

LOCALIZACIÓN DE ALBERGUES PARA HOGARES AFECTADOS POR UN DESASTRE NATURAL

Luis Gonzalo Acosta Espejo

Departamento de Industrias, Universidad Técnica Federico Santa María
Av. España 1680, Valparaíso, Chile
luis.acosta@usm.cl

David Leonardo Almendras Riesco

Departamento de Industrias, Universidad Técnica Federico Santa María
Av. España 1680, Valparaíso, Chile
david.almendras@alumnos.usm.cl

RESUMEN

En este trabajo se aborda un problema de localización de albergues para acoger a los hogares afectados por alguna emergencia de tipo natural y agresiva. En este contexto, el nivel de riesgo de un hogar depende del tipo de materiabilidad de su vivienda y del tipo de fenómeno natural que ocurra. La oferta de albergues incluye el uso de recintos oficiales y, cuando sea necesario, el uso de locales privados. Ante la ocurrencia de un desastre natural, el modelo de localización propuesto entrega una manera de encaminar a los hogares afectados hacia estos refugios temporales. Los resultados obtenidos con el modelo corresponden a comunas urbanas, pobladas y sujetas a riesgos como es el caso de las comunas chilenas de Valparaíso y Viña del Mar.

PALABRAS CLAVE. Emergencia natural y agresiva, problema de localización, albergues.

AdP - PO na Administração Pública, OA - Outras aplicações em PO

ABSTRACT

In this work we deal with housings localization, aiming to protect homes affected by natural and/or aggressive emergency. The population's risk level depends on the type of housing building materials and the kind of natural phenomenon that occurs. The housings supply includes the use of official facilities and, when it is necessary, the use of private facilities. We present the results obtained for two urban Chilean communes, Valparaíso and Viña del Mar, which are exposed to natural disasters.

KEYWORDS. Natural and aggressive emergency. Location problem. Housing.

AdP – OR in Public Management, OA – Other Applications of OR

1. Introducción

Chile es un país que debido a sus características geográficas ha sido afectado de forma recurrente por fenómenos naturales. Entre los fenómenos más frecuentes están los sismos, maremotos, erupciones volcánicas, sequías y precipitaciones intensas. En este sentido, los sismos son el fenómeno natural de mayor impacto en el país desde el punto de vista de pérdidas de vidas humanas y de pérdidas materiales. Esto no es un problema que se da únicamente en Chile, una recopilación de bases de datos con ocurrencias a nivel mundial puede ser encontrada Altay y Green III (2006).

La Región de Valparaíso es la segunda región más poblada de Chile (la primera es la Región Metropolitana). En la Región de Valparaíso existen diversas variables de riesgo que afectan a la población ante un inminente desastre de tipo natural. Más específicamente, las comunas de Valparaíso y Viña del Mar son las que concentran la mayor cantidad de población que está sujeta a diferentes tipos de riesgos naturales. Según la Oficina Nacional de Emergencia de Chile (ONEMI), los riesgos naturales más latentes son los fenómenos de carácter sísmico, acompañado de un eventual maremoto. Otros riesgos son los incendios y los de tipo hidrometeorológico. En este último destacan los asociados a remociones de masa o deslizamientos de tierra, y también los provocados por inundaciones. Sin duda, de todos los fenómenos anteriores los que resultan más impredecibles y destructivos son los de carácter sísmico, los cuales pueden ser asociados a maremoto y a remoción de masa.

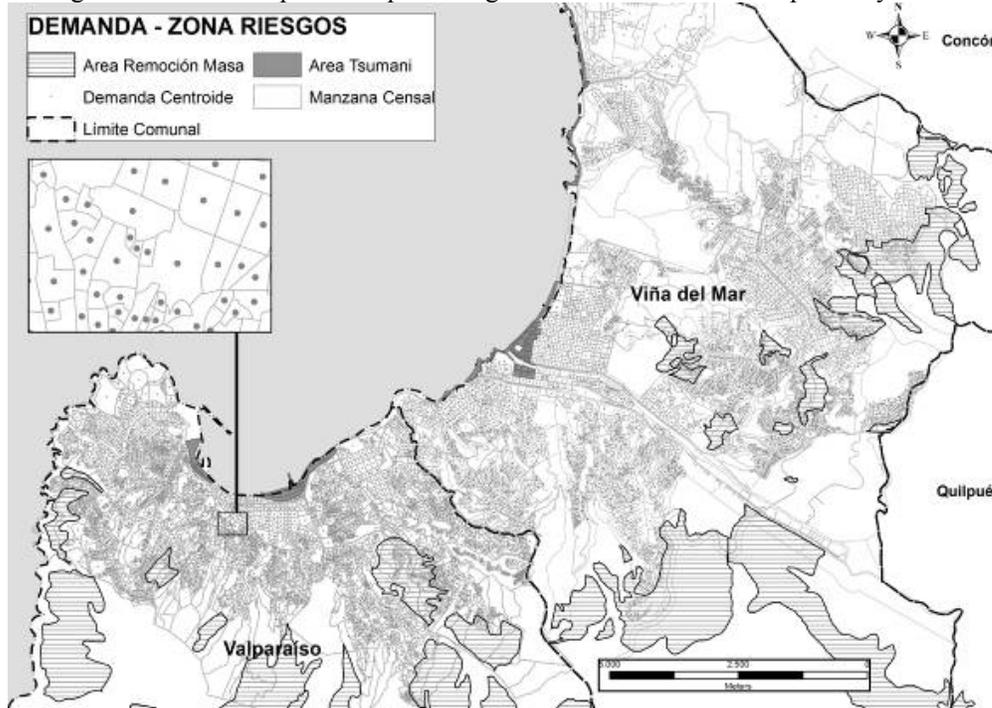
La ocurrencia de una situación de desastre, que no ha podido evitarse, requiere que las personas e instituciones trabajen de forma conjunta en el diseño y establecimiento de planes concretos de respuesta que apoyen a la toma de decisiones frente a una emergencia. Aquí es muy importante que las personas afectadas sepan qué hacer y a dónde ir frente a un fenómeno natural destructivo. Más aún, si parte de la población afectada debe ser encaminada hacia albergues que actúan como refugios temporales.

Prácticamente todas las acciones de prevención, recuperación, educación, etc., están en torno a la variable riesgo, la cual puede ser de origen antrópico (provocado por el hombre) o de origen natural. El presente trabajo tiene como finalidad entregar un modelo de localización de facilidades que entregue una manera de cómo encaminar a la población afectada por un desastre natural hacia los albergues.

2. Caracterización de la demanda y de la oferta por albergues

La demanda por albergues provendrá de la población que sería afectada ya sea por fenómeno de carácter sísmico, de maremoto y de remoción de masa. Los fenómenos sísmicos son de carácter transversal, es decir, un sismo afecta a cualquier vivienda que esté localizada en un área de extensión pequeña como son, por ejemplo, las comunas de Valparaíso y Viña del Mar. En la Norma NCH 433 del Instituto Nacional de Normalización de Chile, que trata sobre Cálculo sísmico de Edificios considera que, dependiendo del tipo de suelo, se considera que la liberación de energía afecta de diferente manera a cada vivienda en particular las características de la vivienda, zona geográfica del país, etc. En el caso del fenómeno de maremoto, éste afectaría a viviendas que fundamentalmente estén localizadas en áreas de inundabilidad históricas determinada por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), y en caso del fenómeno de remoción de masa, son áreas ubicadas en la periferia que en general tienen una pendiente pronunciada (ver “Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias del Gran Viña del Mar, V Región de Marzo 2001”). La Figura 1 muestra la ubicación de las zonas de riesgo en las comunas de Valparaíso y Viña del Mar.

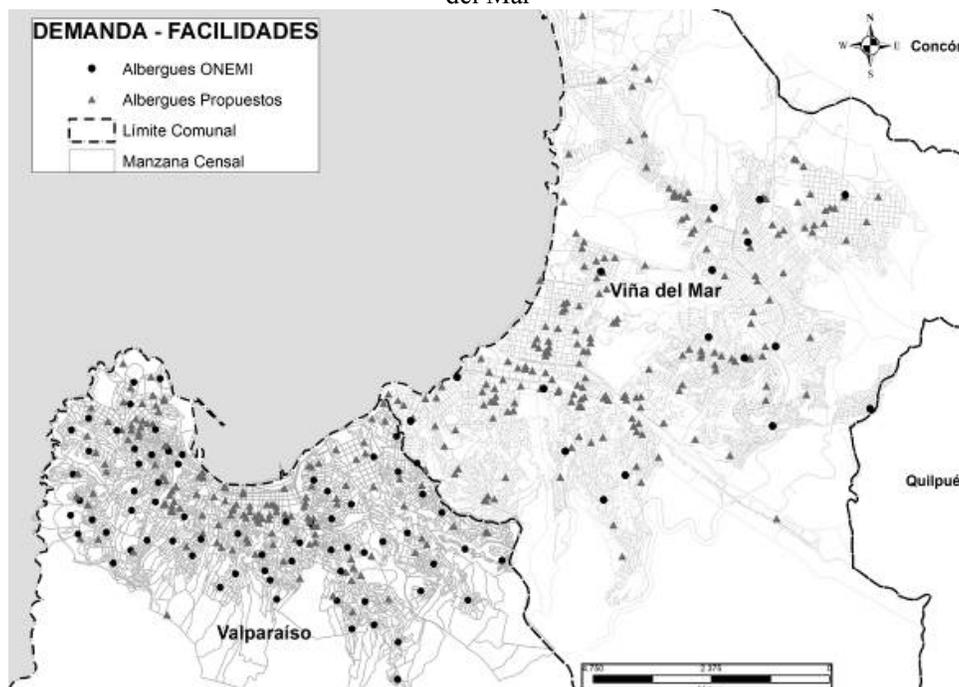
Figura 1 – Demanda potencial por albergues en las comunas de Valparaíso y Viña del Mar



En el año 2004, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile (MINVU), realizó un estudio sobre la medición de los requerimientos de vivienda y su distribución espacial. Uno de los indicadores del estudio es el Índice de Materialidad de la Vivienda (IMV), que es un indicador sobre la calidad de los atributos materiales de la vivienda. Esto es, según este índice una vivienda puede ser caracterizada globalmente como aceptable, recuperable e irrecuperable dependiendo del tipo de material del suelo, techo y pared de la vivienda. Por lo tanto, en el presente trabajo, desde el punto de vista de materiabilidad se asume que una vivienda irrecuperable estaría expuesta a un riesgo mayor o al menos a la probabilidad de riesgo mayor en el caso de un fenómeno sísmico que una vivienda recuperable o aceptable. A su vez, una vivienda recuperable estaría mayor expuesta a sufrir un daño por un sismo en comparación a una aceptable. Se asume que, la demanda está concentrada mayormente en el centroeide de una manzana censal (una manzana censal es una división geográfica censal definida por el Instituto Nacional de Estadística de Chile).

La oferta existente de albergues oficiales (capacidad y ubicación) para las comunas de Valparaíso y de Viña del Mar es conocida. Sin embargo, dependiendo del fenómeno destructivo esta oferta puede ser insuficiente y será necesario incorporar otros albergues no oficiales. En este caso, los albergues propuestos son principalmente algunos recintos públicos administrados por las municipalidades. Para Valparaíso se tomaron en cuenta algunos recintos deportivos como estadios y auditorios deportivos. En el caso de Viña del Mar, los recintos deportivos considerados son los que dependen de la municipalidad. Se consideró, además, la totalidad de colegios en funcionamiento por ambas comunas en el periodo de estudio. Según la “Guía para la administración de albergues municipales” de la ONEMI, los colegios son recintos que poseen las mejores condiciones de infraestructura para ser utilizados como albergues. Si bien es cierto, existen colegios públicos y privados que pueden ser utilizados como albergues, los colegios particulares-subvencionados (reciben aporte del estado) serán los primeros en ser habilitados para su uso y, posteriormente, en caso de ser necesario, se habilitarán los colegios particulares (no reciben aporte del estado). En la Figura 2 se muestra la ubicación de los albergues existentes y de los albergues potenciales propuestos en este trabajo.

Figura 2 – Oferta de albergues existentes y en potencial para las comunas de Valparaíso y Viña del Mar



Para cuantificar la demanda y oferta de albergues se utiliza como medida la cantidad de hogares, según el MINVU, este valor es de 3.2 personas/hogar en el caso de Valparaíso y 3.3 personas/hogar en el caso de Viña del Mar. La transformación se justifica debido a que se albergan hogares y no personas. En la Tabla 1 se muestra un resumen de la cantidad de hogares que demandarían un albergue (según tipo de vivienda) y la Tabla 2, muestra la capacidad de la oferta según tipo de albergue.

Tabla 1 - Demanda por albergues para las comunas de Valparaíso y Viña del Mar (en número de hogares)

Comuna	Tipo de Vivienda		
	Aceptable	Recuperable	Irrecuperable
Valparaíso	57149	20769	241
Viña del Mar	68859	14657	156

Tabla 2 - Oferta de albergues para las comunas de Valparaíso y Viña del Mar (en número de hogares)

Comuna	Tipo de albergue						Total
	Oficial Onemi	Recinto deportivo	Propuesto en el estudio				
			Colegio				
			Municipal	Administración delegada	Particular subencionado	Particular	
Valparaíso	1177	4013	4611	261	4343	781	15186
Viña del Mar	1430	6531	2246	170	4654	2459	17490

En las tablas 1 y 2, es posible observar que la oferta de albergues oficiales no será suficiente para atender la demanda que pueda surgir ante un evento de gran envergadura, es por ello que en este estudio se propone considerar el aumento de la capacidad considerando el uso de recintos deportivos y colegios.

3. Modelo de localización propuesto

En la literatura reciente existen trabajos que abordan problemas que surgen antes, durante y después de un desastre natural, ver por ejemplo, El-Anwar et al. (2009), Widener y Horner (2011), Chakravarty (2011) y Lin et al. (2011). Una recopilación de la literatura generada para tratar estos problemas dentro del área de Investigación Operaciones, puede ser encontrada en Altay y Green III (2006).

En el presente trabajo se propone un modelo de localización para hogares que han sido afectados por un desastre natural y que requieren refugiarse, el modelo busca encaminar estos hogares hacia albergues con capacidad disponible y que están localizados lo más próximo a sus viviendas. El uso de estos modelos es bastante frecuentes en la literatura especializada, ver por ejemplo Dedlke (2005), Galvão et. al (2006) y Liu et al. (2011).

A continuación se presenta la nomenclatura y formulación del modelo general propuesto para ambas comunas.

k : Índice para el tipo de hogar que puede recibir un albergue. $k = a$ (Aceptable), r (Recuperable), l (Irrecuperable).

i : índice para las manzanas censales. $i=1, \dots, m$.

j : índice para los albergues. $j=1, \dots, n$.

DDA_i^k : demanda de hogares tipo k , ubicada en la manzana i .

CAP_j^k : capacidad del albergue j para hogares tipo k .

d_{ij} : Distancia de la manzana i al albergue j .

α, β : un factor para reflejar la diferencia en la preferencia para el uso de las capacidades de los albergues ($0 < \alpha, \beta \leq 1$).

P_k : Número de albergues para hogares tipo k .

x_{ij}^k : cantidad de hogares tipo k que van desde la manzana i hasta el albergue ubicado en j .

$y_j^k = 1$, si en la ubicación j se instala un albergue para hogares tipo k . $y_j^k = 0$, en caso contrario.

$$\min \left\{ \alpha \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij}^a + \beta \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij}^r + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij}^l \right\} \quad (1)$$

s.a.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}^a \geq DDA_i^a, \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}^r \geq DDA_i^r, \forall i \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}^l \geq DDA_i^l, \forall i \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij}^a \leq CAP_j^a y_j^a, \forall j \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij}^l \leq CAP_j^l y_j^l, \forall j \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij}^a + \sum_{i=1}^m x_{ij}^r + \sum_{i=1}^m x_{ij}^l \leq (CAP_j^a + CAP_j^r + CAP_j^l) y_j^r, \forall j \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j^a \leq P_a \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j^r \leq P_r \tag{9}$$

$$\sum_{j=1}^n y_j^l \leq P_l \tag{10}$$

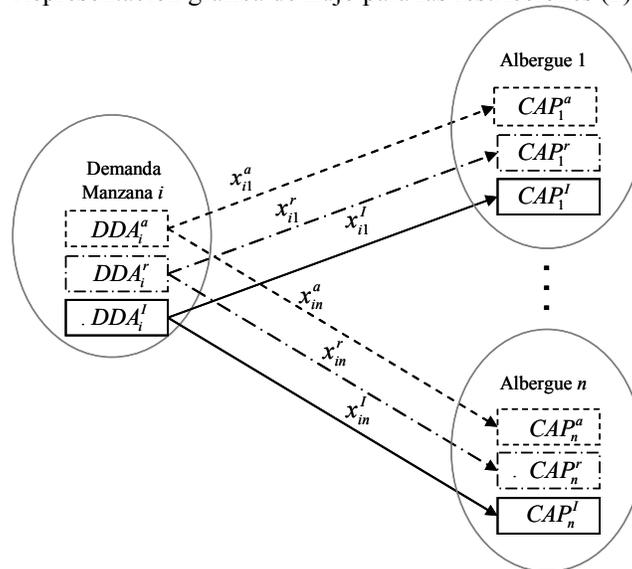
$$x_{ij}^a, x_{ij}^r, x_{ij}^l \geq 0, \forall i, j \tag{11}$$

$$y_j^a, y_j^r, y_j^l \in \{0,1\}, \forall j \tag{12}$$

La función objetivo (2) busca la minimización de distancias ponderadas recorridos por los hogares de viviendas de los tipos aceptable, recuperable e irrecuperable. Las restricciones (2)-(4), aseguran que se atienda toda la demanda proveniente de cada tipo de hogar, una representación de este tipo de flujo se muestra en la Figura 3. Las restricciones (5) y (6) impiden que se ultrapase la capacidad de los albergues para los hogares aceptables e irrecuperables. La restricción (7), establece que la capacidad del albergue para los recuperables, está dada por la capacidad propia para recibir hogares de carácter recuperables, y además, la capacidad no ocupada de los albergues aceptables e irrecuperables (esto es, se aprovecha en un 100% el espacio físico de un albergue). Las restricciones (8)-(10) definen el número máximo de albergues para cada grupo aceptable, recuperable e irrecuperable. Finalmente, las restricciones (11) y (12), definen la naturaleza las variables de decisión. Observe que, como las componentes de la función objetivo son distancias (ie, en el modelo no se incluye costos fijos por instalar albergues) las restricciones (8)-(10) serán satisfechas como igualdades en la solución óptima.

El modelo propuesto es un problema NP-hard, pues el contiene un problema de las *p*-medianas capacitado como un caso particular (el problema de las *p*-medianas no capacitado es un problema NP-hard, ver Garey y Johnson, 1979).

Figura 3 - Representación gráfica de flujo para las restricciones (2)-(4).



4. Resumen de resultados

Si bien, no es posible predecir con exactitud el daño que sufrirá una vivienda ante la ocurrencia de un desastre natural. Es posible definir escenarios que sean de interés para el estudio, para esto se considera la presencia de fenómenos tales como sismo, remoción de masa y maremoto. Con este fin se crean tres escenarios con presencia de sismo y de remoción de masa (los escenarios 1, 2 y 3) y un escenario con la presencia de los tres fenómenos (el escenario 4). Ante la ocurrencia de uno de éstos escenarios, una vivienda tendrá una mayor probabilidad de

sufrir un daño si ésta no posee materiales sismorresistentes y esa probabilidad aumenta si la vivienda está localizada en una zona de remoción de masa y aumenta más aún, si frente a un eventual maremoto, la vivienda está ubicada próxima a la costa o en una cota de baja altura.

Las viviendas Aceptables están mejor preparadas para enfrentar un fenómeno sísmico. Las viviendas Irrecuperables son las que serían más afectadas en un escenario sísmico. En este contexto, se crean los escenarios tomando como referencia el grupo Recuperable como base en el daño producido por un fenómeno sísmico, debido a que es una demanda representativa en número y distribución en ambas comunas.

La Tabla 3 contiene los parámetros para la demanda utilizado en cada escenario. Los escenarios 1, 2 y 3 asumen la presencia de sismo y remoción de masa, desde una intensidad leve (escenario 1) hasta una intensa (escenario 3). En el caso del escenario 1, para las viviendas que están en el área de influencia corriente el 25% de las viviendas recuperables y 75% de los irrecuperables requerirán albergue. En el caso extremo, el escenario 4 (el más severo) y las viviendas que están ubicadas en el área de influencia del maremoto, el 100% de logares requerirán albergue.

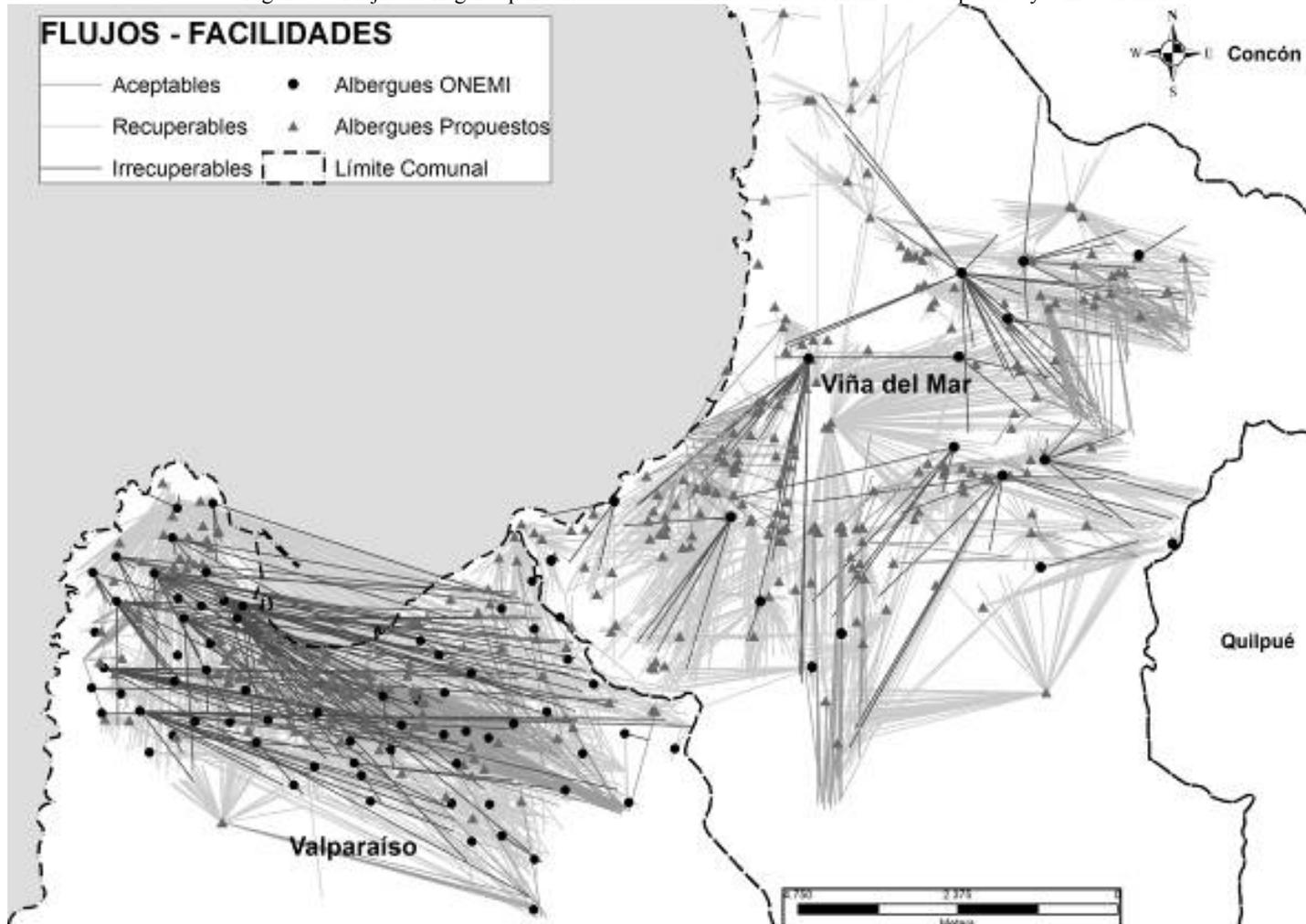
Tabla 3 - Porcentajes de demanda total asociado a las manzanas censales que están bajo área sísmica, remoción de masa y maremoto

		Presencia de Fenómeno				
		Sismo	Remoción	Tsunami		
		Si	Si	Si	Si	
		Si	Si	No	Si	
		No	No	No	Si	
		ESCENARIO				
		1	2	3	4	
AREA DE INFLUENCIA	Corriente/Sismo	Aceptables	0%	0%	0%	0%
		Recuperables	25%	50%	75%	100%
		Irrecuperables	75%	100%	100%	100%
	Remoción de Masa	Aceptables	0%	0%	25%	50%
		Recuperables	50%	100%	100%	100%
		Irrecuperables	100%	100%	100%	100%
	Tsunami	Aceptables	0%	0%	0%	100%
		Recuperables	25%	50%	75%	100%
		Irrecuperables	75%	100%	100%	100%

Es importante mencionar, que los potenciales albergues son construcciones de mayor envergadura que una casa común, por lo que los materiales y la calidad de construcción son más exigentes, por lo que supone que no van a ser vulnerables frente a los escenarios propuestos.

En los 4 escenarios se alteró de forma incremental el número de facilidades. La Figura 4 muestra un ejemplo para el comportamiento de estos flujos de hogares para dos de los problemas evaluados para las comunas de Valparaíso y de Viña del Mar.

Figura 4 – Flujos de hogares para uno de los escenarios de las comunas de Valparaíso y Viña del Mar



La distribución los flujos de hogares hacia los albergues resulta ser mucho más equilibrada en Viña del Mar que en Valparaíso, a pesar de que esta última posee una red dispersa de albergues oficiales, pero que carecen de capacidad necesaria para ciertos distritos en la comuna, lo cual genera en varios casos recorridos extensos de viaje. En este mismo sentido, un factor que habría que evaluar es la capacidad asignada a ciertos recintos deportivos de características de estadios de gran capacidad, ya que actúan como una facilidad no capacitada, generando distancias recorridas elevadas en algunos flujos. Esto último se acrecienta mucho más en Valparaíso (en el sector de Playa Ancha), ya que su localización es de carácter periférica, no siendo así en Viña del Mar, en la cual estos grandes recintos están localizados en una zona central de la comuna.

A pesar de que Valparaíso cuenta con una gran cantidad de albergues repartidos por toda la comuna, requiere que se aumente la capacidad total especialmente en escenarios más críticos (escenario 3 y 4, se aumentó en un 10% y 45% la oferta total para satisfacer la demanda). Una parte importante de la demanda se concentra en los sectores céntricos y noroeste de la comuna, lo cual aumenta aún más por la demanda de hogares recuperables y aceptables (área de remoción de masa localizada en Las Zorras y Santos Ossa). Esto provoca que una cantidad de hogares se trasladen al sector céntrico o recorrer distancias por sobre los 6 y 8 Km (hacia el sector Noroeste, como Playa Ancha y sus vecindades), las que ofrecen una oferta atractiva en albergues tipo Deportivo y algunos recintos oficiales. Estos resultados dejan en evidencia, que se debe prestar atención a los distritos que poseen hogares que recorren distancias mayores (sobre 8 Km), entre los cuales están: Quebrada Phillipi, Las Zorras, Santos Ossa, Los Placeres, Cerro las Ramaditas, y en mucho menor escala (entre 6 a 8 Km) está Barón, Widdington, Cerro las Cañas, Cerro la Florida y Cerro la Merced.

5. Conclusiones

En este trabajo se propone un modelo de localización para apoyar en la distribución del flujo de hogares afectados por un desastre natural. El modelo se implementó para las comunas chilenas de Valparaíso y Viña del Mar.

Para la comuna de Valparaíso el promedio de la distancia recorrida es de aproximadamente 6 Km. La capacidad existente está localizada principalmente en el sector noroeste y la capacidad es insuficiente en el caso de los escenarios más severos. Se observa una mala distribución de la carga entre las facilidades. La expansión de la capacidad debe ser en los sectores sureste y este de la comuna.

La comuna de Viña del Mar presenta una mejor distribución de los albergues existentes y el promedio de las distancias recorridas es de aproximadamente 6 Km. Se recomienda aumentar en número y capacidad los albergues en los distritos de Villa Montes, Recreo Alto y en Recreo Alto.

Referencias

- Altay, N.; Green III, W.G.** (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175, 475-493.
- Chakravarty, A.K.** (2011) A contingent plan for disaster response. *International Journal of Production Economics*, doi:10.1016/j.ijpe.2011.01.017.
- Dedlke, J.; Lavieri, M. S.; Martín, E.; Emir-Farinas; H., Francis, R. L.** (2005). A Florida County Locates Disaster Recovery Centers. *Interfaces*, 35, 133-139.
- El-Anwar, O.; El-Reyes, K.; Elnashai, A.** (2009). An automated system for optimizing post-disaster temporary housing allocation. *Automation in Construction*, 18, 983-993.
- Galvão, R.; Espejo L.G.A; Boffey, B.** (2006). Practical aspects associated with location planning for maternal and perinatal assistance in Brazil. *Annals of Operational Research*, 143, 31-44.
- Garey, M. R.; Johnson, D. S.** (1979). Computers and Intractability: A guide to the theory of NP-completeness. W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Instituto Nacional de Normalización**, Norma NCH 433, Cálculo sísmico de edificios.

- Liu, Q.; Ruan, X.; Shi, P.** (2011). Selection of emergency shelter sites for seismic disasters in mountainous regions: Lessons from the 2008 Wenchuan Ms 8.0 Earthquake, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 40, 926-934.
- Lin, Y.; Batta, R.; Rogerson, P.A, Blatt, A.; Flanigan, M.** (2011). A logistics model for emergency supply of critical items in the aftermath of a disaster. *Socio-Economic Planning Sciences*, doi:10.1016/j.seps.2011.04.003.
- Ministerio de Obras Públicas.** 2001. “Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias del Gran Viña del Mar, V Región. Marzo 2001.
- MINVU.** El déficit habitacional en Chile. Medición de requerimientos de vivienda y su distribución” 2004. [consulta: 20 Febrero de 2011]
(http://www.minvu.cl/incjs/download.asp?glb_cod_nodo=20070314192545&hdd_nom_archivo=Deficit%2520Habitacional%2Epdf)
- Widener, M.J.; Horner, M.W.** (2011). A hierarchical approach to modeling hurricane relief goods distribution. *Journal of Transport Geography*, 19, 821-828.