI contaba con un stock físico valorizado en 38,912,456 nuevos soles, repartido entre los doce almacenes nacionales; y debía transferir a los almacenes regionales del INDECI stock valorizado en 19,473,109.

Además, este organismo cuenta con una reserva de contingencia de 50 millones de soles<sup>30</sup>, destinada a “mitigar los efectos dañinos por el inminente impacto de un fenómeno natural o causado por el hombre, capaz de producir un desastre de gran magnitud” (INDECI, 2012, p.293). Aunque estos 50 millones están disponibles en caso de una emergencia, el stock valorizado máximo que podrían albergar actualmente los almacenes del INDECI es de 58.4 millones de soles, que comprende el stock localizado en los almacenes nacionales (38.9 millones) y el stock que debe ser transferido por el INDECI a los almacenes regionales (19.5 millones).

#### 4.2.3 Beneficio de la propuesta

El beneficio de la propuesta presentada es de naturaleza social, más que económico, pues al implementarla, se consigue una importante mejora en la capacidad y tiempo de respuesta en casos de emergencia, permitiendo brindar una mejor calidad de vida a los sobrevivientes.

Con base en los datos proporcionados por la resolución jefatural y los cálculos realizados en el acápite 4.2.2, podemos calcular que la capacidad de respuesta actual del INDECI es de 135,152 personas afectadas<sup>31</sup>; lo que representa un 10% de la población damnificada estimada; mientras que en el modelo propuesto, se ha considerado abastecer a toda la población afectada en una situación de emergencia.

Con respecto a la capacidad de respuesta del INDECI, esta ha sido calculada considerando todos los almacenes nacionales y regionales disponibles a nivel nacional, lo que un implica tiempo de respuesta muy elevado. En el caso de una emergencia, con epicentro en Lima, el tiempo de respuesta sería muy elevado, pues los recursos vendrían de otras provincias del país. Con el modelo propuesto, los almacenes se

---

<sup>30</sup> Instituto Nacional de Defensa Civil (2012). Compendio Estadístico del INDECI en la atención de emergencias y desastres 2011.

<sup>31</sup> Se tiene un stock máximo valorizado de 58,385,565 nuevos soles (acápite 4.2.2) y un stock asignado per cápita de 432 nuevos soles (acápite 4.2.1), con lo cual se obtiene una capacidad de respuesta de 135,152 personas afectadas.

encuentran lo más cerca posible de los distritos que abastecen, permitiendo llevar la ayuda de manera más rápida.

Actualmente, el INDECI cuenta con almacenes nacionales y regionales, los cuales serían los encargados de abastecer a la población afectada en una situación de emergencia. Para determinar los kilómetros que se recorrerían si se utilizaran los recursos de estos almacenes, se obtuvo mediante Google Maps, la distancia entre Lima y las provincias donde estos se encuentran ubicados, como se muestra en la tabla 4.4.

En los escenarios evaluados, la distancia máxima a recorrer entre los almacenes y los puntos de destino sería de 641.7 km, frente a los 19,762 km que deberían recorrerse actualmente, para abastecer a la población afectada (vea la tabla 4.4).

Una estimación del beneficio económico medido a través de las horas hombre ahorradas si se implementara el modelo es el siguiente. Se toma como base el sueldo promedio actual en Lima, que asciende 1350 soles mensuales<sup>32</sup>. La diferencia entre la capacidad actual y la propuesta es de 1,660,583 personas, lo que representa 2,241.8 millones de soles ahorrados.

Como se puede apreciar, la propuesta realizada genera un beneficio mucho más importante que el costo asociado. Los resultados desde un punto de vista social y económico son favorables para la propuesta del modelo. En la tabla 4.5 se muestra un resumen de los resultados del modelo propuesto versus la situación actual.

---

<sup>32</sup> Diario Gestión. <http://gestion.pe/economia/ingreso-promedio-mensual-lima-metropolitana-aumento-51-2059206>

	Almacenes nacionales	Almacenes regionales	Km
Amazonas	1	1	1,167
Ancash		1	506
Apurímac		1	894
Arequipa	1	1	1,019
Ayacucho		1	610
Cajamarca		1	785
Cusco	1	1	1,070
Huancavelica		1	553
Huánuco		1	360
Ica	1	1	361
Junín	1	1	269
La Libertad	1	1	569
Lambayeque		1	804
Lima	1	1	
Loreto	1	1	927
Madre de Dios		1	1,798
Moquegua		1	1,127
Pasco		1	259
Piura	1	1	978
Puno	1	1	1,296
San Martín	1	1	999
Tacna	1	1	1,306
Tumbes		1	1,262
Ucayali		1	843
<b>Total</b>			<b>19,762</b>

Tabla 4. 27: Distancias y tiempos de viaje entre Lima y los almacenes de INDECI

Fuente: Google Maps

Elaboración propia

	Situación actual	Modelo propuesto
Capacidad de respuesta (personas atendidas)	135,152	1,795,735
Distancia total recorrida (km)	19,762	641.7
Dinero ahorrado (millones de soles)		2,241.8

Tabla 4. 28: Resultados del modelo propuesto versus la situación actual

## CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- Para determinar la capacidad de los almacenes, fueron tomados criterios de área y número de damnificados. Si bien podrían considerarse criterios adicionales, se tomaron estos como los más representativos. Ambos criterios evaluados se consideraron válidos y los resultados obtenidos en cada caso fueron consistentes. El criterio de número de damnificados no presenta restricción de espacio, por lo que los resultados obtenidos en la función objetivo de minimización de la distancia fueron menores que los obtenidos bajo el criterio de área disponible.
- Se trabajaron cuatro escenarios distintos para cada criterio. El parámetro modificado fue el número máximo de almacenes. Si bien se presupone que el modelo tomará el máximo número de almacenes como respuesta, el propósito era evaluar la sensibilidad del modelo a este parámetro, de manera que ayude a determinar, en qué casos, la mejoría en el resultado compensa el costo incremental generado por la construcción y abastecimiento de más almacenes.
- El presupuesto asignado al INDECI es bastante menor que el monto presupuestado para la implementación de los almacenes. Sin embargo, este podría ser un proyecto de mediano a largo plazo, en el que cada año podrían habilitarse algunos almacenes, hasta llegar a la meta final, mejorando las bases de la logística humanitaria en el Perú.
- Este modelo considera el abastecer al 100% de los damnificados en caso de una emergencia. Sin embargo, en casos como estos, se recibe también ayuda de donaciones nacionales e internacionales, por lo que podría implementarse el modelo considerando el abastecer a un porcentaje menor de la población afectada.
- El beneficio social y económico generado por la propuesta es altamente significativo, permitiendo ofrecer una mejor calidad de vida a los sobrevivientes de un desastre. Actualmente, la capacidad de respuesta del INDECI es de tan solo el 10% de la población afectada estimada, mientras que con el modelo

propuesto se podría abastecer al 100% de esta población, lo que generaría 2,241 millones de soles en términos de en horas hombre ahorradas. Asimismo, el tiempo de respuesta traducido en la distancia total recorrida se reduciría de 19,762 a tan solo 642 kilómetros. Esto evitaría situaciones de caos y desesperación que normalmente ocurren debido a la escasa y tardía ayuda que reciben las personas afectadas por parte del Estado.

## 5.2 Recomendaciones

- Este modelo debe considerarse como un punto de partida para otras investigaciones, que evalúen un mayor número de criterios y restricciones, mejorándolo y ampliando su alcance a otras provincias del país. Podrían evaluarse restricciones de capacidad de transporte, accesibilidad de la zona, costo de los almacenes, e incluso evaluar nuevas alternativas, como la implementación de puntos de transbordo.
- Para la formulación del modelo, se trabajó con la demanda estimada al año 2012. Sin embargo, podría estimarse la demanda en caso de emergencia, durante los próximos 10 años para determinar la capacidad necesaria de los almacenes para cubrir las necesidades futuras y evaluar posibles ampliaciones en los almacenes, que vayan de la mano de nuevas políticas en el campo de la logística humanitaria.
- Con base en el estudio del SIRAD, la extensión de los efectos del escenario más crítico abarcaría no sólo Lima, sino también Ancash e Ica y en menor intensidad, Huánuco, Junín, Pasco y Huancavelica. Sería un buen aporte el calcular la demanda de todos estos sectores y recalculer la capacidad de respuesta de los almacenes.
- Un aporte adicional, sería el de proponer un sistema de renovación de inventarios basado la metodología ABC multicriterio, que permita optimizar la gestión de los almacenes. Estos deben ser correctamente administrados para poder brindar toda la ayuda necesaria de manera eficiente, en el caso de ocurrir un desastre.

- La combinación de este modelo, con el diseño de rutas para el traslado de los recursos de ayuda humanitaria desde los almacenes a los distritos afectados, complementaría esta propuesta de mejora y permitiría reducir aún más los tiempos de respuesta, y por tanto, la efectividad de la propuesta.
- Se podría añadir a este modelo, los lugares donde podrían ubicarse los puntos de acopio para la recolección y recepción de una mayor cantidad de bienes de ayuda y donaciones. De esta forma, se integrarían todas las formas de ayuda, tanto internas (almacenes propuestos, donaciones nacionales) como externas (ayuda humanitaria internacional).



## BIBLIOGRAFÍA

### ARQUITECTURA PERÚ

2011 El precio del metro cuadrado en Lima y el Perú. Fecha de consulta: 9 de noviembre de 2013. Disponible en: <http://www.arquitecturaperu.com/blog/el-precio-del-metro-cuadrado-en-lima-y-el-peru/>

BALCIK, Burcu. BEAMON, Benita. KREJCI, Caroline. MURAMATSU, Kyle. RAMÍREZ, Magaly.

2010 Coordination in Humanitarian Relief Chains: Practices, Challenges and Opportunities. International Journal of Production Economics, 126, 22-34.

BALLOU, Ronald

2004 Logística: Administración de la Cadena de Suministro. (5ªed.). Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación de México.

BOWERSOX, Donald. CLOSS, David. COOPER, Bixby.

2002 Supply Chain Logistics Management. Boston, Massachussets, EUA: McGraw-Hill.

### CENTRO DE ESTUDIOS Y PREVENCIÓN DE DESASTRES

2009 Diseño de escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao. Lima, Perú: Autor.

### CENTRO PERUANO DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES.

2004 Microzonificación Sísmica de Lima [diapositiva]. Lima, Perú. 55 diapositivas, col.

2005 Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en 42 distritos de Lima y Callao. Lima, Perú: Autor.

### DIRECCIÓN NACIONAL DE OPERACIONES

2011 Catálogo de Bienes de Ayuda Humanitaria 2011. Lima, Perú: INDECI

## EL PERUANO

2011 Ley N° 29664. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 19 de febrero.

## EL PROYECTO ESFERA

2011 Carta Humanitaria y Normas Mínimas para la Respuesta Humanitaria. Rugby, Reino Unido: Practical Action Publishing.

2011 Fecha de consulta: 09 de setiembre de 2012. Disponible en: <http://www.sphereproject.org/sphere/es/manual/>

## FEDERACIÓN INTERNACIONAL DE SOCIEDADES DE LA CRUZ ROJA Y LA MEDIA LUNA ROJA

2011 Fecha de consulta: 18 de noviembre de 2012. [en línea]. Disponible en: [http://procurement.ifrc.org/catalogue/detail.aspx?volume=1&groupcode=108&familycode=108002&categorycode=DIAP&productcode=HHYGPER\\_S02](http://procurement.ifrc.org/catalogue/detail.aspx?volume=1&groupcode=108&familycode=108002&categorycode=DIAP&productcode=HHYGPER_S02)

2012 Fecha de consulta: 18 de noviembre de 2012. Disponible en: <http://www.ifrc.org/en/what-we-do/logistics/>

2012 Fecha de consulta: 20 de noviembre de 2012. Disponible en: [http://cruzroja.org/temp\\_site/restaurado/index.php?option=com\\_content&view=article&id=109&Itemid=105](http://cruzroja.org/temp_site/restaurado/index.php?option=com_content&view=article&id=109&Itemid=105)

## GESTIÓN, Diario

2013 Fecha de consulta: 23 de octubre de 2013. Disponible en: <http://gestion.pe/economia/ingreso-promedio-mensual-lima-metropolitana-aumento-51-2059206>

## GLOBAL HUMANITARIAN ASSISTANCE

2012 Disaster Risk Reduction. Fecha de consulta: 30 de abril de 2012. Disponible en: <http://www.globalhumanitarianassistance.org/wp-content/uploads/2012/03/GHA-Disaster-Risk-Report.pdf>

## HILLIER, Frederick. LIEBERMAN, Gerald.

2010 Introducción a la Investigación de Operaciones. (9ª ed.). México D.F., México: McGraw-Hill.

IBARRA, Fiorella

- 2012 Mejora en la capacidad de respuesta de la cadena de abastecimiento humanitaria en caso de desastres. Tesis (Licenciatura en Ciencias e Ingeniería). Pontificia Universidad Católica del Perú. 74 p.

#### INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL

- 2009 Gestión del Riesgo de Desastres para la Planificación del Desarrollo Local. Lima, Perú: Autor.
- 2010 Compendio Estadístico de Prevención y Atención de Desastres 2009. Lima, Perú: Autor.
- 2011 Proyecto de Preparación ante desastre sísmico y/o tsunami y Recuperación Temprana en Lima y Callao. Lima, Perú: Autor, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- 2011 Plan de Operaciones de Emergencia para el área metropolitana de Lima y la Región del Callao. Lima, Perú: Autor.
- 2012 Compendio Estadístico del INDECI en la atención de emergencias y desastres 2011. Lima, Perú: Autor.
- 2012 Resolución Jefatural N°400-2012. Lima, Perú. 28 de diciembre de 2012.
- 2013 Resolución Jefatural N°006-2013. Lima, Perú. 16 de enero de 2013.

#### INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

- 2007 Fecha de consulta: 05 de mayo de 2012]. Disponible en:  
<http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0335/cap2.HTM>
- 2008 Perfil Sociodemográfico de la Provincia Constitucional del Callao. [Fecha de consulta: 22 de setiembre de 2012]. Disponible en:  
<http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0838/libro14/>
- 2008 Perfil Sociodemográfico de la Provincia de Lima. [Fecha de consulta: 22 de setiembre de 2012]. Disponible en:  
<http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0838/libro15/>
- 2009 Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población por Sexo, según Departamento, Provincia y Distrito, 2000-2015. [Fecha de consulta: 29 de setiembre de 2012]. Disponible en:  
<http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0842/index.htm>
- 2010 Perú: Atlas Estadístico a nivel de Provincia. Lima, Perú: Autor.

## LA REPÚBLICA, Diario

- 2010 La Molina, Lurín y Puente Piedra colapsarían ante gran sismo. Fecha de consulta: 01 de noviembre de 2013. Disponible en: <http://www.larepublica.pe/29-03-2010/la-molina-lurin-y-puente-piedra-colapsarian-ante-gran-sismo>

## MEJÍA, Miguel

- 2011 Investigación Operativa 2. Lima, Perú: Fondo Editorial PUCP.

## MESA DE CONCERTACIÓN PARA LA LUCHA CONTRA LA POBREZA

- 2009 Gestión del Riesgo de Desastres para la Planificación del Desarrollo Local. Lima, Perú: Autor.

## MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA

- 2008 Atlas Ambiental de Lima. Lima, Perú: Autor.

## OCOLA, Leónidas.

- 2007 Peligro, Vulnerabilidad, Riesgo y la Posibilidad de desastres sísmicos en el Perú. Revista Geofísica, 61, 82–125.
- 2007 Características del peligro sísmico y factores de riesgo sísmico en el Perú. [diapositiva]. Lima, Perú Conferencia Internacional en Ingeniería Sísmica, 2007. 31 diapositivas, col.

## OLORONTUBA, Richard. GRAY, Richard.

- 2006 Humanitarian aid: an agile supply chain? Supply Chain Management: An International Journal, 11, 115-120

## ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD

- 2012 Fecha de consulta: 22 de junio de 2012. Disponible en: [http://www.who.int/hia/green\\_economy/indicators\\_disasters1.pdf](http://www.who.int/hia/green_economy/indicators_disasters1.pdf)

## ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD

- 2000 Manual para el Manejo Logístico de Suministros Humanitarios. Fecha de consulta: 3 de noviembre de 2013. Disponible en: <http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/publicaciones/who88s/who88s.10.htm#B.381.10.3>

PARADA, Óscar

2009 Un Enfoque Multicriterio para la Toma de Decisiones en la Gestión de Inventarios. Cuaderno Administrativo Bogotá, 38, 169-187.

PROGRAMA NACIONAL DE ATENCIÓN ALIMENTARIA

2012 Fecha de consulta: 11 de setiembre de 2012. Disponible en:  
<http://www.pronaa.gob.pe/index.php/emergencias.html>

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA

2001 Diccionario de la Lengua Española. (22ª ed.). Madrid, España: Espasa Calpe.

ROMANO, Steven

2011 Logistics Planning and Collaboration in Complex Relief Operations. Joint Force Quarterly, 62, 96-103.

SISTEMA DE INFORMACIÓN NACIONAL PARA LA RESPUESTA Y REHABILITACIÓN

2011 Resolución Jefatural N° 059-2011. Lima, Perú. 14 de marzo de 2011. Disponible en:  
<http://sinpad.indeci.gob.pe/UploadPortalSINPAD/RJ%20N%C2%BA%20059-2011-INDECI.pdf>

SISTEMA NACIONAL DE DEFENSA CIVIL

2004 Plan Nacional de Atención y Prevención de Desastres. Lima, Perú: Autor.

TAHA, Hamdy

2004 Investigación de Operaciones. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación.

THOMAS, Anisya. KOPCZAK, Laura.

2005 From Logistics to Supply Chain Management: The Path Forward in the Humanitarian Sector. San Francisco, California, EUA: Fritz Institute.

TOMASINI, Rolando. VAN WASSENHOVE, Luk.

2009 Humanitarian Logistics. New York, USA: Palgrave Macmillan.

## UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION

- 2004 Let's learn to prevent disasters. Fecha de consulta: 22 de abril de 2012. Disponible en: <http://www.unisdr.org/2004/campaign/booklet-eng/Booklet-english.pdf>
- 2008 Informe Nacional sobre el progreso en la implementación del Marco de Acción de Hyogo. Fecha de consulta: 22 de junio de 2012. Disponible en: [http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/cds/CD\\_MAH\\_R/el\\_salvador.pdf](http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/cds/CD_MAH_R/el_salvador.pdf)
- 2009 Fecha de consulta: 01 de mayo de 2012. Disponible en: <http://www.unisdr.org/we/inform/terminology>

WINSTON, Wayne.

- 2005 Investigación de Operaciones: Aplicaciones y Algoritmos. (4ª ed.). México D.F., México: International Thomson Editores.

