

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DETERMINANTES DEL NÚMERO DE DAMNIFICADOS POR
CAUSA DE UN TERREMOTO EN LIMA METROPOLITANA Y
CALLAO Y CONTRASTE DE MEDIDAS DE RESPUESTAS A
TRAVÉS DE MODELOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL
ENTERA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE BIENES PARA AYUDA
HUMANITARIA**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial, que presenta las
bachilleres:

Carola Adriana Pareja Villegas
Ximena María Rodríguez Leiva

ASESOR: Ing. Christian S. Cornejo Sánchez

Lima, junio de 2016

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivos diseñar un modelo multivariado para identificar los factores determinantes que explican el número de damnificados por causa de un terremoto en la región de Lima y Callao; asimismo, formular y resolver un modelo de programación lineal entera para la distribución de bienes de ayuda humanitaria.

El primer capítulo corresponde al marco teórico que incluye los conceptos y terminología de la gestión de desastres. Además, presenta un estudio detallado de los diferentes tipos de vulnerabilidad física y social, y la relación que guardan con las posibles pérdidas materiales y humanas causadas por desastres naturales.

En el segundo capítulo se realiza una revisión del estado del arte sobre modelos econométricos que exponen las determinantes de naturaleza geológica y socioeconómica de la cantidad de damnificados provocados por un sismo. A partir de esta revisión se plantea el modelo para el caso de Perú y se discuten los resultados.

El tercer capítulo presenta la situación actual de la región en la que se enfoca el estudio y el sistema de gestión de desastres de su jurisdicción. Se determina la problemática general en la región de Lima y Callao y se encuentran las oportunidades de mejora a nivel de logística de bienes de ayuda humanitaria así como en la ejecución del plan de respuesta ante una situación de emergencia.

En el cuarto capítulo se formula un modelo de programación lineal entera para ruteo de vehículos con ventanas de tiempo para determinar el plan de distribución de los bienes de ayuda humanitaria, tomando en cuenta las restricciones de la situación actual. Con dicho modelo, se determina la cantidad de vehículos necesarios y las rutas de despacho para atender a los afectados luego de ocurrido un terremoto.

El quinto capítulo contiene la discusión y evaluación de las propuestas de mejora para la distribución de ayuda humanitaria en la región del Callao desde el almacén nacional del INDECI, a partir de los resultados del modelo de ruteo de vehículos. Por último, se contrastan los resultados de los escenarios analizados en términos de costos y medidas de respuesta en el ámbito de la logística humanitaria.

TEMA DE TESIS

PARA OPTAR	:	Título de Ingeniero Industrial
ALUMNOS	:	CAROLA ADRIANA PAREJA VILLEGAS XIMENA MARÍA RODRÍGUEZ LEIVA
CÓDIGOS	:	2008.6300.12 2009.5940.12
PROPUESTO POR	:	Ing. Christian S. Cornejo Sánchez
ASESOR	:	Ing. Christian S. Cornejo Sánchez
TEMA	:	DETERMINANTES DEL NÚMERO DE DAMNIFICADOS POR CAUSA DE UN TERREMOTO EN LIMA METROPOLITANA Y CALLAO Y CONTRASTE DE MEDIDAS DE RESPUESTAS A TRAVÉS DE MODELOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE BIENES PARA AYUDA HUMANITARIA.
Nº TEMA	:	
FECHA	:	San Miguel, 23 de junio de 2016

JUSTIFICACIÓN:

Uno de los conceptos para definir un desastre fue “la expresión inevitable de la acción de la naturaleza sobre la sociedad” (Maskrey, 2005)¹ el cual señala a la naturaleza como el único causante del desastre; sin embargo, definiciones más recientes reconocen a los desastres como fenómenos “socionaturales”, así como el producto de los riesgos existentes que al ser administrados de manera incorrecta crean las condiciones de vulnerabilidad que incrementan el impacto de los detonantes.

Según Salas (2007)² los dos factores principales que determinan tanto la vulnerabilidad de las personas frente a los desastres naturales, como las pérdidas humanas y daños materiales, son una geografía física propensa a generar, propagar y recibir fenómenos naturales de diversos tipos y, una alta proporción de la población en condiciones de pobreza. Las cifras recopiladas sobre desastres naturales señalan que estos ocurren con mayor frecuencia en países en vías de desarrollo, asimismo, el nivel de damnificados en dichos países por lo general es significativamente más alto que en los países desarrollados.

¹ Maskrey, A. (2005). *Manejo de emergencias y acción contra desastres*.

² Salas Serrano, J. (2007). *Vulnerabilidad, pobreza y desastres 'socionaturales' en Centroamérica y El Caribe, Informes de la Construcción, Volumen (59)*.

Así por ejemplo, en el 2011 ocurrió un terremoto de 7.1 grados en la escala de Richter en Ercis, Turquía (GINI de 46.21³) y provocó 604 muertes.⁴ En el mismo año, en la costa de Honshu, Japón (GINI de 32.11), ocurrió un sismo también de 7.1 grados que solo ocasionó tres muertes. Estas cifras son algunas de las evidencias que refuerzan la presunción de que la desigualdad de ingresos es uno de los determinantes de la vulnerabilidad.

En la línea del concepto de desastre como fenómeno “socionatural”, otro tipo de vulnerabilidad relevante es generado por la deficiente calidad estructural de las viviendas. Según Maskrey (2005)⁵, el 75% de las destrucciones causadas por los sismos ocurren debido al colapso de las estructuras y edificios inmobiliarios mal diseñados o construidos con materiales de baja calidad. Según el autor, algunas razones que explican esta situación, y que se convierten en obstáculos para mitigar su efecto en la vulnerabilidad de la infraestructura, son el alto costo de los materiales de construcción y el desconocimiento de las tecnologías que se podrían emplear para el uso de materiales antisísmicos.

La deficiente calidad estructural de las viviendas tiene correlación con el marco legal del país. En países como China y Japón existe un código legal de carácter obligatorio que regula las construcciones sísmicas, en contraste, en la mayor parte de Sudamérica estas normas solamente son “recomendadas”.⁶ En particular, en el Perú la norma solo señala las exigencias que como mínimo deben cumplirse para evitar la pérdida de vidas, garantizar la continuidad de los servicios básicos y minimizar los daños materiales (MVCS, 2003).⁷ Según la Dirección Nacional de Construcción del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento “el 70% de casas de Lima se ha construido sin licencia municipal”⁸; asimismo, un estudio realizado en el 2008 por el Instituto Peruano de Administración Municipal concluyó que el 75.5% de las construcciones de vivienda en el Perú son informales (La República, 2008)⁹. Finalmente, según el censo del año 2007 elaborado por el INEI, en Lima hay 17,621 viviendas no adecuadas.

Con respecto a la geografía física como factor explicativo de la vulnerabilidad, según el Instituto Geofísico del Perú (2014),¹⁰ hasta el mes de setiembre del año 2014 han ocurrido 178 sismos en el Perú, de los cuales el 9% fueron en la ciudad de Lima, ciudad en la que habita el 28.4% de la población peruana (INEI, 2014).¹¹ Por otro lado, el último sismo de alto impacto que afectó nuestro país ocurrió el 15 de agosto de 2007 y reveló la limitada capacidad de los almacenes que gestiona el INDECI para abastecer a los damnificados, debido entre otras razones, a la falta de un nivel apropiado de suministros.¹²

³ GINI index (World Bank estimate).

⁴ National Geophysical Data Center (EEUU).

⁵ Maskrey, A. (2005). *Manejo de emergencias y acción contra desastres*.

⁶ Coburn, A., Spence, R. J. S., Pomonis, A. (1992). *Factors determining human casualty levels in earthquakes: mortality prediction in building collapse, in proceedings of the First International Forum on Earthquake-Related Casualties*.

⁷ Perú, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2003). *Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente*. Artículo 3°. Lima.

⁸ Perú, Diario El Comercio (2014). *El 70% de casas de Lima carece de garantías frente a un sismo*.

⁹ Perú, Diario La República (2008). *Obras sin licencia podrán ser regularizadas en 180 días*.

¹⁰ Perú, Ministerio de Ambiente, Instituto Geofísico del Perú (2014). *Últimos sismos sentidos*.

¹¹ Perú, La República (2014). *INEI: Lima tiene 8 millones 693 mil 387 habitantes*.

¹² Instituto Nacional de Defensa Civil (2013). Entrevista a funcionario del INDECI.

En el ámbito institucional, hay factores internos en el sistema de gestión de desastres del Perú que podrían reducir la efectividad del plan de respuesta; así por ejemplo, cuando los Comités de Defensa Civil de los gobiernos regionales tramitan la solicitud de la Declaratoria del Estado de Emergencia,¹³ ellos deben “canalizar su solicitud a través del Comité Regional de Defensa Civil respectivo (Consejo Transitorio de Administración Regional - CTAR) el cual la evaluará y de considerar su viabilidad la elevará al Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) para su evaluación y trámite, previa opinión de los Sectores comprometidos.” Según esta norma, la solicitud de Declaratoria del Estado de Emergencia por desastre debe contar con los informes de las entidades y sectores comprometidos. Este procedimiento, si bien pretende emitir juicios objetivos con base en información preparada por las instituciones involucradas en la citada norma, en contraparte podría causar retrasos en los planes de acción de respuesta.

Las evidencias mostradas señalan que los desastres y la vulnerabilidad tienen diversos factores determinantes que explican sus efectos nocivos. En resumen, se presume un grupo de determinantes de naturaleza tanto geológica como social. En particular, en el ámbito social los datos señalados y casos descritos permiten identificar, entre otros, que presumiblemente la explicación estaría en el nivel de renta de los países, la calidad estructural de los inmuebles, así como en la gestión de las instituciones públicas responsables de preparar a la población antes de que ocurra un desastre así como de mitigar sus efectos nocivos luego de que ocurren.

El desarrollo de esta investigación pretende identificar cuáles son los determinantes del número de damnificados y estimar dicha cifra, por causa de un terremoto por ocurrir en Lima Metropolitana y Callao. Con dicha estimación se formulará modelos de programación lineal entera cuya solución brinde lineamientos que contribuyan a mejorar la organización y capacidad de respuesta de las entidades involucradas en el sistema de gestión de desastres a nivel de Lima Metropolitana y Callao.

OBJETIVO GENERAL:

Diseñar un modelo multivariado para identificar los factores determinantes que explican el número de damnificados por causa de un terremoto en Lima Metropolitana y Callao. Asimismo, formular modelos de programación lineal entera para la distribución de bienes para ayuda humanitaria, resolverlos en diversos escenarios y contrastar sus soluciones.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Presentar algunos de los modelos multivariados o econométricos para la estimación del número de damnificados luego de ocurrir un terremoto.
- Presentar algunos de los modelos de la programación lineal entera aplicados en la logística humanitaria.

¹³ Decreto Supremo N° 005-088-SGMD.

Presidencia del Consejo de Ministros (2001). Decreto Supremo N° 058-2001-PCM. *Modifican artículo del Reglamento del Sistema Nacional de Defensa Civil*. 21 de mayo.

- 4 -

- Realizar un diagnóstico de la situación actual del Plan de Gestión de Desastres de Lima Metropolitana y Callao para identificar las oportunidades de mejora en el ámbito de la atención de damnificados luego de ocurrido un terremoto, en particular, en la distribución de bienes de ayuda humanitaria.
- Determinar las variables que explican la vulnerabilidad y el nivel de damnificados en el escenario de que ocurra un terremoto en Lima Metropolitana y Callao a través de un modelo de regresión.
- Estimar la cantidad de damnificados con el modelo de regresión.
- Formular y resolver un modelo de programación lineal entera que determine la cantidad de vehículos y las rutas de despacho para la distribución de los bienes para ayuda humanitaria luego de ocurrido un terremoto en Lima Metropolitana y Callao.
- Contrastar los resultados de los escenarios resueltos con el modelo de programación lineal entera en términos de medidas de respuesta en el ámbito de la logística humanitaria.

PUNTOS A TRATAR:

a. Marco teórico. (CAPV – XMRL)

Este capítulo presentará los conceptos y terminología de la gestión de desastres. Se realizará una revisión del estado del arte en temas de modelos multivariados y econométricos que exponen las determinantes de naturaleza geológica y “socionatural” que explican y estiman el nivel de damnificados luego de ocurrir un terremoto. Asimismo, se presentará modelos de programación lineal entera en el ámbito de la gestión de desastres, particularmente aplicados a la distribución de los bienes para ayuda humanitaria luego de que ocurra un terremoto.

b. Diagnóstico y análisis de la situación actual. (CAPV – XMRL)

Tras un análisis de la situación actual del Plan de Gestión de Desastres de Lima Metropolitana y Callao y la Cartilla de Gestión Reactiva de Riesgo, se determinará las oportunidades de mejora a nivel de logística de despacho de bienes para ayuda humanitaria así como en la implementación y ejecución del plan de respuesta ante una situación de emergencia, con énfasis en el caso de que ocurra un terremoto.

c. Propuesta del modelo. (CAPV – XMRL)

Con base en el marco teórico y el diagnóstico y análisis de la situación actual, se discutirá las determinantes que explican la vulnerabilidad y el nivel de damnificados, en el caso de que ocurra un terremoto en Lima Metropolitana y Callao, y se diseñará un modelo de regresión para la estimación de damnificados. Luego se formulará un modelo de programación lineal entera para ruteo vehicular con ventanas de tiempo para determinar planes de distribución de los bienes para optimizar la ayuda humanitaria de acuerdo a las restricciones existentes en la actualidad.

- 5 -

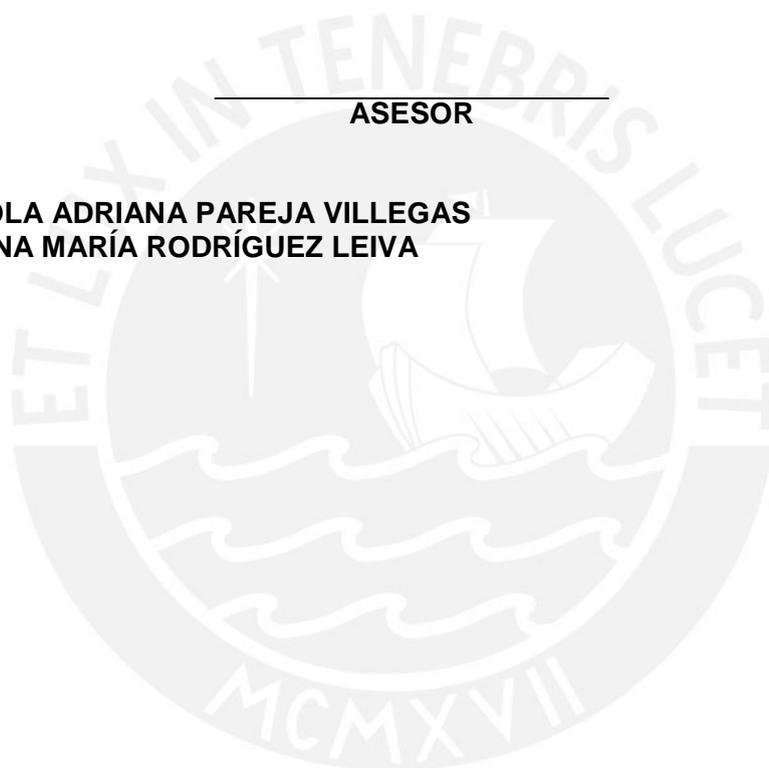
d. Discusión de los resultados. (CAPV – XMRL)

Discusión y evaluación de resultados del modelo de regresión para la estimación de damnificados y propuestas de mejora para la distribución de ayuda humanitaria en el Callao desde el almacén regional de INDECI a partir de los resultados del modelo de ruteo de vehículos.

e. Conclusiones y recomendaciones.

ASESOR

(CAPV) CAROLA ADRIANA PAREJA VILLEGAS
(XMRL) XIMENA MARÍA RODRÍGUEZ LEIVA





Dedicada a todos aquellos “damnificados” que durante el tiempo prolongado que nos ha tomado culminar esta investigación han sido profundamente afectados; nuestros familiares, amigos y conocidos más queridos.

AGRADECIMIENTOS

A nuestro asesor, el Ing. Christian Cornejo, quien nos ha guiado y asesorado afanosamente durante el largo camino que ha significado esta investigación.

Al Ing. Erik Cortijo del Instituto Nacional de Defensa Civil y a Luis Reyes del Gobierno Regional del Callao, quienes nos han concedido entrevistas y brindado información valiosa para el entendimiento de la situación actual de las instituciones públicas en el Perú en cuestiones de gestión de riesgo y desastres.

A Nejat Anbarci y Mónica Escaleras, investigadores reconocidos a nivel mundial y autores del paper “*Earthquake Fatalities: The Interaction of Nature and Political Economy*”, referencia crucial para nuestro estudio de los factores que determinan el número de damnificados de un sismo.

A Joselin Chávez, por su asesoría y apoyo con el desarrollo del modelo econométrico que forma parte de esta investigación.

Finalmente, a nuestros padres quienes nos han apoyado siempre en los grandes retos que nos hemos propuesto como estudiantes e investigadoras.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE MAPAS.....	xviii
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Terminología de los desastres.....	1
1.1.1. Desastre.....	1
1.1.2. Peligro y riesgo.....	1
1.1.3. La ecuación del riesgo.....	2
1.2. Vulnerabilidad.....	2
1.2.1. Definición de vulnerabilidad.....	3
1.2.2. Tipos de vulnerabilidad.....	3
1.2.3. Factores que afectan a la vulnerabilidad.....	7
CAPÍTULO 2. FORMULACIÓN DEL MODELO DE DETERMINANTES DE LA CANTIDAD DE DAMNIFICADOS.....	11
2.1. Revisión de la literatura.....	11
2.1.1. Magnitud.....	11
2.1.2. Distancia.....	11
2.1.3. Área de la región afectada.....	12
2.1.4. PBI per cápita.....	13
2.1.5. Desigualdad.....	14
2.1.6. Acción colectiva de mitigación.....	16
2.1.7. Frecuencia.....	17
2.1.8. Ayuda internacional.....	18
2.1.9. Calidad institucional.....	18
2.1.10. Apertura al comercio exterior.....	19
2.1.11. Reservas de petróleo y gas natural.....	19
2.1.12. Colonia pasada.....	20
2.1.13. Latitud.....	20
2.1.14. Altura sobre el nivel del mar.....	20
2.1.15. Nivel de preparación en infraestructura y estructuras.....	21
2.2. Presentación del modelo econométrico.....	22
2.3. Variables del modelo econométrico.....	24
2.3.1. Magnitud.....	24

2.3.2. Distancia.....	24
2.3.3. Población.....	25
2.3.4. Área.....	25
2.3.5. PBI per cápita	25
2.3.6. Desigualdad.....	25
2.3.7. Frecuencia.....	26
2.3.8. Apertura al comercio exterior	26
2.3.9. Pobreza	26
2.4. Datos del modelo econométrico	26
2.5. Discusión de los resultados	27
CAPÍTULO 3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	30
3.1. Aspectos geográficos y socioeconómicos	30
3.1.1. Sismología.....	30
3.1.2. Demografía.....	32
3.1.3. Economía	33
3.1.4. Vulnerabilidad sísmica de la región del Callao	35
3.2. Plan logístico institucional	38
3.2.1. Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.....	38
3.2.2. Almacenes de bienes de ayuda humanitaria.....	44
3.2.3. Bienes de ayuda humanitaria.....	47
3.2.4. Metodología actual para la elaboración del plan logístico	49
3.3. Plan Regional de Operaciones de Emergencia del Callao.....	51
3.3.1. Proceso de la gestión del riesgo	52
3.3.2. Sistema Regional de Defensa Civil Callao (SIREDECI Callao)	53
3.3.3. Clasificación de las emergencias en la región del Callao	53
3.3.4. Subprocesos para la respuesta en la región del Callao.....	54
Fuente: GORE-Callao (2012)	56
3.3.5. Implementación y activación del PROE-Callao	56
3.4. Diagnóstico	57
CAPÍTULO 4. FORMULACIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE RUTEO VEHICULAR.....	60
4.1. Modelo VRPTW	60
4.1.1. Variables de decisión.....	61
4.1.2. Parámetros	61
4.1.3. Función objetivo.....	62
4.1.4. Restricciones	62

4.1.5. Rango de existencia	66
4.2. Datos del modelo	66
4.3. El modelo VRPTW en el lenguaje de modelado en LINGO	78
CAPÍTULO 5. RESULTADOS DEL MODELO VRPTW	80
5.1. Resultados del escenario 1	80
5.2. Resultados del escenario 2	94
5.3. Resultados del escenario 3	95
5.4. Evaluación de los costos y comparación de los tres escenarios	102
5.4.1. Evaluación de los costos de los tres escenarios	102
5.4.2. Comparación de los costos de los tres escenarios.....	105
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	107
6.1. Conclusiones.....	107
6.2. Recomendaciones.....	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
ANEXOS	1
Anexo 1: Estadísticas descriptivas de las variables del modelo econométrico.....	1
Anexo 2: Do-file del modelo econométrico	2
Anexo 3: Fichas de información de los almacenes generales del INDECI.....	4
Anexo 4: Distancias entre nodos del <i>cluster</i> A (en metros).....	10
Anexo 5: Tiempos de desplazamiento entre nodos del <i>cluster</i> A (en minutos)	11
Anexo 6: Tiempo de servicio en el <i>cluster</i> A (en minutos)	12
Anexo 7: Demanda por nodo en el <i>cluster</i> A en el escenario 1 (en <i>kits</i>)	13
Anexo 8: TMP y TMT por subzonas del <i>cluster</i> A (en minutos)	14
Anexo 9: Modelo en LINGO para el <i>cluster</i> A en el escenario 1	14
Anexo 10: Solución del modelo LINGO para el <i>cluster</i> A en el escenario 1	14
Anexo 11: Distancias entre nodos del <i>cluster</i> B (en metros).....	15
Anexo 12: Tiempos de desplazamiento entre nodos del <i>cluster</i> B (en minutos)..	16
Anexo 13: Tiempo de servicio en el <i>cluster</i> B (en minutos)	17
Anexo 14: Demanda por nodo en el <i>cluster</i> B en el escenario 1 (en <i>kits</i>)	18
Anexo 15: TMP y TMT por subzonas del <i>cluster</i> B (en minutos)	19
Anexo 16: Modelo en LINGO para el <i>cluster</i> B en el escenario 1	19
Anexo 17: Solución del modelo LINGO para el <i>cluster</i> B en el escenario 1	19
Anexo 18: TMP y TMT por subzonas en el <i>cluster</i> C (en minutos)	20
Anexo 19: Modelo en LINGO para el <i>cluster</i> C en el escenario 1	20
Anexo 20: Solución del modelo LINGO para el <i>cluster</i> C en el escenario 1	20
Anexo 21: Distancias entre nodos del <i>cluster</i> D (en metros)	21

Anexo 22: Tiempos de desplazamiento entre nodos del <i>cluster</i> D (en minutos) ..	22
Anexo 23: Tiempo de servicio en el <i>cluster</i> D (en minutos)	23
Anexo 24: Demanda (en <i>kits</i>) por nodo en el <i>cluster</i> D del escenario 1	24
Anexo 25: TMP y TMT por subzonas del <i>cluster</i> D (en minutos)	25
Anexo 26: Modelo en LINGO para el <i>cluster</i> D en el escenario 1	25
Anexo 27: Solución del modelo LINGO para el <i>cluster</i> D en el escenario 1	25
Anexo 28: Escenario 2 – Datos <i>cluster</i> A	25
Anexo 29: Solución del modelo LINGO para el <i>cluster</i> A en el escenario 2	25
Anexo 30: Escenario 2 – Datos <i>cluster</i> B	25
Anexo 31: Solución del modelo LINGO para el <i>cluster</i> B en el escenario 2	25
Anexo 32: Escenario 2 – Datos <i>cluster</i> C	25
Anexo 33: Solución del modelo LINGO para el <i>cluster</i> C en el escenario 2	25
Anexo 34: Escenario 2 – Datos <i>cluster</i> D	25
Anexo 35: Solución del modelo LINGO para el <i>cluster</i> D en el escenario 2	25
Anexo 36: Escenario 3 – Datos <i>cluster</i> A	25
Anexo 37: Solución del modelo LINGO para el <i>cluster</i> A en el escenario 3	25
Anexo 38: Escenario 3 – Datos <i>cluster</i> B	25
Anexo 39: Solución del modelo LINGO para el <i>cluster</i> B en el escenario 3	25
Anexo 40: Escenario 3 – Datos <i>cluster</i> C	25
Anexo 41: Solución del modelo LINGO para el <i>cluster</i> C en el escenario 3	25
Anexo 42: Escenario 3 – Datos <i>cluster</i> D	26
Anexo 43: Solución del modelo LINGO para el <i>cluster</i> D en el escenario 3	26
Anexo 44: Cálculo de velocidad promedio desde el almacén (en metros por minuto)	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Comparación entre Chile y Perú	5
Tabla 1.2. Terremotos entre 1970 y 2008 con sus causas principales.....	10
Tabla 1.3. Resumen de las variables relacionadas con la vulnerabilidad.....	10
Tabla 2.1. Comparación de algunos países según PBI per cápita y número de damnificados	14
Tabla 2.2. Relación de la desigualdad con el número de muertos y heridos por sismos que ocurren en la zona de Ica, Perú.....	15
Tabla 2.3. Variables del modelo de Anbarci et al.....	23
Tabla 2.4. Variables adicionales.....	24
Tabla 2.5. Regresiones de los damnificados por causa de un terremoto grande en Latinoamérica1/.....	28
Tabla 3.1. Frecuencia de sismos por departamento	31
Tabla 3.2. Población del Perú, de Lima Metropolitana y de la región del Callao (2015)	32
Tabla 3.3. Población de los distritos de la región del Callao (2015)	32
Tabla 3.4. PEA del Perú, de Lima Metropolitana y de la región del Callao (2014)	34
Tabla 3.5. Correspondencia entre zonas sísmico-geotécnicas y niveles de peligro sísmico.....	36
Tabla 3.6. Niveles de emergencia según el SINAGERD.....	41
Tabla 3.7. Cantidad de almacenes de ayuda humanitaria por región y por tipo de almacén	45
Tabla 3.8. Jerarquización y clasificación de almacenes de ayuda humanitaria en el Perú	47
Tabla 3.9. Etapas del proceso de la gestión del riesgo.....	52
Tabla 3.10. Clasificación de los niveles de emergencia en la región del Callao ..	54
Tabla 3.11. Subprocesos para la respuesta en la región del Callao.....	54
Tabla 3.12. Niveles de activación del PROE-Callao	56
Tabla 4.1. Zonas de refugio en la región del Callao.....	67
Tabla 4.2. Cantidad de subzonas por zona de refugio.....	68
Tabla 4.3. Descripción de cluster y zonas de refugio asociadas.....	69
Tabla 4.4. Distancias entre nodos (en metros)	69
Tabla 4.5. Tiempos de desplazamiento entre nodos (en minutos)	70
Tabla 4.6. TMP y TMT por subzonas del cluster A (en minutos).....	71
Tabla 4.7. Artículos considerados en el kit de ayuda humanitaria.....	72
Tabla 4.8. Resumen de capacidad, tiempo de descarga y velocidad del camión	73

Tabla 4.9. Inventario de kits del INDECI	74
Tabla 4.10. Cantidad de kits de ayuda humanitaria asignados a cada región	74
Tabla 4.11. Cantidad de kits de ayuda humanitaria asignados por zona de refugio según la proporción de habitantes por zona de refugio en la región del Callao ...	75
Tabla 4.12. Escenarios según estimación de número de kits para personas afectadas	76
Tabla 5.1. Distancias entre nodos del cluster C (en metros).....	81
Tabla 5.2. Tiempos de desplazamiento entre nodos del cluster C (en minutos)..	82
Tabla 5.3. Resultados del cluster C	83
Tabla 5.4. Rutas vehiculares propuestas en el cluster C	83
Tabla 5.5. Resultados de los nodos por cluster – Escenario 1.....	84
Tabla 5.6. Rutas vehiculares propuestas – Escenario 1	84
Tabla 5.7. Resultados de los nodos por cluster – Escenario 2.....	95
Tabla 5.8. Resultados de los nodos por cluster – Escenario 3.....	97
Tabla 5.9. Rutas vehiculares propuestas – Escenario 3	97
Tabla 5.10. Cálculo del costo del flete 2	103
Tabla 5.11. Resultados por cada escenario	104
Tabla 5.12. Costo total de traslado de kits de ayuda humanitaria por escenario	104
Tabla 5.13. Tiempo máximo <i>wwwww</i> en minutos en el escenario 1	105
Tabla 5.14. Tiempo de tránsito en horas desde las regiones donde se ubican los almacenes nacionales del INDECI hasta el almacén nacional en el Callao	106

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1. Relación entre número de damnificados y el nivel de intensidad MMI según terremotos ocurridos en Perú (1973-2008)	12
Gráfico 2.2. Número de damnificados y PBI per cápita (2000-2005)	14
Gráfico 2.3. Valor FOB de exportaciones en millones de US\$ (2000-2012)	20
Gráfico 3.1. Estructura porcentual del PBI por departamento (2014, valores a precios corrientes)	33
Gráfico 3.2. Distribución de hogares según NSE 2014 – Lima Metropolitana.....	35
Gráfico 3.3. Distribución de hogares según NSE 2014 – Región Callao.....	35
Gráfico 3.4. Niveles de emergencia según el SINAGERD.....	42
Gráfico 3.5. Población damnificada y afectada por desastres en el Perú (2006-2014)	51
Gráfico 4.1. Ruta del camión <i>ww</i> y salida del almacén	63
Gráfico 4.2. Balance en los nodos y ruta del camión <i>ww</i>	64
Gráfico 4.3. Retorno al almacén.....	64
Gráfico 4.4. Suma de demandas no deberá exceder la capacidad del camión.....	67
Gráfico 5.1. Ruteo vehicular del <i>cluster C</i> – Escenario 1 – Zonas de refugio 4, 7, 10, 11 y 12.....	85
Gráfico 5.2. Ruteo vehicular del <i>cluster A</i> – Escenario 1 – Zonas de refugio 1, 3 y 9	88
Gráfico 5.3. Ruteo vehicular del <i>cluster B</i> – Escenario 1 – Zonas de refugio 2 y 8.90	
Gráfico 5.4. Ruteo vehicular del <i>cluster D</i> – Escenario 1 – Zonas de refugio 5 y 6 .92	
Gráfico 5.5. Ruteo vehicular del <i>cluster C</i> – Escenario 3 – Nodos con demandas remanentes – Zonas de refugio 4, 7, 10, 11 y 12	98
Gráfico 5.6. Ruteo vehicular del <i>cluster D</i> – Escenario 3 – Nodos con demandas remanentes – Zonas de refugio 5 y 6.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres [SINAGERD]...	39
Figura 3.2. Ubicación de almacenes nacionales	46
Figura 3.3. Conformación del SIREDECI Callao	53
Figura 3.4. Orden en el que los niveles de gobierno entran en acción en caso de desastre.....	57



ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 3.1. Niveles de peligro según la zonificación sísmica de Lima y Callao	37
Mapa 4.2. Zonas de refugio	68
Mapa 4.3. Zonificación sísmica de Lima y Callao del <i>cluster</i> A	73
Mapa 5.1. Ruteo vehicular <i>cluster</i> C – Escenario 1 - Ruta C.1.1	86
Mapa 5.2. Ruteo vehicular <i>cluster</i> C – Ruta C.1.2	87
Mapa 5.3. Ruteo vehicular <i>cluster</i> A – Ruta A.1.1	89
Mapa 5.4. Ruteo vehicular <i>cluster</i> B – Ruta B.1.1	91
Mapa 5.5. Ruteo vehicular <i>cluster</i> D – Ruta D.1.1	93
Mapa 5.6. Ruteo vehicular <i>cluster</i> C – Nodos con demandas remanentes - Ruta C.3.1	99
Mapa 5.7. Ruteo vehicular <i>cluster</i> D – Nodos con demandas remanentes - Ruta D.3.1	101



CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

Hasta hace poco, se tenía la visión de un desastre como *“la expresión inevitable de la acción de la naturaleza (agente activo) sobre la sociedad (agente pasivo)”* (Maskrey, 2005, p.2); sin embargo, en las últimas décadas, se reconocen a los desastres como fenómenos *“socionaturales”*, así como el producto de los riesgos existentes que al ser administrados de manera incorrecta, crean las condiciones de vulnerabilidad que incrementan el impacto de los detonantes (i.e. los fenómenos naturales como los terremotos, los tsunamis, los huaycos, entre otros). Maskrey (2005) también afirma que *“un desastre natural es la coincidencia entre un fenómeno natural peligroso y determinadas situaciones específicas”* (p.2).

1.1. Terminología de los desastres

1.1.1. Desastre

Un desastre o una catástrofe es un suceso inesperado y extraordinario que perturba el orden convencional, atenta sobre la vida y la salud de las personas, genera la pérdida de bienes comunes y daña severamente el medio ambiente (Cardona, 1993). Según Rodríguez (2011), un desastre comprende *“la compleja interrelación entre eventos físicos potencialmente dañinos y la vulnerabilidad de la sociedad, su infraestructura, economía y medio ambiente”* (p.12). Un desastre se puede entender como la *“materialización de un riesgo”* (Aneas de Castro, 2000, p.1) o *“la realización del peligro”* (Smith, 1992, p.6). Según Aneas de Castro (2000), a veces se utilizan los términos “peligro” y “desastre” indistintamente, pero el primero se refiere a una destrucción potencial, mientras que el segundo trata de una destrucción ocurrida. El desastre implica el conjunto de daños que resultan del peligro (p.1).

1.1.2. Peligro y riesgo

El peligro o la amenaza, según Cardona (1993) es la probabilidad de exceder el nivel de ocurrencia de un evento con cierta intensidad, en cierto sitio, y en cierto periodo de tiempo. Por otro lado, el riesgo o el daño es la probabilidad de exceder el nivel de las consecuencias económicas y sociales en cierto sitio y en cierto periodo de tiempo. La diferencia está en que el peligro es la probabilidad de que ocurra cierto evento inesperado mientras que el riesgo es la probabilidad que se manifiesten ciertas consecuencias, a raíz del evento inesperado (Cardona, 1993).

1.1.3. La ecuación del riesgo

Según Salas (2007) existen tres aspectos que contribuyen al riesgo frente a los fenómenos naturales:

1. La probabilidad de ocurrencia de diferentes tipos de fenómenos, de intensidades variables.
2. Los elementos expuestos al fenómeno.
3. La vulnerabilidad de los elementos expuestos.

Por lo general, el nivel de riesgo se mide cualitativamente ya que depende de ciertos factores que difícilmente se miden de manera exacta. Sin embargo, Cardona (1993) propone la siguiente ecuación para evaluar el riesgo:

$$R_t = (E)(RS) = (E)(H \cdot V)$$

Donde:

Rt: Riesgo total: número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica causados por un desastre natural. En otras palabras, es el producto del *riesgo específico* y los *elementos bajo riesgo*.

E: Elementos bajo riesgo: la población, las construcciones, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura en un área específica.

RS: Riesgo específico: grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento determinado. Está expresado en función de la *amenaza* y la *vulnerabilidad*.

H: Amenaza/peligro: probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante un período específico de tiempo y en un lugar determinado.

V: Vulnerabilidad: es el grado de pérdida respecto a la posible ocurrencia de un evento desastroso. Se representa en una escala de 0 sin daño o 1 que significa pérdida total.

1.2. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es un aspecto relevante en esta investigación debido a la estrecha relación que guarda con la determinación del nivel de pérdida, ya sea humano o

material, dada una situación específica de riesgo causada por un fenómeno natural; en particular los terremotos y los sismos.

1.2.1. Definición de vulnerabilidad

En 1979, el UNDRO¹⁴ y la UNESCO¹⁵ organizaron una reunión de expertos llamada “Desastres Naturales y Análisis de Vulnerabilidad” en donde se logró un consenso general en las definiciones de ciertos términos técnicos, los cuales han sido ampliamente aceptados en los últimos años (UNDRO, 1979). Uno de los conceptos revisados fue la definición misma de “Vulnerabilidad” (V): *“el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala desde 0 o sin daño a 1 o pérdida total.”* (Cardona, 1993, p.4)

De acuerdo con Cardona (1993), la vulnerabilidad es la predisposición intrínseca de un elemento a sufrir daños, causados por acciones externas. Tanto la evaluación de la vulnerabilidad, como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural, ayudan a estimar el riesgo implicado. Dicha estimación se logra mediante el estudio de las interacciones del elemento susceptible con el ambiente peligroso.

Existen varios tipos de vulnerabilidad, algunos especialistas insisten en la importancia de la determinación de la “vulnerabilidad física”, la cual definen como el grado de exposición de los elementos y aspectos materiales en el entorno físico directo, y a la capacidad de respuesta respecto del peligro que dichos elementos y aspectos pueden ocasionar (Cardona, 1993). Las condiciones de vulnerabilidad social también favorecen la ocurrencia de situaciones de crisis, así por ejemplo, en los países en desarrollo, esta clase de vulnerabilidad generalmente es la causa de las condiciones de vulnerabilidad física. La ocurrencia del fenómeno natural es una especie de detonante, mientras que la vulnerabilidad social es un estado permanente en el tiempo, directamente relacionado con los aspectos culturales y el grado de desarrollo de las comunidades.

1.2.2. Tipos de vulnerabilidad

Según Anderson y Woodrow (1989), existen varias clases de vulnerabilidad. Una es la vulnerabilidad técnica, física o material que se cuantifica en términos físicos y

¹⁴ UNDRO: United Nations Disaster Relief Organization.

¹⁵ UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

funcionales; otra es la vulnerabilidad social u organizacional que se analiza cualitativamente, de manera comparativa y analítica. Sin embargo, se tienen otras clases de vulnerabilidad como la educacional, la institucional, la funcional y la motivacional. A continuación se explica, según dichos autores, las principales:

- Vulnerabilidad física: se refiere a la vulnerabilidad causada por el pobre nivel de infraestructura y la falta de acceso a los recursos.
- Vulnerabilidad social: causada por las características de la sociedad en sí.
- Vulnerabilidad motivacional: se refiere a las características intrínsecas de las personas como el fatalismo, la ignorancia y el bajo nivel de conciencia.

Nos enfocaremos en los primeros dos tipos de vulnerabilidades, ya que como veremos a continuación, son las que a menudo reciben mayor atención como factores que influyen en los impactos que derivan de los desastres naturales.

1.2.2.1. Vulnerabilidad física o material

La vulnerabilidad física o material se refiere a qué tanto una población es propensa a sufrir daños colaterales porque habita o está expuesta de manera constante a zonas de riesgo físico. Este tipo de vulnerabilidad surge por la inadecuada infraestructura de los edificios y bienes físicos, la localización de estructuras en terrenos inapropiados y el incumplimiento de las normas de construcción vigentes. La pobreza y la tendencia a la centralización que muestran las poblaciones en países en vía de desarrollo son aspectos claves que influyen en el incremento de la vulnerabilidad física o material.

A continuación presentaremos los elementos de infraestructura específicos que deben ser analizados para determinar la vulnerabilidad física o material, según Hays, B.Mohammadiouny y J.Mohammadioun (1998):

- Edificios sin refuerzo lateral sísmico.
- Edificios y viviendas construidos con baja calidad.
- Puentes y tuberías propensos a colapsar en una situación sísmica.
- Servicios de salud y hospitalización escasos en casos de emergencia.
- Falta de información y conocimiento acerca de la construcción antisísmica.

1.2.2.2. Vulnerabilidad social

1.2.2.2.1. Niveles de vulnerabilidad social

La pobreza de la población en la zona territorial donde habitan es el factor social más significativo para determinar la vulnerabilidad frente a desastres naturales y es a su vez la causante principal de la destrucción (Salas, 2007). Este autor también afirma que se puede comprobar que no solo la mayoría de los desastres naturales ocurren en países en vías de desarrollo, sino también, que la cifra de damnificados siempre es significativamente más alta que en los países más desarrollados, como se muestra en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Comparación entre Chile y Perú

Fecha	País	Magnitud (Escala Richter)	PBI per cápita (US\$ a precios constantes de 2005)	Número de damnificados	Nivel de vulnerabilidad social
27/02/2010	Chile	8	8,610	365	-
15/08/2012	Perú	9	3,892	514	+

Fuente: Banco Mundial, NGDC Earthquake Database (2015)
Elaboración propia

Hay una evidente relación entre los modelos de desarrollo y urbanización y, la generación de riesgos y el aumento de la vulnerabilidad. Así, en las zonas de menores ingresos económicos se encuentra la mayor cantidad de terrenos vulnerables, construcciones informales carentes de supervisión técnica, asentamientos humanos precarios sin servicios básicos y viviendas estructuralmente deficientes. Más aun, estas zonas generalmente se ubican en zonas periféricas de las ciudades.

Según Salas (2007) las dos principales causas de los siniestros en términos de pérdidas humanas y daños materiales son una geografía física propensa a generar, propagar y recibir fenómenos naturales de diversos tipos y, una alta proporción de la población en condiciones de pobreza. La mayor parte de la población vulnerable a los desastres, principalmente pobre, no tiene acceso a oportunidades de mitigación por la falta de recursos y conocimiento de las opciones existentes, lo cual aumenta la vulnerabilidad social. La vulnerabilidad social puede explorarse a nivel local y a nivel nacional.

a) Nivel local

Si bien el nivel individual de vulnerabilidad aumenta la vulnerabilidad en el nivel comunitario; las relaciones socioculturales, las familias numerosas, las comunidades organizadas y la interdependencia misma de la comunidad son factores comunitarios que, ayudan a disminuir la vulnerabilidad total. Por eso, es necesaria la preparación anticipada de la sociedad y la difusión de valores para crear una fuerte cultura comunitaria que contribuya a cimentar una comunidad resiliente, Salas (2007).

b) Nivel nacional

Un país es vulnerable cuando el gobierno no invierte ni toma acción en planes de contingencia, planes de mitigación, preparación educacional de la población y preparación de respuesta rápida ante desastres. La falta de comunicación entre el gobierno de un país y sus respectivos habitantes es uno de los factores que más afecta a la vulnerabilidad. El gobierno debe difundir y educar a los habitantes de manera que sepan las características del terreno en el que se encuentran y qué tan vulnerable es ante un movimiento telúrico. También debe capacitar a la población en cómo actuar y qué hacer en caso de sismo, así como informar a los habitantes sobre las políticas o especificaciones mínimas que debe cumplir una vivienda para ser considerada antisísmica; entre otros aspectos, Salas (2007).

1.2.2.2. Vulnerabilidad motivacional o actitudinal

La vulnerabilidad motivacional se basa en el principio que las personas más vulnerables son las que tienen actitudes fatalistas y/o culturas que practican religiones con barreras al cambio (Loarche, Pipernoy y Sierra, 2011). Un ejemplo es el caso de la ciudad de Artigas en Uruguay, luego de la inundación de diciembre de 2009 causada por el Fenómeno El Niño. Se entrevistó a un grupo de personas del área inundada y el 41% de ellos dijeron que fue un episodio inevitable y “una inundación más”, y el 30% afirmó que fue una “fatalidad del destino”. Paralelamente, solo un 80% de la zona Puerto considera la posibilidad de mudarse, reflejando la poca flexibilidad para el cambio (Piperno y Sierra, 2013). Por tanto, es importante fortalecer las actitudes y las habilidades de las personas para poder reducir la vulnerabilidad de las poblaciones que son afectadas por desastres naturales.

1.2.3. Factores que afectan a la vulnerabilidad

La vulnerabilidad de una comunidad se expresa a través de muchos factores: la falta de conciencia o conocimiento del comportamiento de las amenazas (vulnerabilidad cultural); la desarticulación de la organización social (vulnerabilidad social); la falta de acceso a recursos esenciales, incluyendo la tecnología (vulnerabilidad económica); y un marco legal, normativo e institucional contraproducente (vulnerabilidad institucional) (Maskrey, 2005). Según el Programa de las Naciones Unidas (2014), “en el nivel más básico, la vulnerabilidad se define como la exposición a una disminución acentuada del nivel de vida. Supone un motivo especial de preocupación cuando es prolongada y cuando los niveles de vida caen por debajo de umbrales críticos, hasta un punto de escasez”. Es por este motivo que nos enfocaremos en tres de los factores principales que afectan y determinan la vulnerabilidad, según el ADPC¹⁶.

- La densidad poblacional.
- La ocupación espacial y actividad económica localizada en las zonas de riesgo sísmico.
- La naturaleza de los bienes físicos, tales como edificios y viviendas.

1.2.3.1. Factor de densidad poblacional

La densidad poblacional es un factor relevante porque mide la concentración de la población en un área específica, usualmente determinada por el número de personas por metro o kilómetro cuadrado. Este factor es importante ya que esclarece el panorama y el ratio de ocupación habitacional de acuerdo con el espacio disponible geográficamente (Maskrey, 2005). La correlación entre la densidad poblacional y la vulnerabilidad es positiva, ya que mientras mayores sean los indicadores de densidad poblacional, más vulnerable es el área.

Los índices de densidad poblacional son expresados a nivel nacional y departamental, por ejemplo en el Perú, se estima un promedio de 24.8 habitantes por km² en el año 2015. Sin embargo, el indicador a nivel nacional no es el más apropiado debido a que hay departamentos que cuentan con áreas extensas desocupadas y baja densidad poblacional; por dicha razones, hay que discutir cuál es el indicador más apropiado para la zona en estudio. En el caso de Lima, según el Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2007), esta metrópoli no

¹⁶ ADPC: Asian Disaster Preparedness Center.

solo es la ciudad más poblada del Perú, sino también, la que tiene mayor densidad poblacional con 242.7 habitantes por km² en el 2007 y una densidad esperada de 269.1 habitantes por km² en el 2015. Dichas características sugieren que esta ciudad es altamente vulnerable y es imprescindible evaluar con mayor rigor el factor de densidad poblacional.

1.2.3.2. Factor de ocupación espacial y actividad económica localizada en las zonas de riesgo sísmico

Para mitigar los efectos de los desastres naturales en América Latina, es preciso enfrentar los factores causales que están escondidos tras la vulnerabilidad perceptible de la población. Existe una gran relación entre el aumento de la vulnerabilidad y el nivel de desarrollo y ocupación espacial presentes en la región Maskrey (2005). señala que es evidente que para reducir la vulnerabilidad, es necesario cambiar los patrones territoriales de producción. Se deberá impedir que las actividades económicas de determinados sectores traten de abarcar áreas demasiado limitadas e inadecuadas por el alto grado de densidad que podrían provocar.

1.2.3.3. Factor inmobiliario de la naturaleza de los bienes físicos

En el caso de la vulnerabilidad de la vivienda, el alto costo de los materiales de construcción y el desconocimiento de las tecnologías que se podrían emplear para el uso de materiales antisísmicos, son factores que fácilmente se convierten en obstáculos para mitigar su efecto en la vulnerabilidad (Maskrey, 2005).

El 75% de las destrucciones causadas por los sismos ocurren debido al colapso de estructuras y edificios inmobiliarios mal diseñados o construidos con materiales de baja calidad (Maskrey, 2005). En la tabla 1.2, las estadísticas entre 1970 y 2008 muestran que la mayor cantidad de muertes en el caso de terremotos han sido provocadas por el colapso de viviendas y edificios precarios, construidos principalmente con adobe y ladrillos sin refuerzos.

En el Perú, las normas de construcción antisísmica están detalladas considerando la zonificación, las condiciones locales y el factor de amplificación sísmica, entre otros. Aun así, la Norma Técnica de Edificación E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE, establece *“las condiciones mínimas para que las*

edificaciones diseñadas según sus requerimientos tengan un comportamiento sísmico acorde con los principios señalados en el artículo °3” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2003, p.12). Por lo tanto, la norma tiene el propósito de establecer las exigencias que como mínimo deben cumplirse (según el artículo °3) para evitar la pérdida de vidas, garantizar la continuidad de los servicios básicos y minimizar los daños materiales (MVCS, 2003).

Un estudio realizado en el 2008 por el Instituto Peruano de Administración Municipal [IPAM] reveló que el 75.5% de las construcciones de vivienda en el Perú son informales (La República, 2008); asimismo según el Censo del 2007 en Lima hay 17,621 viviendas no adecuadas (INEI, 2009). En tales viviendas se encontrarían las personas de menores ingresos (En el 2009, la incidencia de pobreza en la costa rural del Perú era de 40.6% mientras que la de la costa urbana era solamente de 21.4% (INEI, 2004-2009)) y las viviendas con los diseños y construcciones de las calidades más bajas. Estas cifras sugieren que el cumplimiento de las normas para las edificaciones se cumplirían más en las ciudades que en las zonas rurales.

En países como China y Japón existe un código legal de construcción sísmica que debe ser cumplido, mientras que en la mayor parte de Sudamérica estas normas solamente son “recomendadas”. Los gobiernos centrales y municipales deberían implementar prácticas de prevención y control para contribuir con la cultura de concientización. (Coburn y Spence, 1992b).

En la tabla 1.3 se muestra la frecuencia de las variables mencionadas como relevantes para explicar las causas de la vulnerabilidad según los autores citados en el capítulo 1 y también citados en el capítulo 2.

Tabla 1.2. Terremotos entre 1970 y 2008 con sus causas principales

Lugar	Fecha	Damnificados (Heridos)	Causa de damnificados	Tipos de edificaciones que colapsaron	Eventos secundarios
Ancash (Perú)	31/05/1970	66,794 (143,331)	Viviendas vulnerables, avalancha que se convirtió en huayco	Adobe	Inundaciones, avalancha
Ciudad de Guatemala (Guatemala)	04/02/1976	22,778 (76,504)	Viviendas vulnerables	Adobe	
Tangshan (China)	28/07/1976	242800 (7,086)	Viviendas vulnerables	78% de las edificaciones industriales, 93% de las edificaciones residenciales	
Armenia (República de Armenia)	07/12/1988	25,000 (20,000)	Colapso estructural de edificaciones de nueve pisos de alto	Falla de armaduras de concreto	
Manjil (Irán)	21/06/1990	45,000 (60,000)	Viviendas vulnerables		Huaycos
Kocaeli (Turquía)	17/08/1999	17,439 (43,953)	66.6% estructural, 26% no-estructural		
Bhuj (India)	26/01/2001	13,805 (166,836)	Viviendas vulnerables		
Bam (Irán)	26/12/2003	26,271 (30,000)	Viviendas vulnerables	Debilidad extrema de viviendas de adobe	
Océano Índico	26/12/2004	227,898	Ahogo, escombros		Tsunami
Kashmir (India)	08/10/2005	87,351 (75,266)	Viviendas vulnerables, efectos de localización		
Wenchuan (China)	12/05/2008	69,195 (374,177)	Efectos de localización, viviendas vulnerables, falla de pendientes que conllevan a huaycos masivos		Huaycos

Fuente: Spence y So (2009)
Elaboración propia

Tabla 1.3. Resumen de las variables relacionadas con la vulnerabilidad

Variable	Anbarci et al. (2004)	Anderson et al. (1989)	Cardona (1993)	Coburn (1992a)	Hays et al. (1998)	Maskrey (2005)	Noji (1997)	Salas (2007)	Serrano (2007)
Infraestructura y estructuras	✓	✓			✓			✓	
Disponibilidad de recursos		✓				✓			✓
Nivel de conciencia		✓		✓		✓			
Oportunidad de mitigación	✓						✓		✓
Pobreza					✓			✓	✓
Capacidad de respuesta	✓		✓						
Densidad poblacional						✓			
Grado de exposición			✓					✓	
Organización social	✓					✓			
Urbanización	✓							✓	
Actividad económica									
Geografía									✓
Ingresos	✓								
Nivel de desigualdad	✓								

Elaboración propia

CAPÍTULO 2. FORMULACIÓN DEL MODELO DE DETERMINANTES DE LA CANTIDAD DE DAMNIFICADOS

2.1. Revisión de la literatura

A pesar de que la causa de un sismo se relaciona con factores naturales que escapan del control del hombre, actualmente se cree que la interacción de las instituciones político-económicas con la naturaleza comparte la responsabilidad de las pérdidas resultantes de los desastres naturales. El nivel de damnificados que resulta de un terremoto al parecer es directamente proporcional al nivel de desigualdad que existe en un país, e inversamente proporcional a su nivel de ingreso per cápita. Por otro lado, tanto los ingresos como la igualdad, incrementarían la probabilidad de ejecución de acciones colectivas y privadas de mitigación; estos planes de prevención reducirían los efectos destructivos de los sismos (Anbarci, Escaleras y Register, 2004).

A continuación se explican los posibles determinantes del nivel de pérdidas humanas y físicas causadas por un sismo que en general serían explicativas del número de damnificados. Esto es, según varias investigaciones que fueron revisadas para esta tesis y cuyos autores e ideas serán progresivamente mencionadas a lo largo de esta sección.

2.1.1. Magnitud

La magnitud de un terremoto, ya sea medida según la escala de Richter u otras sería una variable relevante para estimar el número de damnificados (Anbarci et al., 2004 y Raschky y Schwindt, 2009). La magnitud de un sismo se determina según el patrón que sigue el movimiento originado por el epicentro; las condiciones locales geológicas y sismotectónicas; las fallas naturales en donde se ubica el epicentro o área afectada; la atenuación de la tierra del suelo y las características propias del terreno en el que ocurre. Se espera que a mayor magnitud, mayor sería el número de damnificados. El gráfico 2.1 también apoya esta presunción.

2.1.2. Distancia

Se refiere a la distancia entre el epicentro y la región afectada geográficamente. Cabe resaltar, que la intensidad del sismo es la medida del tamaño del terremoto

con base en los efectos que trae como consecuencia. Este indicador depende de la magnitud y la distancia al epicentro, así como de otras características de la fuente sísmica, los caminos recorridos por las ondas y los lugares a los que llegan (Instituto Andaluz de Geofísica, 2012). Por lo tanto, para poder considerar el efecto de la intensidad sobre la pérdida humana o damnificados, es importante considerar tanto la magnitud como la distancia. Se espera que si la distancia entre el epicentro y la región afectada es mayor, el número de damnificados en la región afectada sería menor (Anbarci et al., 2004).

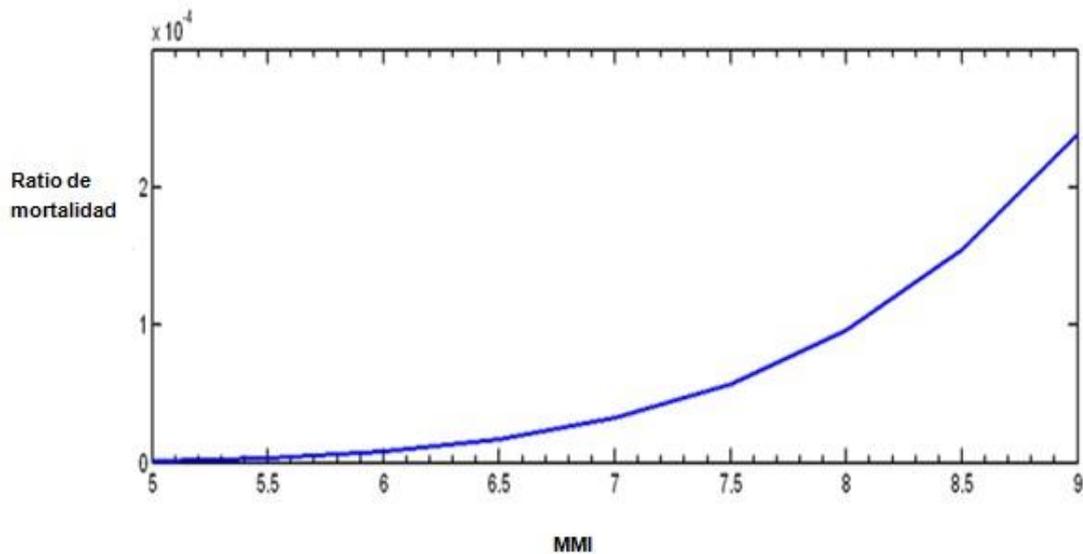


Gráfico 2.1. Relación entre número de damnificados y el nivel de intensidad MMI¹⁷ según terremotos ocurridos en Perú (1973-2008)
Fuente: Jaiswal, Wald y Hearne (2009).

2.1.3. Área de la región afectada

El área afectada está determinada por la superficie terrestre de la provincia o región sobre la cual un determinado terremoto ejerce cierto impacto. Es una variable que depende de la ubicación del epicentro, su profundidad respecto a la superficie de la tierra y la magnitud del terremoto (Anbarci et al., 2004).

El área de la región afectada no muestra causalidad evidente con la variable dependiente ya que por sí sola podría ser considerada irrelevante. Es por este motivo que es necesario analizar si realmente el aspecto sugerido, es o no una característica determinante porque podría utilizarse para precisar la población

¹⁷ Modified Mercalli Intensity Scale: escala de nivel de intensidad de un sismo basada en la percepción de los efectos del movimiento telúrico y no en una escala matemática. Está compuesto de 12 niveles, donde el nivel 1 describe un temblor no percibido y el 12 corresponde a destrucción total (United States Geological Survey [USGS], 2013).

presente propensa a sufrir los daños colaterales de un sismo; y así obtener un ratio de nivel de damnificados respecto al nivel de expuestos en la región afectada.

2.1.4. PBI per cápita

El nivel de ingreso per cápita limita la capacidad de inversión que la población de un país tiene para contrarrestar los efectos de un sismo. Asimismo, define la efectividad de la respuesta que tendrá cuando el país se enfrente a una situación de emergencia (Anbarci et al., 2004). Para efectos de medición del nivel de ingreso per cápita, se considerará el Producto Bruto Interno (PBI) per cápita.

La evidencia de los datos sugiere que terremotos de magnitudes similares ocurridos en países con menor PBI per cápita, tienden a tener un mayor número de damnificados en comparación con países con mayor PBI per cápita (Asian Disaster Preparedness Center [ADPC]).

Por ejemplo, un análisis de los terremotos más significativos ocurridos alrededor del mundo entre el año 2000 y 2005, elaborado por el United States Geological Survey [USGS] sugiere una correlación negativa entre el PBI per cápita de un país y el número de damnificados causados por un evento sísmico en ese año. El gráfico 2.2 ilustra como a menor PBI per cápita, mayor es el número de damnificados provocados por un terremoto. Como podemos observar, los países con PBI per cápita mayor a US\$15,000 tienen una cifra inferior a las 100 muertes por causa de terremotos.

La tabla 2.1 compara tres sismos de aproximadamente la misma magnitud, que ocurrieron en la última década. Como se puede apreciar, se observa una relación inversamente proporcional entre el PBI per cápita y el número de damnificados para cada uno de los eventos. Por ejemplo, Chile que tiene el PBI per cápita más alto registra el menor número de damnificados para el sismo que ocurrió en el año 2010 y de similar magnitud a los ocurridos en Perú e Indonesia en los años 2007 y 2005, respectivamente.

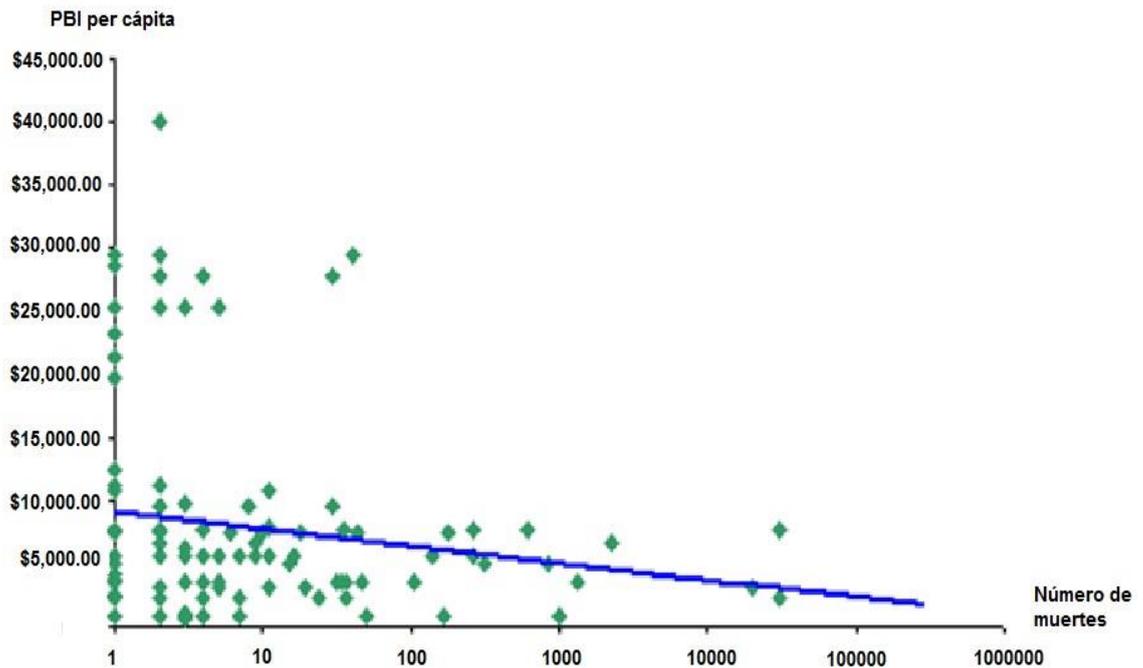


Gráfico 2.2. Número de damnificados y PBI per cápita (2000-2005)
Fuente: Gongol (2009)

Tabla 2.1. Comparación de algunos países según PBI per cápita y número de damnificados

Año	Nombre	Magnitud	Número de damnificados		PBI per cápita (US\$)	
2010	Chile: Maule, Concepción, Talcahuano	8.8	365	↓ - ↓ +	8,610	↑ + ↓ -
2007	Perú: Ica, Pisco, Lima	8.0	514		3,054	
2005	Indonesia: Sumatera: SW	8.6	1,303		1,273	

Fuente: Banco Mundial, NGDC Earthquake Database (2015)
Elaboración propia

2.1.5. Desigualdad

La medida de desigualdad, es un indicador que refleja la brecha económica, los conflictos sociales, y la inestabilidad política del país. Este indicador brinda una idea de la distribución económica y social. (Anbarci et al., 2004).

Según Anbarci et al., la desigualdad a menudo es vista como consecuencia de la economía de un país; sin embargo, también influye directamente el desempeño de su economía, principalmente sobre su tasa de crecimiento. El autor sostiene que hay menor probabilidad que un país con un alto nivel de desigualdad invierta en acciones colectivas de mitigación por el “bien común”, es decir, que destine

presupuesto para responder efectivamente ante “shocks externos” como desastres naturales (esta idea se desarrollará con mayor detalle en el acápite 2.1.6). Por lo tanto, se esperaría que a mayor desigualdad, mayor número de damnificados por causa de un sismo.

Como podemos observar en la tabla 2.2 que muestra dos casos de terremotos ocurridos en la ciudad de Ica, de magnitud igual a 8.0 según la escala de Richter. Se observa que a mayor índice de desigualdad, mayor número de heridos y muertos.

Tabla 2.2. Relación de la desigualdad con el número de muertos y heridos por sismos que ocurren en la zona de Ica, Perú

Año	Desigualdad (Índice de Gini) ¹⁸	Magnitud (Escala de Richter)	Número de muertos	Número de heridos
2007	51.7	8	514	1,090
1996	34.8	8	14	560

Fuente: Banco Mundial, NGDC Earthquake Database (2015)
Elaboración propia

Para medir la desigualdad hay dos índices de Gini que habitualmente se utilizan, uno basado en la distribución de ingresos, y el otro en la distribución geográfica. El primero mide la distribución de ingresos de las personas o los hogares dentro de una economía, y cuantifica su desviación respecto a una distribución perfectamente equitativa (The World Bank, 2016). De manera similar, el segundo índice de Gini mide la distribución de terrenos agrícolas (Vollrath, 2007). La FAO¹⁹ World Census of Agriculture definió cada terreno como una unidad económica de producción agrícola bajo un solo título propietario, que incluye toda la ganadería y las tierras destinadas a la industria agrícola. Se excluye la cantidad real de propietarios de cada terreno, así como su conformación legal, su tamaño y su ubicación.

En el modelo propuesto para esta tesis, se considerará el Gini geográfico debido a tres razones principales, tal como lo explica Anbarci en su trabajo:

¹⁸ El Índice de Gini en este caso mide qué tanto se desvía la distribución de los ingresos de las personas dentro de una economía, de una distribución perfectamente equitativa. Un índice de Gini de 0 representa la equidad perfecta mientras que un índice de 100 representa la inequidad perfecta (The World Bank, 2016). En este caso se usa el índice de Gini del año más cercano al año en el que ocurre el sismo en cuestión.

¹⁹ FAO: Food and Agricultural Organization.

1. Tiene menos correlación con el PBI per cápita, la cual es una variable considerada en el modelo. La presencia de PBI per cápita y el coeficiente de Gini basado en la distribución de ingresos significa que podría surgir un caso de multicolinealidad entre ambas variables en el modelo.
2. Las metodologías utilizadas para obtener los coeficientes de Gini basado en los niveles de ingresos difieren entre países y presentan inconsistencias.
3. Se aplica mejor a países con economías con un alto porcentaje de agricultura. En estos casos es un mejor indicador de productividad individual y de capacidad de inversión.

El Gini referido a la distribución geográfica puede considerarse adecuado en el caso de Perú ya que el 25% de la población económicamente activa trabaja en el sector y; por otro lado, un tercio de la población que vive en zonas rurales tiene el 50% de sus ingresos que proviene de la agricultura.

2.1.6. Acción colectiva de mitigación

La acción colectiva de mitigación radica en la imposición de impuestos para financiar actividades comunales de preparación que mejore todos los tipos de viviendas, tanto de buena como de baja calidad de construcción. En cambio, la acción privada de mitigación consiste en que cada hogar de manera individual tome las precauciones necesarias de prevención (Anbarci et al., 2004).

En el caso de la acción colectiva de mitigación, esta se puede describir como una función del ingreso per cápita (con una relación directa), y del grado de desigualdad (con una relación inversa). Los planes de preparación comunal ayudan a la prevención de un mayor grado de pérdidas al fomentar la implementación de códigos estrictos de construcción; el refuerzo de estructuras (edificios, puentes y autopistas); la delimitación de las zonas más vulnerables, y la insistencia de la necesidad de licencias de construcción para las empresas contratistas. Un edificio que no cumple las normas de construcción impone riesgos sobre las estructuras adyacentes y, en caso de derrumbe, podría afectarlas negativamente (aun si estas cumplen las regularizaciones). Las altas tasas de crecimiento poblacional y la urbanización pueden generar tanta demanda por la construcción de viviendas, que contribuyen al surgimiento de empresas informales que no cuentan con las regulaciones adecuadas (Anbarci et al., 2004). Por otro lado, la baja penetración de la oferta de seguros contra terremotos aumenta la cifra de afectados y

damnificados, así por ejemplo, en el Perú, solo cinco de cada 100 viviendas están aseguradas contra sismo (Alva Pino y Zárate, 2012).

La acción colectiva de un país está limitada por sus ingresos, además del consenso entre los habitantes heterogéneos de diferentes niveles socioeconómicos (Alesina y Drazen, 1991), quienes difícilmente logran acordar la manera de distribuir los altos gastos de las medidas de prevención (Anbarci et al., 2004), por lo que generalmente entran en conflicto. La diferencia entre los totales de damnificados del sismo de Armenia en 1988 y el sismo de San Francisco en 1989, se debió a las diferencias en los niveles de preparación para los desastres. Anbarci et al. recalca que las medidas previamente tomadas en el colectivo *“salvaron muchas vidas y evitaron que se derrumbaran miles de edificios en San Francisco”* (p. 4).

Más aun, a nivel individual, los incentivos de cada persona para protegerse contra desastres están restringidos por la falta de interés e información. El grado de conciencia determinará si una persona se preocupará por sus condiciones de vida, y si tomará medidas para minimizar sus riesgos. Además, en general, existe una subestimación de la presencia de un riesgo de baja probabilidad y alta pérdida, como son los terremotos. Los ciudadanos también se confían en que el Estado invertirá en su seguridad, o alguna otra entidad les donará provisiones, permitiendo ahorrarse la prima anual de un seguro contra desastres, propiamente dicho (Noji, 1997 y Lagorio, 1990).

2.1.7. Frecuencia

Esta variable se refiere a la frecuencia de ocurrencia de terremotos de cierta intensidad, dentro de un periodo específico y en un país determinado.

Anbarci et al. evaluó la frecuencia de sismos ocurridos dentro del periodo de 1900-1959 y mayores a 6.0 en la escala de Richter y el número de damnificados. Él sostiene que si bien no hay una relación directa entre el número de terremotos ocurridos en un país en un periodo de tiempo determinado y la posibilidad de que un terremoto vuelva a ocurrir, se propone calcular un ratio que permita estimar una tendencia de la frecuencia de los terremotos en un determinado lugar. Sin embargo, según el Institute of Geophysics, este ratio no sugiere correlación ya que el hecho de que haya ocurrido un mayor número de terremotos en determinada área durante periodos de tiempo determinados, no aumenta ni disminuye la probabilidad de que

ocurran menos o más terremotos con la misma frecuencia después porque la predicción de terremotos basados en la frecuencia de los mismos y en otros indicadores no es válida.

2.1.8. Ayuda internacional

El nivel de ayuda económica internacional podría tener una relación positiva o negativa con respecto al nivel de damnificados que resultan de un terremoto. Por un lado, si países extranjeros brindan altos niveles de ayuda económica, entonces podría reducirse paralelamente el incentivo de la inversión nacional para la acción colectiva de mitigación y las medidas de prevención. Además, un país que ha recibido ayuda del extranjero en el pasado, podría tomar esto como una garantía que la recibiría nuevamente en el futuro.²⁰

Según Anbarci et al., a esto se le conoce como “the crowding-out effect”. Si un país se fía en que podrá contar con la caridad de la gente si ocurriese un desastre natural, no se promoverá la protección por parte del gobierno de dicho país (Buchanan, 1975 y Coate, 1995). Esta situación incrementaría el nivel de posibles damnificados por causa de un terremoto. Por otro lado, los países que están más expuestos a los desastres naturales, podrían ser beneficiados con un mayor número de contribuciones internacionales, lo cual significa que podrían terminar estando más preparados ante una situación de emergencia, lo cual a su vez podría reducir el número de posibles damnificados.

2.1.9. Calidad institucional

A mayor calidad institucional, se espera menor riesgo de mortalidad como consecuencia de desastres naturales (Kaufmann, Kraay y Mastruzzi, 2008). La calidad institucional se define a través de seis dimensiones de gobierno:

- Control de la corrupción: el grado de uso del poder político para intereses privados.
- Efectividad gubernamental: la calidad y credibilidad del servicio público y su independencia de la autoridad política.
- Estabilidad política: la probabilidad que el gobierno actual sufra un golpe de Estado.

²⁰ A partir de estas ideas surge la relación entre el factor “ayuda internacional” y “acción colectiva de mitigación”. Si un país recibe, o ha recibido, ayuda internacional, se cree que es menos probable que el gobierno invierta en la acción colectiva de mitigación.

- Calidad de regulación: la habilidad del gobierno de diseñar e imponer leyes y normativas sensatas, y de promover el desarrollo del sector privado.
- Poder judicial: el grado de protección de los derechos de propiedad, y el poder de los contratos, de la policía y de las cortes.
- Voz y voto: libre expresión y asociación, así como la posibilidad de participar activamente en las elecciones gubernamentales.

Por lo tanto, se sugiere que para medir la calidad institucional, se podrían usar indicadores de democracia con una escala que va desde “autocrático” hasta “democrático.”

Finalmente, a continuación se presentan algunas variables específicas que podrían ser determinantes del nivel de damnificados en algunos países.

2.1.10. Apertura al comercio exterior

Según Gassebner, Keck y Teh (2009), hay una relación negativa entre la ocurrencia de desastres y el volumen de comercio de un país. Según Alesina y Dollar (2000), flujos bilaterales de ayuda económica están relacionados de forma positiva con el grado de “apertura” al comercio exterior que tiene cierto país. Una manera de medir esta “apertura” podría ser mediante los valores FOB de las exportaciones.

Para el caso de Perú, el gráfico 2.3 muestra que en los últimos doce años se ha visto un aumento en el valor FOB de las exportaciones desde aproximadamente US\$ 5,000 MM en el año 2000, hasta más de US\$ 45,000 MM en el año 2012. De esta manera, se observa un incremento de casi 1000% en las exportaciones. Esto consecuentemente indica que la apertura del Perú al comercio exterior también se ha incrementado significativamente en la última década. Si la tendencia de los datos se mantuviese, se presume tener cada vez menos damnificados por causa de un terremoto en el Perú.²¹

2.1.11. Reservas de petróleo y gas natural

Según Fink y Redaelli (2009), los países que tienen mayores volúmenes de exportación de petróleo son más propensos a recibir ayuda económica internacional

²¹ Ceteris paribus en los demás aspectos.

en caso de emergencia. Por lo tanto, se considera la variable del nivel de reservas de petróleo, y la producción de gas natural de un país en particular.

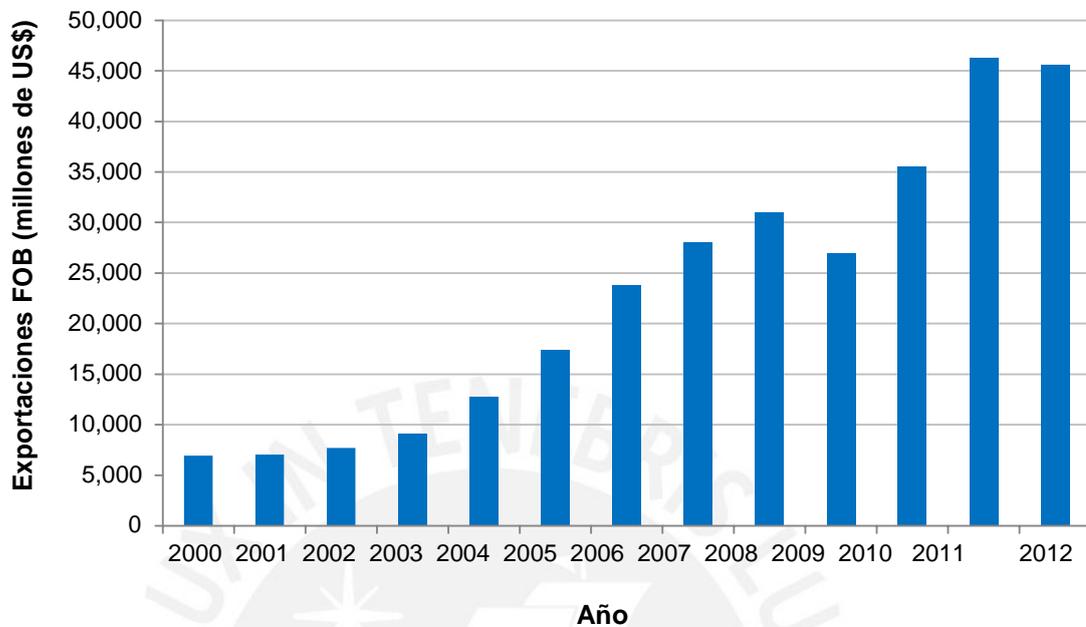


Gráfico 2.3. Valor FOB de exportaciones en millones de US\$ (2000-2012)
Fuente: Banco Central de Reserva del Perú (2000-2012).
Elaboración propia

2.1.12. Colonia pasada

Según Alesina y Dollar (2000), las colonias pasadas tienen mayor probabilidad de recibir ayuda internacional.

2.1.13. Latitud

De acuerdo con Raschky y Schwindt (2009), la variable “latitud” describe la relación que tiene la probabilidad de ocurrencia de los desastres naturales (y la magnitud de los mismos) con la distancia a la línea del Ecuador.

2.1.14. Altura sobre el nivel del mar

La altura sobre el nivel del mar promedio también se presenta como una variable que determina el nivel de damnificados en un terremoto (Raschky y Schwindt, 2009).

2.1.15. Nivel de preparación en infraestructura y estructuras

Según Anbarci et al., los indicadores de preparación a nivel infraestructura y estructura podrían ser determinantes del nivel de damnificados. A continuación se explican algunos de los índices que toman en cuenta estos factores:

- Regulaciones de Diseño Sísmico [RSD]: mide la conformidad de un país de acuerdo con los códigos de diseño de terremotos y regulaciones. Toma en cuenta factores como criterio de diseño, zonificación y densidad poblacional de las zonas. El valor es de 0 (si no cumple con las especificaciones y criterios del indicador) o 1 (sí se cumple).
- International Handbook of Earthquake Engineering [IHEE]: evalúa la conformidad y el criterio de los países respecto a los códigos sísmicos, tomando en cuenta los desarrollos en el código de actividad sísmica de cada país.
- Earthquake Disaster Preparedness Index [EDPI]: ofrece una idea del grado de preparación de un país, e incluye la opinión de expertos sismólogos asociados con el World Seismic Safety Initiative [WSSI]. Ellos analizan criterios cualitativos de un grupo de países. También se evalúa el nivel de preparación con una escala del 0 al 10, donde 0 es el nivel mínimo de preparación y 10 el máximo.

La literatura hasta aquí expuesta se caracteriza porque en buena parte de los estudios los autores tomaron muestras de diversos países (*cross-country*); sin embargo, un estudio focalizado en el Perú sobre la estimación del número de damnificados provocados por desastres naturales recurrentes en ese país es el de Vargas (2015). El autor planteó inicialmente como determinantes de los damnificados los siguientes factores: el tamaño de la población, el Índice de Desarrollo Humano (IDH), el porcentaje de viviendas conectadas a los sistemas públicos de agua, el porcentaje de viviendas conectadas a la red eléctrica, el porcentaje de precariedad de las viviendas (vulnerabilidad de la construcción), la esperanza de vida al nacer, la tasa de alfabetización, el porcentaje de personas con educación secundaria, el porcentaje de éxito en la educación (porcentaje de una generación que ha completado un diploma de educación secundaria), el ingreso promedio por persona por día, la tasa de inseguridad (número de crímenes y delitos) y el índice de calidad de la asistencia social. Con la técnica de análisis de factores principales, Vargas finalmente seleccionó las variables IDH y vulnerabilidad de la construcción como determinantes de la vulnerabilidad, y por el lado de la resiliencia, seleccionó la cantidad de crímenes y delitos.

2.2. Presentación del modelo econométrico

Luego de explicar los factores que determinan la vulnerabilidad en el acápite 1.2, y la revisión de la literatura sobre las posibles determinantes del número de damnificados en un terremoto en el acápite 2.1, en esta sección se propone un modelo multivariado lineal, para determinar cuáles son las variables explicativas del nivel de damnificados.

Anbarci et al. (2004) y Raschky y Schwindt (2009) son algunos de los autores que han investigado la relación entre algunas variables socioeconómicas, geológicas y geográficas que determinan la cantidad de damnificados resultantes de un desastre natural. Por un lado, Anbarci et al. exploró la relación entre el nivel de damnificados y los ingresos per cápita junto con el grado de desigualdad del país, y cómo estas dos variables influyen en la probabilidad de que se tomen medidas de acción colectiva para mitigar la destrucción potencial de un terremoto. Por otro lado, Raschky y Schwindt (2009) investigaron cómo la ayuda internacional afecta el nivel de preparación del país receptor frente a desastres naturales, y cómo estos factores alteran las cifras de damnificados de los desastres naturales que ocurren en dicho país.

La investigación de esta tesis toma como referencia el modelo empírico propuesto por Anbarci que estima el número de damnificados de un sismo de una magnitud mayor a 6.0 en la escala de Richter y se presenta a continuación:

$$FATAL_{it} = \beta_0 + \beta_1MAG_{it} + \beta_2DIST_{it} + \beta_3SQKM_{it} + \beta_4POP_{it} + \beta_5GDPPC_{it} + \beta_6INEQUALITY_{it} + \beta_7FREQ_{it} + \varepsilon_{it}$$

Donde, *FATAL* es el número de damnificados ²² causados por un terremoto que ocurre en el país *i* en el tiempo *t*. En el modelo econométrico de Anbarci et al. se distingue dos tipos de variables: las de naturaleza geológica-geográfica y las socioeconómicas. Las primeras son *MAG*, la magnitud del sismo medida en la escala de Richter; *DIST*, la distancia entre las áreas afectadas y el epicentro del terremoto, *SQKM*, el área de estas localidades y *POP*, la población de las principales provincias afectadas por el evento. El segundo tipo de variables incluyen *GDPPC*, el PBI per cápita del país e *INEQUALITY*, el coeficiente de Gini basado en la

²² Entiéndase “damnificados” como el número de muertes resultantes del sismo según Anbarci et al.

distribución geográfica. Finalmente, se tiene la variable *FREQ* que se refiere a la cantidad de sismos (cuya magnitud es mayor a 6.0 en la escala de Richter). La frecuencia también podría calificar como una variable geológica-geográfica. La tabla 2.3 presenta con mayor detalle las variables propuestas en el modelo de Anbarci.

Tabla 2.3. Variables del modelo de Anbarci et al.

Nombre	Descripción	Tipo	Unidad de medición
<i>FATAL</i>	Damnificados del sismo	Dependiente	Número de habitantes
<i>MAG</i>	Magnitud del sismo	Independiente	Escala de Richter [1,10]
<i>DIST</i>	Distancia de las localidades afectadas al epicentro	Independiente	km
<i>SQKM</i>	Área de las localidades afectadas	Independiente	km ²
<i>POP</i>	Población de las localidades afectadas	Independiente	Número de habitantes
<i>GDPPC</i>	Ingresos per cápita del país	Independiente	US\$/habitante (US\$ constantes al 1995)
<i>INEQUALITY</i>	Coficiente de Gini del país	Independiente	Porcentaje
<i>FREQ</i>	Frecuencia de ocurrencia de un sismo en el país	Independiente	Decimal [0,1]

Fuente: Anbarci et al. (2004)

Elaboración propia

Asimismo, luego de la revisión de la literatura y de la investigación de Raschky y Schwindt (2009), se propone incorporar dos variables adicionales al modelo inicial de Anbarci y limitar las observaciones a países latinoamericanos, cuyas características económicas y geográficas son similares a las peruanas.²³ Las dos variables que se incluyen en el nuevo modelo econométrico son el nivel de exportaciones y el nivel de pobreza. De esta manera, el modelo final propuesto para esta investigación es:

$$FATAL_{it} = \beta_0 + \beta_1 MAG_{it} + \beta_2 DIST_{it} + \beta_3 SQKM_{it} + \beta_4 POP_{it} + \beta_5 GDPPC_{it} + \beta_6 INEQUALITY_{it} + \beta_7 FREQ_{it} + \beta_8 EXPORTS + \beta_9 POVERTY + \varepsilon_{it}$$

Donde, *EXPORTS* se refiere al nivel de exportaciones de bienes y servicios del país donde ha ocurrido el sismo²⁴ y *POVERTY* es el porcentaje de la población del país

²³ No se pudo construir una base de datos netamente con terremotos ocurridos en el Perú por el reducido número de observaciones que esto implicaba. Por el Teorema del Límite Central, se propuso como meta alcanzar al menos 30 observaciones, por lo que se tuvo que complementar los datos del Perú con otros países latinoamericanos (i.e. no han ocurrido más de 20 sismos mayores a 6.0 en la escala de Richter en el Perú entre 1980 y 2002).

²⁴ Desde fines del año 2015, el Banco Mundial ha establecido la línea internacional de extrema pobreza en US\$ 1.90 al día. Esta variable se mide como un porcentaje del PBI del país en cuestión.

que vive con menos de US\$ 1.90 al día.²⁵ El resumen de estas variables se encuentra en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Variables adicionales

Nombre	Descripción	Tipo	Unidad de medición
<i>EXPORTS</i>	Nivel de exportaciones de bienes y servicios del país	Independiente	Porcentaje
<i>POVERTY</i>	Porcentaje de la población del país que vive con menos de US\$ 1.90 al día.	Independiente	Porcentaje

Elaboración propia

A continuación se explica cada variable del modelo, y las hipótesis respecto a la causalidad y correlación con el número de damnificados.

2.3. Variables del modelo econométrico

2.3.1. Magnitud

La magnitud se propone como variable explicativa porque determina la dimensión del sismo. La amplitud de las ondas sísmicas rige el grado del movimiento telúrico, y por lo tanto, la probabilidad de impacto sobre los bienes materiales y la vida humana. Más aun, la magnitud sugiere causalidad y una correlación positiva directa con el número de damnificados.

2.3.2. Distancia

Se toma en cuenta la distancia entre el epicentro y el área afectada porque esta variable complementa a la magnitud del terremoto para explicar el efecto de la dimensión del sismo sobre el área afectada. Las ondas sísmicas van disminuyendo sus efectos con la distancia que recorren, por lo tanto, es importante considerar la variable “distancia” junto con la “magnitud” para analizar las posibles consecuencias que podrían traer sobre la población.

La distancia entre el epicentro de un terremoto y la región afectada por el mismo se estima determinando los siguientes datos esenciales (Anbarci et al., 2004):

1. Las coordenadas superficiales de la región afectada: la latitud y longitud.
2. Las coordenadas superficiales del epicentro referentes a la latitud y longitud, así como la profundidad.

²⁵ Esta variable se mide usando como referencia los precios internacionales al 2011.

Finalmente, se calcula la distancia total entre la región con el epicentro como la suma de cuadrados de la diferencia de las distancias superficiales y la distancia de profundidad del epicentro. Se espera una correlación negativa entre la distancia calculada y el número de damnificados.

2.3.3. Población

La población del área afectada por un terremoto se propone como variable determinante porque si mayor es el número de personas expuestas dentro del área afectada por un sismo, mayor será el número de posibles muertes causadas por el mismo.

2.3.4. Área

Se considera el área afectada por un terremoto para estimar el número de damnificados porque la variable “población” del modelo está sujeta a los límites geográficos del área afectada por el sismo en cuestión.

La densidad poblacional no fue propuesta como variable explicativa del número de damnificados, pero sí como un factor que influye en el grado de vulnerabilidad, según Maskrey. Por lo tanto, las variables “población” y “área” miden en conjunto la concentración real de la población en un área específica, y ambas sugieren causalidad y una correlación positiva con el número de damnificados.

2.3.5. PBI per cápita

El PBI per cápita permite considerar el nivel de ingresos per cápita, el cual surge como un factor determinante en el grado de vulnerabilidad, según Anbarci. Además, los ingresos en un país limitan el grado de inversión en un posible plan de preparación contra desastres, así como en la capacidad de respuesta del mismo. Se espera corroborar causalidad y una correlación negativa entre el PBI per cápita y el número de damnificados.

2.3.6. Desigualdad

La desigualdad se propone como una variable determinante, porque es un indicador de la brecha económica en el país, de su distribución socioeconómica y de la probabilidad de inversión en la “acción colectiva de mitigación” (Anbarci et al.,

2004). La evidencia mostrada en el acápite 2.1.5 sugiere causalidad y una correlación positiva directa entre el índice de Gini y el número de damnificados.

2.3.7. Frecuencia

La frecuencia representa la probabilidad que ocurra un sismo de 6.0 o más en la escala de Richter, en un periodo determinado de tiempo. Se espera hallar que los lugares con una alta probabilidad de ocurrencia de terremotos fuertes sufran menores daños materiales y humanos que los que tienen menor frecuencia, gracias a las lecciones aprendidas por las experiencias de la población.

2.3.8. Apertura al comercio exterior

La apertura al comercio exterior es una variable que conviene tomar en cuenta para el modelo en el caso de Perú, dado el incremento abismal en exportaciones que ha sido en casi 1000% del año 2000 al 2012. Esta variable podría ayudar a explicar la probabilidad de recibir ayuda internacional para la prevención y mitigación de desastres naturales. Se espera encontrar una correlación negativa entre el nivel de exportaciones y el número de damnificados.

2.3.9. Pobreza

La pobreza es una variable relevante que será considerada en el modelo porque influye en las condiciones de vida de los ciudadanos, y en el incremento de la vulnerabilidad física o material. La importancia de este factor fue sugerida por más de un autor, entre otros, Hays, Salas y Serrano. Se espera hallar una correlación positiva entre el nivel de pobreza y el número de damnificados.

2.4. Datos del modelo econométrico

La base de datos elaborada contiene observaciones para 15 países latinoamericanos y 73 terremotos mayores a 6.0 grados en la escala de Richter. Por otro lado, los eventos sísmicos observados datan entre 1960 y 2002, lo que genera un periodo de observación de 42 años. Asimismo, cabe resaltar que el modelo propuesto se construyó según un panel de datos no balanceado, con un promedio de cinco terremotos por país, aunque con algunas excepciones, porque algunos países solo tienen una observación (como Bolivia), y otros que tienen más de 10 observaciones (como Perú). Tomando en cuenta la naturaleza de la base de datos

y las posibles limitaciones existentes, se realizó la estimación usando un modelo binomial negativo, considerando estimadores de efectos fijos y efectos aleatorios.

Por otra parte, la variable dependiente *FATAL* cuenta el número de muertos causados por un terremoto, y usualmente se modela a través de una distribución Poisson (Anbarci et al., 2004). Sin embargo, la distribución Poisson por lo general se aplica a bases de datos con varianza pequeña, dado que asume que la media condicional es igual que la varianza de la variable dependiente. En este caso, la base de datos tiene una varianza que es más de 400 veces la media, por lo que el supuesto de media y varianza iguales no parece aplicar.²⁶ Por lo tanto, el modelo de regresión binomial negativo se ajusta mejor a los datos, debido a que dicho modelo es una generalización de la distribución Poisson, al no estar limitado a bases de datos de varianza pequeña. Para ello, el modelo usado presenta un parámetro que refleja la heterogeneidad de las observaciones de la muestra (Anbarci et al., 2004).

Finalmente, es pertinente resaltar que a las variables área de las localidades afectadas (*SQKM*), población (*POP*), ingresos per cápita (*GDPPC*) y nivel de exportaciones de bienes y servicios del país (*EXPORTS*), se les aplicó la función de logaritmo natural para suavizar los amplios rangos de los datos en cada caso.

2.5. Discusión de los resultados

En el caso del modelo de efectos fijos (Modelo A1), se concluye con un nivel de significancia del 5%, que las variables magnitud (*MAG*) y distancia al epicentro (*DIST*) son significativas. Al nivel de significancia del 10% el nivel de exportaciones de bienes y servicios (*EXPORTS*) también es significativa. La magnitud está positivamente relacionada con los damnificados, mientras que la distancia al epicentro y el nivel de exportaciones tienen relación negativa con la variable dependiente (*FATAL*); por tanto, los signos esperados para los coeficientes $\beta_{\beta_{ii}}$ de las variables (*MAG*), (*DIST*) y (*EXPORTS*) están de acuerdo con lo señalado en la revisión de la literatura.

Si se estima el modelo incluyendo la variable (*POVERTY*) (Modelo B1), las conclusiones son similares que las del párrafo previo (Modelo A1).

²⁶ Las características estadísticas de todas las variables se encuentran en el anexo 1.

De igual manera, con el modelo de efectos aleatorios (Modelo B2), se concluye con un nivel de significancia al 5% que las variables magnitud (*MAG*) y distancia al epicentro (*DIST*) son significativas. Al nivel de significancia del 10% el nivel de exportaciones de bienes y servicios (*EXPORTS*) también es significativa. Como en el caso del modelo de efectos fijos (Modelo A1 y Modelo B1), la magnitud tiene relación positiva con los damnificados (*FATAL*), mientras que la distancia al epicentro y el nivel de exportaciones tienen relación negativa con (*FATAL*). Una vez más, los signos esperados para los coeficientes $\beta\beta_{ii}$ de las variables (*MAG*), (*DIST*) y (*EXPORTS*) están de acuerdo con lo señalado en la revisión de la literatura.

Si se estima el modelo excluyendo la variable (*POVERTY*) (Modelo A2), las conclusiones son similares que las del párrafo previo (Modelo B2). Sin embargo, la variable (*INEQUALITY*) también resulta significativa al 10% y presenta una relación positiva con el número de damnificados, es decir, su coeficiente $\beta\beta_{ii}$ tiene el signo esperado según la teoría. En los restantes tres modelos, el signo de $\beta\beta_{ii}$ de la variable (*INEQUALITY*) también es positivo pero no es significativa ni al 5% ni al 10%.

En los cuatro modelos, el coeficiente $\beta\beta_{ii}$ de la variable (*SQKM*) tiene signo positivo, el marco teórico indicó que se esperaba tal signo; sin embargo, la variable no es significativa ni al 5% ni al 10%.

El coeficiente $\beta\beta_{ii}$ de la variable (*GDPPC*) tiene signo negativo en los modelos A2 y B2. Este signo está de acuerdo con el marco teórico; sin embargo, la variable tampoco es significativa ni al 5% ni al 10%.

El detalle de los resultados discutidos anteriormente se encuentra en la tabla 2.5.²⁷

Tabla 2.5. Regresiones de los damnificados por causa de un terremoto grande en Latinoamérica^{1/}

Variable	Modelo A1	Modelo A2	Modelo B1	Modelo B2
<i>Constante</i>	-6.750 (4.946)	-6.806** (3.531)	-12.634* (7.626)	-9.269 (6.241)
<i>MAG</i>	1.060** (0.307)	1.200** (0.291)	1.220** (0.352)	1.379** (0.347)
<i>DIST</i>	-0.002** (0.001)	-0.002** (0.001)	-0.003** (0.001)	-0.003** (0.002)

²⁷ Para resolver el modelo econométrico se usó el software Stata 13.1. El archivo do-file se encuentra en el anexo 2.

Variable	Modelo A1	Modelo A2	Modelo B1	Modelo B2
<i>SQKM</i>	0.104 (0.141)	0.121 (0.124)	0.176 (0.175)	0.169 (0.158)
<i>POP</i>	-0.031 (0.143)	-0.010 (0.130)	-0.186 (0.195)	-0.145 (0.186)
<i>GDPPC</i>	0.058 (0.782)	-0.342 (0.433)	0.841 (1.154)	-0.033 (0.854)
<i>INEQUALITY</i>	0.016 (0.047)	0.049* (0.028)	0.025 (0.058)	0.065 (0.042)
<i>FREQ</i>	-0.181 (1.205)	-0.761 (0.900)	0.259 (1.630)	-1.010 (1.330)
<i>EXPORTS</i>	-1.189* (0.645)	-0.986* (0.548)	-1.665* (1.029)	-1.470* (0.815)
<i>POVERTY</i>	-	-	0.008 (0.015)	0.015 (0.014)
Efectos	<i>FIJOS</i>	<i>ALEATORIOS</i>	<i>FIJOS</i>	<i>ALEATORIOS</i>
Wald chi2	14.90	22.33	16.98	18.33
Observaciones	69	73	53	54

1/ Los errores estándar están entre paréntesis. ** y * denotan significancia al 5% y 10%, respectivamente.

Elaboración propia

Por último, el modelo estudiado presenta una serie de limitaciones. En primer lugar, existe la posibilidad de que las características propias de cada país o región influyan en la destrucción y el número de damnificados causados por un terremoto. Estas podrían incluir factores geológicos como calidad del suelo, ubicación sobre los límites de placas tectónicas, y características locales de construcción de las localidades analizadas. Estas variables han sido omitidas del modelo, ya que la naturaleza de las mismas es subjetiva. Anbarci recalca la necesidad de incluir en el modelo econométrico indicadores de preparación ante terremotos de cada país; empero, una base de datos de ese tipo no es posible de obtener aún. Asimismo, según la recomendación del Instituto Geofísico del Perú, a la hora de estimar la vulnerabilidad de una localidad, pueden considerarse algunas variables adicionales como el tipo de suelo, el material predominante de las viviendas y la cercanía a lugares que se encuentran en desventaja geológica (aquellos que están cerca a ríos, riberas, quebradas, cerros, etc).²⁸ Estas variables tampoco fueron tomadas en cuenta en el modelo por la construcción subjetiva que implican, y la dificultad de su obtención.

²⁸ La información de este tipo es limitada, en particular la calidad de los suelos solo ha sido estudiada y clasificada en Lima.

CAPÍTULO 3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En este capítulo 3 se presentará una serie de aspectos geográficos y económicos que permitirán configurar la vulnerabilidad de Lima y Callao frente a eventos naturales, así como el análisis del Plan Logístico del Instituto Nacional de Defensa Civil para Ayuda Humanitaria ante Emergencias y Desastres. El objetivo de este análisis es emitir un diagnóstico que justifique la necesidad de elaborar un planeamiento de la distribución de bienes de ayuda humanitaria con el apoyo de un modelo de la Investigación de Operaciones.

3.1. Aspectos geográficos y socioeconómicos

3.1.1. Sismología

El Perú se encuentra en el “Cinturón de Fuego del Pacífico” y en el límite de dos placas tectónicas: la Sudamericana y la de Nazca. En donde se encuentran ambas placas se produce el efecto de subducción el cual ha provocado un gran número de sismos destructivos en la parte occidental del país. También se producen sismos locales y regionales por causa de fallas geológicas. Estos movimientos son de menor magnitud, pero si se producen cerca de la superficie terrestre, tienen un gran poder destructivo (INDECI, 2012).

La presente investigación se enfoca en la provincia de Lima y la región del Callao (en adelante; “Lima y Callao”) porque estas localidades presentan el mayor porcentaje de ocurrencia de sismos. En la tabla 3.1, se muestra como ejemplo la frecuencia de terremotos en las regiones más sísmicas del Perú durante el año 2011.

Los datos de la tabla 3.1 muestran que un tercio del total de sismos en el 2011 ocurrieron en la región de Lima y Callao. Por otro lado, en Ica ocurrieron el 17.8% de los sismos y en Arequipa el 10.7%. Finalmente, ninguno de los departamentos restantes presentó frecuencias mayores a 6%.

En el marco de la naturaleza sísmica del país, es importante presentar el diagnóstico actual del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y de la zona en donde se enfocará la investigación: la provincia de Lima y la región del Callao. En ese sentido, cabe resaltar que existe un silencio sísmico de casi media

década en la región costa centro del país, donde se ubican Lima y Callao (INDECI, 2012). En 1974 se produjo el último gran terremoto en la región, con una intensidad de 8.0 grados en la escala de Mercalli, y cuya magnitud fue de 6.2 en la escala de Richter (Centro de Estudios y Prevención de Desastres [PREDES]). Además, cabe resaltar que en 1746 ocurrió el sismo más grande de la historia de Lima y Callao. El movimiento telúrico tuvo una magnitud entre 8.5 Mw y 8.6 Mw (Silgado, 1978) y dejó menos de 200 sobrevivientes de los 4,000 que vivían cerca al puerto (“Un día como hoy”, 2011).

Tabla 3.1. Frecuencia de sismos por departamento

Región	Frecuencia	Porcentual (%)
Lima y Callao	74	33.3
Ica	40	17.8
Arequipa	24	10.7
Tacna	12	5.3
Ancash	11	4.9
Piura	9	4.0
Cusco	7	3.1
San Martín	7	3.1
Ucayali	7	3.1
Huánuco	5	2.2
La Libertad	5	2.2
Ayacucho	4	1.8
Lambayeque	4	1.8
Pasco	4	1.8
Moquegua	3	1.3
Apurímac	2	0.9
Junín	2	0.9
Loreto	2	0.9
Amazonas	1	0.4
Puno	1	0.4
Total	225	100.0

Fuente: INDECI (2012)

Elaboración propia

Según el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres [CISMID] (2014), durante el silencio sísmico vigente se está acumulando energía subterránea entre las placas tectónicas y esta podría ser liberada en cualquier momento a través de un gran terremoto que podría superar los 8.0 grados en la escala de Richter.

3.1.2. Demografía

En Lima Metropolitana²⁹ vive cerca de 10 millones de personas, lo cual representa casi un tercio de la población de todo el Perú (INEI, 2015a). Además, la región del Callao alcanza una población de poco más del millón de personas, representando el 3.2% del total nacional. Estas cifras se pueden apreciar en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Población del Perú, de Lima Metropolitana y de la región del Callao (2015)

Región	Población	Porcentaje
Perú	31,151,643	100.0%
Provincia de Lima	9,904,727	31.8%
Región Callao	1,010,315	3.2%

Fuente: INEI (2015a)
Elaboración propia

La tabla 3.3 muestra el detalle de la población en los distritos que conforman la región del Callao. Los distritos de Ventanilla y el Callao mismo son los de mayor tamaño poblacional con 428,284 y 406,889 habitantes, respectivamente.

Tabla 3.3. Población de los distritos de la región del Callao (2015)

Distrito	Población	Porcentaje
Ventanilla	428,284	42.4%
Callao	406,889	40.3%
Bellavista	71,833	7.1%
La Perla	58,817	5.8%
Carmen de la Legua Reynoso	41,100	4.1%
La Punta	3,392	0.3%
Total	1,010,315	100.0%

Fuente: INEI (2015a)
Elaboración propia

Según el Plan Logístico del INDECI (INDECI, 2015), para el año 2015 se estiman 642,032 damnificados a nivel nacional como consecuencia de todos los tipos de emergencias y daños que podrían surgir en el país. Esto representa el 2.1% de la población de todo el Perú. En la sección 3.2.4. se mostrará mayor detalle de esta estimación.

²⁹ "Lima Metropolitana" se refiere a la provincia de Lima y la región del Callao.

3.1.3. Economía

3.1.3.1. Producto bruto interno de Lima y Callao

El gráfico 3.1 muestra que casi la mitad del PBI de todo el Perú corresponde a Lima y Callao. La mayor parte de las industrias pertenece a los sectores de extracción de petróleo, gas y minerales, y servicios de información (i.e. telecomunicaciones). El segundo departamento con mayor distribución porcentual del PBI nacional es Arequipa con 5.4%, seguido de La Libertad con 4.9%.

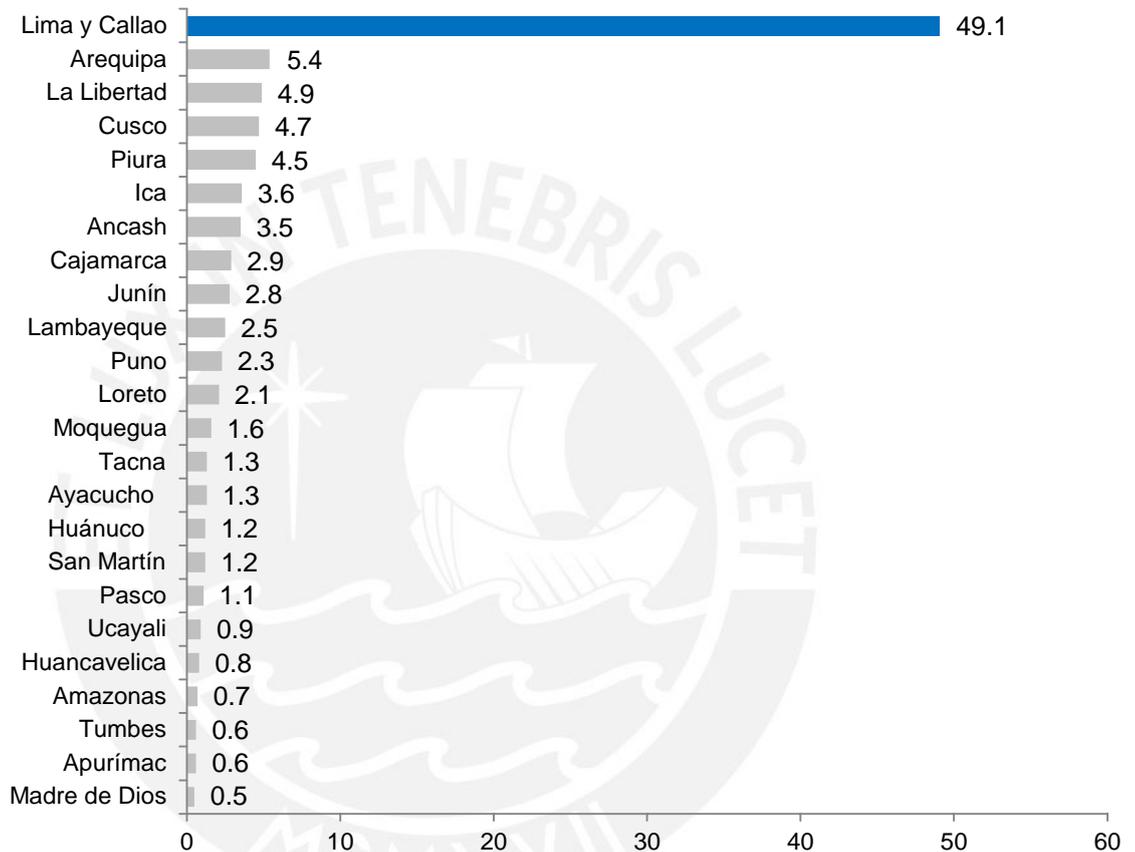


Gráfico 3.1. Estructura porcentual del PBI por departamento (2014, valores a precios corrientes)

Fuente: INEI (2015b)

Elaboración propia

3.1.3.2. Actividad económica

En Lima y Callao existen 861,000 empresas, de las cuales 60,913 (7.1%) se encuentran en la región del Callao. En Lima y Callao hay 90 empresas por cada mil habitantes, mientras que en el Callao hay 62 por cada mil (INEI, 2014). Por lo tanto, en el Callao se esperaría un menor grado de actividad económica en comparación con el promedio de Lima.

Un factor que incrementa la vulnerabilidad de la región del Callao en cuanto a la actividad económica es la presencia de industrias con condiciones o procesos de alto riesgo, como por ejemplo las del sector de hidrocarburos, las metalmecánicas y las industrias químicas. Si se analizara la facturación acumulada de las empresas más grandes de la región, se encontraría que casi la mitad (48.1%) se atribuye a empresas de los sectores previamente mencionados. Además, cabe resaltar que hay 44 metalmecánicas categorizadas como empresas “grandes” o “medianas” que se ubican en la región del Callao (Top Publications S.A.C., 2014).

3.1.3.3. Población económicamente activa

Lima Metropolitana concentra aproximadamente al año 2014 el 31.2% de la Población Económicamente Activa (PEA) del Perú. La cantidad de personas así como los porcentajes tanto para Lima Metropolitana como para la región del Callao se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. PEA del Perú, de Lima Metropolitana y de la región del Callao (2014)

Región	Población	Porcentaje
Perú	16,396.38	100.0%
Lima Metropolitana	5,121.39	31.2%
Región Callao	535.93	3.3%

Fuente: INEI (2004-2009)

Elaboración propia

3.1.3.4. Nivel socioeconómico y gasto promedio de los hogares

En Lima Metropolitana, la mayor cantidad de hogares pertenece al Nivel Socioeconómico ³⁰ (NSE) C (40.8%) y D (26.2%) (Asociación de Empresas de Investigación de Mercados [APEIM], 2014), como se observa en el gráfico 3.2.

En cuanto a la región del Callao, se observa una distribución similar a la de Lima Metropolitana en el gráfico 3.3: el 43.1% de los hogares pertenecen al NSE C y el 26.4% al NSE D.

Por otro lado, el promedio del gasto familiar mensual en la región del Callao es de S/. 2,659, lo cual representa 10.9% menos que el gasto familiar mensual de todo Lima Metropolitana que alcanza los S/. 2,985, en promedio (APEIM, 2014). La

³⁰ El nivel socioeconómico de una persona u hogar se define en función a un grupo de variables definidas a partir de estudios realizados por el APEIM (APEIM, 2014).

capacidad de gasto guarda estrecha relación con el grado de pobreza, por lo que la población en esta zona podría presentar un mayor nivel de vulnerabilidad socioeconómica ante desastres.

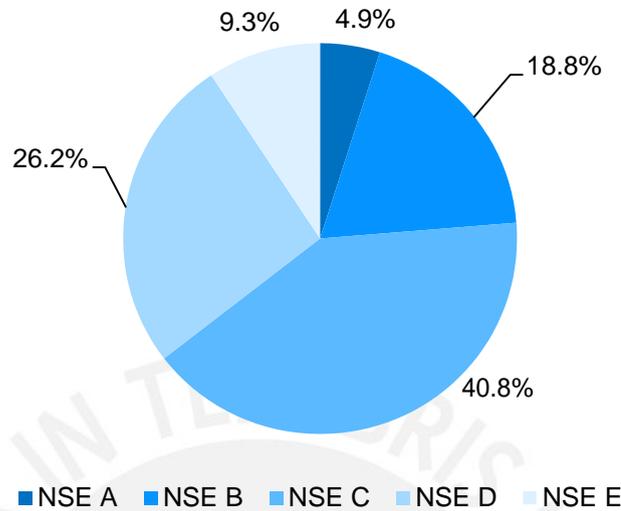


Gráfico 3.2. Distribución de hogares según NSE 2014 – Lima Metropolitana
Fuente: APEIM (2014)
Elaboración propia

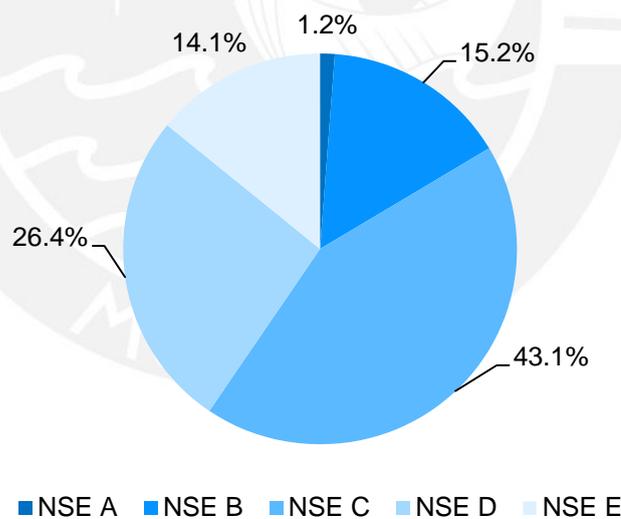


Gráfico 3.3. Distribución de hogares según NSE 2014 – Región Callao
Fuente: APEIM (2014)
Elaboración propia

3.1.4. Vulnerabilidad sísmica de la región del Callao

Según el Proyecto Ciudades Focales (2012), el 28.6% de la población de Lima y Callao vive en zonas donde predominan los niveles de riesgo alto y muy alto. Parte de la vulnerabilidad se debe a las características del tipo de suelo predominante y a la calidad de construcción de las edificaciones.

En el caso de un sismo de gran magnitud, se espera que los daños a las viviendas y a la infraestructura en general sean mayores cuando el suelo presente las peores condiciones dinámicas (Proyecto INDECI-PNUD³¹-ECHO³², 2011). Se han definido cuatro niveles de peligro sísmico según los cinco tipos de zonas sísmico-geotécnicas, como lo indica la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Correspondencia entre zonas sísmico-geotécnicas y niveles de peligro sísmico

Zonas sísmico-geotécnicas	Suelos correspondientes	Peligro sísmico
Zona I	Afloramientos rocosos y estratos de grava	Bajo
Zona II	Suelos granulares 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	

Fuente: Proyecto INDECI-PNUD-ECHO (2011)
Elaboración propia

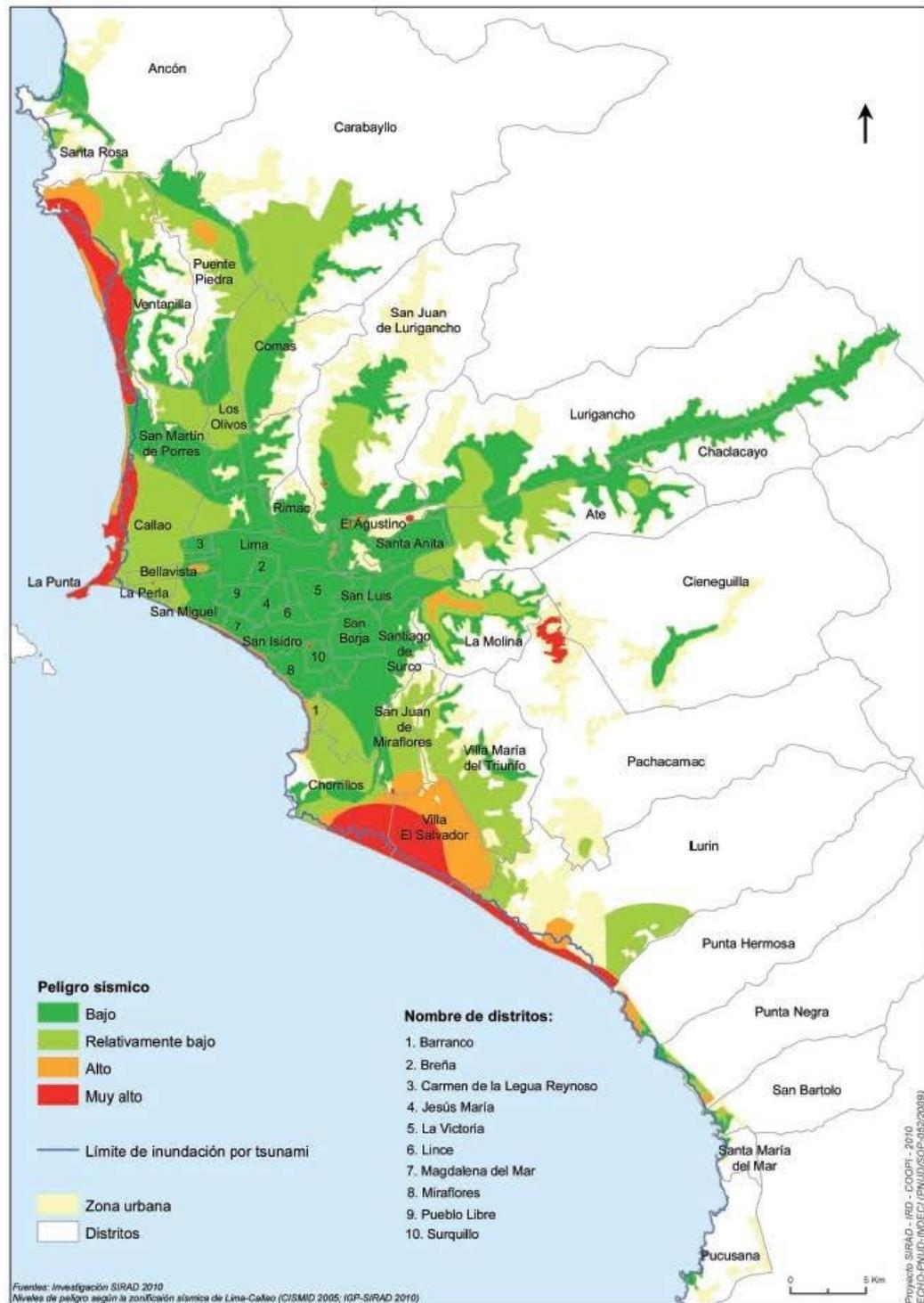
Los distritos de Ventanilla, el Callao y La Punta tienen zonas sísmico-geotécnicas de tipo IV ubicadas mayormente en el litoral y conformadas por depósitos de arenas eólicas de gran espesor y sueltas así como por depósitos marinos y pantanosos; estas características generan un nivel de peligro sísmico muy alto (PREDES, 2009). De igual manera, los distritos de Bellavista y La Perla están constituidos por zonas sísmico-geotécnicas de tipo V, que a su vez están conformadas por depósitos de rellenos sueltos de desmontes heterogéneos que han sido colocados en depresiones naturales o excavaciones realizadas en el pasado. Por lo tanto, dichas áreas también tienen un nivel de peligro sísmico muy alto. Las zonas de peligro alto y muy alto en la región del Callao, sobre todo en la parte del litoral, se pueden observar en el mapa 3.1.

En cuanto al estado de conservación de las viviendas en la región del Callao, la mayor parte está consolidada y tiene baja vulnerabilidad. Sin embargo, en el distrito del Callao se presentan viviendas deterioradas, por tanto, existe un alto grado de vulnerabilidad de la infraestructura y como consecuencia, los habitantes se encuentran expuestos a un nivel de riesgo mayor. Por otro lado, en el distrito de Ventanilla, hay varias que se encuentran en estado de “consolidación” y muchas de

³¹ PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

³² ECHO: European Commission's Humanitarian Aid and Civil Protection department.

ellas son improvisadas, es decir, han sido construidas sin asesoramiento técnico, y/o han sido ocupadas informalmente. Más aun, la infraestructura está conformada por varios materiales de construcción y carece de rigidez estructural, por lo que la vulnerabilidad en dicho distrito asciende a un nivel medio alto (PREDES, 2009).



Mapa 3.1. Niveles de peligro según la zonificación sísmica de Lima y Callao
Fuente: Proyecto INDECI-PNUD-ECHO (2011)

3.2. Plan logístico institucional

En vista que el modelo de logística humanitaria de esta tesis presentará una estimación de damnificados, y sugerirá las rutas que los vehículos que distribuyen la ayuda humanitaria deberán recorrer para optimizar la entrega de los bienes a los afectados, es necesario trazar la línea base del plan de logística actual. Esto se hará con el fin de tomarla en cuenta cuando se proponga cualquier reestructuración del plan. Por lo tanto, para efectos de esta investigación, se desarrollarán propuestas de modelos que se adecúen a la realidad y vigencia del Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Esto se realizará considerando el caso crítico, y por lo tanto, se diseñarán propuestas para un nivel de emergencia con una calificación de 4 o 5, según el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres [SINAGERD]. Estos niveles corresponden a terremotos de alto impacto, mayores a 6.0 en la escala de Richter y que están a una distancia menor a 33 km desde la superficie (PREDES, 2009).

3.2.1. Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres

3.2.1.1. Estructura organizacional y funcional

Mediante la Ley N° 29664, se creó el SINAGERD, como un sistema interinstitucional, sinérgico, descentralizado, transversal y participativo. El sistema tiene la finalidad de identificar y reducir los riesgos asociados a peligros, y gestionar acciones de preparación y atención ante situaciones de desastre (INDECI, 2013). En mayo del 2011, se aprobó el Decreto Supremo N°048-2011-PCM, Reglamento de la Ley N° 29664, propuesto por el SINAGERD. El objetivo principal de este decreto es identificar y reconocer previamente los posibles riesgos en ocasión de un desastre y así poder disminuir su impacto a través de una correcta gestión de desastres y peligros mediante el desarrollo de procesos y procedimientos a ejecutar, así como la definición explícita de los roles de las entidades participantes en los mismos.

Esta ley está vigente a la fecha (año 2015) y se aplica a todas las entidades, ya sean públicas o privadas, al igual que a todos los ciudadanos del Perú. El funcionamiento de la gestión de riesgo de desastres se determina también de acuerdo con los lineamientos que dicta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastre, para reducir los posibles riesgos y contar con una preparación,

atención y respuesta efectiva ante una situación de desastre (Congreso de la República del Perú, 2011).

Respecto a la organización, en primer lugar, se establece a la Presidencia del Consejo de Ministros [PCM] como líder y ente rector del SINAGERD. En segundo lugar, el equipo está conformado por el Consejo Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres [CONAGERD], el Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI] y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED]. Finalmente, se cuenta también con el apoyo del Centro Nacional de Planeamiento Estratégico [CEPLAN], y gobiernos regionales, locales y municipales (Congreso de la República del Perú, 2011). La estructura del SINAGERD se muestra en la figura 3.1.

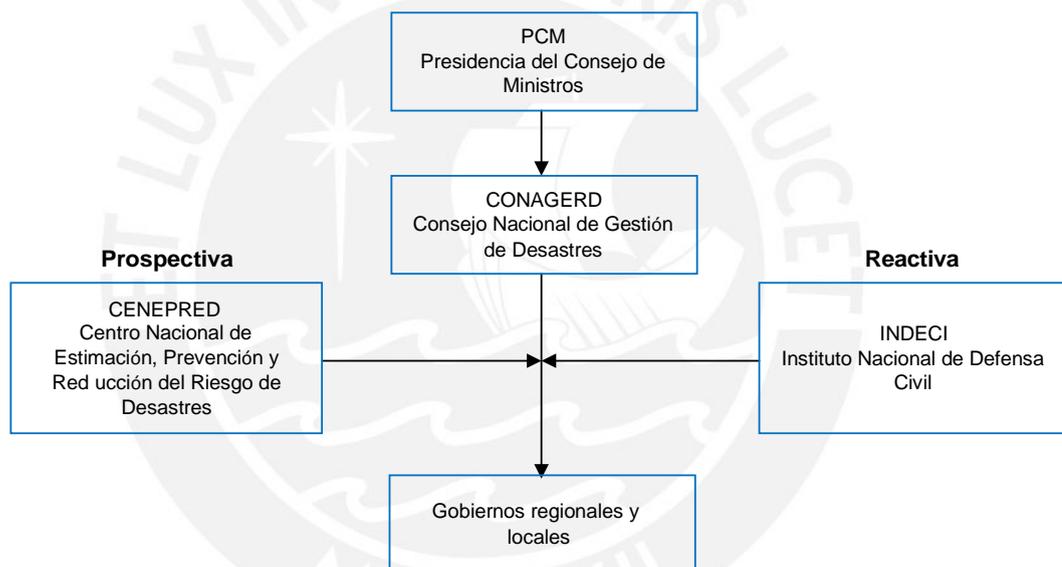


Figura 3.1. Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres [SINAGERD]
Fuente: Cortijo³³, (2013)
Elaboración propia

La PCM, como instancia más alta y ente rector del SINAGERD tiene las funciones de coordinar, supervisar y fiscalizar el adecuado funcionamiento del sistema. En el siguiente nivel jerárquico (vea la figura 3.1) se ubica el CONAGERD, que se regula a través de un reglamento interno aprobado por sus propios miembros, y se encarga de convocar a las sesiones del Consejo para el acuerdo y seguimiento de normas relacionadas a la gestión de desastres. Si ocurriese una emergencia de

³³ El Ingeniero Erik Cortijo es el Sub Director de Asistencia Humanitaria y Movilización de la Dirección de Respuesta del INDECI.

nivel 5 (vea el gráfico 3.4) el CONAGERD se convierte en autoridad máxima a nivel político y funcional del país.

Más aun, las entidades públicas participantes del equipo tienen como función principal la gestión de desastres previo y posterior al evento que genere el desastre. Por un lado, el CENEPRED es el organismo público del SINAGERD que se enfoca en los procesos y procedimientos previos a un desastre. Es decir, tiene como objetivo primordial el desarrollo de todos los procedimientos, lineamientos, estrategias y planes preventivos ante una posible situación de desastre. Entre otras funciones, el CENEPRED promueve a través de la investigación y coordinación con entidades académicas y científicas el desarrollo de un plan mejorado de mitigación y a la vez promueve a través de la comunicación, difusión y sensibilización de la sociedad ante un posible desastre.

Por otro lado está el INDECI, la entidad pública ejecutora del SINAGERD, que se enfoca en los procesos, procedimientos y acciones de respuestas posteriores a un desastre, es decir, tiene como objeto principal la coordinación, supervisión e implementación del Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres en los procesos de preparación, respuesta y rehabilitación.

Finalmente, los últimos participantes en el sistema son los gobiernos regionales y locales, los cuales deben incorporar individualmente a su gestión, el proceso de planificación de gestión del riesgo de desastres. También deben incorporar planes de desarrollo, identificar zonas vulnerables y gestionar sus provisiones para atender las emergencias por desastres.

3.2.1.2. Niveles de emergencia y gestión de la logística

La gestión de la logística y la capacidad de respuesta de las entidades del SINAGERD ante un desastre, depende de la determinación del nivel asignado a una emergencia. Con base en la clasificación de la emergencia, desde el nivel 1 hasta el nivel 5, se determina los entes responsables y ejecutores de los planes previstos para una efectiva respuesta, rehabilitación y reconstrucción (INDECI, 2013). En la tabla 3.6, se describen los niveles.

De la información resumida en la tabla 3.6, se concluye que en los niveles 1 al 3, el gobierno regional o local se encarga de la gestión de la emergencia y de las acciones de respuesta. En el nivel 4, el INDECI coordina la gestión y acompaña a los gobiernos regionales o locales en la conducción de las acciones de respuesta para distribuir los bienes de ayuda humanitaria y atender a los afectados y damnificados. Finalmente, en el nivel 5, el INDECI coordina y conduce la gestión, pero las acciones operativas siguen siendo responsabilidad de los gobiernos regionales o locales, por lo que ellos se encargan de la distribución de los bienes de ayuda humanitaria y de la atención de los afectados y damnificados a nivel local. En general, cada gobierno regional y local tiene su propio plan de operaciones que contempla las acciones de respuesta frente a una situación de emergencia, y el INDECI ejerce la función de ente rector que coordina el sistema a nivel macro (E. Cortijo et al., entrevistas personales y grupales, octubre-diciembre 2015). Si surgen conflictos entre los diferentes planes de operaciones a nivel local, regional o nacional, el INDECI ayuda en la articulación de los tres niveles de gobierno. Las diferencias entre cada nivel de emergencia se contemplan de mejor manera en el gráfico 3.4.

Tabla 3.6. Niveles de emergencia según el SINAGERD

Nivel	Descripción
1 - 3	Comprende únicamente la acción de los gobiernos regionales y locales. Es decir, si el impacto de un desastre es categorizado en una de estas tres escalas, los gobiernos regionales o locales atenderán el desastre con sus propios recursos y planes de acción de respuesta.
4	Un desastre alcanza el nivel 4 cuando su magnitud e impacto han sobrepasado los límites de capacidad de respuesta de los gobiernos regionales y locales. Esta situación sustenta previamente la Declaratoria de Estado de Emergencia ³⁴ que aprueba la intervención del Gobierno Nacional y el INDECI, utilizando los recursos nacionales disponibles.
5	El nivel 5 categoriza a los desastres de gran magnitud cuyos impactos y situación superan la capacidad de respuesta y acción a nivel nacional, por lo que es necesario el apoyo privado e internacional. Se debe sustentar, al igual que en el nivel 4, la Declaratoria de Estado de Emergencia Nacional, y tanto el Gobierno Nacional como el INDECI conducen y lideran el plan de mitigación, respuesta, rehabilitación y reconstrucción.

Fuente: INDECI (2013)

Elaboración propia

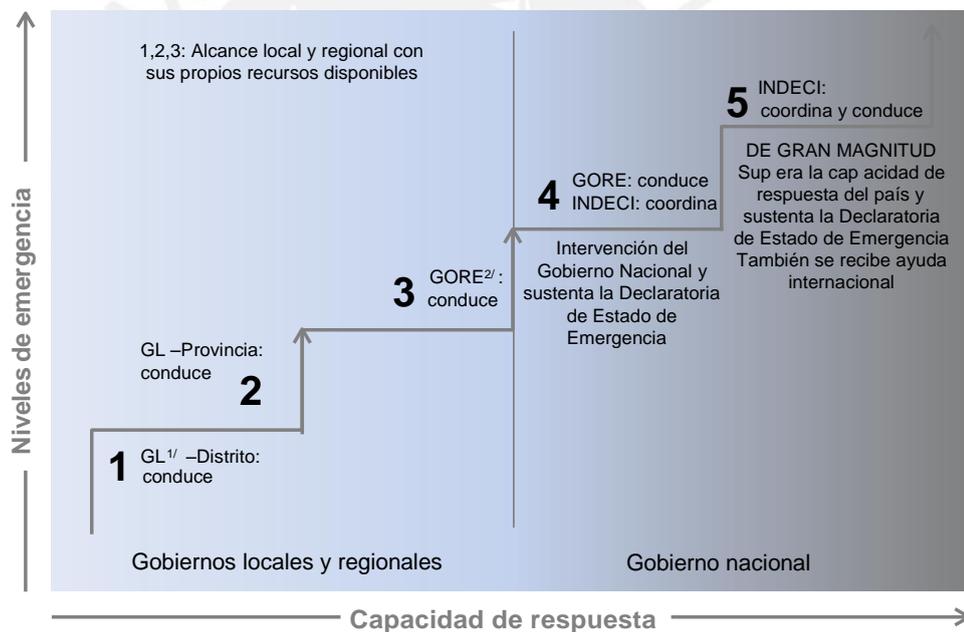
El Ingeniero Cortijo (E. Cortijo, entrevista personal, 4 de octubre de 2013), comentó que el terremoto del año 2007 que afectó a Pisco, fue clasificado con un nivel de emergencia de 5. En este desastre se activó el plan logístico en su máximo nivel, y

³⁴ El Comité de Defensa Civil del gobierno local canaliza su petición de Declaratoria de Estado de Emergencia a través del Comité Regional de Defensa Civil y luego de evaluarla, este último la eleva al INDECI. A continuación, el INDECI remite la solicitud a la PCM, y en caso proceda, el Estado de Emergencia se oficializa por el Presidente de la República, con el acuerdo del Consejo de Ministros.

debido a la severidad del desastre, se trasladó las provisiones y recursos disponibles desde varios almacenes del INDECI y desde los depósitos de los gobiernos regionales y locales, ubicados en distintos puntos del país (INDECI, 2007). Sin embargo, el stock de provisiones no fue suficiente para abastecer a los afectados y damnificados ³⁵, por lo que tuvieron que recurrir tanto a entidades internacionales como al apoyo de entidades privadas.

3.2.1.3. Proceso de Declaratoria de Estado de Emergencia del nivel 4 y 5

Uno de los objetivos de esta tesis es proponer una medida de respuesta adecuada para atender una emergencia de nivel 4 o 5. A continuación, se describe el proceso de Declaratoria de Estado de Emergencia de un desastre de esos niveles, según los funcionarios del INDECI que fueron entrevistados entre octubre y diciembre del 2015, según la página web del INDECI.



1/ GL: Gobiernos locales
 2/ GORE: Gobiernos regionales

Gráfico 3.4. Niveles de emergencia según el SINAGERD

Fuente: INDECI (2013)

Elaboración propia

³⁵ Según la Resolución Jefetural N° 077 – 2012 – INDECI, el término “damnificado” se refiere a “Persona humana que como consecuencia del impacto causado por un desastre, ha sufrido una alteración en sus propiedades o bienes, sin que ello implique pérdida de estos y cuya recuperación puede realizarse en un periodo corto.” El término “afectado” se refiere a “Persona humana que debido al impacto causado por un desastre, ha sufrido daño parcial en su integridad física y ha perdido una capacidad vital en su entorno personal, económico, social y de medio ambiente.”

La función de solicitar la Declaratoria de Estado de Emergencia es responsabilidad de los Comités de Defensa Civil en sus diferentes niveles territoriales (local o regional). Los niveles de emergencia 4 y 5 se declaran tras corroborar que efectivamente los gobiernos regionales o locales no tienen la capacidad suficiente para atender a los afectados y damnificados. Para ello, las entidades deben presentar un informe técnico llamado Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades [EDAN] en donde detallan los daños que han sufrido ³⁶ y los requerimientos para la rehabilitación, como por ejemplo los tipos de bienes que necesitan, según el Catálogo de Bienes del INDECI. También deben contar con un certificado que sustente que el presupuesto del gobierno local o regional autorizado para estas situaciones es insuficiente, así como otros documentos solicitados por el INDECI.

A continuación, con opinión de los sectores comprometidos a nivel nacional, y si es procedente la solicitud, el INDECI remite a la PCM la documentación que detalla las acciones a tomar para afrontar la emergencia. El Estado de Emergencia se oficializa a través del Presidente de la República, con el acuerdo del Consejo de Ministros. Adicionalmente, durante el proceso de abastecimiento de ayuda humanitaria, se priorizan las zonas con mayores daños, por lo que el INDECI revisa, evalúa y compara en un periodo de 2 o 3 días todos los EDAN que le llegan. El INDECI recibe las solicitudes de bienes de ayuda humanitaria de los gobiernos subnacionales, y la Dirección de Respuesta de la entidad se encarga de evaluar y aprobar los pedidos. El INDECI luego envía las solicitudes a los almacenes nacionales correspondientes (vea el acápite 3.2.2) y estas son recibidas por la Oficina de Logística. Esta última se encarga de trasladar los bienes de ayuda humanitaria hasta los almacenes de las Direcciones Desconcentradas del INDECI, en donde el gobierno regional o local que ha solicitado el requerimiento recibe los bienes.

Luego, el gobierno regional o local se encarga de distribuir los bienes, según sus propios procedimientos, y a través de sus Comités de Defensa Civil. Previo a esto, arma los *kits* que serán entregados a los afectados y damnificados. El abastecimiento se realiza principalmente mediante la vía terrestre y fluvial, utilizando medios de transporte privados e institucionales. En situaciones de

³⁶ En cuanto a infraestructura vital, establecimientos para la respuesta a emergencias, viviendas, centros educativos, y centros de abastecimiento alimentario.

emergencia de nivel 4 y 5, también se usa el medio aéreo para brindar apoyo logístico con mayor rapidez.

A modo de diagnóstico, se observa que hay factores internos del mismo SINAGERD que podrían reducir la efectividad del plan de respuesta. Así por ejemplo, en el caso de una emergencia de nivel 4 o 5, la Declaratoria de Estado de Emergencia debe ser emitida para aprobar la intervención del Gobierno Nacional y el INDECI. Hasta que esta declaración no sea aprobada y firmada por el CONAGERD, el INDECI no puede actuar. Esto es evidencia de cómo los planes de acción de respuesta podrían estar limitados por sus propios reglamentos.

3.2.2. Almacenes de bienes de ayuda humanitaria

Con el Decreto Supremo N° 031-2008-PCM del 20 de abril de 2008, y en el marco del proceso de descentralización, se establecieron los criterios de jerarquización y clasificación de los almacenes de bienes de ayuda humanitaria en el Perú (INDECI, 2012).

Existen tres categorías de almacenes: los almacenes nacionales, regionales y locales. Los almacenes nacionales son gestionados por el INDECI y están localizados de manera estratégica alrededor del país, de manera que puedan responder rápida y adecuadamente ante una emergencia o desastre. En el Reglamento de la Ley N° 29664 del SINAGERD, en el artículo 9°, se especifica que las Funciones del INDECI incluyen: “*Administrar los Almacenes Nacionales de Defensa Civil, proporcionando a través de las autoridades competentes, apoyo a personas damnificadas y afectadas, y participar en la respuesta*” (Congreso de la República del Perú, 2011, p.443208).

Las provisiones de los almacenes nacionales son utilizadas en última instancia, siempre y cuando se haya superado la capacidad de respuesta de abastecimiento de los almacenes locales y regionales, el nivel de emergencia haya sido clasificado como 4 o 5 y se haya aprobado la Declaratoria de Estado de Emergencia (vea el acápite 3.2.1.3). Estos almacenes funcionan como abastecedores de los almacenes regionales. En total, el INDECI cuenta con 17 almacenes nacionales, y la tabla 3.7 muestra la cantidad y en dónde están ubicados.

Cabe resaltar que los tres almacenes nacionales en la región de Lima y Callao se denominan “almacenes generales” y constituyen la base del sistema de almacenes de INDECI.³⁷ Ahí ingresan todos los bienes de ayuda humanitaria adquiridos por la institución y desde dichos puntos se distribuyen a los demás almacenes.

La figura 3.2 ilustra la distribución geográfica de los almacenes nacionales administrados por el INDECI. Según el mapa, se concentran mayormente en los departamentos de la costa y sierra del país y no hay almacenes nacionales en Ancash, Apurímac, Ayacucho, Cajamarca, Huancavelica, Huánuco, Madre de Dios, Moquegua, San Martín y Ucayali.

Tabla 3.7. Cantidad de almacenes de ayuda humanitaria por región y por tipo de almacén

Región	Nacionales	Regionales	Locales	Total
Amazonas	1	1	6	8
Ancash		1	4	5
Apurímac		1	5	6
Arequipa	1	1	7	9
Ayacucho		1	3	4
Cajamarca		1	9	10
Callao	2	1		2
Cusco	1	1	5	7
Huancavelica		1	4	5
Huánuco		1	8	9
Ica	1	1	3	5
Junín	1	1	3	5
La Libertad	1	1	6	8
Lambayeque	1	1	6	8
Lima	1	1	4	7
Loreto	1	1	10	12
Madre de Dios		1	3	4
Moquegua		1	5	6
Pasco	1	1	3	5
Piura	1	1	16	18
Puno	2	1	10	13
San Martín		1	2	3
Tacna	1	1	5	7
Tumbes	1	1	5	7
Ucayali		1	6	7
Total	17	25	138	180

Fuente: INDECI (2012), E. Cortijo, entrevista personal (17 de setiembre de 2015)
Elaboración propia

³⁷ En el anexo 3 se muestra el detalle de las características de cada uno de estos almacenes.

Los almacenes regionales están ubicados mayormente en las capitales de los departamentos, o donde decida el gobierno regional, para dar una respuesta rápida y adecuada cuando ocurra una emergencia en su jurisdicción. Dichos almacenes están bajo la gestión del gobierno regional, a través de su Oficina de Defensa Civil. Estos almacenes cuentan con provisiones para atender a afectados y damnificados si es que los almacenes locales no tienen suficiente capacidad de cobertura. Asimismo, alojan bienes de ayuda humanitaria adquiridos por los gobiernos regionales y bienes distribuidos por el INDECI a través de sus almacenes nacionales. Los almacenes regionales también funcionan como abastecedores de los almacenes locales o adelantados. Al año 2015, hay 25 almacenes regionales. La tabla 3.7 muestra en qué regiones están ubicados.

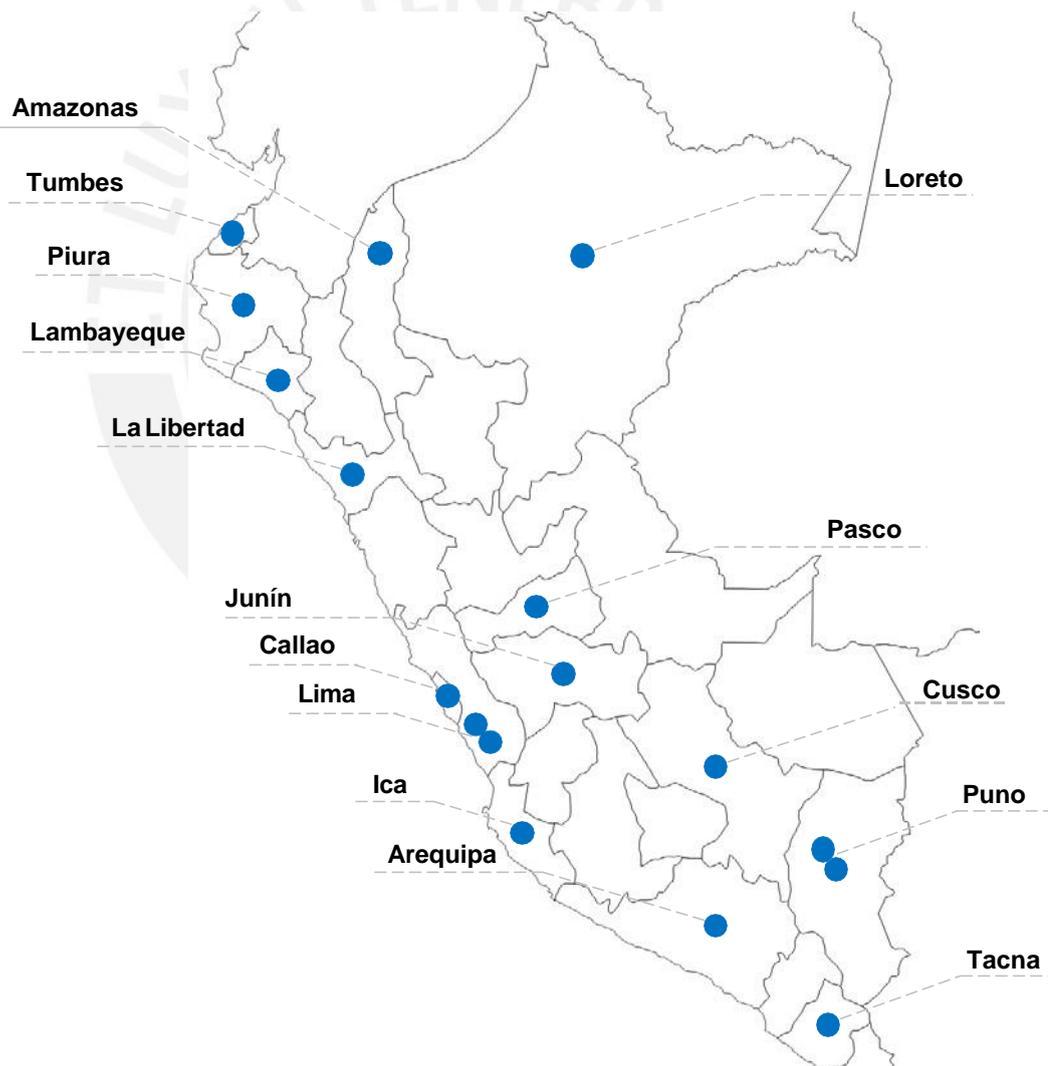


Figura 3.2. Ubicación de almacenes nacionales
Elaboración propia

Finalmente, los almacenes locales o adelantados están a cargo de las municipalidades provinciales o distritales, previa suscripción de un convenio interinstitucional con el gobierno regional al que corresponden. Estos almacenes se usan en primera instancia para satisfacer la demanda local de afectados y damnificados. Asimismo, se encuentran ubicados en zonas alejadas de los almacenes regionales o en zonas de difícil acceso y abastecimiento en caso de un desastre. La tabla 3.7 muestra que al año 2015, hay 138 almacenes locales o adelantados.

La tabla 3.8 a continuación muestra un resumen de la información expuesta sobre los tipos de almacenes.

Tabla 3.8. Jerarquización y clasificación de almacenes de ayuda humanitaria en el Perú

Tipo de almacén	Cantidad en el Perú	Entidad encargada	Descripción
Nacional	17	INDECI	Son utilizados cuando concurren los casos siguientes: se supera la capacidad de los almacenes locales y regionales, el nivel de emergencia es 4 o 5, y se ha aprobado la Declaratoria de Estado de Emergencia. Los almacenes nacionales funcionan como abastecedores de los almacenes regionales.
Regional	25	Gobierno regional	Son usados cuando se supera la capacidad de los almacenes locales. También funcionan como abastecedores de los almacenes locales.
Local/ adelantado	138	Municipalidades provinciales o distritales	Son usados en primera instancia.

Fuente: INDECI (2012)
Elaboración propia

3.2.3. Bienes de ayuda humanitaria

Las provisiones que albergan los tres tipos de almacenes son bienes de techo, abrigo, enseres, herramientas y alimentos (Resolución Jefatural N° 077-2012-INDECI). Los almacenes también guardan inventarios de carpas, módulos, triplay y calaminas.

Respecto a los *kits* de bienes de ayuda humanitaria, el INDECI cuenta con paquetes que contienen baldes, bidones, bobinas de plástico, calamina, camas plegables, carpas familiares, colchones, frazadas, herramientas, menaje de cocina,

etc. Actualmente, también incluyen bienes perecibles como agua (comprada a pedido), arroz, avena, azúcar, conservas de pollo y pescado, menestras y sal.

Los bienes de ayuda humanitaria que forman parte del *kit* preparado por el INDECI provienen del Catálogo de Bienes de Ayuda Humanitaria de la Dirección Nacional de Operaciones del INDECI (INDECI, 2011b). Dichos bienes son los mínimos necesarios que los afectados o damnificados por un desastre natural requieren para sobrevivir y limpiar sus hogares, de manera que restablezcan sus condiciones de vida.

Los niveles de stock de bienes de ayuda humanitaria administrados por el INDECI guardan relación con el presupuesto de la organización y la disponibilidad de espacio en sus almacenes a nivel nacional. Según los funcionarios del INDECI que fueron entrevistados a fines del 2015 (E. Cortijo et al., entrevistas personales y grupales, octubre-diciembre 2015), la entidad se abastece de suficientes bienes como para atender entre el 5% y el 10% de la población damnificada estimada por el Plan Logístico del INDECI vigente.

Con respecto a la cantidad de alimentos que se almacena, se calcula tomando en cuenta las necesidades nutricionales para alimentar a la población damnificada durante un periodo de 10 días. La estimación de las necesidades nutricionales se realiza según las recomendaciones de la Carta Humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria de El Proyecto Esfera (2011). También se usa como referencia las guías y los manuales internacionales de la Organización Panamericana de la Salud [OPS] y del Programa Mundial de Alimentos de las Naciones Unidas [PMA].

En total, los 17 almacenes nacionales del INDECI cuentan con capacidad suficiente para abastecer aproximadamente a 161,200 personas o 32,240 familias con *kits* de emergencia (INDECI, 2015). Dicha capacidad se incrementa con los bienes de los gobiernos regionales y locales, y la ayuda que se recibe de donaciones.

En cuanto a la política de inventarios que maneja el INDECI para sus almacenes, esta delimita un nivel de stock mínimo y máximo. Según el Plan Logístico (INDECI, 2015), el nivel mínimo de provisiones que debe tener un almacén, se determina

asumiendo que ocurrirá un desastre de nivel de emergencia 4 o 5. Asimismo, el nivel máximo de provisiones que un almacén podrá albergar, es asumiendo que el 60% de la población total será afectada. Finalmente, cada almacén nacional no cuenta específicamente con las mismas provisiones debido a que los bienes necesarios dependerán también de la zona, la región donde se ubica el almacén, los factores climáticos, las condiciones de vida, entre otros.

3.2.4. Metodología actual para la elaboración del plan logístico

La formulación del Plan Logístico INDECI AF-2015 para ayuda humanitaria ante emergencias o desastres (INDECI, 2015), se basó en la información histórica de afectados y damnificados en el periodo del 2006 al 2014 porque se observó una correlación entre dichas variables y el tiempo entre los eventos ocurridos, según el tipo de fenómeno. Por otro lado, también se consideró las diferentes necesidades logísticas de las regiones, según sus ámbitos geográficos y sus climas. Por ello, se analizó la distribución porcentual de cada producto, en cada región.

La metodología actual de control de inventario de bienes de asistencia humanitaria contempla métodos cualitativos y cuantitativos para la estimación de afectados y damnificados. Los métodos cualitativos del plan logístico están basados en conocimientos acumulados de experiencias pasadas. Son de mayor utilidad cuando los datos históricos usados como insumo para los métodos cuantitativos son insuficientes, contradictorios, costosos o irrelevantes. Las técnicas que a menudo se usan son el consenso de un comité y la aplicación del método Delphi (INDECI, 2015).

Cuando se aplica el consenso de un comité, se forma un pequeño grupo de expertos interfuncionales en el tema (asesores, directores, jefes y/o especialistas) para interrogarlos y analizar sus opiniones respecto a los valores futuros de los aspectos por predecir. Esta técnica es relativamente económica y es la más usada para los pronósticos de mediano y largo plazo. Sin embargo, los factores sociales o la participación de un miembro influyente podrían impedir que el grupo llegue a un verdadero consenso (INDECI, 2015).

El método Delphi también reúne a un grupo de expertos que comparten información, pero de manera remota y desde el anonimato. Este método reduce el

efecto de personas influyentes y de la opinión mayoritaria, por lo que el resultado suele ser más preciso que el del comité de consenso. Sin embargo, toma más tiempo elaborar la predicción a través de dicho método (INDECI, 2015).

El segundo tipo de métodos son los cuantitativos, generalmente usados para las predicciones a corto plazo. Los modelos de proyección basados en las series de tiempo son ampliamente usados para la estimación de la población damnificada y afectada por desastres. Para aplicar dicho modelo en el Plan Logístico del año 2015, se consideró la serie histórica de la población damnificada de los últimos 7 años que se ilustra en el gráfico 3.5 y que sugiere un ajuste a través de un modelo geométrico como el siguiente:

$$W_i = \beta_0 \beta_1^{t_{ii}}$$

Donde:

W_i : población damnificada en el evento w .

t_{ii} : variable de ajuste para corregir la población damnificada. Esta representa el número de años transcurridos desde el año base (2005) para el evento natural w .

Luego, tomando logaritmo natural se transforma en el modelo semilogarítmico siguiente:

$$\ln W_i = \ln \beta_0 + t_{ii} (\ln \beta_1)$$

Después de ajustar por mínimo cuadrado ordinario el modelo semilogarítmico, se tiene la siguiente ecuación geométrica:

$$Y_{ii} = 1,614,673 * (0.9119)^{t_{ii}}$$

Este es el modelo de regresión con tendencia decreciente que se usa para estimar la población damnificada y afectada por las principales emergencias que ocurren en el país (INDECI, 2015).

Para estimar el número de afectados y damnificados en el año 2015, se reemplaza en la ecuación precedente el valor para $t_{ii} = 10$:

$$W_{10} = 1,614,673 * (0.9119)^{10}$$

Esto arroja un valor de 642,032 afectados y damnificados a nivel nacional por causa de todos los tipos de emergencias y daños. Con este resultado, el INDECI lleva a cabo la provisión de bienes de ayuda humanitaria, tomando en cuenta adicionalmente los bienes actualmente en stock en los almacenes nacionales (INDECI, 2015).

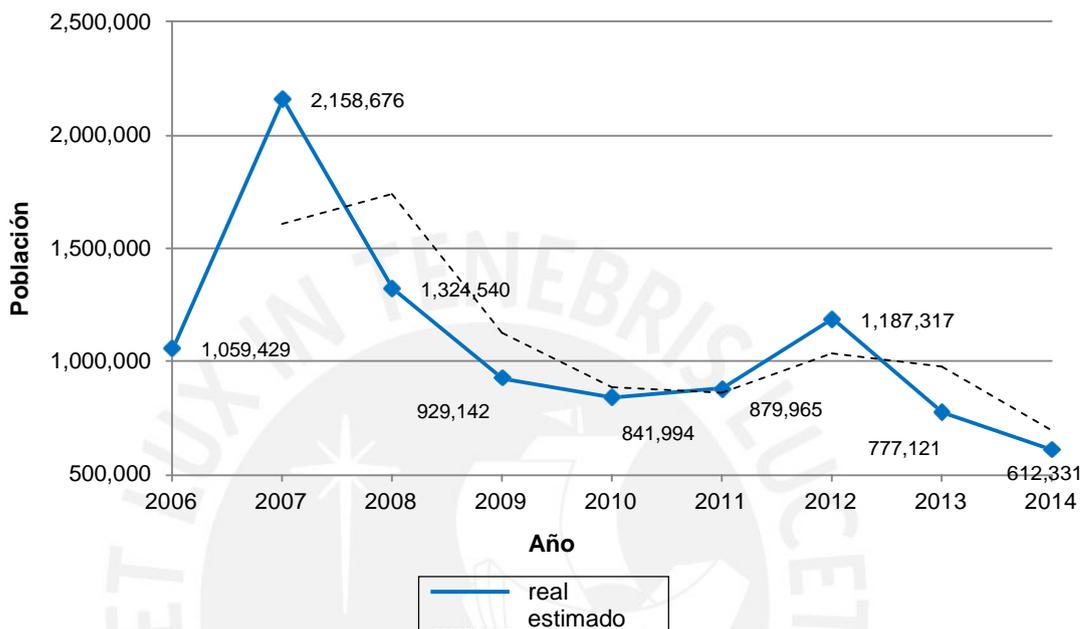


Gráfico 3.5. Población damnificada y afectada por desastres en el Perú (2006-2014)
Fuente: INDECI (2015)
Elaboración propia

3.3. Plan Regional de Operaciones de Emergencia del Callao

En los últimos años, el incremento de la recurrencia y severidad de los desastres naturales es uno de los aspectos de mayor preocupación del Gobierno Regional del Callao [GORE-Callao], quien tiene previsto adelantarse a los acontecimientos a través de una eficiente y eficaz labor de prevención para reducir las consecuencias que podrían ocasionar.

Según el estudio del Proyecto INDECI-PNUD-ECHO (2011), el 98% de las viviendas evaluadas en la región del Callao tenían un nivel de vulnerabilidad “alto” y “muy alto”, por lo que resulta propicio enfrentar el peligro inminente de desastres naturales con una actitud preventiva.

El Plan Nacional de Operaciones de Emergencia [PNOE] aprobado mediante el D.S N° 098-2007-PCM (Ministerio de Salud [MINSA], 2005), permitiría brindar una respuesta coordinada y oportuna entre los diversos actores involucrados frente a la ocurrencia de una emergencia en el territorio nacional. El PNOE, a su vez, dispone que los sectores y los gobiernos regionales y locales formulen y aprueben sus propios planes de operaciones en el marco de este plan.

Como la región del Callao presenta niveles altos de riesgo, se elaboró el Plan Regional de Operaciones de Emergencia del Callao [PROE-Callao] con la participación de instituciones públicas y privadas. A continuación se resume dicho plan.

3.3.1. Proceso de la gestión del riesgo

El objetivo principal del PROE-Callao es orientar las acciones de respuesta, en caso de emergencia o desastre, del gobierno regional, provincial y distrital, y de las diferentes instituciones que forman parte del Sistema Regional de Defensa Civil [SIREDECI]. De esta manera, busca preservar la vida, y mitigar y reducir los efectos adversos sobre los bienes, la economía y el medio ambiente del territorio peruano.

Las acciones efectivas que componen el proceso de la gestión del riesgo se pueden agrupar en una serie de etapas. Estas fases son las de preparación, respuesta y rehabilitación. En la tabla 3.9 se explica en qué consiste cada etapa.

Tabla 3.9. Etapas del proceso de la gestión del riesgo

Etapa	Descripción
Preparación	Actividades que se llevan a cabo antes de que ocurra la situación de emergencia. Incluyen la capacitación a la población, el entrenamiento del personal involucrado en la atención de la emergencia, y la realización de ejercicios de simulación y simulacros.
Respuesta	Medidas que se toman ante la inminencia de un desastre o una vez que este se ha producido. En esta etapa se convoca a los miembros del Centro de Operaciones de Emergencia Regional (COER-Callao) para que recolecten la información necesaria y evalúen la afectación del desastre. A partir de ello, se definen las prioridades, la capacidad de respuesta, el grado de autonomía de los recursos y la necesidad de solicitar apoyo al nivel de gobierno superior.
Rehabilitación	Restablecimiento de las condiciones de vida, infraestructura y seguridad de las zonas afectadas por un desastre. Incluye el restablecimiento del funcionamiento de los servicios básicos, la provisión de vivienda temporal, el tratamiento de personas afectadas, entre otros.

Fuente: GORE-Callao (2012)

Elaboración propia

3.3.2. Sistema Regional de Defensa Civil Callao (SIREDECI Callao)

El Gobernador del GORE-Callao es la máxima autoridad del SIREDECI Callao y debe supervisar y coordinar los sistemas provinciales y distritales bajo su jurisdicción. Para ejecutar las actividades, se organizan Grupos de Trabajo de Gestión del Riesgo de Desastres, Plataformas de Defensa Civil y Centros de Operaciones de Emergencias. Así, se coordinan los procesos de preparación, respuesta y rehabilitación del SINAGERD, bajo el Sistema de Seguridad y Defensa Nacional (GORE-Callao, 2012). En la figura 3.3 se detalla la conformación y funciones del SIREDECI.



- 1/ Centro de Operaciones de Emergencia Local.
 2/ Centro de Operaciones de Emergencia Distrital.
 3/ Centro de Operaciones de Emergencia Provincial.
 4/ Centro de Operaciones de Emergencia Nacional.

Figura 3.3. Conformación del SIREDECI Callao

Fuente: GORE-Callao (2012)

Elaboración propia

3.3.3. Clasificación de las emergencias en la región del Callao

La clasificación de las emergencias busca orientar la respuesta y facilitar la organización de las entidades operativas del SIREDECI. La clasificación se realiza con la información inicial disponible, lo cual significa que su nivel podría variar en el tiempo según la dinámica y complejidad del evento. El COER-Callao se encarga permanentemente de generar información sobre las necesidades y la evolución del

manejo de la emergencia (GORE-Callao, 2012). La tabla 3.10 presenta la clasificación de los cinco niveles de emergencia para la región del Callao.

3.3.4. Subprocesos para la respuesta en la región del Callao

Los subprocesos de respuesta para el manejo de una emergencia agrupan una serie de tareas que tienen como objetivo brindar una adecuada y coordinada atención por parte de las entidades responsables (GORE-Callao, 2012). En la tabla 3.11 se muestran los subprocesos para comprender mejor la atención que brinda el SIREDECI a los afectados y damnificados en caso ocurra un sismo de alta magnitud.

Tabla 3.10. Clasificación de los niveles de emergencia en la región del Callao

Criterios	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
Cobertura geográfica	Un distrito	Uno o dos distritos	Uno o más distritos	Dos o más regiones	Dos o más regiones
Impacto	Local	Distrital/ provincial	Regional	Nacional	Nacional
Capacidad de respuesta COE	Distrital	Provincial	Regional	Nacional	Internacional
	COED	COEP	COER	COEN	COEN
Tiempo de atención	Hasta 4 horas	Hasta 8 horas	Hasta 72 horas (3 días)	Más de 72 horas (3 días)	Más de 72 horas (5 días)
Descripción de eventos	Eventos frecuentes, atendidos por una o dos entidades locales, no alteran la funcionalidad del distrito	Eventos frecuentes, atendidos por dos o más entidades locales, distritales o provinciales, pueden alterar la funcionalidad del distrito	Eventos poco frecuentes, atendidos por varias entidades locales y regionales, pueden alterar la funcionalidad de la región. Generalmente se registran en medios de comunicación nacional	Eventos muy poco frecuentes, atendidos por varias entidades locales regionales y nacionales, pueden alterar la funcionalidad del país. Generalmente se registran en medios de comunicación nacional e internacional	Eventos de gran magnitud, pueden superar la capacidad de respuesta del país, interviene el Gobierno Nacional con apoyo internacional de ser necesario

Fuente: GORE-Callao (2012)

Elaboración propia

Tabla 3.11. Subprocesos para la respuesta en la región del Callao

a) Subproceso: logística en la respuesta	
Tarea: administración de almacenes	Esta tarea consiste en abastecer y distribuir los suministros requeridos por las entidades encargadas del manejo de la emergencia y por la población afectada.
Incluye las siguientes actividades:	
<ul style="list-style-type: none"> • Coordinar con el COE para iniciar la atención de los requerimientos • Identificar las necesidades a partir de reportes y de la evaluación de la disponibilidad de recursos • Priorizar y organizar la distribución de los suministros • Realizar la adquisición de los suministros • Gestionar y controlar los inventarios • Almacenar los suministros 	

a) Subproceso: logística en la respuesta	
<ul style="list-style-type: none"> • Embalar los suministros para su posterior distribución • Distribuir los suministros de acuerdo con las prioridades <p>Los suministros se entregan a las entidades encargadas del manejo de la emergencia y de la distribución de los suministros para atender a los afectados y damnificados.</p>	
Tarea: coordinación y manejo de medios de transporte (movilidad)	Esta tarea incluye la organización y coordinación de los medios de transporte disponibles, según las necesidades de traslado de los recursos que demandan las entidades encargadas del manejo de la emergencia.
<p>Incluye las siguientes actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar y consolidar el listado de los medios de transporte disponibles (terrestres, aéreos, marítimos y ferroviarios) • Coordinar y gestionar el transporte de personas, suministros y equipos • Hacerle seguimiento a los medios de transporte asignados • Entregar la información al COER-Callao sobre la evolución de la respuesta 	
b) Subproceso: asistencia humanitaria	
Tarea: empadronamiento	Esta tarea tiene como objetivo establecer el número de afectados y damnificados que requieren techo, abrigo, y alimentos, para organizar la logística y entregar la ayuda humanitaria.
<p>Incluye las siguientes actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planificar la intervención con la Plataforma de Defensa Civil • Preparar, activar y disponer brigadas para el empadronamiento • Identificar, caracterizar y cuantificar la población afectada, damnificada, desaparecida, fallecida y/o en riesgo, y conocer sus necesidades básicas luego de ocurrido el desastre o declarada la emergencia • Identificar la existencia de redes y mecanismos sociales en la comunidad que podrían asistir a la población • Procesar y evaluar la información levantada 	
Tarea: asistencia no alimentaria	Esta tarea se encarga de suministrar de manera oportuna y en buenas condiciones, bienes de abrigo, menaje y de limpieza y aseo personal a las personas afectadas por una emergencia o desastre.
<p>Incluye las siguientes actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planificar la intervención con la Plataforma de Defensa Civil • Conocer el número de familias y personas que requieren asistencia no alimentaria • Proveer los suministros • Activar y designar brigadas para la entrega de los suministros • Entregar los suministros en los albergues y zonas de impacto • Monitorear y hacerle seguimiento a las actividades 	
Tarea: asistencia alimentaria	Esta tarea se encarga de suministrar de manera oportuna y en buenas condiciones, alimentación a las personas afectadas por una emergencia o desastre, tomando en cuenta las necesidades alimentarias (gestantes, infantes, tercera edad, etc.) y las características socioculturales.

b) Subproceso: asistencia humanitaria

Incluye las siguientes actividades:

- Planificar la intervención con la Plataforma de Defensa Civil
- Activar la atención de asistencia alimentaria de corto plazo (inicial)
- Diseñar y aplicar programas de asistencia alimentaria de mediano plazo
- Identificar las personas afectadas que perdieron su seguridad alimentaria (pérdida de bienes, y/o personas que no pueden acceder a la compra y/o preparación de alimentos) y determinar la demanda
- Proveer los bienes

- Entregar los bienes con apoyo de los gobiernos locales y programas sociales
- Controlar la asistencia alimentaria
- Realizar la preparación comunitaria de los alimentos

Fuente: GORE-Callao (2012)

Elaboración propia

3.3.5. Implementación y activación del PROE-Callao

El PROE-Callao se activa luego de declarar el estado de alerta o emergencia, cuando ocurre un desastre, o cuando se presenta una situación de inminencia. Según el tamaño, el alcance y la magnitud del acontecimiento, serán convocados a accionar diferentes niveles de gobierno. Asimismo, las entidades implementan procesos de monitoreo continuo para seguir de cerca la ocurrencia y evolución de los eventos (GORE-Callao, 2012). El proceso de activación del plan se sintetiza en la tabla 3.12:

Tabla 3.12. Niveles de activación del PROE-Callao

Nivel de emergencia	Dependencia	Notificación	Tipo de activación
Nivel 1 Desastre distrital	Plataforma Distrital de Defensa Civil	Según protocolos distritales e institucionales	Parcial según valoración del COED
Nivel 2 Desastre provincial	Plataforma Provincial de Defensa Civil	Según áreas y funciones del POE provincial	Parcial o total, según valoración de la Plataforma Provincial de
Nivel 3 Desastre regional	Plataforma Regional de Defensa Civil	Según áreas y funciones del PROE-Callao	Parcial o total, según valoración de la Plataforma Regional de

Fuente: INDECI (2011a)

Elaboración propia

Cuando se declara el estado de emergencia, ocurre un desastre, o se presenta una situación de inminencia, el personal de Defensa Civil a nivel distrital analizará la situación e informará a las demás entidades de la Plataforma de Defensa Civil y al

alcalde distrital, según la magnitud del suceso. Si el desastre tiene un impacto medio /alto y rebasa las capacidades a nivel distrital, se procederá a informar a las instancias a nivel provincial y regional. Si es necesario, estas entidades se encargarán de contactar las que existen a nivel nacional. De esta manera, la Oficina de Defensa Civil va evaluando la necesidad de movilizar o inmovilizar recursos, según la evolución de la situación de emergencia. Finalmente, la desactivación del PROE-Callao se inicia con el retorno de los recursos a sus ubicaciones originales, de manera ordenada, segura y eficiente (GORE-Callao, 2012). Para una mejor comprensión, la figura 3.4 ilustra el orden en el que los niveles de gobierno se activan en caso de desastre.

Cabe resaltar que el PROE-Callao está articulado con otros planes operativos como el POE Nacional, y los planes sectoriales y distritales. El PROE-Callao también se complementa con los planes de contingencia específicos para cada tipo de evento. La ejecución del PROE requiere la coordinación estrecha entre instituciones y para tal fin existen los COE en sus diferentes niveles de gobierno.

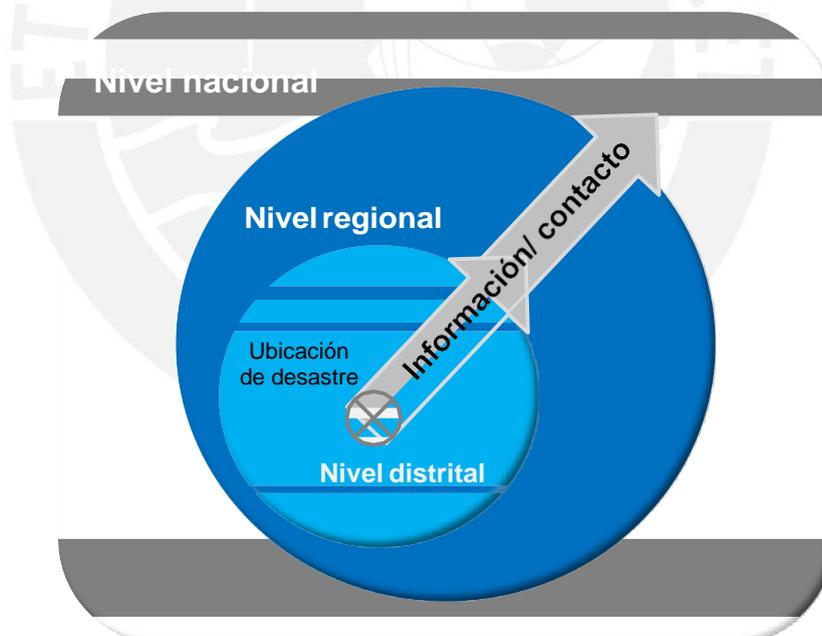


Figura 3.4. Orden en el que los niveles de gobierno entran en acción en caso de desastre

Elaboración propia

3.4. Diagnóstico

La información y el análisis mostrado en el capítulo 3 sirvieron de base para emitir el siguiente diagnóstico.

El Perú se encuentra en el límite de la placa Sudamericana y la placa de Nazca, por lo que el efecto de subducción entre ambas placas ha provocado un gran número de sismos en la parte occidental del país a lo largo de la historia. Actualmente existe un silencio sísmico de casi media década en la zona central del país.

La región de Lima y Callao representa casi un tercio de la población nacional. La mayoría de los hogares en dicha región corresponden a los NSE C y D, y en promedio, en la región del Callao una familia gasta mensualmente un aproximado de S/. 2,659, casi 11% menos que el gasto familiar promedio mensual de todo Lima Metropolitana, lo cual revela que el Callao tiene menor poder adquisitivo.

El 28.6% de la población de Lima y Callao vive en zonas con niveles de riesgo alto. Parte de la vulnerabilidad se debe a las características del suelo y a la calidad de las construcciones. En el distrito del Callao hay muchas viviendas deterioradas y en Ventanilla hay varias “en consolidación” e improvisadas, lo cual incrementa el grado de vulnerabilidad.

Los gobiernos subnacionales son los encargados de la distribución final de los bienes de ayuda humanitaria y cada gobierno local o regional realiza estas acciones según sus propios planes de operaciones y procedimientos, a través de sus Comités de Defensa Civil. Esto revela la oportunidad de diseñar planes de distribución a nivel distrital o regional, con la aplicación de herramientas cuantitativas como las de la Investigación de Operaciones.

Los planes de acción de respuesta vigentes podrían estar limitados por sus propios reglamentos e impediría lograr una respuesta efectiva ante una emergencia. Así, por ejemplo, el proceso de Declaratoria de Estado de Emergencia tiene una serie de requisitos documentarios que podrían ralentizar la capacidad de respuesta.

Los almacenes nacionales en la región de Lima y Callao son “almacenes generales” que reciben todos los bienes de ayuda humanitaria adquiridos por el INDECI y luego se reparten a los demás almacenes. Por lo tanto, resulta propicio diseñar un plan de distribución que parta de dicho almacén. Por otro lado, según las disposiciones del SINAGERD, los almacenes regionales están ubicados en las capitales de los departamentos, o donde decida el gobierno regional. Sin embargo,

no se han establecido requisitos y lineamientos para garantizar una localización estratégica de los almacenes que permita una respuesta oportuna luego de ocurrido un desastre.

Los niveles de stock de bienes de ayuda humanitaria gestionados por el INDECI dependen del presupuesto y de la disponibilidad de almacenamiento. Según los funcionarios de la entidad, se establecen los niveles de inventario como para abastecer entre el 5% y el 10% de la población damnificada estimada por el Plan Logístico del INDECI. Según dicho Plan, la estimación de afectados y damnificados a nivel nacional, por causa de todos los desastres naturales y emergencias en el 2015 sería de 642,032. No obstante, los niveles de inventario gestionados por la institución no guardan relación con estas cifras.

Asimismo, cabe resaltar que debido a los efectos devastadores del terremoto de Pisco del 2007, se requirió la movilización de las provisiones y recursos de varios almacenes nacionales del INDECI y de los depósitos de los gobiernos regionales y locales. Sin embargo, aun así, el stock no fue suficiente para abastecer al número de afectados y damnificados, por lo que se tuvo que recurrir al apoyo de empresas privadas y el apoyo internacional.

En conclusión, se puede observar que a pesar de que se cuenta con planes logísticos y planes de operaciones de emergencias ante desastres, en la práctica no funcionan con efectividad debido a varios factores.

Finalmente, el diagnóstico revela que la región Callao muestra una vulnerabilidad significativa; asimismo el análisis del Plan Logístico del Instituto Nacional de Defensa Civil para Ayuda Humanitaria ante Emergencias y Desastres no indica un procedimiento de distribución de la ayuda humanitaria con sustento científico. Estos aspectos justifican la aplicación de una herramienta científica para el planeamiento de la distribución de dichos bienes luego de ocurrido un desastre natural. En esta tesis, el modelo será uno de programación lineal entera que se explicará en el capítulo 4 siguiente y el evento natural es un terremoto.

CAPÍTULO 4. FORMULACIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE RUTEO VEHICULAR

En este capítulo se formulará el modelo de optimización de ruteo vehicular con ventanas de tiempo para encontrar el planeamiento óptimo de la distribución de dichos bienes luego de ocurrido un desastre natural. Uno de los objetivos del modelo VRPTW formulado será determinar la cantidad de camiones que partirán del almacén nacional del INDECI ubicado en la región del Callao, para distribuir los *kits* de emergencia hacia las zonas de refugio establecidas de la región. El objetivo será minimizar la distancia recorrida, la cual es una medida relevante en el reparto de ayuda humanitaria. Con este objetivo indirectamente se minimiza el tiempo total del despacho porque se asumirá que la velocidad de los vehículos es constante. Dicho objetivo se sustenta en Schilling, Vaidyanathan y Barkhi (1993) y Marianov y ReVelle (1995) quienes afirman que en el caso de ayuda humanitaria uno de los objetivos importantes es el tiempo de respuesta a diferencia del sector privado en donde a menudo el objetivo es minimizar los costos.

4.1. Modelo VRPTW

A continuación se presenta la notación para el modelo de ruteo vehicular CVRP (Capacitated VRP) explicado por Toth y Vigo (2002).

Sea $GG = (VV, AA)$ un grafo completo, donde $VV = \{0, \dots, ll, ll + 1\}$ es el conjunto de vértices y AA es el conjunto de arcos, los vértices $ww = 1, \dots, ll$ corresponden a las zonas de refugio de afectados, mientras que el vértice 0 y $ll + 1$ corresponden al almacén.

Una distancia no negativa $DD_{ww, jj}$ está asociada con el arco $(w, j) \in AA$ y representa la distancia del tramo del vértice ww hasta el vértice jj .

Dado un vértice w , $\Delta^+(w) = \{j / (w, j) \in AA\}$ es el conjunto de vértices jj alcanzables desde w y $\Delta^-(w) = \{j / (j, w) \in AA\}$ es el conjunto de vértices jj desde los cuales ww es alcanzable.

Cada vértice ww está asociado a una zona de refugio de afectados en la región del Callao. Cada zona tiene una demanda no negativa dd_{ii} . El conjunto KK corresponde a un grupo de camiones idénticos con la misma capacidad CC . Para garantizar la

viabilidad del modelo planteado, necesariamente $dd_{ii} \leq CC$ para cada zona de refugio $ww = 1, \dots, ll$.

Además, cuando las longitudes de los arcos representan tiempos de traslado, un tiempo de servicio DD_{ii} puede asociarse a cada zona de refugio de afectados ww y denota el periodo de tiempo durante el cual el vehículo deberá detenerse en cierta zona de refugio para abastecer a los afectados ubicados en ese refugio.

Para esta investigación, se usó el modelo de VRPTW (VRP with Time Windows), el cual es una extensión del CVRP. En dicho modelo, cada zona de refugio tiene una “ventana de tiempo” asociada, la cual representa un intervalo de tiempo $[aa_{ii}, bb_{ii}]$ en el que el vehículo debe llegar, donde aa_{ii} es el tiempo de inicio más temprano y bb_{ii} es el tiempo de inicio más tardío en el que el vehículo debiera llegar. El instante de tiempo en el que los vehículos salen del almacén, y el tiempo de traslado tt_{iii} para cada arco $(w, jj) \in AA$ también son establecidos. El servicio para cada zona de refugio deberá iniciar dentro de la ventana de tiempo correspondiente y el vehículo deberá detenerse en dicha zona durante el tiempo de servicio DD_{ii} . En resumen los conjuntos son:

$AA = \{(w, jj) / w \text{ y } jj \text{ son nodos}\}$

$KK = \{ww \in KK / 1 \leq ww \leq mm\}$; es el conjunto de vehículos, en total son mm

$VV = \{0, 1, 2, \dots, ll, ll + 1\}$

$NN = VV / \{0, ll + 1\}$; el conjunto NN tiene los mismos elementos que VV , excepto los nodos 0 y $ll + 1$.

4.1.1. Variables de decisión

xx_{iiii} : decisión de que el camión $ww \in KK$ circule desde el nodo $w \in VV$ al nodo $jj \in VV$. Será igual a 1 si circula por el arco (w, jj) y 0 de lo contrario.

ww_{iii} : tiempo inicial del abastecimiento de los afectados en el nodo $ww \in VV$ por el camión $ww \in KK$ (en minutos).

4.1.2. Parámetros

$MM = 10,000$

aa_{ij} : tiempo inicial de abastecimiento más temprano (en minutos) en el nodo $w \in VV$.

bb_{ii} : tiempo inicial de abastecimiento más tardío (en minutos) en el nodo $w \in VV$.

EE : tiempo de salida más temprano (en minutos) desde el depósito (almacén nacional).

LL : tiempo de llegada más tardío (en minutos) al depósito en el nodo (almacén nacional).

dd_{ii} : demanda de los afectados en el nodo $ww \in NN$ (en cantidad de kits).

CC : capacidad del camión $ww \in KK$ (en cantidad de kits).

$DD_{ww}DD_{tt_{iii}}$: distancia entre el nodo $w \in VV$ y nodo $jj \in VV$ (en metros).

DD_{ii} : tiempo de abastecimiento de kits de emergencia en el nodo $w \in VV$ (en minutos).

tt_{iii} : tiempo de recorrido del nodo $ww \in VV$ al nodo $jj \in VV$ (en minutos).

4.1.3. Función objetivo

La función objetivo busca minimizar la distancia total recorrida por los vehículos que abastecen con kits de emergencia a toda la población damnificada de la región Callao, luego de ocurrido un terremoto.

$$mm_{ww}ll_{zz} = \sum_{ii \in KK} \sum_{(ii,ii) \in AA} DD_{ww}DD_{tt_{iii}} \cdot xx_{iiii}$$

4.1.4. Restricciones

Salida del almacén (nodo 0)

$$\sum_{ii \in \Delta^+(0)} xx_{0iiii} = 1 \dots (1)$$

$$\forall ww \in KK$$

El gráfico 4.1 ilustra la restricción (1).

Asignación de una sola ruta para cada nodo

A cada nodo $ww \in NN$, se le asigna una única ruta vehicular.

$$\sum_{ww \in KK} \sum_{ii \in NN} xx_{wii} = 1 \dots (2)$$

$$\forall ww \in NN$$

El gráfico 4.2 ilustra la restricción (2).

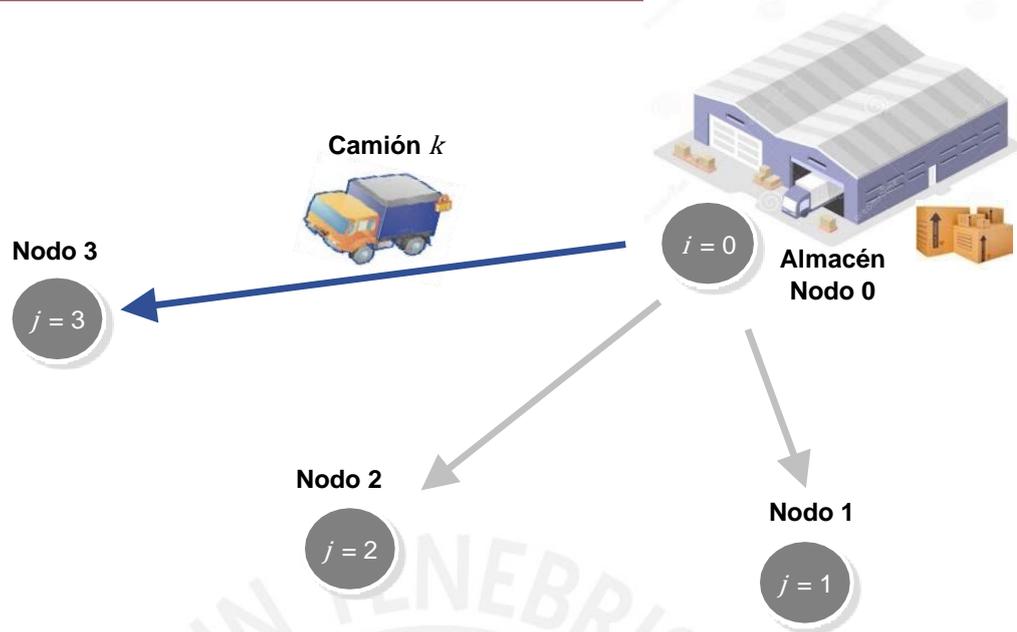


Gráfico 4.1. Ruta del camión w y salida del almacén
Elaboración propia

Balance en los nodos y asignación de una sola ruta para cada nodo

El camión w que abastece a los afectados en el nodo w es el mismo camión que sale de dicho nodo w .

$$\sum_{i \in \mathcal{N}} x_{iw} - \sum_{j \in \mathcal{N}} x_{wj} = 0 \dots (3)$$

$$\forall w \in \mathcal{K}, j \in \mathcal{N}$$

El gráfico 4.2 también ilustra la restricción (3).

Retorno al almacén

El retorno al almacén luego de que el camión w ha repartido toda su capacidad (en kits), se modela con la restricción siguiente.

$$\sum_{i \in \mathcal{N} \cup \{0\}} x_{iw} = 1 \dots (4)$$

$$\forall w \in \mathcal{K}$$

El gráfico 4.3 ilustra la restricción (4).

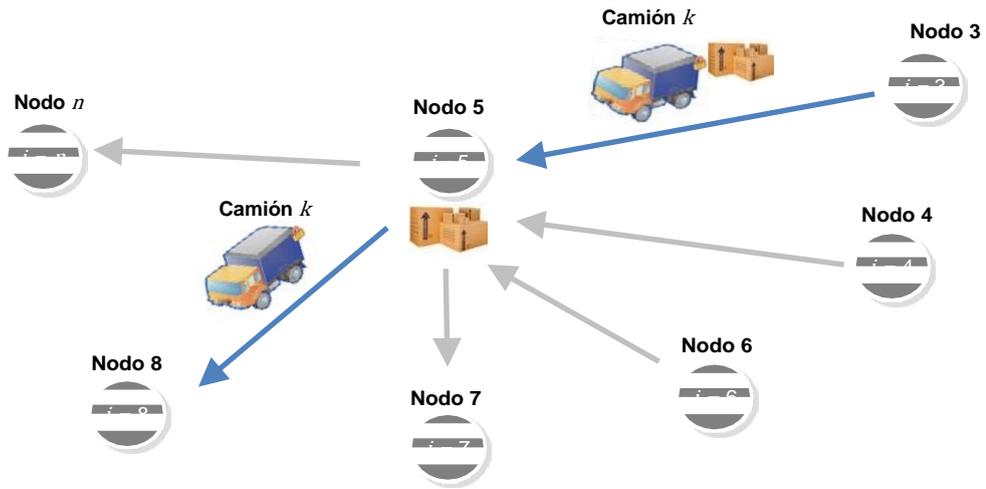


Gráfico 4.2. Balance en los nodos y ruta del camión w_w
Elaboración propia

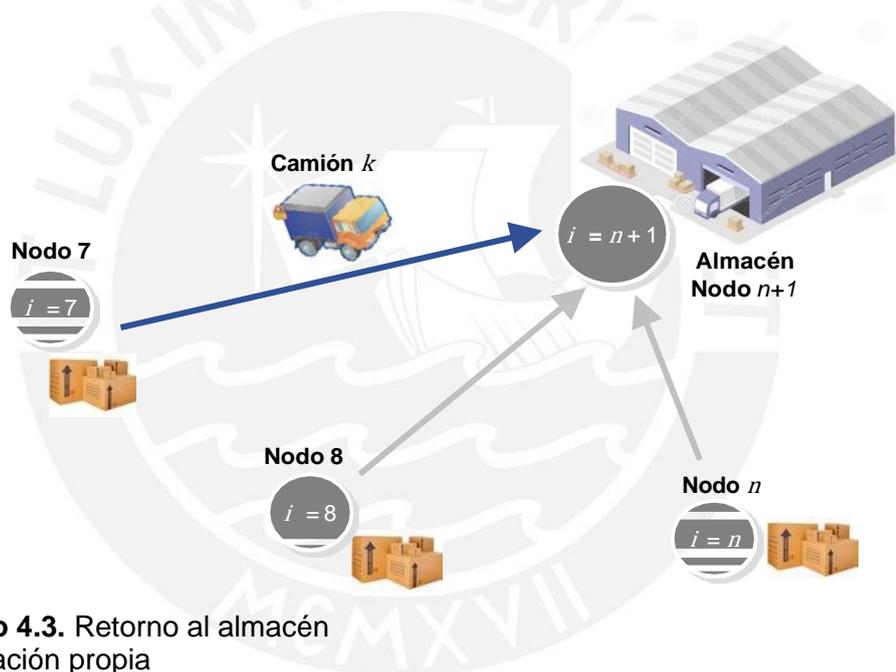


Gráfico 4.3. Retorno al almacén
Elaboración propia

Orden de abastecimiento

A la suma del tiempo inicial de servicio $w_{w_{iii}}$ el tiempo de descarga de los *kits* de emergencia DD_{ii} , y el tiempo de transporte del resto de *kits* a la siguiente zona de refugio tt_{iii} , le restamos el tiempo inicial del siguiente servicio $w_{w_{jj}}$. Al tiempo $w_{w_{jj}} + DD_{ii} + tt_{iii} - w_{w_{iii}}$ cuando se multiplica por xx_{iii} , el resultado debe ser menor o igual a "0" y así se logra que un determinado camión w_w no puede abastecer una zona de refugio jj si los afectados de la zona de refugio anterior ii , no fueron abastecidos previamente. En términos matemáticos si $w_{w_{iii}} + DD_{ii} + tt_{iii} - w_{w_{jj}} > 0$ entonces $xx_{iii} = 0$, es decir, el camión w_w no circulará entre ii y jj . Pero si, $w_{w_{iii}} +$

$DD_{ii} + tt_{iii} - ww_{iii} < 0$ entonces xx_{iiii} podría ser igual a 0 o 1, y lo mismo ocurriría cuando $ww_{iii} + DD_{ii} + tt_{iii} - ww_{iii} = 0$. La restricción es la siguiente:

$$xx_{iiii}(ww_{iii} + DD_{ii} + tt_{iii} - ww_{iii}) \leq 0$$

$$\forall ww \in KK, (w, jj) \in AA$$

La restricción anterior no es lineal, en términos lineales es la siguiente:

$$ww_{iii} + DD_{ii} + tt_{iii} - ww_{iii} \leq (1 - xx_{iiii}) MM_{iii} \dots (5)$$

$$\forall ww \in KK, (w, jj) \in AA$$

Donde $MM_{iii} = 10,000$ es un parámetro positivo lo suficientemente grande. Una vez más en la restricción (5) si $ww_{iii} + DD_{ii} + tt_{iii} - ww_{iii} > 0$ entonces necesariamente $xx_{iiii} = 0$, es decir, el camión ww no circulará entre w y jj .

El abastecimiento está limitado a un rango de tiempo (ventana de tiempo) Para cada camión ww asignado para abastecer a la zona de refugio w , el tiempo inicial de servicio ww_{iii} deberá comenzar dentro del rango de la ventana de tiempo $[aa_{ii}, bb_{ii}]$. aa_{ii} representa el tiempo inicial más temprano (TMT) y bb_{ii} , el tiempo inicial más tardío posible (TMP) en el que podría comenzar el abastecimiento de los afectados en la zona de refugio w .

$$aa_{ii} \sum_{\substack{w \in \Delta^+(\bar{w}) \\ WW}}^m xx_{iiii} \leq ww_{iii} \leq bb_{ii} \sum_{ii \in \Delta^+(w)}^m xx_{iiii} \dots (6)$$

$$\forall ww \in KK, w \in NN$$

Salida y llegada de cada camión al almacén está limitada a un rango de tiempo (ventana de tiempo)

La salida y llegada de cada camión al almacén está limitada a un rango de tiempo, en el que su salida más temprana posible es EE y su salida más tardía posible es LL . El servicio de transporte y distribución de *kits* del almacén a las secciones de refugio de afectados deberá comenzar después del tiempo más temprano EE y deberá terminar antes del tiempo más tardío LL . Así la ventana de tiempo para el almacén es $[EE, LL]$.

$$EE \leq ww_t \leq LL \dots (7)$$

$$\forall ww \in KK, w \in \{0, ll + 1\}$$

Suma de demandas no deberá exceder la capacidad del camión

La suma total de las demandas de kits dd_{ij} de los afectados en las zonas de refugio w abastecidos por un determinado camión ww , deberá ser menor o igual a la capacidad del camión respectivo CC asignado.

$$\sum_{i \in N} d_i \sum_{j \in W} x_{ij} \leq CC \dots (8)$$

$$\forall ww \in KK$$

El gráfico 4.4 ilustra la restricción (8).

4.1.5. Rango de existencia

$$ww_{iiii} \geq 0 \quad \forall ww \in KK, (w, jj) \in AA$$

$$xx_{iiii} \in \{0,1\} \quad \forall ww \in KK, (w, jj) \in AA$$

4.2. Datos del modelo

Almacén nacional INDECI – Gobierno Regional del Callao [GORE-Callao]

El almacén para el modelo VRPTW es el almacén nacional del INDECI, ubicado en la Av. Faucett, en la región Callao (vea el mapa 4.2). Se ha elegido este almacén como el centro de reparto por los siguientes motivos: el Callao es una región del Perú con alta vulnerabilidad sísmica y riesgo de tsunami, alta densidad poblacional y elevada actividad industrial que representa aproximadamente el 80% (POE Regional Callao, 2012) de la región de Lima y Callao³⁸.

Asimismo, se eligió este almacén debido a la información facilitada por el INDECI y al contacto con los funcionarios del GORE-Callao (L. Reyes, entrevista personal, 2015) para esta investigación.

Zonas de refugio

Las zonas de refugio descritas en la tabla 4.1 son las zonas designadas por el GORE-Callao como las zonas seguras en las cuales deben concentrarse los afectados de las zonas cercanas en caso de sismo (L. Reyes, entrevista personal, 2015). En el modelo, estas zonas son los puntos a los cuales llegarían los bienes de ayuda humanitaria.

³⁸ Estos aspectos fueron discutidos en el capítulo 3.

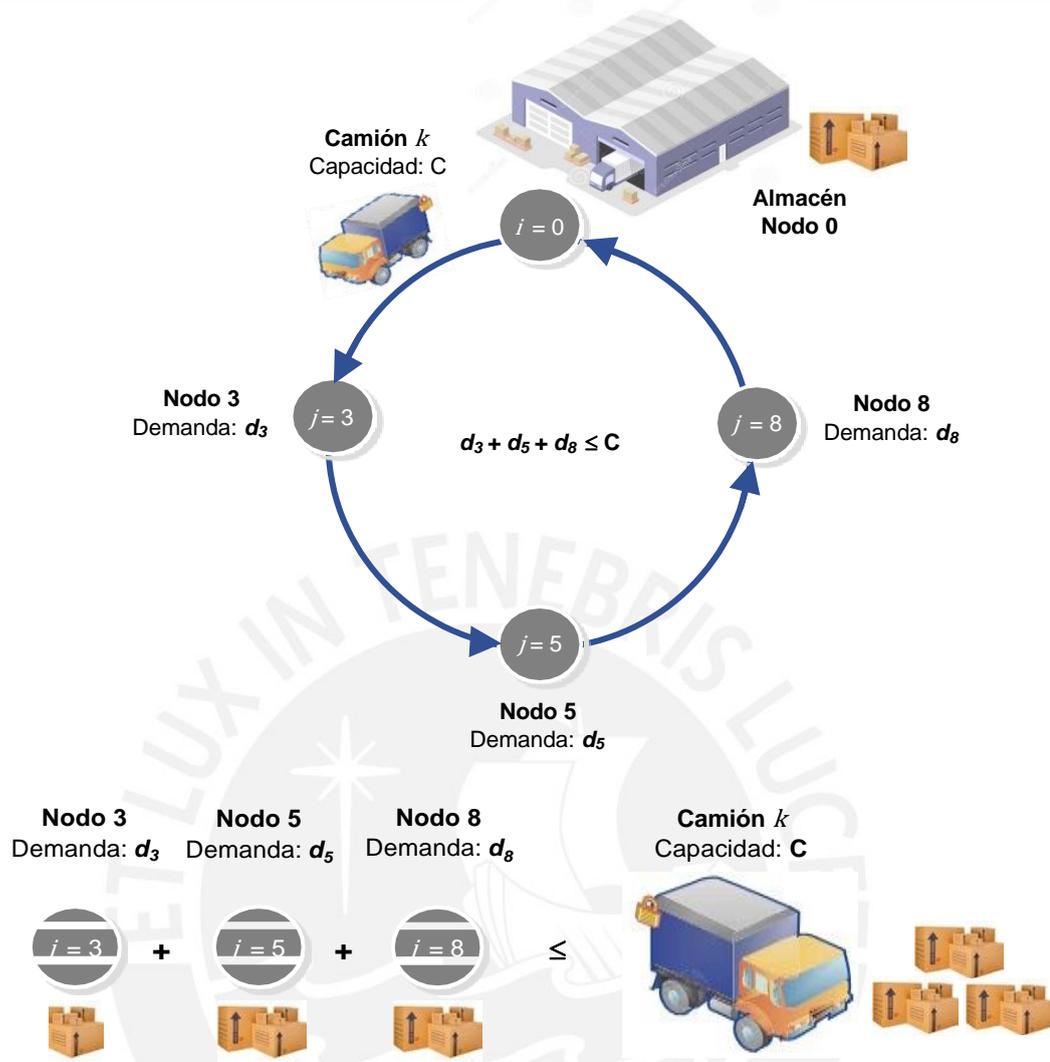


Gráfico 4.4. Suma de demandas no deberá exceder la capacidad del camión
Elaboración propia

Tabla 4.1. Zonas de refugio en la región del Callao

Zonas de refugio
Zona 1 : La Punta
Zona 2 : Callao Sur
Zona 3 : Chucuito Callao Centro
Zona 4 : Callao Monumental
Zona 5 : Santa Marina
Zona 6 : Chacaritas
Zona 7 : Miranaves
Zona 8 : Bellavista
Zona 9 : La Perla
Zona 10 : Sarita Colonia
Zona 11 : Oquendo
Zona 12 : Márquez

Fuente: MINSA (2005)
Elaboración propia

Subzonas

Las 12 zonas de refugio mostradas en la tabla 4.1 están planificadas para alojar aproximadamente 982,000 personas. El modelo VRPTW es NP-hard (Toth y Vigo, 2002), es decir, muestra complejidad computacional para resolverse con métodos exactos de optimización. Por esta razón, se dividirán las zonas de refugio en subzonas según su ubicación geográfica y la cantidad real de kits de ayuda humanitaria con las que cuenta el INDECI actualmente asignadas para la región del Callao. El detalle y número de subzonas por cada zona de refugio se muestran en la tabla 4.2.



Mapa 4.2. Zonas de refugio
Fuente: Google Maps

Tabla 4.2. Cantidad de subzonas por zona de refugio

Zonas de refugio	Cantidad de subzonas	Subzonas
Zona 1	1	Zona 1.
Zona 2	6	Zonas 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6.
Zona 3	3	Zonas 3.1, 3.2 y 3.3.
Zona 4	6	Zonas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6.
Zona 5	2	Zonas 5.1 y 5.2.
Zona 6	2	Zonas 6.1 y 6.2.
Zona 7	1	Zona 7
Zona 8	8	Zonas 8.1, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, 8.7 y 8.8.
Zona 9	7	Zonas 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5, 9.6 y 9.7.
Zona 10	2	Zonas 10.1 y 10.2.
Zona 11	2	Zonas 11.1 y 11.2.

Zonas de refugio	Cantidad de subzonas	Subzonas
Zona 12	2	Zonas 12.1 y 12.2.
Total	42	-

Elaboración propia

Clusters

Una vez más, debido a que el modelo VRPTW es NP-hard, las zonas de refugio con sus subzonas se agruparán en *clusters* de acuerdo con su cercanía como se muestra en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Descripción de *cluster* y zonas de refugio asociadas

Cluster	Zonas de refugio	Cantidad de nodos	Demanda (kits)
A	1,3 y 9	13	752
B	2 y 8	16	1,008
C	4, 7, 10, 11 y 12	15	810
D	5 y 6	6	222
Total		50	2,792

Elaboración propia

Distancias entre cada subzona

Las distancias, $DD_{mDtt_{iiii}}$ en metros, representan la distancia que debe recorrerse entre cada nodo o subzona, así como las distancias entre cada subzona de refugio y el almacén nacional del INDECI ubicado en la región Callao. Estas se calcularon utilizando la aplicación web de Google Maps, con base en las ubicaciones reales de las zonas de refugio y el almacén del INDECI. La tabla 4.4 muestra las distancias entre el almacén nacional del INDECI ubicado en el Callao y las subzonas en la zona de refugio 1 (La Punta) y en la zona de refugio 2 (Callao Sur).

Tabla 4.4. Distancias entre nodos (en metros)

	Almacén INDECI	Zona 1	Zona 2.1	Zona 2.2	Zona 2.3	Zona 2.4	Zona 2.5	Zona 2.6
Almacén INDECI	-	11,000	11,000	11,050	11,100	11,150	11,200	11,250
Zona 1	11,000	-	600	650	700	750	800	850
Zona 2.1	11,000	600	-	50	50	50	50	50
Zona 2.2	11,050	650	50	-	50	50	50	50
Zona 2.3	11,100	700	50	50	-	50	50	50
Zona 2.4	11,150	750	50	50	50	-	50	50
Zona 2.5	11,200	800	50	50	50	50	-	50
Zona 2.6	11,250	850	50	50	50	50	50	-

Fuente: Google Maps (2016)

Elaboración propia

En el anexo 4 se muestra las distancias entre nodos y desde el almacén (en metros) del cluster A. Asimismo, en los anexos 11 y 21 se muestran las distancias entre nodos y desde el almacén nacional del INDECI en el Callao de los *clusters* B y D, respectivamente.

Tiempo de recorrido

Los tiempos de desplazamiento, tt_{iii} en minutos, entre el nodo ii y el nodo ii y se calcularon utilizando una velocidad constante de 30 km/h. La tabla 4.5 muestra los tiempos de recorrido entre el almacén nacional del INDECI ubicado en el Callao y las subzonas en la zona de refugio 1 (La Punta) y en la zona de refugio 2 (Callao Sur).

Tabla 4.5. Tiempos de desplazamiento entre nodos (en minutos)

	Almacén INDECI	Zona 1	Zona 2.1	Zona 2.2	Zona 2.3	Zona 2.4	Zona 2.5	Zona 2.6
Almacén INDECI	-	22	23	23.10	23.21	23.31	23.42	23.52
Zona 1	22	-	1.25	1.36	1.46	1.56	1.67	1.77
Zona 2.1	23	1.25	-	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Zona 2.2	23.10	1.36	0.10	-	0.10	0.10	0.10	0.10
Zona 2.3	23.21	1.46	0.10	0.10	-	0.10	0.10	0.10
Zona 2.4	23.31	1.56	0.10	0.10	0.10	-	0.10	0.10
Zona 2.5	23.42	1.67	0.10	0.10	0.10	0.10	-	0.10

Fuente: Google Maps (2016)
Elaboración propia

Los anexos 5, 12 y 22 muestran los tiempos de desplazamiento entre los nodos de los *clusters* A, B y D, respectivamente.

Tiempo de servicio

El tiempo de abastecimiento de *kits* de emergencia por cada nodo, DD_{ii} en minutos, es directamente proporcional a la demanda establecida de la subzona. Este tiempo de descarga ha sido calculado según el tiempo promedio (en minutos) que toma la descarga de un camión estándar con carga a granel de 75 m³ (Empresa ABC, 2015) Con esta cifra, se calculó el tiempo promedio por descarga por metro cúbico y se determinó el ratio de 2.05 minutos por descarga de cada *kit* de ayuda humanitaria para una persona afectada. Este ratio tomó en cuenta el volumen del *kit* igual a 0.64 m³.

Los anexos 6, 13 y 23 muestran los tiempos de servicio para los nodos de los *clusters* A, B y D, respectivamente.

Tiempo de arribo más temprano (TMP) y tiempo de arribo más tardío (TMT)

Los tiempos iniciales de arribo más temprano por cada subzona, aa_{ii} en minutos, tienen el valor de “0” para indicar al modelo que los camiones partirán simultáneamente desde el almacén. Esta decisión es apropiada para un escenario crítico de emergencia, definido en el capítulo 2 como un terremoto de 6.0 a más en la escala de Richter.

Asimismo, los tiempos iniciales de abastecimiento más tardíos, bb_{ii} en minutos, priorizan las zonas del Callao con mayor riesgo sísmico determinadas según el plan de evacuación “Callao 2005” (MINSA, 2005), de manera que si el camión debe atender varios puntos en diferentes zonas, atenderá primero a la zona más vulnerable. Por ejemplo, como se muestra en la tabla 4.6, en el *cluster* A, los nodos denominados como zona 3.3, en Chucuito, y zona 9.7, en La Perla, tienen un valor de bb_{ii} de 1,000 y 28.6 minutos, respectivamente. Ambos nodos cuentan con una demanda menor a la capacidad del camión, por lo que tienen alta probabilidad de ser parte de una de las rutas vehiculares propuestas. Por este motivo, se debe asegurar que a las zonas más vulnerables se les asigne la prioridad según su zonificación de riesgo. En este caso, como La Perla está categorizada como zona de alto riesgo sísmico, según el mapa de zonificación de Región Lima y Callao (vea el mapa 4.3) y como Chucuito está ubicada en una zona de peligro bajo, entonces se priorizará la zona de refugio ubicada en La Perla.

Tabla 4.6. TMP y TMT por subzonas del *cluster* A (en minutos)

Zona de refugio	Subzona	TMP	TMT
La Punta	Zona 1	0	22.0
Chucuito Callao Centro	Zona 3.1	0	9.0
	Zona 3.2	0	9.1
	Zona 3.3	0	1,000.0
La Perla	Zona 9.1	0	28.0
	Zona 9.2	0	28.1
	Zona 9.3	0	28.2
	Zona 9.4	0	28.3
	Zona 9.5	0	28.4
	Zona 9.6	0	28.5
	Zona 9.7	0	28.6

Elaboración propia

En los anexos 15, 18 y 25 se muestran los TMP y TMT de los *clusters* B, C y D, respectivamente, en el escenario 1 que se definirá más adelante en este capítulo.

Kit de ayuda humanitaria

El *kit* de ayuda humanitaria se definió con base en los artículos considerados necesarios para proveer personas afectadas luego de ocurrido un desastre natural. Cada *kit* de ayuda humanitaria tiene un volumen de 0.64 m³ y tiene un peso de 4.10 kg. En la tabla 4.7 se muestra los artículos considerados en el *kit*.

En los anexos 7, 14 y 24 se muestran las demandas (en *kits*) por subzona y por *cluster* A, B y D respectivamente.

Características del camión

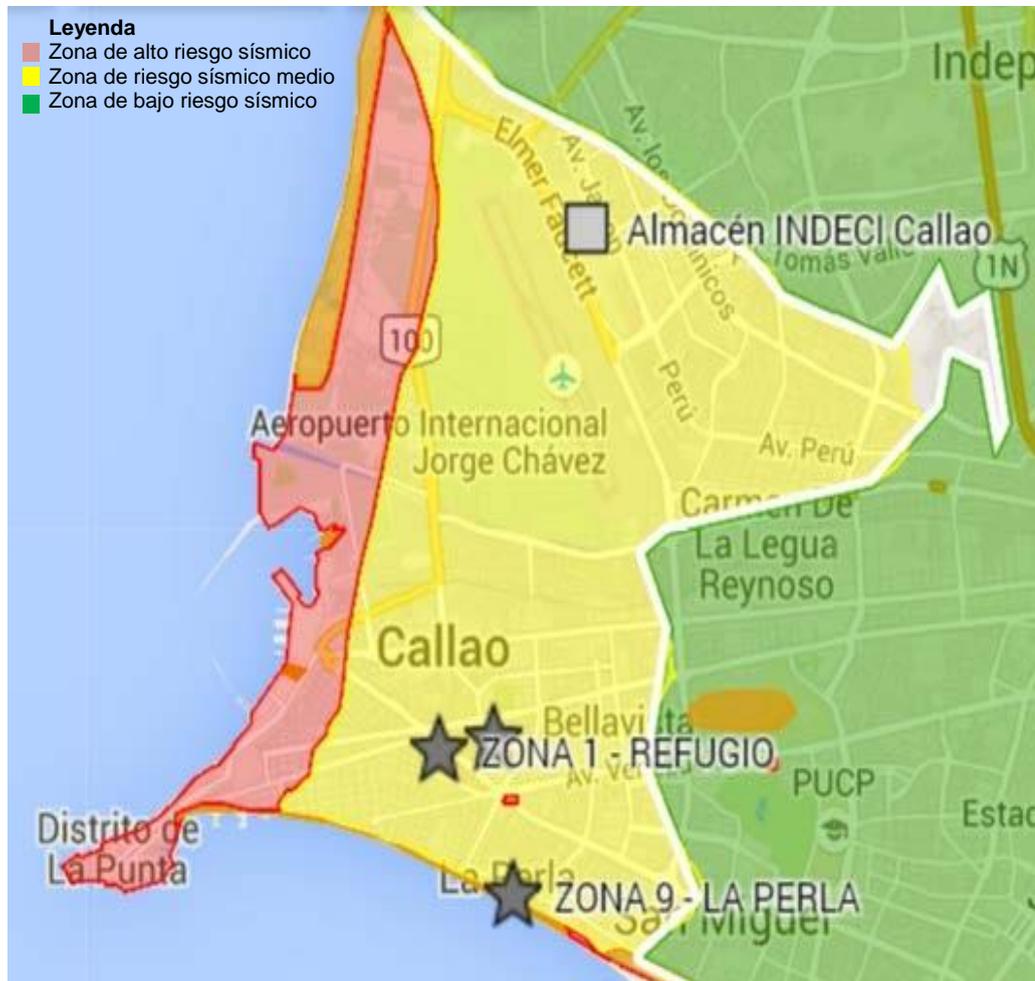
El vehículo utilizado para el desarrollo del modelo está denominado en el mercado de transportes de Lima y Callao como el “PE21”. La capacidad neta volumétrica del camión es de 50 m³ y puede soportar un peso de hasta 13 toneladas. Se eligió este tipo y tamaño de vehículo porque es el camión de mayor capacidad que puede recorrer calles y avenidas dentro de la ciudad Lima y Callao. La capacidad de traslado de *kits* de ayuda humanitaria se ha determinado según los 50 m³ volumen del vehículo y no según el peso porque el volumen en este caso es la variable limitante dado la capacidad del camión en volumen y peso. La tabla 4.8. resume la capacidad, tiempo de descarga y velocidad del camión.

Tabla 4.7. Artículos considerados en el *kit* de ayuda humanitaria

Artículos	Volumen total (m ³)	Peso total (kg)
Abrigo	0.50	1.79
Frazada polar (1 ½ plaza)	0.34	0.77
Colcha (1 ½ plaza)	0.17	1.00
Sábana (1 ½ plaza)	0.00	0.01
Enseres	0.09	1.31
Balde de plástico de 15 litros	0.00	0.08
Bidón de plástico con tapa (131 litros)	0.03	0.72
Cuchara para sopa	0.00	0.02
Cucharón de aluminio	0.00	0.41
Cuchillo para cocina	0.03	0.00
Vaso de plástico	0.03	0.02
Plato hondo de plástico	0.00	0.05
<i>Kit</i> de higiene	0.01	0.26
Toalla de mano	0.01	0.08

Artículos	Volumen total (m ³)	Peso total (kg)
Pasta dental	0.00	0.09
Cepillo de dientes	0.00	0.00
Jabón de tocador	0.00	0.09
Techo	0.03	0.75
Carpa familiar para seis personas	0.03	0.75
Kit de ayuda humanitaria	0.64	4.10

Fuente: MINSA (2005)
Elaboración propia



Mapa 4.3. Zonificación sísmica de Lima y Callao del *cluster A*
Fuente: Google Maps (2016)

Tabla 4.8. Resumen de capacidad, tiempo de descarga y velocidad del camión

Concepto	Valor	Unidad
Volumen de cada <i>kit</i>	0.64	m ³ / <i>kit</i>
Capacidad del camión	50	m ³
Capacidad del camión	78	<i>Kit</i>
Tiempo de descarga	3.20	minutos/m ³

Concepto	Valor	Unidad
Tiempo de descarga	2.05	minutos/ <i>kit</i>
Velocidad	30	km/h

Fuente: Empresa ABC (2015)

Elaboración propia

Nivel de inventario de *kits* de ayuda humanitaria

Escenario 1: modelo VRPTW con la capacidad actual del INDECI para abastecer a los afectados de la región del Callao.

A la fecha (año 2015-2016), el INDECI cuenta con *kits* de ayuda humanitaria para abastecer al 10% del estimado total de afectados por desastres naturales a nivel Perú. En la tabla 4.9 se muestra el número estimado de afectados por INDECI en el 2015 y el 10% correspondiente.

Tabla 4.9. Inventario de *kits* del INDECI

Nivel de inventario	Cantidad de <i>kits</i>
Estimación de los afectados 2015	642,032
Capacidad actual INDECI (10%)	64,203

Fuente: INDECI (2015)

Elaboración propia

Por otro lado, según el INDECI, los *kits* de ayuda humanitaria se repartirían según la población relativa de cada región. En la tabla 4.10, se calculó la cantidad de 2,792 *kits* correspondientes al Callao según la población relativa de cada región, y en la tabla 4.11 se muestra la asignación de *kits* correspondiente a cada zona de refugio en el Callao.

Tabla 4.10. Cantidad de *kits* de ayuda humanitaria asignados a cada región

Región	Población relativa	Cantidad de <i>kits</i>
Lima	0.42	27,186
La Libertad	0.08	5,139
Piura	0.08	5,096
Junín	0.06	3,733
Arequipa	0.06	3,852
Puno	0.06	3,912
Cusco	0.06	3,638
Callao	0.04	2,792
Loreto	0.04	2,872
Ica	0.03	2,175

Región	Población relativa	Cantidad de kits
Lambayeque	0.01	820
Tumbes	0.01	657
Tacna	0.01	945
Amazonas	0.01	332
Pasco	0.01	840
Total	1.00	64,203

Elaboración propia

Tabla 4.11. Cantidad de *kits* de ayuda humanitaria asignados por zona de refugio según la proporción de habitantes por zona de refugio en la región del Callao

Zona de refugio	Descripción de establecimiento	Población relativa	Cantidad de kits
Zona 1 : La Punta	Club Tiro Bellavista	0.02	53
Zona 2 : Callao Sur	Estadio Telmo Carbajo	0.15	410
Zona 3 : Chucuito Callao Centro	Estadio Miguel Grau	0.06	172
Zona 4 : Callao Monumental	Parque Yahuar Huaca	0.15	405
Zona 5 : Santa Marina	Explanada de la Municipalidad Provincial del Callao	0.03	93
Zona 6 : Chacaritas	Institución educativa República de Venezuela	0.05	129
Zona 7 : Miranaves	Parque Mariscal Ramón Castilla	0.02	56
Zona 8 : Bellavista	Plaza de Armas Isabel la Católica y Estadio Telmo Carbajo	0.21	598
Zona 9 : La Perla	Colegio Militar "Leoncio Prado"	0.19	527
Zona 10 : Sarita Colonia	Hacienda San Agustín	0.04	117
Zona 11 : Oquendo	Elevaciones de la jurisdicción	0.04	108
Zona 12 : Márquez	Zona agrícola y elevaciones	0.04	123
Total		1.00	2,791

Fuente: MINSA (2015)

Elaboración propia

Escenario 2: modelo VRPTW con la capacidad actual del INDECI para todo el Perú para abastecer a los afectados de la región del Callao.

El INDECI cuenta con 17 almacenes nacionales alrededor del Perú que contienen 64,203 *kits* de ayuda humanitaria para abastecer al 10% del estimado total de afectados de todo el país, como se mostró en la tabla 4.9. El escenario considera que si ocurriese un sismo nivel de emergencia 5, los *kits* de emergencia alojados en todos los almacenes regionales del Perú serían destinados a abastecer la zona de Lima Metropolitana y Callao. Como se indicó en el capítulo 3, este escenario tiene un precedente cuando ocurrió el sismo del año 2007 en Pisco: debido a que la

cantidad de *kits* en Ica no fue suficiente para abastecer a los afectados, se envió a Pisco los *kits* desde varios de los almacenes nacionales del Perú.

La cantidad total de 64,203 *kits* se dividiría proporcionalmente entre la población de Lima Metropolitana y Callao. Por tanto, según el nivel de inventario actual de bienes de ayuda humanitaria, se podría abastecer solamente a 6,927 del escenario 2 más un adicional igual a 57,276 personas afectadas en el Callao y Lima respectivamente, como se indica en la tabla 4.12.

Escenario 3: modelo VRPTW para abastecer a los afectados de la región del Callao según la cantidad estimada de afectados por el GORE-Callao.

En este escenario el nivel de inventario está definido por la estimación de afectados según el área de defensa civil del GORE-Callao. La estimación propuesta asciende al 50% de la población actual del Callao (L. Reyes, entrevista personal, 2015) que es igual a 1,013,936 habitantes, por tanto, el modelo se desarrollará para abastecer a 506,968 personas afectadas, como se muestra en la tabla 4.12.

Tabla 4.12. Escenarios según estimación de número de *kits* para personas afectadas

Zona de refugio	Población relativa	Demanda (<i>kits</i>)		
		Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Zona 1 : La Punta	0.02	53	132	9,627
Zona 2 : Callao Sur	0.15	410	1,017	74,449
Zona 3 : Chucuito Callao Centro	0.06	172	427	31,220
Zona 4 : Callao Monumental	0.15	405	1,005	73,539
Zona 5 : Santa Marina	0.03	93	232	16,956
Zona 6 : Chacaritas	0.05	129	320	23,434
Zona 7 : Miranaves	0.02	56	140	10,253
Zona 8 : Bellavista	0.21	598	1,483	108,521
Zona 9 : La Perla	0.19	527	1,308	95,748
Zona 10 : Sarita Colonia	0.04	117	291	21,294
Zona 11 : Oquendo	0.04	108	269	19,653
Zona 12 : Márquez	0.04	123	304	22,273
Total	1.00	2,792	6,927	506,967

Elaboración propia

Supuestos del modelo

El modelo VRPTW descrito previamente está sujeto a los siguientes supuestos:

- El modelo es determinístico; por tanto las rutas estarán operativas para la circulación de vehículos. De esta manera se evita la naturaleza aleatoria del estado de las vías y de los almacenes por causa del terremoto, situación que está fuera del alcance de esta tesis.
- Los almacenes nacionales del INDECI en las demás provincias del Perú permanecen operativos después de ocurrido el sismo.
- En los tres escenarios, los TMT y TMP priorizan el abastecimiento de las zonas de refugio más críticas en el Callao según su ubicación geográfica y vulnerabilidad física de acuerdo con el mapa de zonificación sísmica de Lima Metropolitana y Callao (vea el mapa 4.3). Al priorizar estas zonas, nos aseguramos que cuando el modelo proponga una ruta con paradas múltiples para un camión específico, siempre priorice la zona de refugio en donde se encuentren los afectados en zonas sísmicas más vulnerables a pesar de que la distancia entre la zona y el almacén sea mayor que la de otra zona.
- El sismo es de magnitud 6.0 a más en la escala de Richter y nivel de emergencia 5 según la clasificación del INDECI, por lo que se declara el estado de emergencia.
- No se genera un tsunami después del sismo, por tanto, las zonas de refugio 1, 9 y 12 definidas por el GORE-Callao y próximas al litoral, no serán afectadas.
- Las fábricas en zona industrial del Callao no colapsan ni emiten sustancias tóxicas ocasionadas por daños en su infraestructura por causa del movimiento telúrico; por tanto, las rutas estarían disponibles para la circulación de los vehículos.
- El escenario 1 solo considera la distribución de la cantidad actual disponible de *kits* de ayuda humanitaria en el almacén nacional del Callao.
- Los escenarios 2 y 3 contempla la cantidad de *kits* de ayuda humanitaria desde los almacenes nacionales del resto del país hacia el almacén general del Callao y su distribución hacia las zonas de refugio.
- El escenario 3 considera que aproximadamente el 90% de *kits* de ayuda humanitaria para abastecer a los afectados y damnificados según la estimación del GORE-Callao proviene de entidades públicas y privadas, y de la ayuda internacional.

- El puerto del Callao y el aeropuerto internacional Jorge Chávez se mantienen operativos después de ocurrido el terremoto para que sea factible la recepción de la ayuda humanitaria desde el exterior contemplada en el escenario 3.
- Las personas afectadas se concentran en las zonas de refugio asignadas y comunicadas previamente por el área de defensa del GORE-Callao.

4.3. El modelo VRPTW en el lenguaje de modelado en LINGO

El modelo VRPTW se codificó en el lenguaje de modelado en LINGO versión 11. Dada la cantidad de parámetros, variables de decisión y nodos del VRPTW, el modelo en LINGO permite modificar los datos y parámetros sin necesidad de alterar sustancialmente el código y generar las soluciones óptimas del modelo en los tres escenarios definidos en la sección 4.2.

El modelo en el lenguaje de modelado en LINGO es el siguiente:

```

MODEL:

SETS:

CLIENTES/1..14/:S,TMP,TMT,DEMANDA; !1:es el depósito 0 ;
!14:es el depósito n+1;
CAMIONES/1..14/;
SETD1(CLIENTES,CLIENTES):DISTANCIA,T;
SETD2(CLIENTES,CLIENTES,CAMIONES):X;
SETD3(CLIENTES,CAMIONES):W;

ENDSETS

DATA:

M=1000000;

S,TMP,TMT,DEMANDA,DISTANCIA,T,CAPACIDAD,E,L=
@OLE('C:\Escenario 1 - Modelo remanentes.xlsx');
@OLE('C:\Escenario 1 - Modelo Remanentes.xlsx')=W;

ENDDATA

!Función objetivo;
MIN=@SUM(SETD1(I,J):DISTANCIA(I,J)*@SUM(SETD2(I,J,K):X(I,J,K)));

!Restricciones;

!Restricción (1) modelo VRPTW;

@FOR(CAMIONES(K):@SUM(SETD2(I,J,K)|I#EQ#1#AND#I#NE#J:X(I,J,K))=1);
  
```

```

!Restricción (2) modelo VRPTW;

@FOR (CLIENTES (I) | I#GT#1#AND#I#LT#@SIZE (CLIENTES) :
    @SUM (SETD2 (I, J, K) | J#GT#1#AND#I#NE#J:X (I, J, K) )=1) ;

!Restricción (3) modelo VRPTW;

@FOR (SETD3 (J, K) | J#GT#1#AND#J#LT#@SIZE (CLIENTES) :
    @SUM (SETD2 (I, J, K) | I#NE#J:X (I, J, K) ) -
    @SUM (SETD2 (U, R, K) | U#EQ#J#AND#U#NE#R:X (U, R, K) )=0) ;

!Restricción (4) modelo VRPTW;

@FOR (CAMIONES (K) :@SUM (SETD2 (I, J, K) | J#EQ#@SIZE (CLIENTES) #AND#I#NE#J:
    X (I, J, K) )=1) ;

!Restricción (5) modelo VRPTW;

@FOR (SETD2 (I, J, K) | I#NE#J:
    W (I, K) +S (I) +T (I, J) -W (J, K) <= M* (1- X (I, J, K) ) ) ;

!Restricción (6) modelo VRPTW;

@FOR (SETD3 (I, K) | I#GT#1#AND#I#LT#@SIZE (CLIENTES) :
    TMP (I) *@SUM (SETD2 (I, J, K) | I#NE#J:X (I, J, K) ) <=W (I, K) ) ;
@FOR (SETD3 (I, K) | I#GT#1#AND#I#LT#@SIZE (CLIENTES) :
    TMT (I) *@SUM (SETD2 (I, J, K) | I#NE#J:X (I, J, K) ) >=W (I, K) ) ;

!Restricción (7) modelo VRPTW;

@FOR (SETD3 (I, K) | I#EQ#1#OR#I#EQ#@SIZE (CLIENTES) :W (I, K) >=E) ;
@FOR (SETD3 (I, K) | I#EQ#1#OR#I#EQ#@SIZE (CLIENTES) :W (I, K) <=L) ;

!Restricción (8) modelo VRPTW;
@FOR (CAMIONES (K) :@SUM (CLIENTES (I) | I#GT#1#AND#I#LT#@SIZE (CLIENTES) :
    @SUM (SETD2 (U, J, K) | U#EQ#I#AND#U#NE#J:
    DEMANDA (U) *X (U, J, K) ) ) <=CAPACIDAD) ;

!Rango de existencia;
@FOR (SETD2 (I, J, K) :@BIN (X (I, J, K) ) ) ;@FOR (SETD2 (I, J, K) |
    I#EQ#J#AND#I#GT#1#AND#I#LT#@SIZE (CLIENTES) :X (I, J, K) =0) ;
  
```

CAPÍTULO 5. RESULTADOS DEL MODELO VRPTW

5.1. Resultados del escenario 1

Escenario 1: modelo VRPTW con capacidad actual del INDECI para abastecer a los afectados de la región Callao.

En el escenario 1 se optimizó el modelo VRPTW en cada uno de los *clusters* A, B, C y D. A continuación se muestra el detalle de los parámetros y resultados del *cluster* C.

Cluster C

El *cluster* C está compuesto por el mayor número de zonas de refugio, razón por la cual se ha decidido explicar como ejemplo. Dicho *cluster* incluye las siguientes zonas de refugio: 4, 7, 10, 11 y 12. Las tablas a continuación muestran los parámetros del modelo en el escenario 1 para el *cluster* C:

La tabla 5.1 muestra las distancias en metros entre los nodos o subzonas del *cluster* C. Estas distancias se tomaron de Google Maps (2016).

La tabla 5.2 muestra los tiempos de desplazamiento en minutos, cuando un vehículo se traslada de un nodo o subzona a otro, ubicados en el mismo *cluster* C a una velocidad promedio de 30 km/h. En el anexo 18 se muestra el resto de datos del *cluster* C.

Luego de resolver el modelo VRPTW durante más de 540 minutos y después de 56,076, 865 iteraciones se obtuvo lo siguiente:³⁹ en el *cluster* C la distancia mínima recorrida para abastecer a las 810 personas afectadas es 132 km, y se requiere 11 camiones de 50 m³ que salen simultáneamente del almacén para repartir los 810 kits de ayuda humanitaria. Los resultados explicados se resumen en las tablas 5.3 y 5.4. El gráfico 5.1 ilustra el ruteo propuesto de los nodos con demandas remanentes y los mapas 5.1 y 5.2 representan dicho ruteo en el plano geográfico.

³⁹ En los anexos 19 y 20 se muestra el modelo en LINGO para el *cluster* C en el escenario 1 y la solución del modelo, respectivamente.

Tabla 5.1. Distancias entre nodos del *cluster* C (en metros)

	Almacén INDECI	Zona 4.1	Zona 4.2	Zona 4.3	Zona 4.4	Zona 4.5	Zona 4.6	Zona 7	Zona10.1	Zona 10.2	Zona 11.1	Zona 11.2	Zona 12.1	Zona 12.2	Almacén INDECI
Almacén INDECI	-	4,000	4,050	4,100	4,150	4,200	4,250	7,000	7,000	7,050	5,000	5,050	10,000	10,050	-
Zona 4.1	4,000	-	50	50	50	50	50	2,400	4,000	4,050	4,600	4,650	9,000	9,050	4,000
Zona 4.2	4,050	50	-	50	50	50	50	2,450	8,400	8,450	4,650	4,700	9,050	9,100	4,050
Zona 4.3	4,100	50	50	-	50	50	50	2,500	8,450	8,500	4,700	4,750	9,100	9,150	4,100
Zona 4.4	4,150	50	50	50	-	50	50	2,550	8,500	8,550	4,750	4,800	9,150	9,200	4,150
Zona 4.5	4,200	50	50	50	50	-	50	2,600	8,550	8,600	4,800	4,850	9,200	9,250	4,200
Zona 4.6	4,250	50	50	50	50	50	-	2,650	8,600	8,650	4,850	4,900	9,250	9,300	4,250
Zona 7	7,000	4,000	2,450	2,500	2,550	2,600	2,650	-	6,200	6,250	6,000	6,050	9,900	9,950	7,000
Zona 10.1	7,000	4,000	4,050	4,100	4,150	4,200	4,250	6,200	-	50	11,000	11,050	6,000	6,050	7,000
Zona 10.2	7,050	4,050	4,100	4,150	4,200	4,250	4,300	6,250	50	-	11,050	11,100	6,050	6,100	7,050
Zona 11.1	5,000	4,000	4,050	4,100	4,150	4,200	4,250	6,000	11,000	11,050	-	50	4,000	4,050	5,000
Zona 11.2	5,050	4,050	4,100	4,150	4,200	4,250	4,300	6,050	11,050	11,100	50	-	4,050	4,100	5,200
Zona 12.1	10,000	4,000	4,050	4,100	4,150	4,200	4,250	9,900	6,000	6,050	4,000	4,050	-	50	10,000
Zona 12.2	10,050	4,050	4,100	4,150	4,200	4,250	4,300	9,950	6,050	6,100	4,050	4,100	50	-	10,050
Almacén INDECI	-	4,000	4,050	4,100	4,150	4,200	4,250	7,000	7,000	7,050	5,000	5,050	10,000	10,050	-

Fuente: Google Maps (2016)
Elaboración propia

Tabla 5.2. Tiempos de desplazamiento entre nodos del *cluster C* (en minutos)

	Almacén INDECI	Zona 4.1	Zona 4.2	Zona 4.3	Zona 4.4	Zona 4.5	Zona 4.6	Zona 7	Zona10.1	Zona 10.2	Zona 11.1	Zona 11.2	Zona 12.1	Zona 12.2	Almacén INDECI
Almacén INDECI	-	9.00	9.10	9.21	9.31	9.42	9.52	17.00	14.00	14.10	13.00	13.10	17.00	17.10	-
Zona 4.1	9.00	-	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	5.01	8.34	8.45	9.60	9.70	18.78	18.88	8.34
Zona 4.2	9.10	0.10	-	0.10	0.10	0.10	0.10	5.11	8.45	8.55	9.70	9.81	18.88	18.98	8.45
Zona 4.3	9.21	0.10	0.10	-	0.10	0.10	0.10	5.22	8.55	8.66	9.81	9.91	18.98	19.09	8.55
Zona 4.4	9.31	0.10	0.10	0.10	-	0.10	0.10	5.32	8.66	8.76	9.91	10.01	19.09	19.19	8.66
Zona 4.5	9.42	0.10	0.10	0.10	0.10	-	0.10	5.42	8.76	8.87	10.01	10.12	19.19	19.30	8.76
Zona 4.6	9.52	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	-	5.53	8.87	8.97	10.12	10.22	19.30	19.40	8.87
Zona 7	17.00	5.01	5.11	5.22	5.32	5.42	5.53	-	12.93	13.04	12.52	12.62	20.65	20.76	14.60
Zona 10.1	14.00	8.34	8.45	8.55	8.66	8.76	8.87	12.93	-	0.10	22.95	23.05	12.52	12.62	14.60
Zona 4.2	14.10	8.45	8.55	8.66	8.76	8.87	8.97	13.04	0.10	-	23.05	23.16	12.62	12.73	14.71
Zona 11.1	13.00	9.60	9.70	9.81	9.91	10.01	10.12	12.52	22.95	23.05	-	0.10	8.34	8.45	10.43
Zona 11.2	13.10	9.70	9.81	9.91	10.01	10.12	10.22	12.62	23.05	23.16	0.10	-	8.45	8.55	10.54
Zona 12.1	17.00	18.78	18.88	18.98	19.09	19.19	19.30	20.65	12.52	12.62	8.34	8.45	-	0.10	20.86
Zona 12.2	17.10	18.88	18.98	19.09	19.19	19.30	19.40	20.76	12.62	12.73	8.45	8.55	0.10	-	20.97
Almacén INDECI	-	8.34	8.45	8.55	8.66	8.76	8.87	14.60	14.60	14.71	10.43	10.54	20.86	20.97	-

Fuente: Google Maps (2016)
Elaboración propia

Tabla 5.3. Resultados del *cluster C*

Cluster	C
Zonas de refugio	4, 7, 10, 11 y 12
Cantidad de nodos	15
Demanda (<i>kits</i>)	810
Cantidad de iteraciones	56,076,865
Cantidad de camiones utilizados	11
Distancia total recorrida (km)	132

Elaboración propia

Tabla 5.4. Rutas vehiculares propuestas en el *cluster C*

Cluster	Ruteo	Ruta	Ruta (subzona)
C	C.1.1	1 - 8 - 7 - 15	Almacén – Zona 7 – Zona 4.6 – Almacén
	C.1.2	1 - 12 - 14 - 15	Almacén – Zona 11.2 – Zona 12.2 – Almacén

Elaboración propia

Cluster A

Los datos del *cluster A* se muestran desde el anexo 4 hasta el anexo 8. En el *cluster A* también se optimizó el modelo VRPTW pero el tiempo para generar la solución fue apreciablemente menor:⁴⁰ 50 minutos, y encontró la solución después de 983 iteraciones. En el *cluster A* la distancia mínima recorrida para abastecer a las 752 personas afectadas es 228 km y se requiere 10 camiones de 50 m³ que salen simultáneamente del almacén para repartir los 752 *kits* de ayuda humanitaria.

Los resultados explicados y las rutas propuestas para los nodos con demandas remanentes se resumen en las tablas 5.5 y 5.6, respectivamente. El gráfico 5.2 ilustra el ruteo propuesto para dichos nodos y el mapa 5.3 representa dicho ruteo en el plano geográfico.

Cluster B

Los datos del *cluster B* se muestran desde el anexo 11 hasta el anexo 15. En el *cluster B* también se optimizó el modelo VRPTW y el tiempo para obtener el óptimo fue menor que en los *clusters A* y *C*:⁴¹ 15 minutos, y generó la solución después de 256 iteraciones. En el *cluster B* la distancia mínima recorrida para abastecer a las 1,008 personas afectadas es 263 km y se requiere 13 camiones de 50 m³ que salen simultáneamente del almacén para repartir los 1,008 *kits* de ayuda humanitaria.

⁴⁰ En los anexos 9 y 10 se muestra el modelo en LINGO para el *cluster A* en el escenario 1 y la solución del modelo, respectivamente.

⁴¹ En los anexos 16 y 17 se muestra el modelo en LINGO para el *cluster B* en el escenario 1 y la solución del modelo, respectivamente.

Los resultados explicados y las rutas propuestas para los nodos con demandas remanentes también se resumen en las tablas 5.5 y 5.6, respectivamente. El gráfico 5.3 ilustra el ruteo propuesto para dichos nodos y el mapa 5.4 representa dicho ruteo en el plano geográfico.

Cluster D

Los datos del *cluster* D se muestran desde el anexo 21 hasta el anexo 25. En el *cluster* D, el tiempo para obtener el óptimo del modelo VRPTW⁴² fue 30 minutos, y encontró la solución después de 557 iteraciones. En el *cluster* D la distancia mínima recorrida para abastecer a las 222 personas afectadas es 99 km y se requiere tres camiones de 50 m³ que salen simultáneamente del almacén para repartir los 222 *kits* de ayuda humanitaria.

Los resultados explicados y las rutas propuestas para los nodos se resumen en las tablas 5.5 y 5.6, respectivamente. El gráfico 5.4 ilustra el ruteo propuesto para dichos nodos y el mapa 5.5 representa dicho ruteo en el plano geográfico.

Tabla 5.5. Resultados de los nodos por *cluster* – Escenario 1

<i>Cluster</i>	Zonas de refugio	Cantidad de nodos	Demanda (<i>kits</i>)	Cantidad total de camiones utilizados	Distancia recorrida (km)	Tiempo transcurrido (horas)	Max $W(i,k)$ (minutos)
A	1,3 y 9	13	752	10	228	8	168
B	2 y 8	16	1,008	13	263	9	81
C	4, 7, 10, 11 y 12	15	810	11	132	5	152
D	5 y 6	6	222	3	99	3	74
Total		50	2,792	37	721	25	168

Elaboración propia

Tabla 5.6. Rutas vehiculares propuestas – Escenario 1

<i>Cluster</i>	Ruteo	Ruta
A	A.1.1	Almacén – Zona 9.7 – Zona 3.3 – Almacén
B	B.1.1	Almacén – Zona 2.6 – Zona 8.8 – Almacén
C	C.1.1	Almacén – Zona 7 – Zona 4.6 – Almacén
	C.1.2	Almacén – Zona 11.2 – Zona 12.2 – Almacén
D	D.1.1	Almacén – Zona 5.2 – Zona 6.2 – Almacén

Elaboración propia

⁴² En los anexos 26 y 27 se muestra el modelo en LINGO para el *cluster* D en el escenario 1 y la solución del modelo, respectivamente.

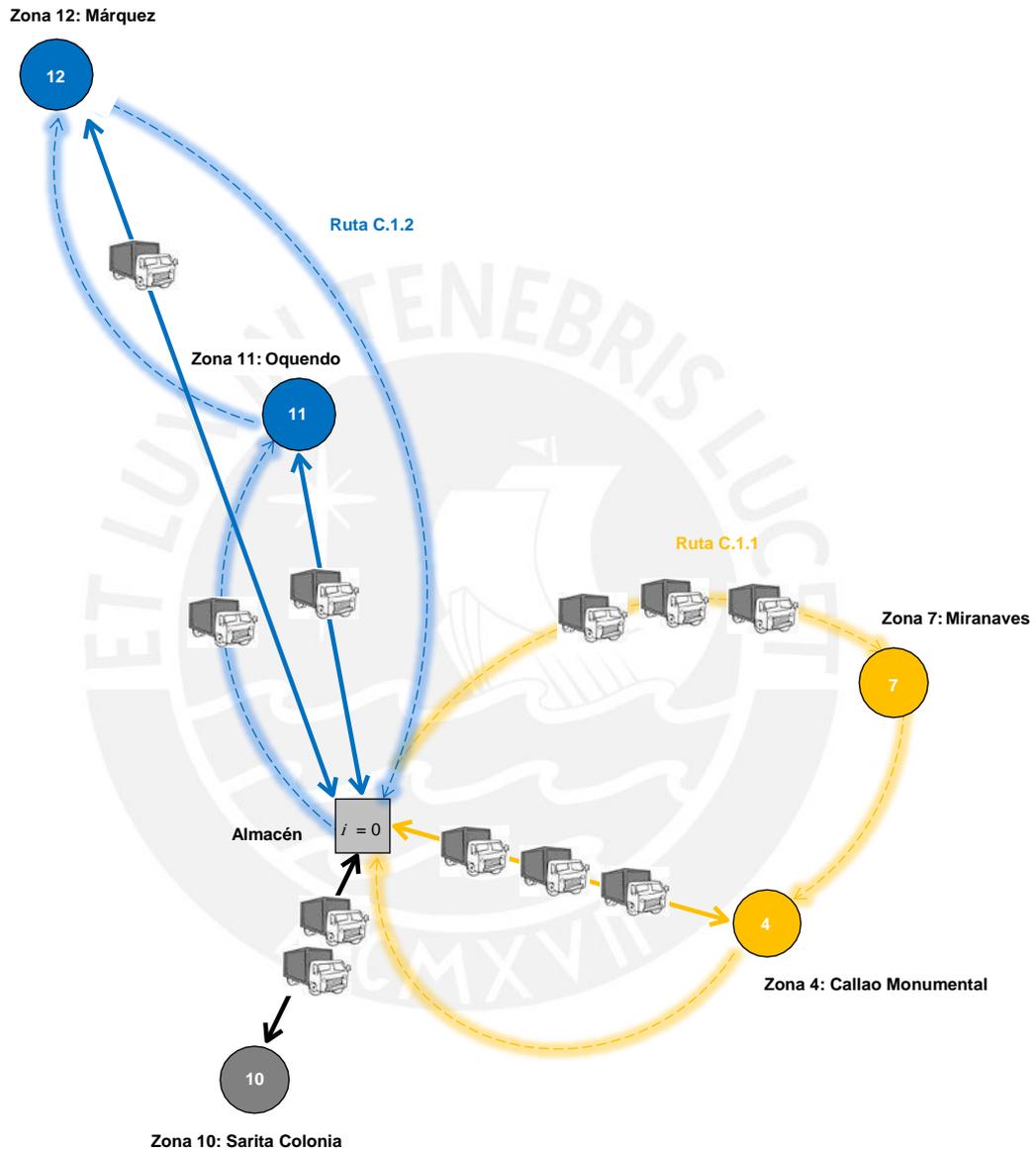
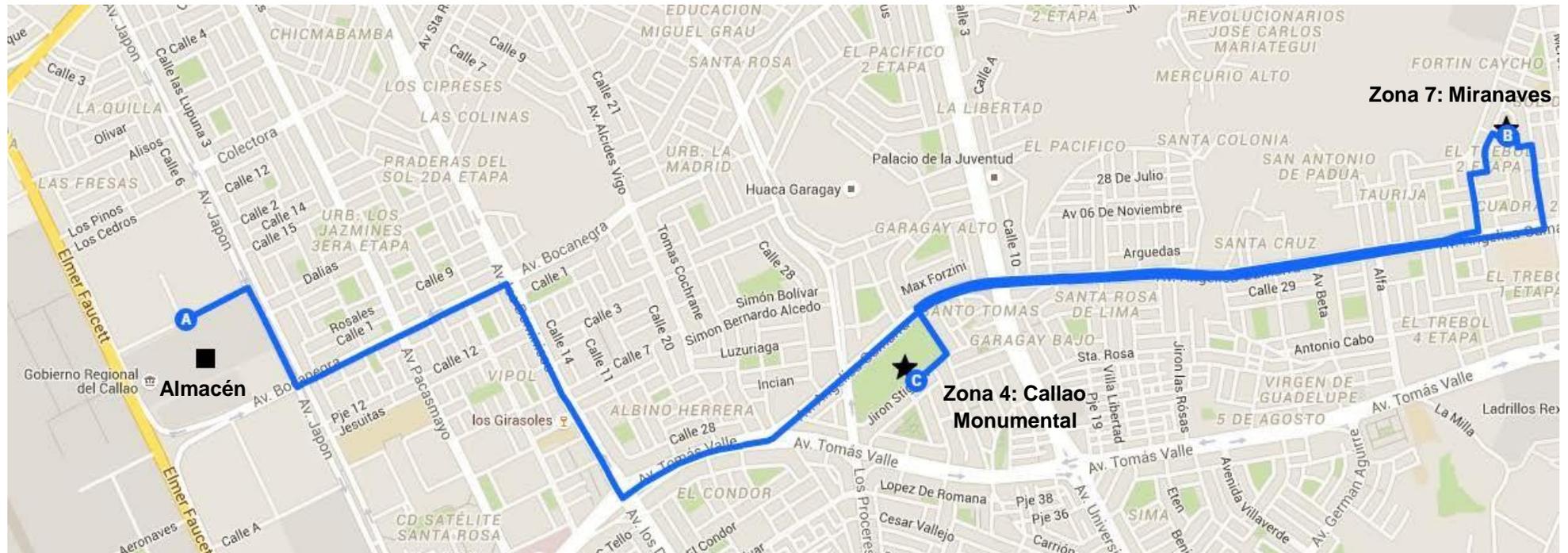
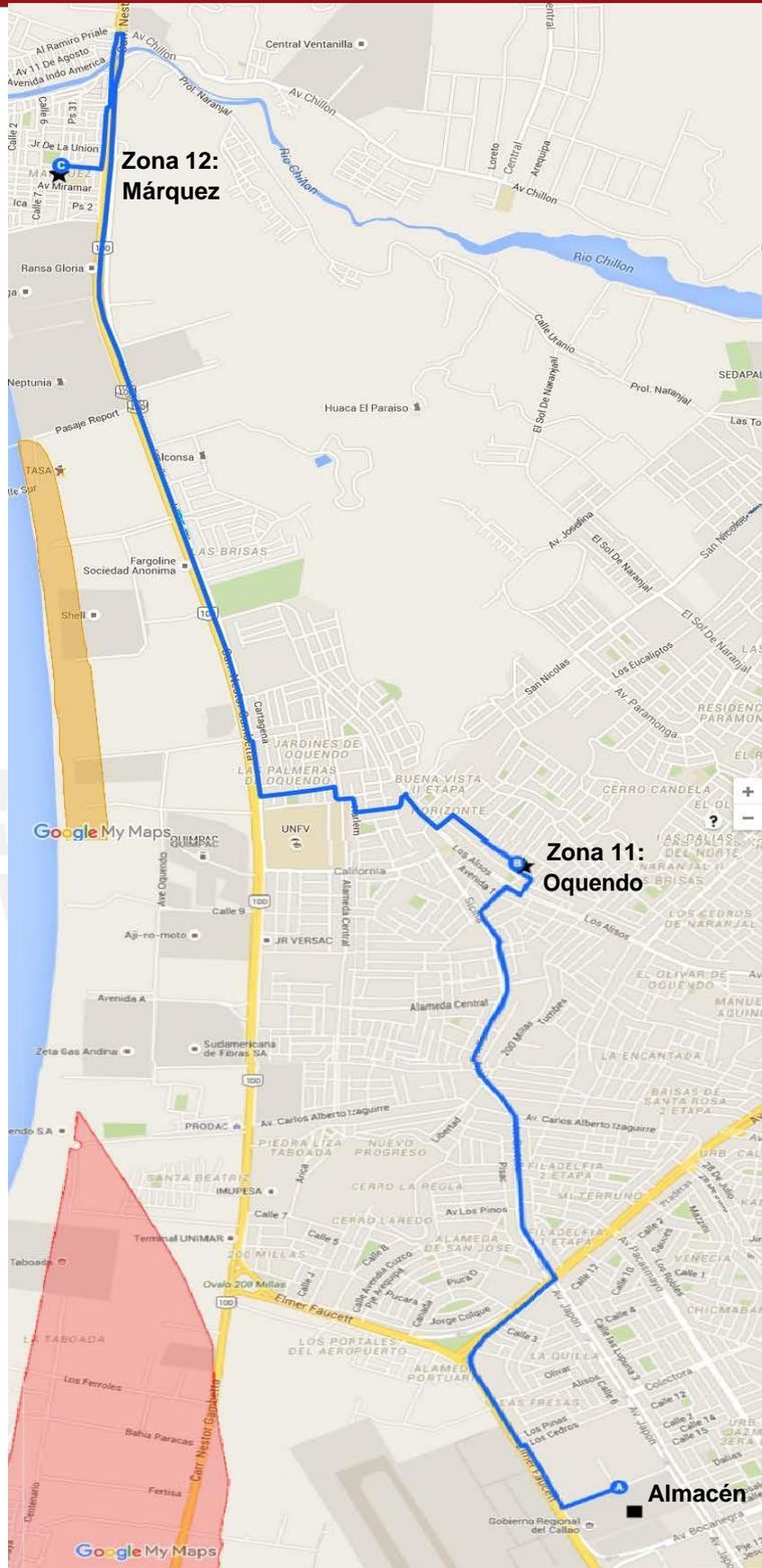


Gráfico 5.1. Ruteo vehicular del *cluster* C – Escenario 1 – Zonas de refugio 4, 7, 10, 11 y 12
Elaboración propia



Mapa 5.1. Ruteo vehicular *cluster C* – Escenario 1 - Ruta C.1.1
 Fuente: Google Maps (2016)



Mapa 5.2. Ruteo vehicular *cluster C* – Ruta C.1.2
Fuente: Google Maps (2016)

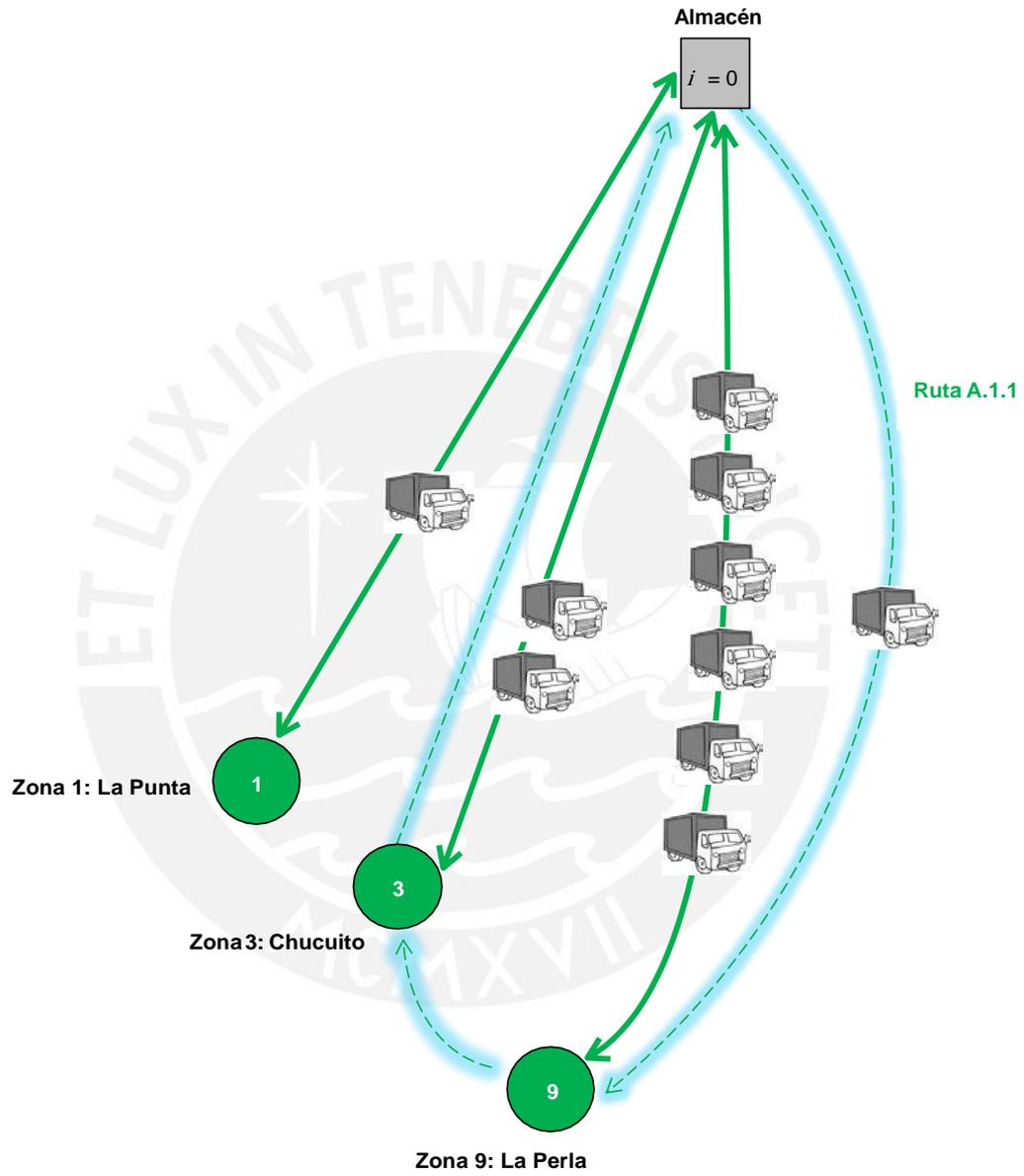
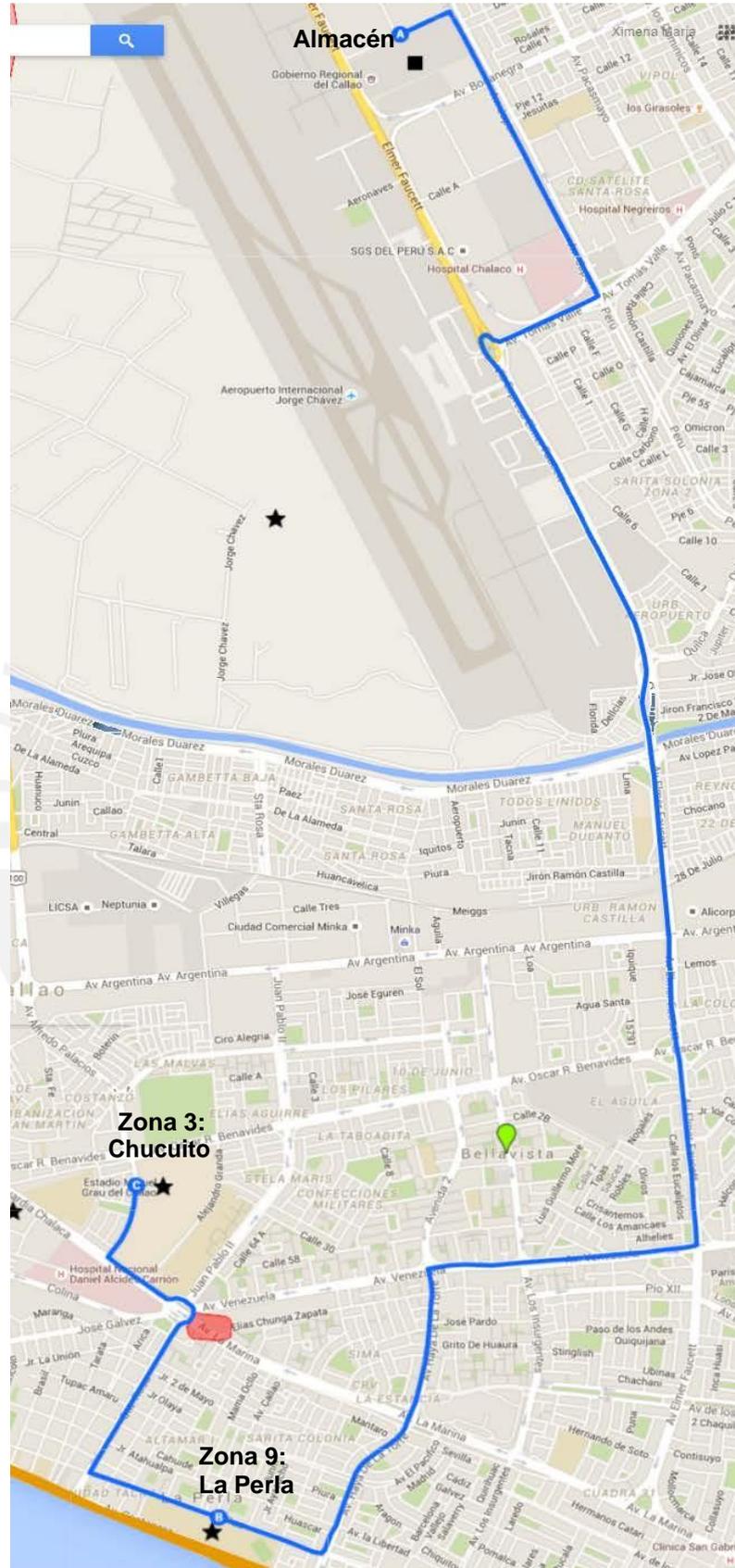


Gráfico 5.2. Ruteo vehicular del *cluster* A – Escenario 1 – Zonas de refugio 1, 3 y 9
Elaboración propia



Mapa 5.3. Ruteo vehicular *cluster* A – Ruta A.1.1
Fuente: Google Maps (2016)

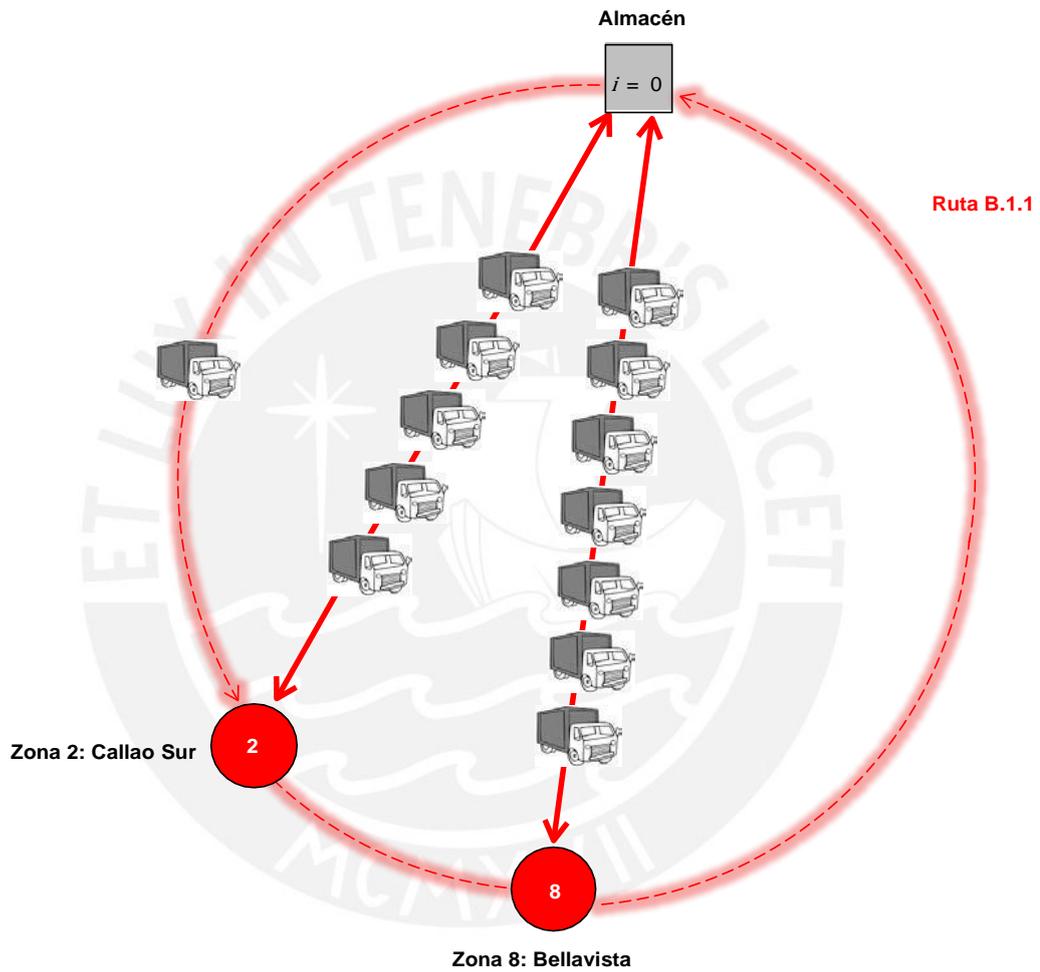
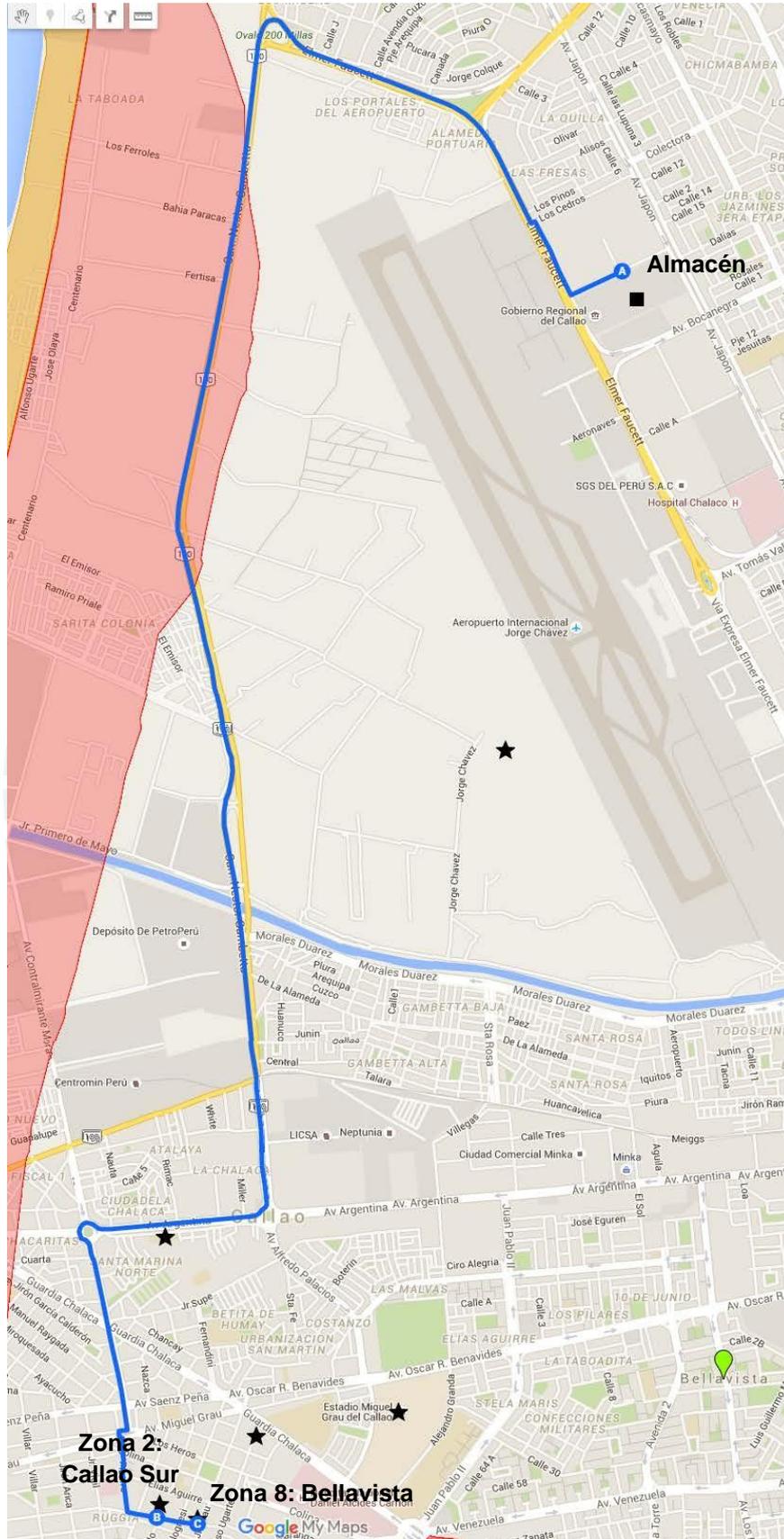


Gráfico 5.3. Ruteo vehicular del *cluster* B – Escenario 1 – Zonas de refugio 2 y 8
Elaboración propia



Mapa 5.4. Ruteo vehicular *cluster* B – Ruta B.1.1
Fuente: Google Maps (2016)

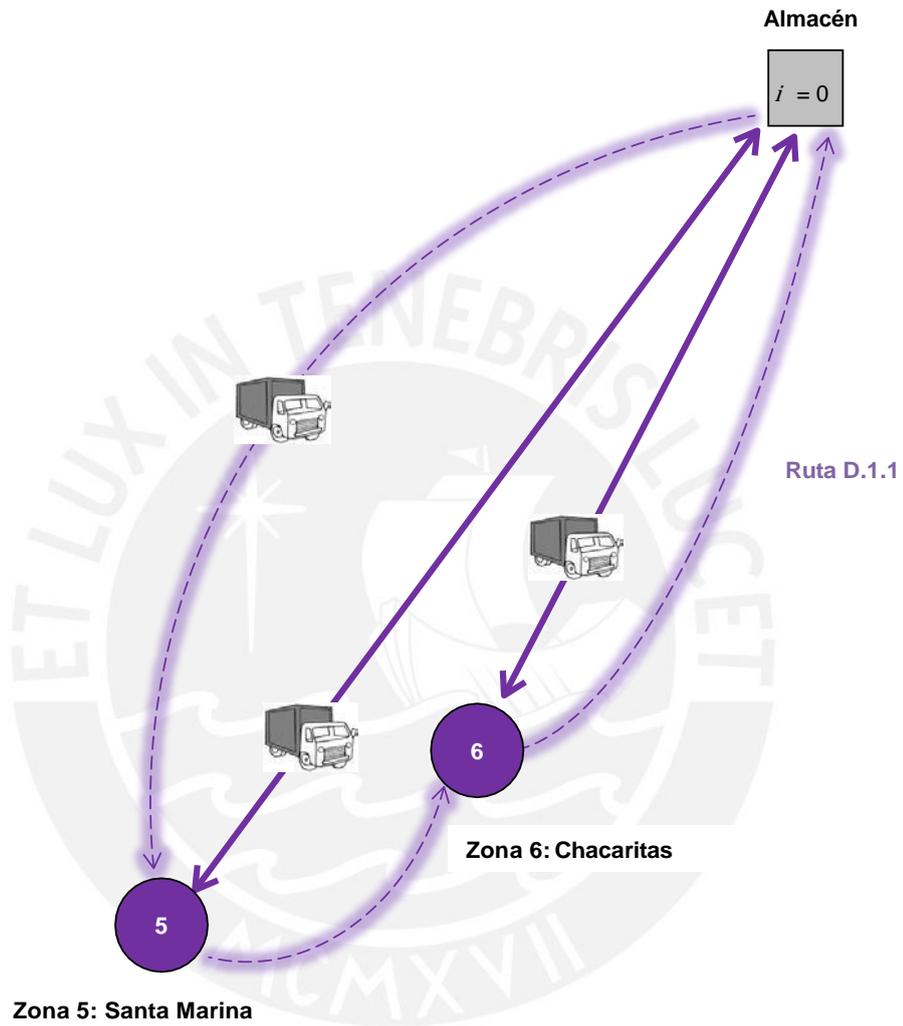
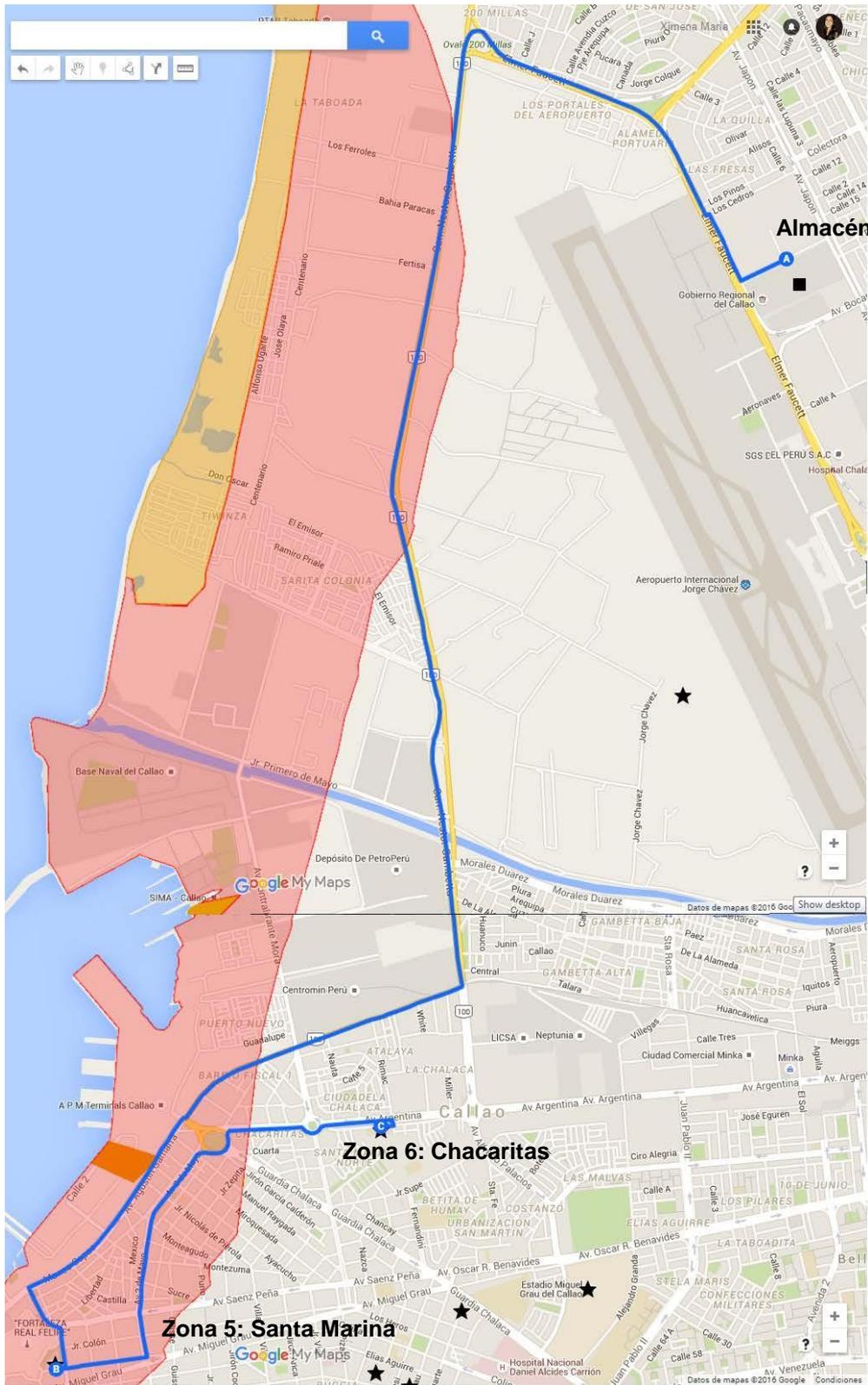


Gráfico 5.4. Ruteo vehicular del *cluster* D – Escenario 1 – Zonas de refugio 5 y 6
Elaboración propia



Mapa 5.5. Ruteo vehicular *cluster* D – Ruta D.1.1
Fuente: Google Maps (2016)

5.2. Resultados del escenario 2

Escenario 2: modelo VRPTW con la capacidad actual del INDECI para todo el Perú para abastecer a los afectados de la región del Callao.

En el escenario 2 se optimizó el modelo VRPTW en cada uno de los *clusters* A, B, C y D y la solución del modelo considerando camiones hacia nodos regulares y remanentes indica que la distancia mínima recorrida es de 1,314 km. Dada la complejidad computacional del modelo en LINGO, el escenario 2 se resolvió utilizando únicamente los nodos “remanentes” como puntos de reparto. Los nodos “remanentes”, se refieren a los nodos ww (relativamente alejados) de cada zona de refugio, los cuales tienen como demanda, la cantidad restante de *kits* por subzona que debe abastecer el camión ya que su demanda es menor que la capacidad del camión de 78 *kits*.

Cluster A

Los datos del *cluster A* se muestran en el anexo 28. En el *cluster A* se optimizó el modelo VRPTW y la solución óptima indica que la distancia mínima recorrida de ruteo es 58 km. Asimismo, para abastecer a las 1,866 personas afectadas; se requiere 24 camiones de 50 m³ que salen simultáneamente del almacén para repartir los 1,866 *kits* de ayuda humanitaria. Los resultados explicados se resumen en la tabla 5.7.⁴³

Cluster B

Los datos del *cluster B* se muestran en el anexo 30. En el *cluster B* se optimizó el modelo VRPTW y la solución óptima indica que la distancia mínima recorrida es 262 km. Asimismo, para abastecer a las 2,500 personas afectadas; se requiere 33 camiones de 50 m³ que salen simultáneamente del almacén para repartir los 2,500 *kits* de ayuda humanitaria. Los resultados explicados se resumen en la tabla 5.7.⁴⁴

Cluster C

Los datos del *cluster C* se muestran en el anexo 32. En el *cluster C* se optimizó el modelo VRPTW y la solución óptima indica que la distancia mínima recorrida es 66 km. Asimismo, para abastecer a las 2,009 personas afectadas; se requiere 26

⁴³ En el anexo 29 se muestra la solución del modelo en LINGO para el *cluster A* en el escenario 2.

⁴⁴ En el anexo 31 se muestra la solución del modelo en LINGO para el *cluster B* en el escenario 2

camiones de 50 m³ que salen simultáneamente del almacén para repartir los 2,009 *kits* de ayuda humanitaria. Los resultados explicados se resumen en la tabla 5.7.⁴⁵

Cluster D

Los datos del *cluster* D se muestran en el anexo 34. En el *cluster* D se optimizó el modelo VRPTW y la solución óptima indica que la distancia mínima recorrida es 64 km para abastecer a las 552 personas afectadas; se requiere 8 camiones de 50 m³ que salen simultáneamente del almacén para repartir los 552 *kits* de ayuda humanitaria. Los resultados explicados se resumen en la tabla 5.7.⁴⁶

Tabla 5.7. Resultados de los nodos por *cluster* – Escenario 2

<i>Cluster</i>	Cantidad de nodos	Demanda (<i>kits</i>)	Cantidad total de camiones utilizados	Distancia recorrida (km)	Tiempo transcurrido en LINGO (horas)	Max $W(i,k)$ (minutos)
A	25	1,866	24	58	2	28
B	34	2,500	33	262	3	23
C	27	2,009	26	66	3	17
D	8	552	8	64	4	44
Total	94	6,927	91	450	12	44

Elaboración propia

5.3. Resultados del escenario 3

Escenario 3: modelo VRPTW para abastecer a los afectados de la región del Callao según la cantidad estimada de afectados por el GORE-Callao.

En el escenario 3 se optimizó el modelo VRPTW en cada uno de los *clusters* A, B, C y D y la solución del modelo considerando camiones hacia nodos regulares y remanentes indica que la distancia mínima recorrida es de 135,423 km. Dada la complejidad computacional del modelo en LINGO, el escenario 3 se resolvió utilizando únicamente los nodos “remanentes” como puntos de reparto. Los nodos “remanentes”, se refieren a los nodos ww (relativamente alejados) de cada zona de refugio, los cuales tienen como demanda, la cantidad restante de *kits* por subzona que debe abastecer el camión ya que su demanda es menor que la capacidad del camión de 78 *kits*.

⁴⁵ En el anexo 33 se muestra la solución del modelo en LINGO para el *cluster* C en el escenario 2.

⁴⁶ En el anexo 35 se muestra la solución del modelo en LINGO para el *cluster* D en el escenario 2.

Cluster A

Los datos del *cluster A* se muestran en el anexo 36. En el *cluster A* se optimizó el modelo VRPTW y la solución óptima indica que la distancia mínima recorrida es 58 km. Asimismo para abastecer a las 136,595 personas afectadas; se requiere 1,753 camiones de 50 m³ que salen simultáneamente del almacén para repartir los *kits* de ayuda humanitaria. Los resultados explicados y las rutas propuestas para los nodos se resumen en las tablas 5.8 y 5.9, respectivamente.⁴⁷

Cluster B

Los datos del *cluster B* se muestran en el anexo 38. En el *cluster B* también se optimizó el modelo VRPTW, y la solución óptima indica que la distancia mínima recorrida es 40 km. Asimismo para abastecer a las 182,970 personas afectadas; se requiere 2,347 camiones de 50 m³ que salen simultáneamente del almacén para repartir los *kits* de ayuda humanitaria. Los resultados explicados y las rutas propuestas para los nodos con demandas remanentes se resumen en las tablas 5.8 y 5.9, respectivamente.⁴⁸

Cluster C

Los datos del *cluster C* se muestran en el anexo 40. En el *cluster C* se optimizó el modelo VRPTW y la solución óptima indica que la distancia mínima recorrida es 55 km. Asimismo para abastecer a las 147,012 personas afectadas; se requiere 1,886 camiones de 50 m³ que salen simultáneamente del almacén para repartir los *kits* de ayuda humanitaria. Los resultados explicados y las rutas propuestas para los nodos con demandas remanentes se resumen en las tablas 5.8 y 5.9, respectivamente.⁴⁹ El gráfico 5.5 ilustra el ruteo propuesto para los nodos remanentes y el mapa 5.6 representa dicho ruteo en el plano geográfico.

Cluster D

Los datos del *cluster D* se muestran en el anexo 42. En el *cluster D* se optimizó el modelo VRPTW y la solución óptima indica que la distancia mínima recorrida es 34 km. Asimismo para abastecer a las 40,390 personas afectadas; se requiere 518 camiones de 50 m³ que salen simultáneamente del almacén para repartir los *kits* de ayuda humanitaria. Los resultados explicados y las rutas propuestas para los nodos

⁴⁷ En el anexo 37 se muestra la solución del modelo en LINGO para el *cluster A* en el escenario 3.

⁴⁸ En el anexo 39 se muestra la solución del modelo en LINGO para el *cluster B* en el escenario 3.

⁴⁹ En el anexo 41 se muestra la solución del modelo en LINGO para el *cluster C* en el escenario 3.

con demandas remanentes se resumen en las tablas 5.8 y 5.9, respectivamente.⁵⁰ El gráfico 5.6 ilustra el ruteo propuesto para los nodos remanentes y el mapa 5.7 representa dicho ruteo en el plano geográfico.

Tabla 5.8. Resultados de los nodos por *cluster* – Escenario 3

<i>Cluster</i>	Cantidad de nodos	Demanda (<i>kits</i>)	Cantidad total de camiones utilizados	Distancia recorrida (km)	Tiempo transcurrido o en LINGO (horas)	Max $W(i,k)$ (minutos)
A	1,753	136,595	1,753	58	2	28
B	2,347	182,970	2,347	40	2	23
C	1,887	147,012	1,886	55	2	10,000
D	519	40,390	518	34	2	1,000
Total	6,506	506,967	6,504	187	8	10,000

Elaboración propia

Tabla 5.9. Rutas vehiculares propuestas – Escenario 3

Ruteo	Ruta
C.3.1	Almacén - Zona 12.1 - Zona 10.1 – Almacén
D.3.1	Almacén - Zona 5.1 - Zona 6.1 – Almacén

Elaboración propia

⁵⁰ En el anexo 43 se muestra la solución del modelo en LINGO para el *cluster* D en el escenario 3.

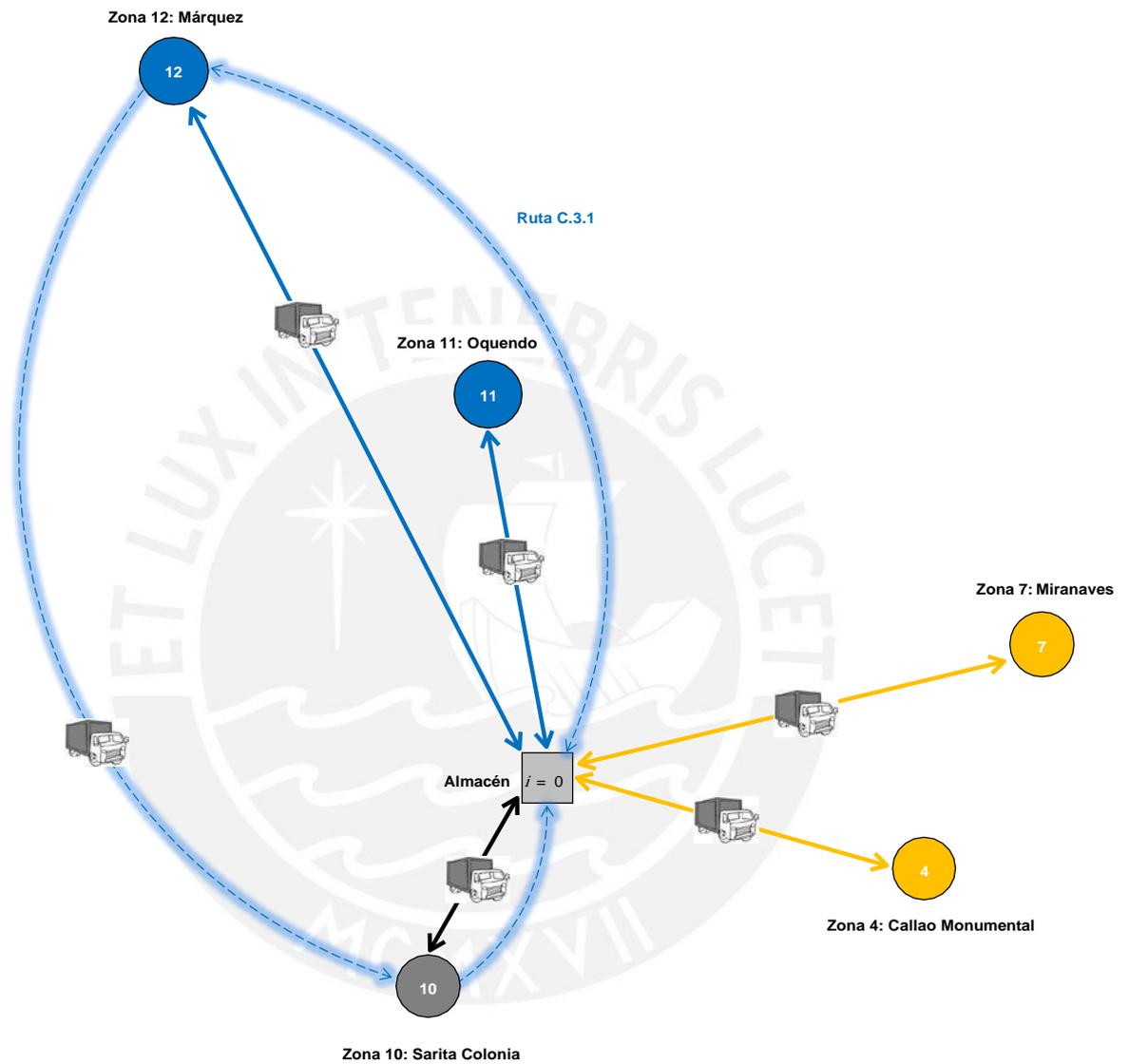
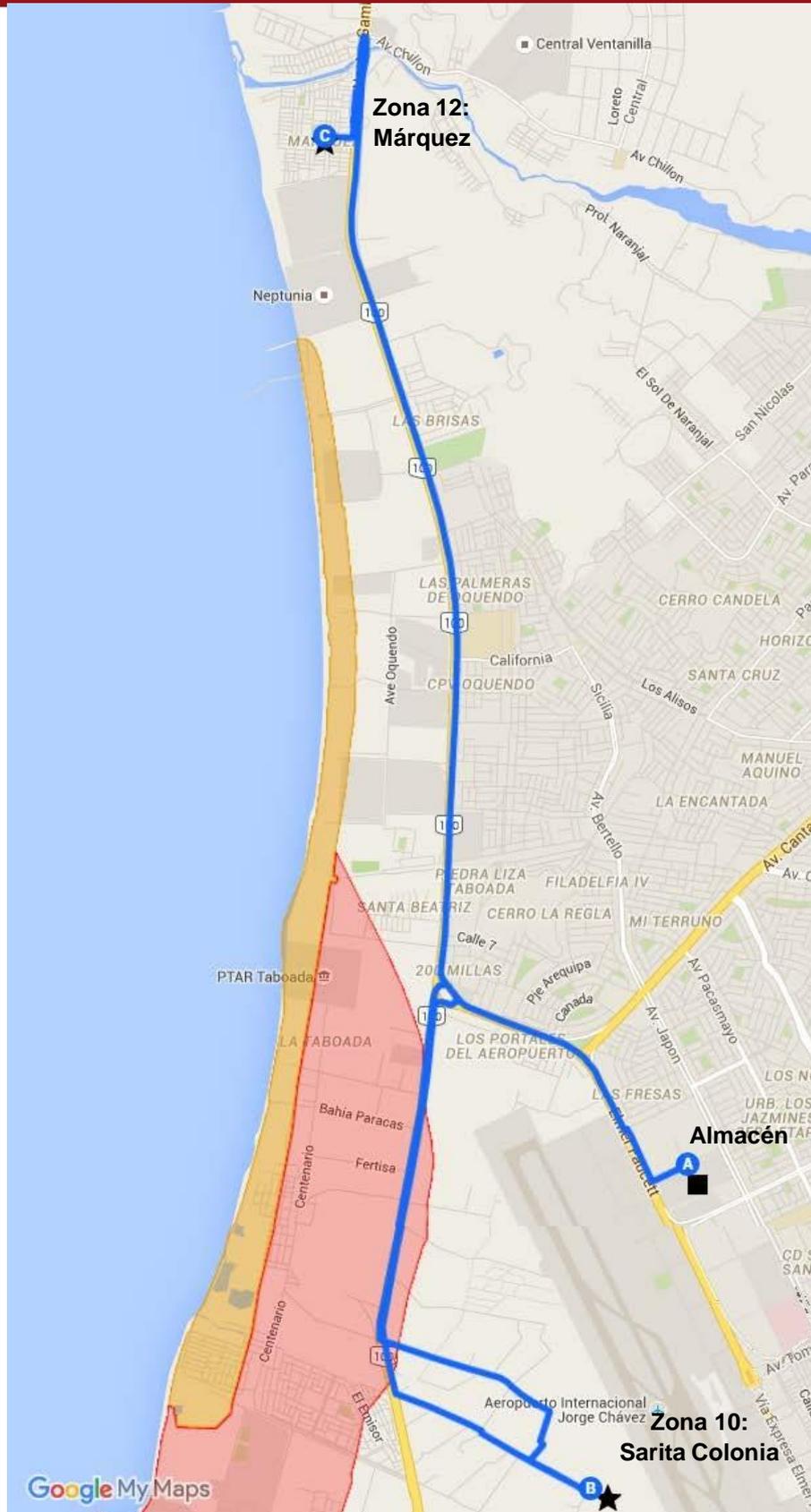


Gráfico 5.5. Ruteo vehicular del *cluster* C – Escenario 3 – Nodos con demandas remanentes – Zonas de refugio 4, 7, 10, 11 y 12
Elaboración propia



Mapa 5.6. Ruteo vehicular *cluster* C – Nodos con demandas remanentes - Ruta C.3.1
Fuente: Google Maps (2016)

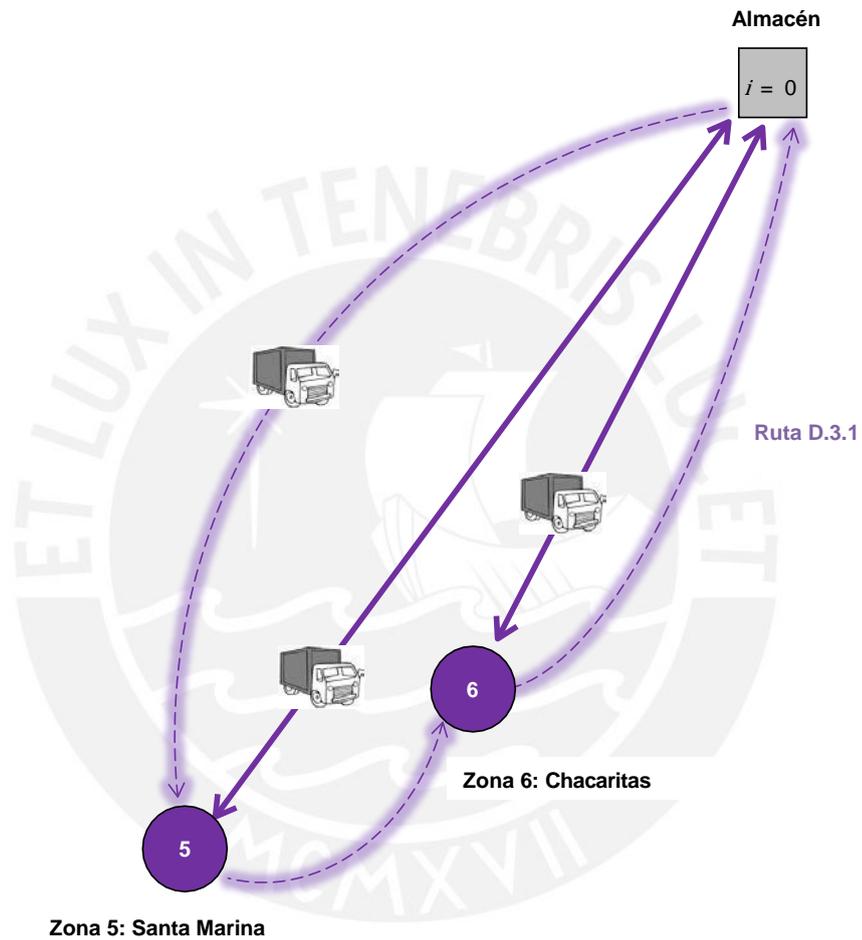
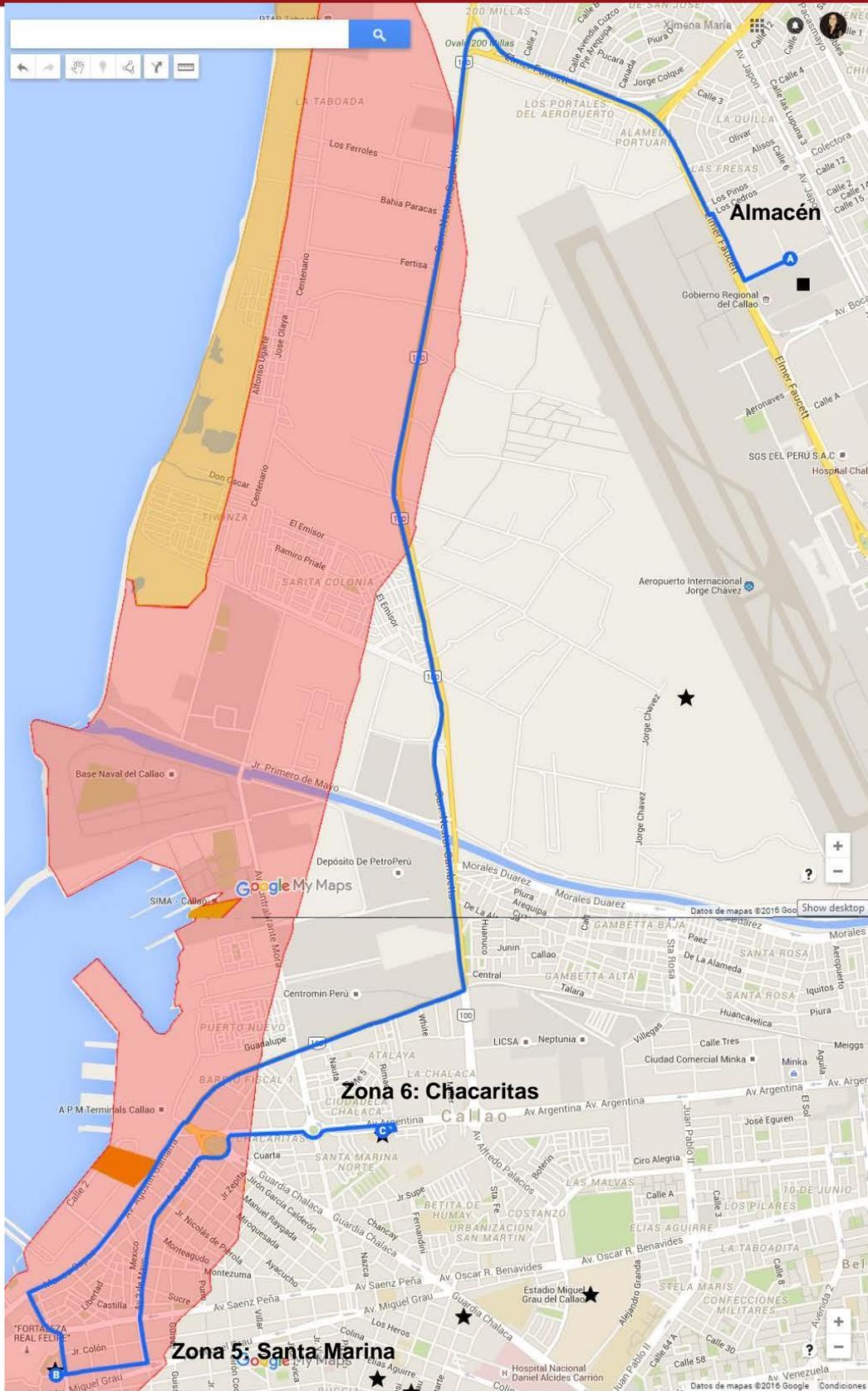


Gráfico 5.6. Ruteo vehicular del *cluster* D – Escenario 3 – Nodos con demandas remanentes – Zonas de refugio 5 y 6
Elaboración propia



Mapa 5.7. Ruteo vehicular *cluster D* – Nodos con demandas remanentes - Ruta D.3.1

Fuente: Google Maps (2016)

5.4. Evaluación de los costos y comparación de los tres escenarios

5.4.1. Evaluación de los costos de los tres escenarios

La evaluación de costos se efectuará comparando el costo total de transporte que tiene la siguiente estructura:

Escenario 1:

$$\text{Costo total} = \text{Costo del flete 1}$$

Escenarios 2 y 3:

$$\text{Costo total} = \text{Costo del flete 1} + \text{Costo de flete 2}$$

A continuación se explica cada uno de estos costos.

Costo del flete 1

El costo del flete 1 es el importe del costo (en soles) de la distribución de los *kits* de ayuda humanitaria desde el almacén nacional del INDECI en el Callao hacia las zonas de refugio en esa región. Se obtiene de la siguiente manera:

Cantidad total de camiones requeridos en el escenario i * Costo por flete de camión desde el almacén hacia cada zona de refugio en la región del Callao

Donde:

Cantidad total de camiones requeridos en el escenario n ($n = 1, 2, 3$): se obtuvo de la optimización del modelo VRPTW (vea las tablas 5.5, 5.7 y 5.8) cuando se traslada los *kits* desde el almacén nacional en el Callao hasta los nodos (zonas de refugio).

El costo por flete del camión es S/. 1,045 y es costo fijo porque es la tarifa promedio para trasladar bienes en el Callao al margen de la distancia recorrida (Empresa ABC, 2015). La capacidad de dicho vehículo es de 50m³ o 78 *kits*.

Costo del flete 2

Es el costo de traslado de los bienes de ayuda humanitaria desde un local externo hacia el almacén nacional de INDECI en el Callao. Esta presunción se asume por dos razones: la primera es que la demanda de *kits* tanto en el escenario 2 (6,927 *kits*) como en el escenario 3 (506,967 *kits*) supera ampliamente la cantidad actual de *kits* disponibles en el almacén del Callao. Por lo tanto, se asume que se tendría que trasladar un mayor número de bienes de otros lugares. La segunda razón se mencionó en el capítulo 4, cuando en el año 2007 ocurrió el terremoto de Pisco, la severidad del desastre provocó 1,435 damnificados, lo cual superó la capacidad de los almacenes en Ica y el INDECI decidió enviar los bienes de ayuda humanitaria desde los almacenes nacionales de otras regiones del Perú hacia la región afectada de Ica. Por tanto, es un precedente sobre las decisiones que podría tomar el INDECI si es que ocurriese un desastre de características similares. En la tabla 5.10 se muestra el cálculo del “costo del flete 2” que cuantifica, en soles, el importe total de transportar los *kits* de ayuda humanitaria desde los almacenes en cada región del Perú hacia el almacén nacional del Callao.

Por otro lado, el “costo del flete 2” no se incurriría en el escenario 1 porque dicho plan de distribución solo contempla la cantidad de *kits* actuales que INDECI almacena en el almacén nacional que se ubica en el Callao, mientras que en el escenarios 2 y 3 sí se considera el inventario de bienes de ayuda humanitaria de los almacenes regionales del INDECI ubicados fuera de la región Callao.

Tabla 5.10. Cálculo del costo del flete 2

Región	Tarifa por ruta (S/.)	Cantidad de <i>kits</i>	Cantidad de camiones	Costo total (S/.)
Lima	1,200	27,186	349	418,800
Loreto	9,500	2,872	37	351,500
Puno	6,048	4,067	53	320,544
Cusco	6,240	3,638	47	293,280
Piura	4,000	5,096	66	264,000
Arequipa	4,800	4,067	53	254,400
La Libertad	3,150	5,139	66	207,900
Junin	2,900	3,733	48	139,200
Tacna	5,600	945	13	72,800
Ica	2,450	2,175	28	68,600
Tumbes	6,000	657	9	54,000
Amazonas	9,200	332	5	46,000
Callao	1,045	2,792	36	37,620
Lambayeque	3,025	820	11	33,275

Región	Tarifa por ruta (S/.)	Cantidad de kits	Cantidad de camiones	Costo total (S/.)
Pasco	2,874	840	11	31,613
Total		64,359	832	2,593,532

Fuente: Empresa ABC (2015)
Elaboración propia

La primera conclusión que podemos obtener de los resultados es que a mayor demanda de *kits*, mayor número de camiones son necesarios, la distancia recorrida se incrementa y también el costo de distribución.

En el escenario 1, el “costo de flete 1” o costo total de distribución de los 2,792 *kits* desde el almacén nacional del Callao hacia las zonas de refugio es de S/. 38,665.

Por otro lado, en el escenario 2, el “costo de flete 1” es de S/. 96,140, sin embargo, dado que el 60% del volumen de los *kits* de ayuda humanitaria viene de los almacenes regionales del INDECI fuera del Callao, debe considerarse el “costo de flete 2”. Esto significa que el costo total de distribución de los 6,927 *kits* sería de S/.2,689,672 en el escenario 2.

Finalmente, en el escenario 3, el “costo de flete 1” es de S/.6,796,680, dado que contempla el traslado de todos los *kits* de ayuda humanitaria desde el puerto y el “costo de flete 2” es el mismo que en el escenario 2. Por lo tanto, el costo total de flete es de S/. 9,390, 212. En las tablas 5.11 y 5.12 se muestran los resultados y el detalle de los costos y tiempos por tipo de flete y por cada escenario.

Tabla 5.11. Resultados por cada escenario

Escenario	Demanda (<i>kits</i>)	Tiempo máximo W_{ik} (horas)	Cantidad de camiones almacén – ZR ^{1/}	Rutas (2 nodos o más)	Distancia recorrida almacén – ZR (km)
1	2,792	2.8	37	5	721
2	6,927	0.7	92	0	258
3	506,968	166.7	6,504	2	187

1/ ZR: Zona de refugio

Elaboración propia

Tabla 5.12. Costo total de traslado de *kits* de ayuda humanitaria por escenario

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Demanda (<i>kits</i>)	2,792	6,927	506,967
Tiempo flete 1 (horas)	2.8	0.7	166.7

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Tiempo flete 2 (horas)	0	288	288
Tiempo total (horas)	2.8	288.7	454.7
Cantidad de camiones	37	92	6,504
Rutas (más de una parada)	5	0	2
Costo flete 1 (S/.)	38,665	96,140	6,796,680
Costo flete 2 (S/.)	-	2,593,532	2,593,532
Costo total (S/.)	38,665	2,689,672	9,390,212

Elaboración propia

5.4.2. Comparación de los costos de los tres escenarios

Al comparar los escenarios 1 y 2, podemos observar que si bien el primero debe abastecer un número menor de afectados, el tiempo de respuesta es menor en el segundo escenario. Al analizar los resultados de la variable ww_{iii} en ambos escenarios, encontramos que en el escenario 1 se proponen cinco rutas para abastecer los nodos remanentes, mientras que en el escenario 2 no se propone ninguna. Asimismo, el tiempo máximo ww_{iii} igual a 168.2 minutos del escenario 1, coincide con el tiempo ww_{511} correspondiente al nodo 5 y camión 11 del *cluster A*, ambos pertenecientes a uno de los ruteos propuestos como se muestra en la tabla 5.13. Por lo tanto, se puede concluir que si el modelo priorizara el tiempo de respuesta únicamente, no propondría rutas con más de una parada en un nodo y sólo se enviaría camiones directos a las zonas de refugio, al margen de que la distancia recorrida y que el precio se incremente. Sin embargo, en una situación de nivel de emergencia 5, la cantidad de camiones es limitada y también el presupuesto de S/. 3,356,980 (INDECI, 2014) del INDECI, ya que está destinado tanto para la adquisición como para la gestión de la entrega de bienes de ayuda humanitaria a la población damnificada. Por lo tanto, no aplicaría a un escenario real considerar estos supuestos en el modelo.

Tabla 5.13. Tiempo máximo ww_{iii} en minutos en el escenario 1

Escenario	Ruta	Tiempo de arribo W_{ik} (minutos)
1	Almacén – Zona 9.7 – Zona 3.3 – Almacén	168.2

Elaboración propia

Kits de ayuda humanitaria

En el escenario 1 es pertinente resaltar que si bien se cumple con llegar a las zonas de refugio para abastecer a los afectados dentro de las 72 horas establecidas por el INDECI, la cantidad de *kits* que actualmente esta institución dispone es insuficiente

para abastecer al total de afectados. Sin embargo, el objetivo del escenario 1 es proveer al INDECI y al área de defensa civil del GORE-Callao, un plan de distribución detallado y aplicable a la situación actual.

Por otro lado, en los escenarios 2 y 3 partiendo del almacén nacional del INDECI en el Callao, el tiempo de llegada objetivo no se cumpliría con el parámetro de 72 horas en todos los puntos de demanda, dado que el tiempo de tránsito desde los almacenes regionales del INDECI excede las 72 horas en las provincias de Puno, Cusco, Amazonas y Loreto, como se muestra en la tabla 5.14. Asimismo, en el escenario 3, dado que la cantidad actual de *kits* de ayuda humanitaria disponible en todos los almacenes nacionales del INDECI en el Perú no sería suficiente, aproximadamente el 90% se cubriría a través de bienes de ayuda humanitaria internacional que llegarían al almacén nacional del Callao desde provincias o desde el aeropuerto internacional Jorge Chávez. Por lo tanto, al igual que en el escenario 2, el tiempo de arribo máximo de cada camión sería de 454.7 horas por lo que excede el objetivo.

Tabla 5.14. Tiempo de tránsito en horas desde las regiones donde se ubican los almacenes nacionales del INDECI hasta el almacén nacional en el Callao

Región	Tiempo de tránsito (horas)
Callao	0
Lima	1
Lambayeque	24
La Libertad	24
Tumbes	72
Piura	72
Ica	3
Junín	24
Tacna	72
Arequipa	48
Puno	96
Cusco	216
Amazonas	96
Pasco	48
Loreto	288

Fuente: Empresa ABC (2015)
Elaboración propia

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Capítulo 1

- Los desastres son fenómenos “socionaturales”, producto de los riesgos existentes que al ser gestionados incorrectamente, generan las condiciones de vulnerabilidad.
- El nivel de riesgo o de probabilidad que se manifiesten ciertas consecuencias a raíz de un desastre, depende de la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos y los elementos expuestos a los fenómenos (i.e. población, construcciones, actividades económicas, entre otros).
- Las condiciones de vulnerabilidad tienen diversos factores explicativos que definen su nivel: actividad económica en las zonas de riesgo, densidad poblacional, la naturaleza de las construcciones y la ocupación espacial. Por otro lado, el resultado de la vulnerabilidad, luego de ocurrido un evento natural, tiene estrecha relación con la determinación del nivel de pérdida humana y/o material causada por el desastre.
- En países en desarrollo como el Perú, la vulnerabilidad social muchas veces genera las condiciones de vulnerabilidad física y está relacionada a factores culturales como el nivel de conciencia, la pobreza y los niveles de desarrollo logrados en la comunidad.
- Según la literatura revisada, la infraestructura y las estructuras son las variables que se mencionaron con mayor frecuencia como factores que afectan la vulnerabilidad.

Capítulo 2

- En la literatura revisada, hay una amplia propuesta de determinantes del nivel de pérdidas humanas que se pueden clasificar según su naturaleza, en particular, determinantes geológicas y socioeconómicas:
 - Las determinantes de naturaleza geológica propuestas por los investigadores son la magnitud del sismo, distancia entre el epicentro y el área afectada por el sismo, área de la región afectada, población de las localidades afectadas, frecuencia de sismos en la zona, latitud y altura sobre el nivel del mar de la localidad afectada.
 - Las determinantes de naturaleza socioeconómica propuestas por los investigadores son el PBI per cápita, desigualdad, acción colectiva de

mitigación, ayuda internacional recibida, calidad institucional, apertura al comercio exterior, característica de colonia pasada, y nivel de preparación en infraestructura y estructuras.

- Con respecto a los resultados del modelo multivariado:
 - En el caso de los modelos de efectos fijos y efectos aleatorios, con un nivel de significancia del 10%, las siguientes variables geográficas son significativas para la estimación del número de damnificados: la magnitud del sismo y la distancia al epicentro del área afectada. Sin embargo, la distancia al epicentro no tiene una significancia apreciable con el número de damnificados.
 - Respecto a las variables socioeconómicas en el modelo de efectos fijos y efectos aleatorios, el nivel de exportaciones de bienes y servicios es significativo en la determinación del número de damnificados, con un nivel de significancia del 10%. Asimismo, la desigualdad del país en donde ocurrió el sismo es significativa para uno de los modelos de efectos aleatorios. No obstante, dicha variable no tiene una significancia apreciable con el número de damnificados.

Capítulo 3

- El Perú se encuentra en el límite de la placa Sudamericana y la placa de Nazca, por lo que el efecto de subducción entre ambas placas ha provocado un gran número de sismos en la parte occidental del país a lo largo de la historia. Sin embargo, al año 2015 se acumuló 41 años de silencio sísmico en la región de Lima y Callao.
- El análisis de la provincia de Lima y la región del Callao revela las siguientes condiciones que configuran su vulnerabilidad:
 - Densidad poblacional:

La región de Lima y Callao tiene 9,904,727 habitantes, lo cual representa casi un tercio de la población nacional concentrada en un área de 2,811.65 km². Esto genera una densidad poblacional de 3,522 habitantes/km², y es la cifra de densidad poblacional más elevada de todo el Perú.
 - Pobreza:

El 67% de los hogares de Lima Metropolitana corresponde a los NSE C y D, y en promedio, en el año 2014, en la región del Callao una familia

gastaba mensualmente un aproximado de S/. 2,659, casi 11% menos que el gasto familiar promedio mensual de todo Lima Metropolitana.

- Naturaleza de las construcciones:
 - El 28.6% de la población de Lima y Callao vive en zonas con niveles de riesgo alto, definidos por las características del suelo y por la calidad de las construcciones.
 - En particular, en el distrito del Callao hay muchas viviendas deterioradas y en Ventanilla hay varias “en consolidación” e improvisadas.
- Calidad de los suelos:

Los distritos de la región del Callao tienen suelos con niveles de peligro sísmico alto y muy alto, sobre todo en la parte del litoral.
- Actividad económica en la zona de riesgo:

El PBI de Lima y Callao corresponde al 49.1% del total nacional y representa casi la mitad del PBI de todo el Perú. Además, la actividad industrial de la región del Callao es aproximadamente el 80% de Lima Metropolitana.
- A pesar de que el Perú cuenta con planes logísticos y planes de operaciones de emergencias, en las situaciones de desastres la efectividad de los planes tiene, entre otras, limitaciones económicas e institucionales-organizacionales:
 - Las limitaciones económicas se reflejan, entre otros aspectos, en:
 - Los niveles de stock de bienes de ayuda humanitaria que se almacenan, los cuales dependen del presupuesto y de la disponibilidad de almacenamiento. Según los funcionarios de la entidad, se establecen los niveles de inventario para abastecer entre el 5% y el 10% de la población damnificada estimada por el Plan Logístico del INDECI. Dicho plan refiere que la estimación de afectados y damnificados a nivel nacional, por causa de todos los desastres naturales y emergencias en el 2015 sería de 642,032. No obstante, los niveles de inventario gestionados por la institución son significativamente menores a los que requeriría esa cifra de afectados y damnificados.
 - La movilización de bienes y recursos de varios almacenes nacionales del INDECI y de los depósitos de los gobiernos regionales y locales a raíz del terremoto de Pisco del 2007, no fue suficiente para abastecer

al número de afectados y damnificados y se tuvo que recurrir al apoyo de empresas privadas y entidades internacionales.

- Las limitaciones institucionales-organizacionales se observan en:
 - Los planes de acción vigentes definidos en los reglamentos podrían reducir la respuesta eficiente ante una emergencia. Así, por ejemplo, el proceso de Declaratoria de Estado de Emergencia tiene una serie de requisitos documentarios que podrían ralentizar la velocidad de respuesta para atender a los afectados y damnificados.
 - Los gobiernos subnacionales son los encargados de la distribución final de los bienes de ayuda humanitaria y lo realizan según sus propios planes de operaciones y procedimientos, a través de sus Comités de Defensa Civil. La lectura detenida de dichos planes y procedimientos no revelan una distribución con sustento científico.
 - Los almacenes nacionales en la región de Lima y Callao son “almacenes generales” que reciben todos los bienes de ayuda humanitaria adquiridos por el INDECI y luego se reparten a los demás almacenes. Por otro lado, según las disposiciones del SINAGERD, los almacenes regionales están ubicados en las capitales de los departamentos, o donde decida el gobierno regional. Sin embargo, no se han establecido lineamientos para la localización estratégica de los almacenes que permita una respuesta oportuna luego de ocurrido un desastre.

Capítulo 4

- En la logística humanitaria uno de los objetivos más relevantes es el tiempo de respuesta a diferencia del sector privado en donde a menudo el objetivo principal es minimizar los costos.
- La selección del modelo VRPTW (*VRP with Time Windows*), explicado por Vigo y Toth (2002) se sustentó en el interés de determinar lo siguiente:
 - Si la capacidad de respuesta y atención a las personas afectadas en la región del Callao es realizable dentro de las 72 horas después de ocurrido el desastre natural, condición definida por el INDECI.
 - La cantidad de vehículos requerida para atender en el Callao, la estimación de los afectados provocados por un terremoto cuya magnitud es de grado 6.0 (o más) en la escala de Richter en un plazo de 72 horas.

- Las rutas de los vehículos a través de las zonas de refugio definidas por el GORE-Callao.
- Varios de los supuestos del modelo de VPRTW de esta tesis, se definieron según la información que publica de INDECI y el área de defensa civil del GORE-Callao.

Capítulo 5

- La distancia total mínima recorrida en el escenario 1 es 721 km y se requiere 37 vehículos o viajes que salen simultáneamente del almacén, con una velocidad constante de 30 km/h, para lograr atender en máximo 9 horas a los 2,792 afectados de este escenario. Asimismo, se concluye que el número mínimo de camiones para cumplir con el objetivo debería de ser 25 vehículos que realizarían los 37 viajes, sin embargo esto aumentaría el tiempo de respuesta en las zonas de refugio. El INDECI establece un plazo ideal máximo de 72 horas para atender a los afectados y damnificados, por tanto, los resultados del modelo presentan un tiempo apreciablemente menor.
- Tomando en cuenta solo el tiempo de respuesta desde el almacén nacional del INDECI y asumiendo que los vehículos salen en paralelo, se concluye que si bien en el escenario 1 se debe abastecer un número menor de afectados, el tiempo de respuesta es menor en el escenario 2. Al analizar los resultados de la variable w_{iiii} en ambos escenarios, encontramos que en el escenario 1 se proponen cinco rutas para abastecer los nodos remanentes, mientras que en el escenario 2 se envía camiones a las zonas de refugio y no hay un ruteo para los nodos remanentes.
- Por tanto, se concluye que si el modelo priorizara tiempo de respuesta únicamente, no propondría rutas con más de una parada en un nodo y solo se enviaría camiones directos a las zonas de refugio y a los nodos remanentes, al margen de que el costo total de distribución se incremente al aumentar la cantidad de camiones enviadas.
- En los escenarios 2 y 3, partiendo del almacén nacional del INDECI en el Callao, el tiempo de llegada no es menor a 72 horas porque el tiempo de tránsito desde los almacenes regionales del INDECI excede las 72 horas en las provincias de Puno, Cusco, Amazonas y Loreto, como se muestra en la tabla 5.14.

- En el escenario 2 y 3, dado que la mayor cantidad de *kits* de ayuda humanitaria provienen de los almacenes nacionales del INDECI (ubicados en provincias) o de países extranjeros, el tiempo máximo de abastecimiento excede el objetivo de abastecer a los afectados en un periodo de 72 horas posteriores al evento del desastre.

6.2. Recomendaciones

- Es importante mejorar la articulación entre los almacenes del INDECI, los almacenes de los gobiernos regionales y los almacenes de los gobiernos locales, para poder saber los niveles de inventario de ayuda humanitaria que maneja cada uno, y la demanda máxima que podrían atender con esos niveles. Actualmente, el INDECI no tiene una estimación a partir de qué momento se rebasa la capacidad de cada nivel de gobierno, y el punto de quiebre en el cual deberá presidir el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Debido al conocimiento incompleto sobre los niveles de inventario de ayuda humanitaria en los almacenes mencionados, el INDECI depende en buena medida de las Evaluaciones de Daños y Necesidades que se realizan luego de ocurrido el desastre.
- El INDECI y los gobiernos regionales y locales debieran desarrollar cotizaciones con un mayor número de transportistas, para mejorar sus capacidades de respuesta dentro del marco del SINAGERD, y para reducir sus tiempos y costos de transporte.
- Algunos trabajos futuros:
 - En las conclusiones se indicó que según las normas vigentes la gestión de los almacenes nacionales es responsabilidad del INDECI. Si bien hay informes del CISMID sobre la calidad del suelo en Lima y Callao, la localización de los almacenes podría mejorarse contemplando otros criterios; así por ejemplo, el almacén ubicado en el Callao corre el riesgo de inundación en caso ocurra un tsunami. El almacén del Cercado de Lima cuenta con restricciones de espacio porque comparte instalaciones con el PRONAA⁵¹. El almacén de Lurín es relativamente pequeño para que cumpla un rol importante de abastecimiento en la zona sur de Lima caracterizada en buena parte, por la precariedad de sus viviendas y alta densidad poblacional. Las restricciones y necesidades de mejora de los almacenes nacionales del INDECI en la

⁵¹ Programa Nacional de Asistencia Alimentaria.

región de Lima y Callao presentan una oportunidad para determinar las ubicaciones óptimas a través de técnicas de la Investigación de Operaciones.

- Según las normas vigentes, la distribución de la ayuda humanitaria es responsabilidad de los gobiernos locales y de los gobiernos regionales. Es evidente en los planes logísticos de dichas entidades la falta de procedimientos con sustento científico para el reparto de la ayuda humanitaria. Es importante extender la investigación de la distribución de bienes a nivel de todo Lima Metropolitana, dicho plan logístico se podría también diseñar, como en esta tesis, con técnicas de la Investigación de Operaciones.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

Anderson, M., Woodrow, P. (1989). *Rising from the Ashes: Development Strategies in Times of Disaster*. Boulder y San Francisco: Westview Press.

Buchanan, J. M. (1975). *The Samaritan's Dilemma, Altruism, Morality and Economic Theory*. Russell Sage Foundation. 71–85.

Lagorio H. J. (1990). *Earthquakes: An Architect's Guide to Nonstructural Seismic Hazards*. John Wiley & Sons.

Noji, E. K. (1997). *The Public Health Consequences of Disasters*. Oxford University Press.

Silgado, E. (1978). *Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974)*. Lima: INGEMMET.

Smith, K. (1992). *Environmental Hazards*. Londres y Nueva York: Routledge.

Toth, P., Vigo, D. (2002), *The Vehicle Routing Problem*. Philadelphia: SIAM.

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

Anbarci, N., Escaleras, M., Register, C.A. (2004). Earthquake Fatalities: The Interaction of Nature and Political Economy. *Journal of Public Economics*. (89), 1907–1930. Obtenido el 05/05/2013 de <http://econpapers.repec.org/paper/fiuwpaper/0415.htm>

Alesina, A., Drazen, A. (1991). Why are Stabilizations Delayed. *American Economic Review*. (81), 1170–1188.

Alesina, A. F., Dollar, D. (2000). Who Gives Foreign Aid to Whom and Why? *Journal of Economic Growth*. (5), 33–63. Obtenido el 25/08/2013 de <http://www.nber.org/papers/w6612.pdf>

- Aneas de Castro, S.D. (2000). Riesgos y peligros: una visión desde la geografía. *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. (60). Obtenido el 05/05/2013 de http://www.avizora.com/atajo/informes_varios/catastrofes/0005_riesgos_peligr_gros_geografia.htm
- Cardona, O. D. (1993). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo, Elementos para el Ordenamiento y la Planeación del Desarrollo. *Revista Desastre y Sociedad*. (6). Obtenido el 05/05/2013 de [http://www.cardique.gov.co/public/userFiles/Articulo%20Evaluacion%20de%20la%20amenaza\(1\).pdf](http://www.cardique.gov.co/public/userFiles/Articulo%20Evaluacion%20de%20la%20amenaza(1).pdf)
- Coate, S. (1995). Altruism, the Samaritan's Dilemma, and Government Transfer Policy. *American Economic Review*. (85)1, 46–57.
- Gassebner, M., Keck, A., Teh, R. (2009). Shaken, Not Stirred: The Impact of Disasters on International Trade. *Review of International Economics*. (18), 351–368. Obtenido el 25/08/2013 de <http://www.etsg.org/ETSG2008/Papers/Gassebner.pdf>
- Jaiswal, K.S., Wald, D.J., Hearne, M. (2009). Estimating Casualties for Large Earthquakes Worldwide Using an Empirical Approach. *U.S. Geological Survey Open-File Report OF 2009–1136*. (78). Obtenido el 18/06/2016 de <https://pubs.usgs.gov/of/2009/1136/pdf/OF09-1136.pdf>
- Kaufmann, D., Kraay, A. y Mastruzzi, M. (2008). Governance Matters VII: Aggregate and Individual Governance Indicators 1996-2007. *The World Bank (World Bank Policy Research Paper 4654)*.
- Loarche, G., Piperno, A., Sierra, P. (2011). Vulnerabilidad de las áreas inundables de la ciudad de Artigas. Impacto del evento de diciembre de 2009. *Revista de la Facultad de Psicología, Universidad de la República, Uruguay*. Obtenido el 15/06/2013 de <http://revista.psico.edu.uy/index.php/revpsicologia/article/view/70/30>
- Marianov, V., ReVelle, C. (1995). Siting Emergency Services. *In Facility Location: A Survey of Applications and Methods*. (1), 199-223.

- Piperno, A., Sierra, P. (2013). Estrategias de intervención en áreas urbanas inundables: el caso Bella Unión, Uruguay. *EURE*. (39), 221-241. Obtenido el 15/06/2013 de http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0250-71612013000100009&script=sci_arttext
- Salas Serrano, J. (2007). Vulnerabilidad, pobreza y desastres 'socionaturales' en Centroamérica y El Caribe. *Informes de la Construcción*. (59). Obtenido el 05/05/2013 de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewArticle/580>
- Schilling, D., Vaidyanathan, D.A., Barkhi L.R. (1993). A Review of Covering Problems in Facility Location. *Location Science*. (1), 1, 25-55.
- Tavares, J. (2004). The Open Society Assesses its Enemies: Shocks, Disasters and Terrorist Attacks. *Journal of Monetary Economics*. (51), 1039–1070.
- Vollrath, D. (2007). Land Distribution and International Agricultural Productivity. *American Journal of Agricultural Economics*. (89), 202–216. Obtenido el 18/09/2013 de http://www.econbiz.de/en/search/detailed-view/doc/all/Land%20distribution%20and%20international%20agricultural%20productivity/10003448824/?no_cache=1

PUBLICACIONES E INFORMES DE INSTITUCIONES

- El Proyecto Esfera (2011). *Carta Humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria*. Obtenido el 24/04/2016 de http://www.predes.org.pe/predes/images/manual_esfera_ver2.pdf
- España, Instituto Andaluz de Geofísica (2012). *Información y Divulgación*. Obtenido el 16/09/2013 de http://www.ugr.es/~iag/divulgacion/div_m.html

- Estados Unidos (2013). *U.S. Geological Survey, Earthquake Hazards Program, The Modified Mercalli Intensity Scale*. Obtenido el 31/08/2014 de <http://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mercalli.php>
- Perú, Asociación Peruana de Empresas de Investigación de Mercados (2014). *Niveles socioeconómicos*. Obtenida el 24/04/2016 de <http://www.apeim.com.pe/wp-content/themes/apeim/docs/nse/APEIM-NSE-2014.pdf>
- Perú, Banco Central de Reserva del Perú (2000-2012). *Exportaciones FOB, por grupo de productos*.
- Perú, Centro de Estudios y Prevención de Desastres⁵² (2009). *Diseño de Escenario Sobre el Impacto de un Sismo de Gran Magnitud en Lima Metropolitana y Callao, Perú*. Lima. Obtenido el 24/04/2016 de http://www.predes.org.pe/archivos/publicaciones/d_esc_sis_lima.pdf
- Perú, Centro de Estudios y Prevención de Desastres. *Terremotos en Lima*. Obtenido el 24/04/2016 de http://www.cesvi.org.pe/cms_images/1225553373_Sismos%20en%20Lima.pdf
- Perú, Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. *Presentación*. Obtenido el 10/10/2013 de <http://www.cenepred.gob.pe/es/presentacion.html>
- Perú, Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (2014). *Terremoto de 8° podría ocurrir en el sur del país o en Lima*.
- Perú, Gobierno Regional del Callao (2008). *Plan de evacuación Callao 2005*. Callao. Obtenido el 13/05/2016 de http://seguridad.regioncallao.gob.pe/contenidos/planeamiento/planes_seguridad/Plan_Operaciones_de_Emergencia_callao.pdf

⁵² PREDES

- Perú, Gobierno Regional del Callao (2012). *Plan Regional de Operaciones de Emergencia del Callao*. Callao. Obtenido el 24/04/2016 de http://www.indeci.gob.pe/planes_proy_prg/p_operativos/p_oper_emerg/2008/04_planes_regionales/01_poe_callao.pdf
- Perú, Instituto Nacional de Defensa Civil (2007). *Lecciones aprendidas del sur – Sismo de Pisco*. Lima. Obtenido el 23/05/2016 de http://www.indeci.gob.pe/publicaciones/lecciones_aprendidas/contenido.swf
- Perú, Instituto Nacional de Defensa Civil (2011a). *Plan de Operaciones de Emergencia Para el Área Metropolitana de Lima y la Región del Callao*. Obtenido el 08/10/2013 de <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1752/doc1752-contenido.pdf>
- Perú, Instituto Nacional de Defensa Civil (2011b). *Catálogo de Bienes de Ayuda Humanitaria*. Obtenido el 24/04/2016 de <http://www.indeci.gob.pe/objetos/secciones/Mw==/MjM=/lista/NjE2/1201106080900031.pdf>
- Perú, Instituto Nacional de Defensa Civil (2012). *CD Interactivo Estadístico del INDECI*.
- Perú, Instituto Nacional de Defensa Civil (2013). *Cartilla de Gestión Reactiva de Riesgo*. Obtenido el 10/10/2013 de http://www.indeci.gob.pe/info_inst/c_grr.pdf
- Perú, Instituto Nacional de Defensa Civil (2014). *Plan Operativo Institucional 2015*. Obtenido el 24/04/2016 de <http://www.indeci.gob.pe/objetos/secciones/MQ==/NQ==/lista/Ng==/MTU=/M Tg=/NzY5/201501201706311.pdf>
- Perú, Instituto Nacional de Defensa Civil (2015). *Plan Logístico INDECI AF-2015, para ayuda humanitaria ante emergencias o desastres*.
- Perú, Instituto Nacional de Estadística e Informática (2007). *Censo Nacional, 2007*. Lima. Obtenido el 28/04/2013 de <http://censos.inei.gob.pe/censos2007/indPobreza/>

- Perú, Instituto Nacional de Estadística e Informática (2004-2009). *Encuesta Nacional de Hogares, Anual 2004-2009*. Lima. Obtenido el 05/05/2013 de <http://www.inei.gob.pe/Sisd/index.asp>
- Perú, Instituto Nacional de Estadística e Informática (2009). *Perú: Mapa del Déficit Habitacional a Nivel Distrital, 2007*. Lima. Obtenido el 16/06/2013 de <http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0868/libro.pdf>
- Perú, Instituto Nacional de Estadística e Informática (2014). *Directorio Central de Empresas y Establecimientos, 2014*. Lima.
- Perú, Instituto Nacional de Estadística e Informática (2015a). *Población total al 30 de junio, por grupos quinquenales de edad, según departamento, provincia y distrito, 2015*. Lima. Obtenido el 24/04/2016 de <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>
- Perú, Instituto Nacional de Estadística e Informática (2015b). *Producto bruto interno por departamentos, 2015*. Lima. Obtenido el 24/04/2016 de <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/pbi-dep-2014.pdf>
- Perú, Ministerio de Salud (2005). *Plan Regional de Operaciones de Emergencia del Callao*. Callao. Obtenido el 14/04/2016 de http://www.minsa.gob.pe/ogdn/cd1/pdf/pli_09/contenido.pdf
- Perú, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2003). *Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente*. Lima.
- Programa de las Naciones Unidas (2014). *Informe sobre Desarrollo Sostenible el Progreso Humano 2014: Reducir vulnerabilidades y construir resiliencia*. 92. Obtenido el 22/06/2016 de <http://www.undp.org/content/dam/undp/library/corporate/HDR/2014HDR/HD R-2014-Spanish.pdf>
- Proyecto Ciudades Focales (2012). *Una Aproximación al Estudio de Vulnerabilidad ante Desastres en Lima Metropolitana*. Lima. Obtenido el 24/04/2016 de <https://ciudadesfocalesmirrlima.files.wordpress.com/2012/08/una-aproximacion-al-estudio-de-vulnerabiliad1.pdf>

Proyecto INDECI-PNUD-ECHO Preparación ante Desastre Sísmico y/o Tsunami y Recuperación Temprana en Lima y Callao (2011). *Recursos de Respuesta Inmediata y de Recuperación Temprana ante la Ocurrencia de un Sismo y/o Tsunami en Lima Metropolitana y Callao*. Lima. Obtenido el 24/04/2016 de <http://www.indeci.gob.pe/proyecto58530/objetos/archivos/20110606145516.pdf>

Suiza, Institute of Geophysics. *Earthquake Statistics and Earthquake Prediction Research*. Zurich. Obtenido el 10/06/2013 de <http://www.earthquake.ethz.ch/education/NDK/NDK>

Tailandia, Asian Disaster Preparedness Center. *Earthquake Vulnerability Reduction for Cities, Earthquake Vulnerability Concepts*. Obtenido el 28/04/2013 de http://www.adpc.net/casita/Course%20Modules/Earthquake%20vulnerability%20reduction%20for%20cities/EVRC0301A_Earthquake_Vulnerability.pdf

The World Bank (2016). *Data Catalog*. Obtenido el 18/06/2016 de <http://datos.bancomundial.org/indicador/SI.POV.GINI>

Top Publications S.A.C. (2014). *Top 10,000 2014*.

United Nations Disaster Relief Organization (1979). *Natural Disasters and Vulnerability Analysis: Report of Expert Group Meeting*. Obtenido el 19/06/2016 de <file:///C:/Users/Carola/Downloads/6115.pdf>

DOCUMENTOS INTERNOS

Empresa ABC (2015). *Licitación empresas transportistas TTN*. Documento interno no publicado. Lima, Perú.

Rodríguez Avellaneda, A.H. (2011, 13 de octubre). *Análisis y evaluación de riesgo sísmico en líneas vitales, Caso de estudio Bogotá D.C.* Documento interno no publicado. Universidad Nacional de Colombia. Obtenido el 05/05/2013 de <http://www.bdigital.unal.edu.co/4879/11/795032.2011.parte11.pdf>

Spence, R., So, E. (2009). *Estimating Shaking-induced Casualties and Building Damage for Global Earthquake Events*. Cambridge Architectural Research Ltd, 7–8. Obtenido el 10/06/2013 de <http://earthquake.usgs.gov/research/external/reports/08HQGR0102.pdf>

PERIÓDICOS

Alva Pino, M., Zarate, H. (2012, 16 de agosto). Cinco de cada 100 viviendas están aseguradas contra terremotos. *Gestión*. Obtenido el 05/05/2013 de <http://gestion.pe/2012/08/16/tu-dinero/cinco-cada-100-viviendas-estan-aseguradas-contraterremotos-2010206>

El 70% de casas de Lima carece de garantías frente a un sismo (2014, 8 de abril). *El Comercio*. Obtenido el 05/05/2013 de <http://elcomercio.pe/lima/ciudad/70-casas-lima-carece-garantias-frente-sismo-noticia-1721174>

Gobierno Regional del Callao lanza campaña de solidaridad a favor de Chosica (2015, 26 de marzo). *Radio Nacional*. Obtenido el 15/05/2016 de <http://www.radionacional.com.pe/informa/locales/gobierno-regional-del-callao-lanz-campa-de-solidaridad-favor-de-chosica>

Obras sin licencia podrán ser regularizadas en 180 días (2008, 18 de diciembre). *La República*. Obtenido el 05/05/2013 de <http://www.larepublica.pe/18-12-2008/obras-sin-licencia-podran-ser-regularizadas-en-180-dias>

Un día como hoy Lima y Callao sufrieron el peor sismo de su historia, en 1746 (2011, 28 de octubre). *El Comercio*. Obtenido el 24/04/2016 de <http://elcomercio.pe/peru/lima/dia-como-hoy-lima-callao-sufrieron-peor-sismo-su-historia-1746-noticia-1324967>

FUENTES ELECTRÓNICAS

- Bothara, J. K., Parajuli, Y. K., Arya, A. S., Sharpe, R. D. (2000). Seismic Safety In Owner-Built Buildings. Obtenida el 13/05/2016 de <http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/2130.pdf>
- Fink, G., Redaelli, S. (2009). Determinants of International Emergency Aid – Humanitarian Need Only? *World Development*. (39), 741-757. Obtenida el 25/08/2013 de http://www.wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/2009/02/18/000158349_20090218082527/Rendered/PDF/WPS4839.pdf
- Gongol, B. (2009). Lifesaving through Economic Growth. Obtenida el 24/05/2013 de <http://www.gongol.com/research/economics/lifesaving/>
- Jaiswal, K., Wald, D.J., Hearne, M. (2009). Estimating Casualties for Large Earthquakes Worldwide Using an Empirical Approach. Obtenida el 20/05/13 de <http://pubs.usgs.gov/of/2009/1136/pdf/OF09-1136.pdf>
- Maskrey, A. (2005). Manejo de emergencias y acción contra desastres. Obtenida el 05/05/2013 de http://content91.wuala.com/rawcontent/w-9QII_ttrFrvohLmJ3-N0lpRZFlx7pgKo8pnf0gUp8DThZ4Acw7tDjb4E43Qd0Rz8JNN08R3qtA5zx2lHp9jDaswg6Vb-AnN_WvZspmUjYgtITwn3qOvXgJCpYaLrh_BH3F8uVBKzNu4JJdiAwG-XzJt6L_wcAQxM5-chKTvzftVhAmL3xQBTPnphfhRXKUIIQNEeoFBPCrWOAwzIVp2h9w-6FJz15MVkLoRBhfRA/Vulnerabilidad%2520y%2520Mitigaci%C3%B3n%2520de%2520Desastres.pdf
- National Geophysical Data Center (2015). The Significant Earthquake Database. Obtenida el 22/02/2016 de <https://www.ngdc.noaa.gov/>

Perú, Instituto Nacional de Defensa Civil (2016). Declaratoria de Estado de Emergencia 2016. Obtenida el 24/04/2016 de <http://www.indeci.gob.pe/contenido.php?item=Mjl=>

Raschky, P., Schwindt, M. (2009). Aid, Natural Disasters and the Samaritan's Dilemma. *The World Bank*. Obtenido el 28/06/2013 de <http://elibrary.worldbank.org/content/workingpaper/10.1596/1813-9450-4952>

Thomas, A. (1993). Ciencias Sociales y Desastres Naturales en América Latina: Un encuentro inconcluso. Obtenida el 02/05/2013 de <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap7.htm>

MONOGRAFÍAS

Coburn, A., Spence, R. J. S., Pomonis, A. (1992a). Factors Determining Human Casualty Levels in Earthquakes: Mortality Prediction in Building Collapse. *Proceedings of the First International Forum on Earthquake-Related Casualties*.

Coburn, A., Spence, R. J. S. (1992b). Earthquake Protection. *Chichester, John Wiley and Sons Ltd. 74-80, 277- 285*.

Hays, W., Mohammadioun, B., Mohammadioun, J. (1998). Seismic Zonation: A Framework for Linking Earthquake Risk Assessment and Earthquake Risk Management.

Rodríguez, A. H. (2011). Análisis y Evaluación de Riesgo Sísmico en Líneas Vitales. Caso de Estudio Bogotá D.C. Obtenida el 26/08/2013 de <http://www.bdigital.unal.edu.co/4879/11/795032.2011.parte11.pdf>

Vargas, J. (2015). Aide à la conception de chaînes logistiques humanitaires efficaces et résilientes: application au cas des crises récurrentes péruviennes. Business administration. Ecole des Mines d'Albi-Carmaux.

DOCUMENTOS LEGISLATIVOS

Perú, Congreso de la República del Perú (2011). *Reglamento de la Ley N° 29664 – Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD)*. 18 de febrero. Obtenido el 10/10/2013 de http://www.indeci.gob.pe/norma_leg/reg_sinagerd.pdf

Perú, Instituto Nacional de Defensa Civil (2012). *Resolución Jefatural N° 077 – 2012 – INDECI*. 12 de abril. Obtenido el 08/10/2013 de <http://www.indeci.gob.pe/objetos/secciones/MQ==/NQ==/lista/Ng==/MTU=/Njq1/3201204201724391.pdf>

