



Propuesta de planificación de contingencias para la reducción del riesgo de desastres en el centro metropolitano de Concepción

Pablo

Ortiz Núñez - paeortiz@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Guía: Francisco Núñez Cerda - fnunez@ubiobio.cl
Profesor Co-Guía: Rodrigo Linfati Medina - rlinfati@ubiobio.cl

RESUMEN

En la presente investigación se aborda el problema de localización de albergues de emergencia en respuesta a un desastre, con el propósito de satisfacer la necesidad de refugio de las personas afectadas ante este tipo de eventos. Se identificó el estado del arte referente a la gestión del riesgo, su evolución a través del tiempo, los requerimientos y características de los albergues de emergencia, además de su localización actual en la VIII Región del Biobío. Se desarrollaron dos instancias de aplicación con datos reales en la comuna de Talcahuano, correspondientes a un terremoto y a un tsunami, mediante la formulación de un algoritmo de programación matemática, considerando en la situación más extrema un total de 31.004 personas a refugiar, 152 albergues potenciales, y 35 almacenes de abastecimiento. Se propone otorgar mayor importancia a las fases previas de los desastres y aumentar la cantidad de instalaciones de albergues en el Centro Metropolitano de Concepción ya que se descubre una carencia de refugios de emergencia, para así resguardar de la mejor forma posible la seguridad civil en el país.

Palabras clave: Localización de albergues, logística humanitaria, programación matemática, reducción del riesgo de desastres, sistemas de información geográfica.



1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existen diversas conductas del ser humano que no contribuyen a la disminución del riesgo de desastres, acrecentando la vulnerabilidad de numerosas localidades y exponiendo a sus habitantes a amenazas socio-naturales propiciadas por la masiva urbanización carente de planificación previa ante el rápido crecimiento de la población, considerando a su vez factores de degradación ambiental y el cambio climático evidenciado en los últimos años.

En este contexto, dentro del ámbito de la planificación y gestión urbana, convive el concepto de la gestión del riesgo de desastres, el cual se entiende como un proceso social complejo que conduce al diseño y aplicación de políticas, estrategias, instrumentos y medidas que se orientan a impedir, reducir, prever y controlar los adversos efectos de fenómenos peligrosos sobre la población, los bienes, servicios y el medioambiente. (Lavell, 2001). Cabe destacar que Chile no está exento de esta problemática mundial, debido a que es una nación que posee diversas amenazas naturales que en muchas ocasiones han generado catástrofes en el entorno nacional.

En virtud de lo anterior, es preocupante que el último gran evento referente a este tema ocurrido en la Región del Biobío, es decir, el terremoto y tsunami del 27 de febrero de 2010, haya tenido un impacto tal capaz de dejar más de 800.000 damnificados y 370.000 viviendas con importantes daños¹, lo cual pudo ser aun peor dada la magnitud de este evento sísmico (8,8 Mw) y posterior maremoto, el cual alcanzó una altura mayor a 11 metros². Sin embargo, no solo

la población sufrió daños considerables, sino que también se afectó la red hospitalaria en un 71%³, y en un 53.91% la red de escuelas, con 44,66% del total de escuelas con daños entre leves y moderados y un 9,25% del total con daños entre severos y totales⁴, desde Valparaíso hasta la Araucanía. Es importante señalar que estos daños pudieron haberse visto reducidos o mitigados en gran medida si es que el país hubiese estado mejor preparado tanto en el ámbito de las capacidades y en cuanto a la gestión del riesgo respecta.

Un ejemplo latinoamericano en torno a la gestión del riesgo lo presenta Bohorquez, L. (2011), quien propone un modelo de programación lineal que pretende minimizar el tiempo de respuesta a la población afectada y establecer la cantidad de alimento, el tipo de transporte y la ruta adecuada para realizar la distribución de kits de emergencia y alimentación en la etapa de respuesta mediata del desastre, a través de vehículos capacitados. Por otra parte, Cornejo, C., et al. (2013) efectúa un estudio que tiene por objeto conocer en qué lugar se deberían localizar centros de distribución considerando un terremoto de 8 Mw de magnitud. Considera 100% de cobertura de atención a los damnificados, minimizando el flujo de personas que serían atendidas desde otro lugar. Utiliza un modelo de programación lineal entera mixta para determinar la cantidad óptima de almacenes, para luego efectuar un análisis de sensibilidad numérico, variando su capacidad. Canales, L., Vergara C. (2013), analiza la localización de albergues de emergencia desde el punto de vista de flujos de personas desde una manzana a un albergue, y entre albergues con capacidades en salud. Por otra parte, se tiene a Acosta, L., Almendras, D., (2011) que aborda la temática teniendo en cuenta la materialidad de cada

¹ Plan de Reconstrucción Chile Unido Reconstruye Mejor. Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile (2010). Recuperado en: http://www.minvu.cl/opensite_20111122105648.aspx

² Modelación del Tsunami del 27 de Febrero de 2010. Pontificia Universidad Católica de Chile (2012). Recuperado en: http://ciperchile.cl/wp-content/uploads/poster_modelacion_tsunami_chile.pdf

³ Reconstrucción Red Hospitalaria. Ministerio de Salud de Chile (2010). Recuperado en: <http://web.minsal.cl/portal/url/item/96c3ad50a8681c94e04001011e0147cd.pdf>

⁴ La reconstrucción en Educación. Ministerio de Educación de Chile (2013). Recuperado en: http://www.mineduc.cl/usuarios/mineduc/doc/LIBRO%20MINEDUC%20FINAL_WEB.pdf



vivienda y la consecuencia de estas luego de un terremoto, donde el modelo se ajusta a la minimización de las distancias recorridas por las personas. En general, en estos modelos observados no se realizan análisis ni cuantificación de costos monetarios, por lo cual se hace relevante considerar este enfoque.

previamente definidos para este fin. Esta propuesta se basó en la formulación de un modelo de programación matemática, y la aplicación de dos instancias utilizando datos reales en la comuna de Talcahuano del Centro Metropolitano de Concepción.

1.1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Objetivo General

- Diseñar e implementar una herramienta de localización de albergues de emergencia en el Centro Metropolitano de Concepción, de acuerdo a criterios internacionales de logística humanitaria, en base a la utilización de un Sistema de Información Geográfica y programación matemática.

Objetivos Específicos

- Identificar el estado del arte referente a la gestión y prevención del riesgo de desastres en el marco de la logística humanitaria.
- Caracterizar la evolución de la gestión del riesgo de desastres a través del tiempo junto al contraste en el modo de operación existente en Chile y a los criterios internacionales estudiados.
- Determinar y conceptualizar las amenazas, vulnerabilidades y capacidades que configuran el riesgo de desastres en el Centro Metropolitano de Concepción.

Cabe destacar que la presente investigación tiene como propósito proponer una planificación de contingencias para el apoyo a la toma de decisiones en el área logística, en el ámbito de la localización de albergues de emergencia ante un desastre natural, para así disponer de lugares

- Identificar los requerimientos y características de albergues de emergencia en caso de desastres y su localización, en conjunto con las consideraciones respecto a la asignación de recursos para tales efectos, como por ejemplo, recursos de abastecimiento médico, alimentario y energético.
- Desarrollar técnicas de aplicación referentes a la localización de albergues, basadas en herramientas de Sistemas de Información Geográficos y programación matemática.

2. METODOLOGÍA

El problema identificado estipula conocer la localización óptima de albergues de emergencia dada una determinada población potencialmente afectada por un desastre, en conjunto con el aprovisionamiento de insumos hacia los albergues habilitados desde almacenes de abastecimiento. Ante esta situación, se define un conjunto de nodos que representan a esta población, los cuales corresponden a los centroides de las manzanas censales establecidas por el Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE) en el Censo realizado el año 2002, nodos que necesariamente deben ser asignados a un albergue. Se estipula esta modalidad de tal forma que se minimice el impacto psicológico en las familias afectadas al migrar hacia un albergue junto a su familia y cercanos. En virtud de lo anterior, se consideran otros dos conjuntos adicionales, los cuales corresponden a los albergues y a los almacenes que abastecen con artículos de menaje, aseo e higiene, alimentación y agua a los mencionados albergues, y en consecuencia a los usuarios de éstos.



En términos aplicados al modelo propuesto, se consideró a los supermercados de la zona estudiada como centros de abastecimiento; y a la red de colegios y escuelas pertenecientes a la localidad respectiva como albergues de emergencia.

Una de las principales características de esta aplicación se basa en la consideración de capacidad para todos sus conjuntos, es decir, para las manzanas, albergues y almacenes que forman parte del problema. La capacidad de las manzanas está determinada por la demanda por albergues de las personas que habitan una manzana, la cual debe ser cubierta en su totalidad.

Se hace necesario también mencionar la superficie por persona que se debe poseer en el caso de establecer un colegio o escuela como albergue temporal, para así determinar la máxima capacidad del establecimiento. Esta capacidad considera al menos **3,5m² por persona**⁵ (UNISDR, 2007). Se hace necesario también definir encargados por áreas, las cuales corresponden al área de salud, social, aseo y recreación, para así evitar los posibles problemas de hacinamiento, diversidad, manipulación de la alimentación, higiene e inactividad (Muñoz, 2012).

En definitiva, el modelo matemático permite minimizar los costos totales del sistema de localización de albergues propuesto, proporcionando información relevante respecto a la cantidad de personas refugiadas, albergues habilitados, almacenes acondicionados y el costo en el que se incurre tanto en albergar como en abastecer.

2.1. Levantamiento de información

En la actualidad, en la VIII Región del Biobío, según datos de la ONEMI se logran identificar a la fecha del 01/07/2014 un total de **180 albergues** habilitados en caso de

⁵ UNISDR (2007). Albergues en Escuelas, ¿Cuándo?, ¿Cómo?, ¿Por qué?. Recuperado en http://www.eird.org/cd/toolkit08/material/Inicio/escuela_albergue/escuela-albergue.pdf

emergencia, con una capacidad total de albergue de **16.686 personas, en toda la región**. En la zona de estudio correspondiente al Centro Metropolitano de Concepción, según los datos obtenidos mediante Solicitud de Transparencia a la ONEMI se logran identificar **13 albergues** habilitados oficialmente para todo tipo de emergencias, con una capacidad para **1.560 refugiados**.

Se realizó una estimación en base al producto entre la matrícula actual de alumnos de cada establecimiento y la superficie destinada para cada alumno en cada aula (correspondiendo este valor a 1,1m² por alumno⁶), resultando la superficie total de salas de clases de cada colegio, por lo cual se considerará como el espacio efectivo para su uso como dormitorios. Luego, el valor resultante se divide por los 3,5m² por persona recomendados como la superficie mínima por persona albergada⁷, lo cual da origen a la capacidad total de refugio de cada establecimiento:

⁶ MINVU (1992). Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcción. Recuperado en: http://fiscalia.mop.cl/legislacion/cont/generales/D_S_47_Ordenanza_General_de_Urbanismo_y_Construccion.pdf

⁷ El Proyecto Esfera (2011). Carta humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria. Recuperado en: <http://www.acnur.org/biblioteca/pdf/8206.pdf?view=1>



$$Q = \frac{M * \alpha}{\beta}$$

- Q:** Capacidad de refugio. (personas)
M: Matrícula total de alumnos del colegio. (personas)
 α : Superficie utilizada por alumno en cada sala de clases (1,1m² por persona)
 β : Superficie mínima por persona en un albergue (3,5m² por persona)

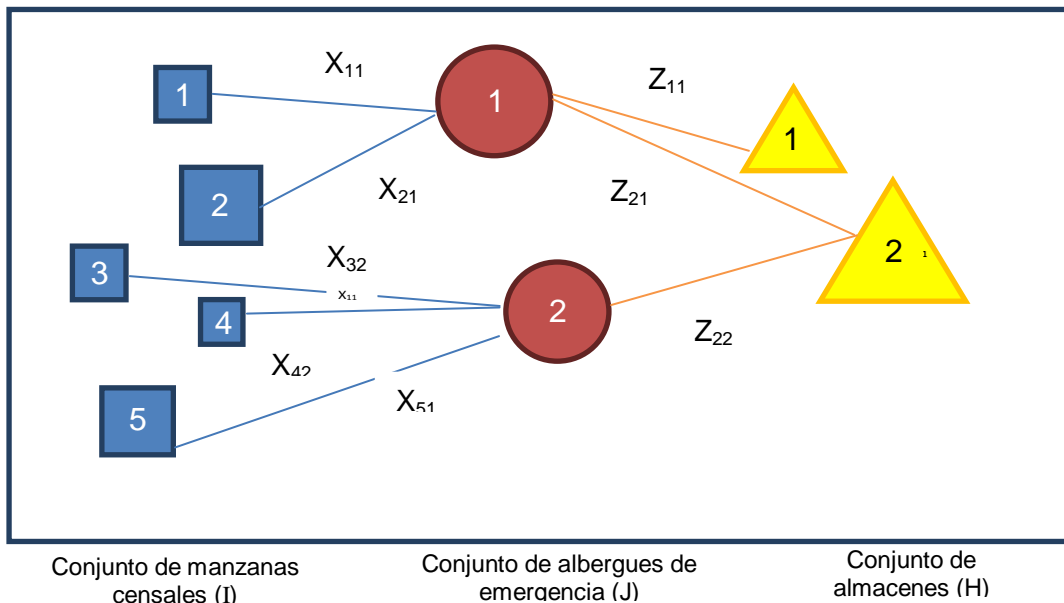


Figura N°2.1.: Representación gráfica de una solución hipotética

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se establece que los albergues potenciales existentes en las comunas de Concepción, Hualpén y Talcahuano ascienden a un total de 166, de los cuales 152 se encuentran en una zona no inundada por el tsunami del 27 de febrero de 2010, estos, con una capacidad total de refugio de 24.883 personas en total.

2.2. Instancias de aplicación

Las instancias a desarrollar son dos. La primera situación considera la eventualidad de un terremoto por sobre los 7,0 Mw, debido a que a partir de este valor se generan graves daños en una localidad⁸, en conjunto con el Índice de

Materialidad de la Vivienda (IMV)⁹ del conjunto de viviendas de un sector de la comuna de Talcahuano, el cual fue obtenido mediante bases de datos existentes en el Laboratorio de Economía Espacial. Una vivienda se caracteriza como irrecuperable si al menos un indicador (pared, techo, suelo) posee una calificación irrecuperable. Desde el punto de vista de materialidad se asume que las viviendas irrecuperables estarían expuestas a un riesgo mayor en el caso de un fenómeno sísmico que una vivienda recuperable o aceptable, **por lo cual se consideran parte de la demanda por albergues.**

8

http://www.ecured.cu/index.php/Escala_de_Richter

9

<http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/case/n/definiciones/vivienda.html>



La segunda instancia de aplicación comprende un tsunami, en específico, se consideró el área de inundación provocada por el maremoto ocurrido el 27 de febrero de 2010 en la comuna de Talcahuano. Por lo tanto, la demanda por albergues corresponde al total de población perteneciente al área inundada.

A efectos de aplicar esta situación y recolectar los datos necesarios, se utilizó un polígono en base al estudio realizado por Albornoz, Mena y Núñez (2012), que contempla un área efectiva de inundación dentro del límite urbano de 7,09 km² dentro de la comuna de Talcahuano, tal como lo muestra la Figura N°2.2.

Figura N°2.2: Zona considerada para la instancia de tsunami



Fuente: Elaboración Propia a partir de ArcGIS ® Desktop 10

2.3. Datos utilizados

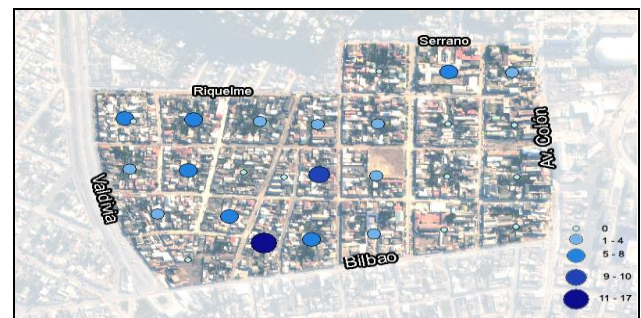
Las cifras utilizadas en este estudio provienen de las bases de datos facilitadas por el

Laboratorio de Economía Espacial de la Universidad del Bío-Bío, tratadas mediante el software ArcGIS 10.

2.3.1. Instancia Terremoto

Para esta instancia se consideró un área que abarca un total de **27 manzanas censales**, las cuales suman una **superficie de 258.104 m²**. Estas manzanas contienen **820 viviendas en total**, y **33 de ellas poseen un Índice de Materialidad de Vivienda (IMV) irrecuperable**. Las manzanas que poseen un mayor número de viviendas con un IMV irrecuperable están representadas con un nodo de color azul más oscuro y de mayor tamaño.

Figura N°2.3: Manzanas censales con mayor IMV en instancia terremoto

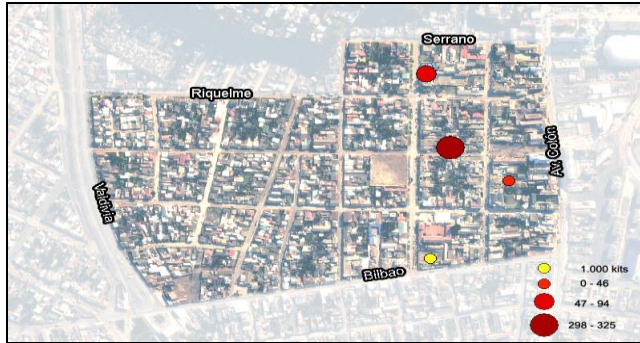


Fuente: Elaboración Propia a partir de ArcGIS ® Desktop 10

Lo anterior implica que **las personas potencialmente damnificadas ascienden a un total de 106**. Para satisfacer la demanda, la zona de estudio cuenta con 3 albergues, con una capacidad de refugio de 242 personas. Se identifica un solo almacén. En la Figura N°2.4 se categorizan los albergues y almacenes según su capacidad, mediante nodos de color rojo y amarillo. A mayor capacidad, el nodo de albergue se hace de un rojo más oscuro y más grande.



Figura N°2.4: Albergues y almacén según capacidad en instancia terremoto

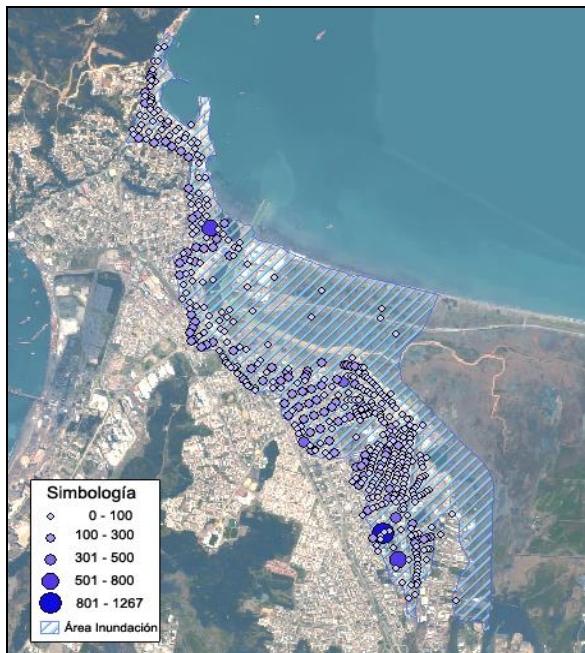


Fuente: Elaboración Propia a partir de ArcGIS ® Desktop 10

2.3.2. Instancia Tsunami o Inundación

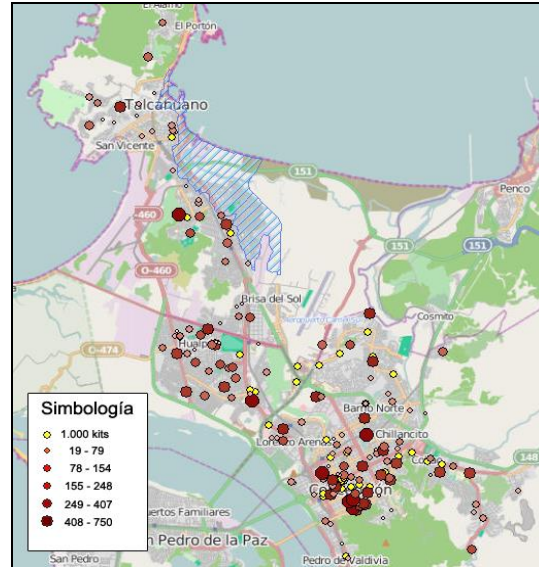
Se identifica un total de **482 manzanas censales inundadas**, las cuales comprenden un total de **31.004 habitantes** con necesidad de refugio.

Figura N°2.5: Manzanas censales inundadas, según cantidad de habitantes



Fuente: Elaboración Propia a partir de ArcGIS ® Desktop 10

Figura N°2.6: Albergues y almacenes según capacidad en instancia tsunami



Fuente: Elaboración Propia a partir de ArcGIS ® Desktop 10

Como es posible observar, la capacidad de refugio total no es suficiente para albergar a toda la población afectada por este último suceso, lo cual se debe principalmente a la magnitud del evento considerado. Sin embargo, a efectos prácticos y para asegurar la factibilidad de las soluciones del modelo, en esta instancia se considerará la incorporación de un albergue ficticio de capacidad equivalente al déficit de refugio en las comunas seleccionadas.

3. RESULTADOS

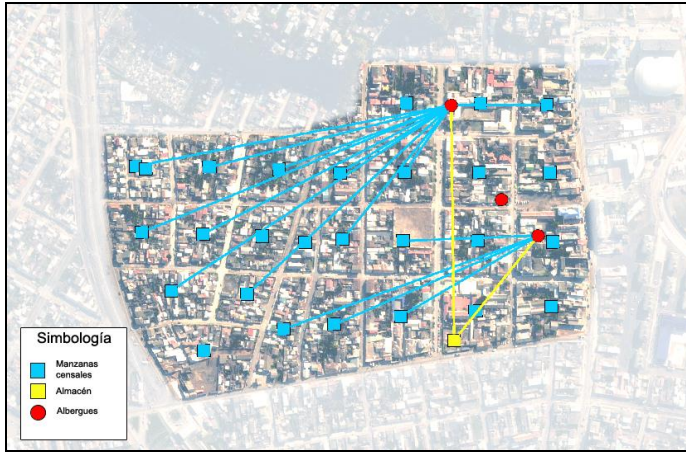
El modelo descrito anteriormente fue resuelto utilizando el solver CPLEX ® 12.5.1.0, y programado en lenguaje AMPL Versión 20021031 (Win 32). El modelo se ha implementado en un equipo con procesador Intel Core 2 Quad CPU Q8300 @ 2.50 Ghz y 4GB de memoria RAM.

El costo total de esta solución para la primera instancia, corresponde a \$84.546.300, lo cual equivale a una semana de refugio para un



aproximado de 127 personas¹⁰, por lo cual el costo aproximado de refugio por persona al día asciende a \$95.103.

Figura N°3.1: Solución óptima de la instancia terremoto



Fuente: Elaboración Propia en base a yEd Graph Editor y ArcGIS ®

Para la segunda instancia correspondiente a un tsunami, se identificó la existencia de ciertas manzanas censales que superaban la capacidad del albergue de mayor tamaño (la manzana censal con mayor número de habitantes posee 1267 personas, y el albergue de mayor capacidad identificado está capacitado para refugiar como máximo a 750 personas), por lo cual el problema se volvía infactible. Es por esto que ante esta situación se subdividió la restricción (1):

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I, 0 < k_i < 700 \quad (9)$$

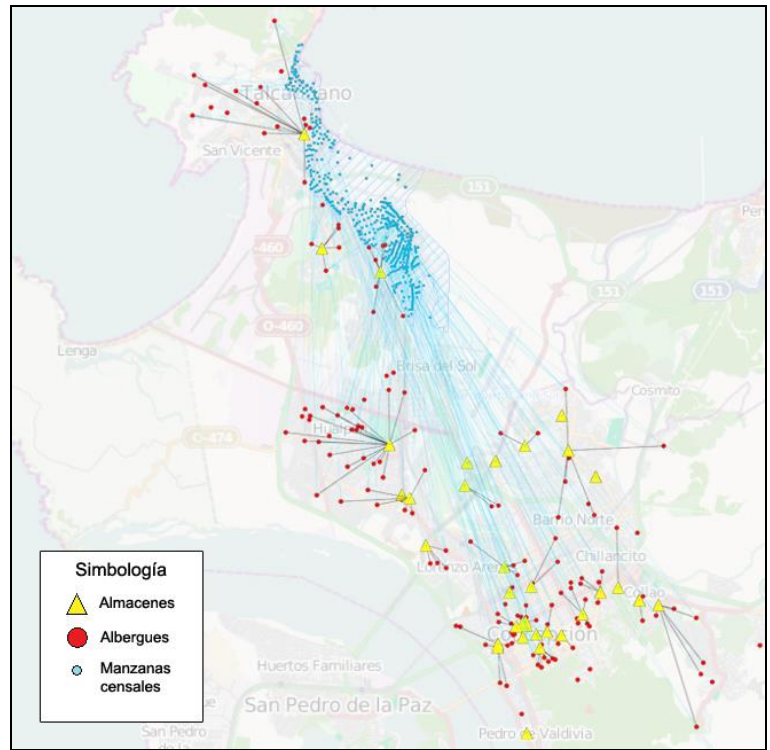
$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 2 \quad \forall i \in I, k_i > 700 \quad (10)$$

Las restricciones (9) y (10) plantean que si una manzana censal posee menos de 700 habitantes, ésta solo puede ser asignada a un albergue. Por otra parte, si su cantidad de

¹⁰ El promedio de habitantes por vivienda en el área de estudio corresponde a 3,84. Valor en base al Censo realizado en Chile en el año 2002, extraído de ArcGIS 10.

habitantes es mayor que 700, es posible asignarla a dos albergues distintos.

Figura N°3.2: Solución factible de la instancia tsunami



Fuente: Elaboración Propia en base a yEd Graph Editor y ArcGIS ®

En este caso, la solución factible entregada por el modelo habilita **108 albergues** de un total de 153. En cuanto a los almacenes, se abren en total 25 de 35 posibles, todo esto satisfaciendo a su vez la demanda por refugio en su totalidad, además de abastecer completamente a los albergues de emergencia.

El costo de esta solución, por una semana de refugio, asciende a un total aproximado de **\$619.716.661.200** para un conjunto de 482 manzanas censales inundadas consideradas, las cuales comprenden 31.004 personas damnificadas. El costo promedio de refugio diario por persona asciende a un total \$2.855.469 aproximadamente.

Por otra parte, para poder observar las variaciones que experimentan los costos en diversos casos, se modificó la restricción (8), con el fin de establecer un parámetro fijo para el



número de albergues localizados. Así, fue posible observar con detención cómo se comporta la función objetivo mientras varía la cantidad de albergues habilitados.

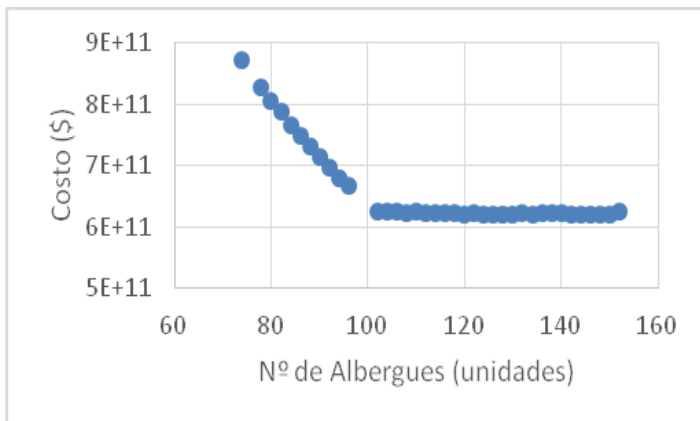
$$\sum_{j \in J} y_j = \mu \quad (11)$$

En efecto, la restricción (11) estipula que deben ser habilitados necesariamente μ albergues, parámetro que se ingresa según el caso que se desee evaluar. El intervalo evaluado corresponde a la instalación de 70 a 152 albergues, debido a que habilitaciones de menos de 70 albergues son infactibles para esta instancia.

Los resultados del modelo analizado difieren bastante entre sí, debido a que la primera instancia considera solo una red de 31 nodos en total, con un tiempo de resolución de tan solo 0,05 segundos. Esto se debe a que el número de

muy alto. Por otra parte, es fundamental estudiar mejoras al modelo, con el fin de obtener soluciones de instancias más grandes y en tiempos aceptables.

Figura N°3.3: Costo total de la solución



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°3.3 se indica la variación que experimenta el costo total del modelo al modificar la cantidad de albergues habilitados para satisfacer la demanda por refugio de la población afectada. En cierto tramo del gráfico de dispersión presentado (entre 70 y 100

variables generadas por el modelo, para este caso, asciende a un total de 140, las cuales son binarias en su totalidad. Además, genera 68 restricciones de las cuales 16 son de igualdad y las 52 restantes son desigualdades.

Por otra parte, para la instancia de inundación por tsunami se consideró una red de 670 nodos en total, la cual tomó un tiempo de resolución máximo de 765,20 segundos (12,75 minutos), y el promedio de los 42 escenarios observados fue de 222,88 segundos de ejecución (3,71 minutos), considerando un 1% de gap relativo. El número de variables generadas en esta instancia fue de 56.033, todas binarias, y un total de 6.146 restricciones lineales.

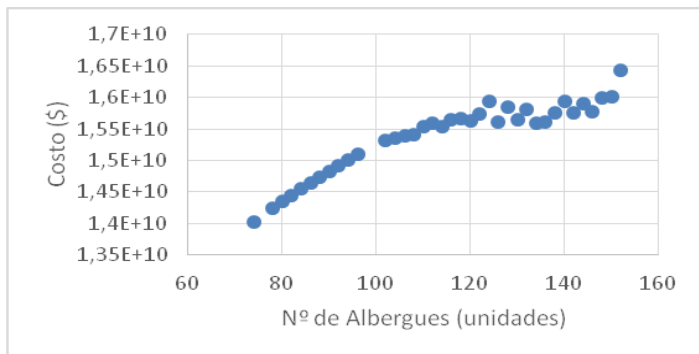
Es probable que los altos tiempos de solución para la instancia de 670 nodos, estén influenciados también por la disparidad de los parámetros utilizados en la función objetivo, ya que fue posible advertir un gap absoluto

albergues habilitados), es posible observar una fuerte tendencia decreciente en el costo total a medida que se habilita una mayor cantidad de albergues. Esto se explica ya que si bien la función objetivo considera el costo total de la solución, este costo contempla el costo de habilitación de albergues y almacenes (Figura N°3.4) y a su vez un factor proporcional a las distancias recorridas por las personas desde la manzana censal en la que residen hasta el albergue que les fue asignado en cada caso, por lo cual a medida que se van habilitando mayor cantidad de albergues, las personas que solían caminar largas distancias tienen acceso a un refugio más cercano, lo cual en suma disminuye la cantidad total recorrida y por ende los costos totales (Figura N°3.5).

El valor de la función objetivo se estabiliza entre los 600 y 650 mil millones de pesos cuando se habilitan más de 100 albergues y menos de 152.



Figura N°3.4: Costo de habilitación de albergues y almacenes

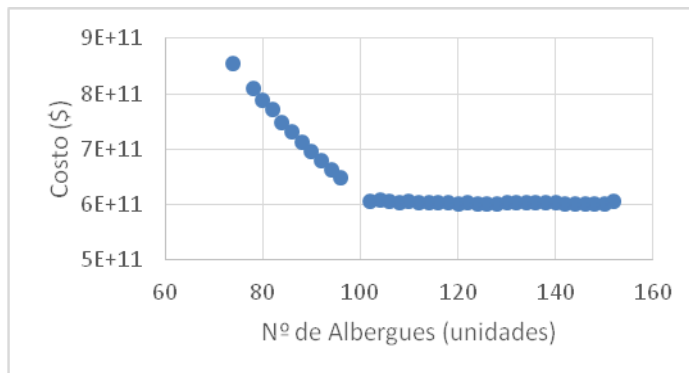


Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°3.4 se explica cómo se incrementa el costo de habilitación tanto de albergues como de almacenes en conjunto, a medida que aumenta la cantidad de albergues habilitados. Se observa una tendencia creciente a medida que se habilitan más instalaciones, lo cual resulta obvio si esta apertura de instalaciones comprende un costo asociado. Cabe destacar que esta curva la compone principalmente la de costo por habilitar albergues, ya que la curva por habilitar almacenes se mantiene dentro de un rango estable. Esto quiere decir que con similar cantidad de almacenes de abastecimiento abiertos, es posible atender a diversas cantidades de albergues abiertos.

Tal como se mencionó anteriormente, se observa que la curva del costo asociado a las distancias recorridas por las personas desciende a medida que aumenta la cantidad de albergues habilitados. Tiene lógica esta tendencia, ya que a medida que existen más posibilidades de albergue, las personas damnificadas podrán escoger su opción más cercana, por ende disminuirán sus costos para desplazarse caminando hacia un lugar. Cabe destacar que para este caso, el costo es proporcional a la distancia recorrida. Este valor se estabiliza desde los 100 albergues habilitados, por lo cual el costo varía entre 600 y 610 miles de millones de pesos.

Figura N°3.5: Costo asociado a distancias recorridas por las personas



Fuente: Elaboración Propia

4. DISCUSIÓN

Es necesario mencionar que el costo para la primera instancia se compone en un 99,9% de la habilitación de albergues y almacenes, costo que asciende a \$84.525.920. Esto se contrapone a la baja distancia que deben recorrer las personas para llegar a su respectivo albergue (en promedio 282,3 metros), lo cual implica bajos costos asociados a distancias recorridas.

Si bien este valor podría parecer alto, al compararlo con el costo social por fallecimiento prematuro de un individuo en Chile, el enfoque cambia. Según el Ministerio de Desarrollo Social (2014), este valor asciende a **\$286.879.726 por fallecimiento**, es decir, una semana de refugio para 94 personas, para esta instancia.

En cuanto a los resultados de la segunda instancia, en contraposición con la instancia anterior, los costos totales se componen en un 97,68% de costos asociados a distancias, lo cual es posible corroborar debido a los largos trayectos que deben recorrer las personas para llegar a su albergue asignado.

Es necesario destacar que la máxima distancia recorrida por una persona para esta solución corresponde a 13,47 kilómetros, valor que es excesivo dado el tiempo que demoraría en recorrer tal distancia, esto es, **casi 4 horas para una caminata a bajo ritmo** (3,6 km/h) y sin descanso.



Si bien se encontraron soluciones factibles pero no óptimas para la segunda instancia, es de gran importancia realizar este tipo de análisis de sensibilidad con respecto a diversos parámetros relevantes para la solución, ya que otorga un amplio abanico de posibilidades para el decisor, por ejemplo, en esta situación se podría decidir habilitar 74 albergues a un alto costo (854 miles de millones de pesos), o bien 108 albergues a 604 miles de millones de pesos, aproximadamente, todo esto acorde a las necesidades existentes, sujetas al presupuesto disponible en el momento de la toma de decisiones.

Finalmente, esta propuesta de modelo sin dudas es un aporte a la situación actual del país, ya que hoy por hoy no se efectúan estos análisis ni procedimientos para localizar albergues ni distribuir la ayuda de manera integral, sin embargo, es necesario mejorar la estimación de los parámetros utilizados, para obtener valores y costos cada vez más realistas, además, dados los resultados obtenidos, es posible identificar un gran margen de mejora para este modelo propuesto, por lo cual se establece una base para las futuras investigaciones que se originan en virtud de este estudio.

5. CONCLUSIONES

En virtud de la investigación realizada, se evidencia que a través del tiempo el paradigma de la atención a los desastres ha tenido una notoria evolución. Desde un enfoque centralista en sus inicios, donde era prioridad la atención a la respuesta a un desastre, hasta un enfoque sistémico en el día de hoy, donde se prioriza la prevención y la gestión del riesgo propiamente tal, abordando los desastres de forma *ex ante*, *durante* y *ex post*.

Con respecto a la situación nacional, en Chile y desde el año 1900, ocurre al menos un desastre natural al año, por lo cual es evidente que se hace necesario adoptar medidas para mitigar y prevenir eventualidades catastróficas, las cuales deben apuntar a una gestión del riesgo de desastres como prioridad nacional. El aumento de la participación ciudadana, la

inclusión de la gestión del riesgo de desastres en la educación, el fomento a la investigación, desarrollo e innovación de este ámbito en la academia, o la integración y trabajo en conjunto de los organismos dedicados a la atención de los desastres son algunos desafíos que son posibles de identificar en pos de aumentar las capacidades de afrontamiento y prevención de éstos, en especial en la Región del Bío-Bío y el Centro Metropolitano de Concepción, conurbación caracterizada como una zona de grandes amenazas naturales como sismos, incendios urbanos y forestales, remociones de masa e inundaciones, además de grandes vulnerabilidades físicas, como la construcción de viviendas en lugares de riesgo.

Es necesario indicar que en esta investigación se pudo observar la carencia de albergues de emergencia en Talcahuano y en el Centro Metropolitano de Concepción, inclusive considerando colegios y escuelas tanto particulares como públicas, ya que para la instancia de tsunami no se dio abasto con la capacidad actual considerada, por lo que se tuvo que añadir un albergue ficticio que acaparara todo el exceso de demanda por refugio. Sumado a esto, la solución otorgada originó extensas asignaciones en cuanto a distancia entre manzanas y albergues, por lo cual se hace necesario investigar otras medidas y extensiones del problema para subsanar esta circunstancia, como las instalaciones de carpas temporales más próximas a los habitantes damnificados, para hacer frente a estos desbalances. Si bien la instancia de tsunami considerada es un escenario extremo, no deja de ser realista y un aspecto importante a considerar para futuros estudios y políticas de desarrollo sostenible, con enfoque en la reducción de riesgos de desastre.

Se concluye que el modelo de programación matemática empleado para resolver el problema de localización de albergues de emergencia, esencialmente en instancias pequeñas, reporta grandes beneficios basados en la adaptabilidad que posee, además de la escalabilidad que ofrece, ya que es posible extrapolarlo a otras localidades, siempre y cuando exista posesión de los datos necesarios



para su implementación, además de una correcta estimación de los parámetros asociados. Sumado a lo anterior, el modelo matemático propuesto posee un alto impacto económico y social, ya que agrega valor tanto para la población como para el estado. Esto, ya que permite efectuar una cobertura total de los damnificados ante un desastre, a un mínimo costo para el estado, o al menos otorgando información referencial, ya que proporciona información relevante respecto a la cantidad de personas refugiadas, albergues habilitados, almacenes acondicionados y el costo en el que se incurre tanto en albergar a la población como en abastecerla, sin embargo requiere mejoras que representen de mejor manera la realidad local y nacional.

En virtud de lo anterior, es preciso señalar que fue fundamental la utilización de un Sistema de Información Geográfico, debido a que contribuyó en el aspecto metodológico y de recolección de datos, alimentando al modelo de programación matemática propuesto, además de otorgar una perspectiva visual de las soluciones arrojadas por el modelo, facilitando su análisis posterior.

En definitiva, este estudio es sin duda un aporte para el desarrollo de planificaciones previas a los desastres, por lo cual se recomienda considerarlo en futuros simulacros en el Centro Metropolitano de Concepción, experimentando de forma iterativa estas simulaciones para fomentar el aprendizaje de la población, previniendo y mitigando los futuros daños que los desastres que con seguridad se avecinan generarán.



6. REFERENCIAS

- ACOSTA, L., ALMENDRAS, D. (2011). Localización de albergues para hogares afectados por un desastre natural. En: XLIII Simpósio Brasileiro de PESQUISA OPERACIONAL: 15-18 de agosto de 2011. Ubatuba, São Paulo, Brasil. 10p.
- BOHÓRQUEZ, L. (2012). Análisis del tiempo de respuesta en la distribución de alimentos en la etapa mediata del desastre para la zona norte establecida por la Cruz Roja colombiana. Tesis de posgrado. Universidad de la Sabana, Chia, Cundinamarca, Colombia. 101p.
- CANALES, L., VERGARA, C. (2013). Localización de albergues en logística humanitaria. En: X Congreso ÓPTIMA 2013 del Instituto Chileno de Investigación Operativa (ICHIO): 27-30 de octubre de 2013. Universidad de Concepción, Departamento de Ingeniería Industrial. Concepción, Chile. 8p.
- CHILE. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (1992). Decreto N°47: Fija Nuevo Texto de la Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones. Junio de 1992. 282p.
- CORNEJO, C. (2014) Reducción del Riesgo de Desastres en Chile. En: Segundo Encuentro de Universitarios trabajando para la Reducción de Riesgos de Desastres REDULAC – CHILE: 9 y 10 de enero de 2014. Concepción, Universidad de Concepción. ONEMI. 23p.
- ECURED (2014). Escala de Richter [En línea] <http://www.ecured.cu/index.php/Escala_de_Richter> [consulta: 07 de julio de 2014]
- LAGOS, M. (2010). Modelación del Tsunami del 27 de Febrero de 2010, Chile. [En línea] Santiago, Chile. <http://ciperchile.cl/wp-content/uploads/poster_modelacion_tsunami_chile.pdf> [consulta: 02 de julio de 2014]
- LAVELL, A. (2001). Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición. [En línea] San José, Costa Rica. <<http://tmx0013855280.com/seminario/Biblioteca/vulnerabilidad/doc15036-Lavell-Gestion-Riesgo.pdf>> [consulta: 11 de julio de 2014]
- MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL (2014). Encuesta CASEN, Índice de Materialidad de la Vivienda. [En línea] <<http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen/definiciones/vivienda.html>> [consulta: 21 de marzo de 2014]
- MINISTERIO DE EDUCACIÓN (2013). La Reconstrucción en Educación: Una Mirada a los Procesos y Desafíos a la Reconstrucción de la Infraestructura Escolar Dañada en el Terremoto y Maremoto del 27/F. [En línea] Santiago, Chile. <http://www.mineduc.cl/usuarios/mineduc/doc/LIBRO%20MINEDUC%20FINAL_WEB.pdf> [consulta: 02 de julio de 2014]
- MINISTERIO DE SALUD (2010). Reconstrucción Red Hospitalaria. [En línea] Santiago, Chile. <<http://web.minsal.cl/portal/url/item/96c3ad50a8681c94e04001011e0147cd.pdf>> [consulta: 02 de julio de 2014]
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO (2014). Ministra Saball informa que 9.547 viviendas presentan daños por terremoto en el norte del país. [En línea] Noticias MINVU. 05 de abril de 2014. <http://www.minvu.cl/opensite_det_20140405230853.aspx> [consulta: 09 de junio de 2014]



MUÑOZ, M. (2012). Administración de Albergues. [En línea] Santiago, Chile.
<<http://www.ocai.cl/d4.pdf>> [consulta: 15 de octubre de 2013]

PROYECTO ESFERA (2011) Carta Humanitaria y Normas Mínimas para la Respuesta Humanitaria. 3^a ed. Reino Unido, Practical Action Publishing, 450p.

UNISDR (2007). Albergues en Escuelas, ¿Cuándo?, ¿Cómo?, ¿Por qué?. [En línea]
<http://www.eird.org/cd/toolkit08/material/Inicio/escuela_albergue/escuela-albergue.pdf>
[consulta: 19 de marzo de 2014]