



**UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INDUSTRIAS**

INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL

DISEÑO DE RED DE DISTRIBUCIÓN DE AYUDA HUMANITARIA

NICOLÁS ANDRÉS VILLAGRÁN ORTEGA

PROFESOR GUÍA: PAMELA PAZ ALVAREZ MARAMBIO

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL**

**SANTIAGO – CHILE
DICIEMBRE, 2017**



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INDUSTRIAS**

INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y PROPIEDAD

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y PROPIEDAD

Yo, Nicolás Andrés Villagrán Ortega, declaro que este documento no incorpora material de otros autores sin identificar debidamente la fuente.

Santiago, 07 DICIEMBRE 2017

Firma del Alumno

*A mi papá, por ser un constante ejemplo a seguir,
a mi mamá, por enseñarme el significado de esfuerzo,
a mi hermana, por su cariño inmenso
y a mis amigos,
por siempre estar ahí.*

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mis mayores agradecimientos a mi profesora guía Pamela Álvarez y al profesor Andrés Bronfman, ambos me acompañaron en mi etapa universitaria, me apoyaron cuando lo necesité y me encaminaron a ser la persona que soy hoy. Ha sido un honor trabajar con ustedes, les debo mucho.

También quiero agradecer a mis compañeros en la carrera y en el Centro de Transporte y Logística UNAB, quienes me han ayudado de gran manera al discutir temas relacionados con este trabajo y otros temas varios.

Finalmente debo agradecer a todas las personas que forman parte de la Universidad Andrés Bello, el trabajo y aporte de cada uno de ellos me permitió concentrarme en este trabajo sin mayor contratiempo.

ÍNDICE GENERAL

I.	RESUMEN	6
II.	INTRODUCCIÓN	7
III.	OBJETIVOS	9
III.1	OBJETIVO GENERAL.....	9
III.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
IV.	MARCO TEÓRICO	10
IV.1	GESTIÓN DE DESASTRES	10
IV.2	DISTRIBUCIÓN DE SUMINISTROS	12
IV.3	LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES	13
IV.4	GESTIÓN DE INVENTARIO EN EMERGENCIAS	14
IV.5	SISTEMA DE PROTECCIÓN CIVIL EN CHILE	16
V.	METODOLOGÍA.....	17
V.1	MODELO DE DISEÑO DE RED	17
V.2	LEVANTAMIENTO INFORMACIÓN	21
V.2.A	<i>Puntos Factibles</i>	23
V.2.B	<i>Puntos de Demanda</i>	30
VI.	CASO DE ESTUDIO: CHILE	32
VI.1	ESCENARIOS A ESTUDIAR.....	36
VII.	RESULTADOS	39
VII.1	RESULTADO DE LOS ESCENARIOS	41
VII.2	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	50
VIII.	CONCLUSIONES	53
IX.	FUTURAS INVESTIGACIONES.....	55
X.	BIBLIOGRAFÍA.....	56
XI.	ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 - DEFINICION ETAPAS DE LA GESTIÓN DE DESASTRES.....	11
TABLA 2 - PARÁMETROS COBERTURA	38
TABLA 3 - PARÁMETROS CRITICIDAD	38

ÍNDICE DE FIGURAS

ILUSTRACIÓN 1 - CICLO DE VIDA DE LA GESTIÓN DE DESASTRES.....	10
ILUSTRACIÓN 2 - ETAPAS DE LA ATENCIÓN DE DESASTRES	12
ILUSTRACIÓN 3 - ETAPAS DE UNA EMERGENCIA.....	14
ILUSTRACIÓN 4 - ORGANIZACIÓN ONEMI.....	16
ILUSTRACIÓN 5 - MODELO DE COBERTURA.....	19
ILUSTRACIÓN 6 - MÉTODO DETERMINACIÓN SITIOS FACTIBLES	22
ILUSTRACIÓN 7 - CALIFICACIÓN USO SUELO	24
ILUSTRACIÓN 8 - ZONAS UTILIZABLES ARICA	25
ILUSTRACIÓN 9 - POLÍGONOS SITIOS FACTIBLES.....	26
ILUSTRACIÓN 10 - PUNTOS FACTIBLES	27
ILUSTRACIÓN 11 - PUNTOS FACTIBLES Y RED VIAL.....	28
ILUSTRACIÓN 12 - PUNTOS FACTIBLES Y CONECTIVIDAD	29
ILUSTRACIÓN 13 - ASIGNACIÓN MODELO	40
ILUSTRACIÓN 14- TABLERO DESEMPEÑO.....	42
ILUSTRACIÓN 15 - CONTEO CENTROS DE DISTRIBUCIÓN	44
ILUSTRACIÓN 16 -CONTEO CENTROS POR PARÁMETRO	47
ILUSTRACIÓN 17 - DESEMPEÑO VS PRESUPUESTO.....	50
ILUSTRACIÓN 18 - DESEMPEÑO POR CRITICIDAD	52

I. RESUMEN

El presente trabajo se enmarca dentro de los esfuerzos a realizar para la correcta gestión frente a desastres naturales en Chile, cuya población se ve constantemente expuesta a dicho tipo de emergencias. Para ello, se hace una revisión del panorama global respecto a los daños y el estado del arte en cuanto a estrategias para afrontar el problema de los desastres.

Se decide trabajar en la aplicación de un modelo de optimización de una red de distribución instalada con anterioridad al evento, logrando recabar la información que describe el contexto chileno y los actuales esfuerzos que desarrolla la entidad competente encargada de gestionar las actividades de protección civil.

Los resultados permiten dar nociones estratégicas sobre la ubicación de los puntos de almacenamiento que conformarán la red de distribución que entrará en funcionamiento luego de sucedido el evento. Del mismo modo, permite evaluar cómo es el desempeño de la operación ante cambios en parámetros relevantes a considerar, como lo son: el costo y tamaño de las bodegas, la demanda percibida, la importancia de cada tipo de ayuda, las metas de tiempo de despacho, y el presupuesto disponible para la operación.

El documento se estructura de la siguiente manera: en el capítulo 2 se da un contexto general de los desastres en Chile y el mundo, junto a las estrategias para responder a ellos. En el capítulo 3 se indican los objetivos del estudio, en el capítulo 4 se presenta el estado del arte en las áreas que componen la gestión de desastres. Luego, en el capítulo 5 se muestra la formulación y aplicación del modelo definido para este proyecto, además de señalar la metodología utilizada para relevar la información requerida para utilizar el modelo. El capítulo 6 muestra los parámetros a considerar para generar el caso de Chile, luego el capítulo 7 presenta la discusión de los resultados obtenidos con la aplicación del caso en Chile. Los capítulos 8 y 9 muestran las conclusiones del proyecto, además de las futuras investigaciones en el área de Gestión de Desastres.

II. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a (Nahleh, Kumar, & Daver, 2013), el número de desastres se ha cuadruplicado en las últimas tres décadas. Los autores reportan, con base en el trabajo de (Kumar, Latif, & Daver, 2012) alrededor de 6.1 billones de personas afectadas por desastres, con un daño económico estimado de alrededor de 2.3 trillones de dólares en estos últimos 30 años. Si ponemos foco únicamente que han sido los desastres de la última década, (CRED: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2011) da cuenta de 374 mil muertos, 435 millones de afectados y más de 1 trillón de dólares americanos, además de ratificar la tendencia al alza en la ocurrencia de desastres naturales.

El caso chileno sigue una tendencia similar. De acuerdo a la base de datos de EMDAT, el número de desastres en las últimas décadas ha ido en claro aumento hasta registrar su máximo en el período de 2000-2010, con 27 ocurrencias (Guha-Sapir, Below, & Hoyois, 2017). En lo que va de la presente década ya se registran 22 eventos desastrosos, 254 muertes, 1.5 millones de afectados y daños por más de 5 mil millones de dólares. Todo esto con todavía 3 años por delante hasta completar la década.

Tal magnitud de perjuicios llama a poner foco en la gestión de emergencias, en particular en las actividades de preparación, las cuales deberán verse reflejadas en las actividades logísticas de respuesta a desastres, las cuales por años han sido vistas más bien como un gasto que como un componente estratégico (Beamon and Kotleba, 2006). Las diferencias entre la logística de emergencias y la logística comercial se basan principalmente en que la primera incorpora mayor complejidad y desafíos únicos para el diseño de redes de ayuda. Algunas características de la logística de emergencia, de acuerdo a (Whybark, 2007), son las siguientes:

- Imprevisibilidad de la demanda, tanto en el momento en que aparece la necesidad, duración, ubicación, tipo y volumen o cantidad.
- Existe una demanda súbita en grandes cantidades con tiempos de respuesta reducidos para una amplia variedad de suministros.
- Alta necesidad de cumplir con entregas correctas y a tiempo.
- Carencia de recursos (suministros, personas, tecnología, capacidad de transporte y dinero).

Ante este escenario, las organizaciones de respuesta a desastres han decidido involucrarse en actividades preparatorias que permitan mejorar sus capacidades logísticas para responder a desastres. Así surge la estrategia de pre-posicionar artículos de emergencia en instalaciones localizadas estratégicamente para brindar ayuda suficiente en tiempos relativamente acotados (Balcik et al, 2010).

La metodología para desarrollar el presente documento, consiste en la revisión del estado del arte sobre herramientas que apoyen la toma de decisiones de localización de instalaciones para la logística de emergencia. De esta revisión se obtiene un modelo de optimización que se adecúe a la realidad chilena y que entregue las decisiones asociadas al diseño de la red de distribución. Esto se hace probando una serie de sitios candidatos que permitan maximizar, de manera costo eficiente, un indicador del cumplimiento de la entrega de los productos de ayuda a las personas afectadas por los desastres en los tiempos considerados.

Luego, se busca conocer cómo se comporta la elección de sitios candidatos y el desempeño ante cambios en la información que alimenta el modelo, con variables que describen la configuración de la red a considerar.

III. OBJETIVOS

III.1 Objetivo General

“Proponer una Red de Distribución de ayuda a nivel nacional para la respuesta ante eventos catastróficos.”

III.2 Objetivos Específicos

- Determinar sitios factibles para la localización de instalaciones de ayuda.
- Seleccionar modelo de optimización acorde con la realidad nacional
- Proponer zonas para instalación de Centros de Distribución
- Proponer estrategia de pre-posicionamiento multi-producto en la red
- Estimar niveles de Desempeño de atención de la emergencia
- Desarrollar análisis de sensibilidad ante parámetros.

IV. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presenta la literatura relevante respecto a la atención de una emergencia. Se abordan los tópicos dentro de los cuales se enmarca el presente trabajo, comenzando por el concepto de Gestión de Desastres, para luego abordar los desafíos de la Distribución de la ayuda, la Localización de los centros en una red, el tratamiento que reciben los inventarios de dichos elementos de ayuda. Finalmente se hace mención a la estructura nacional encargada de la gestión de dichos desafíos en el territorio chileno.

IV.1 Gestión de Desastres

Si bien hay autores ((Messer, 2003), (Izhak, 2004), (Khan, Vasilescu, & Khan, 2008)) que incluyen mayor nivel de detalle entre las etapas de un desastre, además de hacer distinciones entre el concepto de Emergencia y el concepto de Desastre; se considera como norma general mínima las 4 etapas que describen (Tomasini & Van Wassenhove, 2009), que son también las utilizadas por (FEMA EMI, 2017) en sus cursos de entrenamiento.

Las etapas son las que se muestran en la Ilustración 1 a continuación.

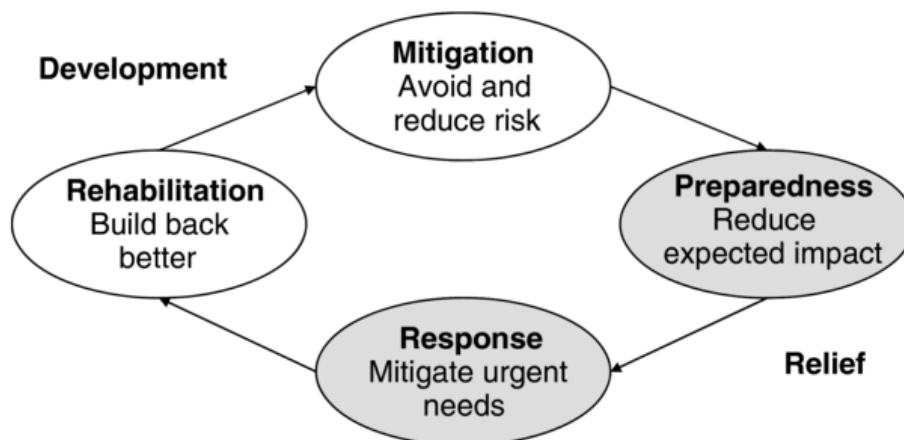


Ilustración 1 - Ciclo de Vida de la Gestión de Desastres

Fuente: (Tomasini & Van Wassenhove, 2009)

Dicho esquema se hace cargo de mostrar las etapas como un ciclo continuo de aprendizaje, donde finalizado un evento desastroso se utiliza todo lo aprendido para un nuevo posible evento. La clarificación de qué se entiende por cada una de las etapas, según (FEMA EMI, 2017), se puede ver a continuación en la Tabla 1:

Las Cuatro Etapas de la Gestión de Emergencias	
<p>Mitigación</p> <p><i>Prevenir futuras emergencias o minimizar sus efectos</i></p>	<p>: Incluye todas las actividades que previenen una emergencia, reducen las posibilidades de que ocurra una emergencia o reduce los daños de emergencias inevitables.</p> <p>: La compra de seguros ante inundaciones o incendios es una actividad de mitigación</p> <p>: Las actividades de Mitigación suceden antes y después de las emergencias</p>
<p>Preparación</p> <p><i>Prepararse para manejar una emergencia</i></p>	<p>: Incluye planes o preparaciones hechas para salvar vidas y para ayudar las operaciones de respuesta/rescate</p> <p>: Los planes de evacuación e inventario de comida/agua son ejemplos de preparación</p> <p>: Las actividades de Preparación suceden antes de ocurrida la emergencia</p>
<p>Respuesta</p> <p><i>Respondiendo de manera segura a una emergencia</i></p>	<p>: Incluye acciones para salvar vidas y prevenir posteriores daños a propiedad en una situación de emergencia. Es poner en práctica los planes de Preparación</p> <p>: La búsqueda de refugios de un tornado, o el apagar las válvulas de gas en un terremoto son actividades de respuesta</p> <p>: Las actividades de Respuesta suceden durante una emergencia</p>
<p>Recuperación</p> <p><i>Recuperarse luego de una emergencia</i></p>	<p>: Incluye acciones para tomadas para retornar a la normalidad, o una situación incluso más segura luego de una emergencia</p> <p>: Recuperación incluye recibir asistencia financiera para pagar por las reparaciones</p> <p>: Las actividades de Recuperación suceden después de una emergencia</p>

Tabla 1 - Definición Etapas de la Gestión de Desastres

Fuente: Traducido de (FEMA EMI, 2017) training material: is10_unit3

IV.2 Distribución de Suministros

Naturalmente, conforme avanzan las etapas del desastre irán variando las necesidades de recursos/insumos. En la Ilustración 2 podemos ver las etapas de un desastre que reconoce (Thomas 2002) y cómo varían las cantidades de recursos a despachar a la zona afectada.

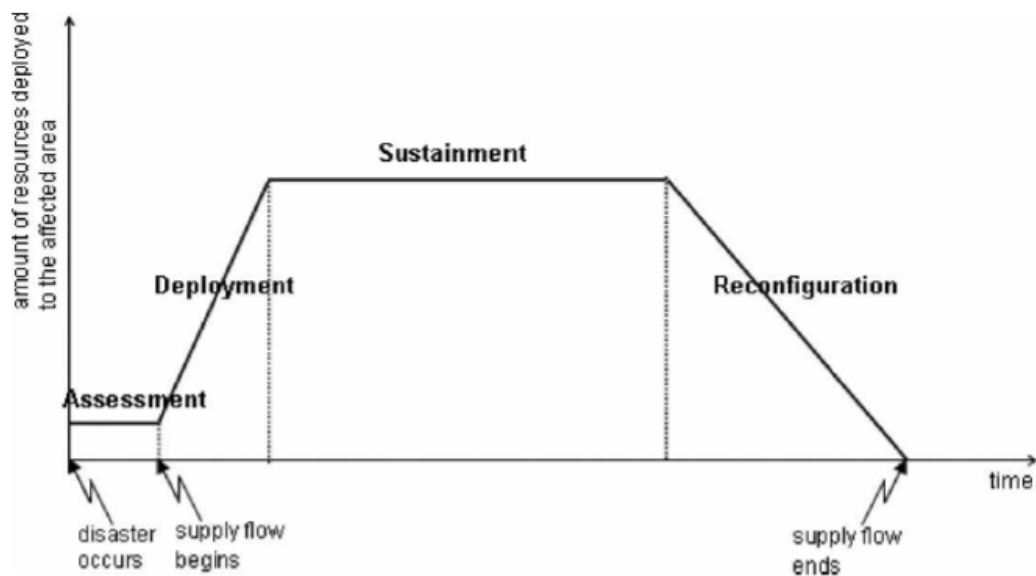


Ilustración 2 - Etapas de la atención de desastres

Fuente: Balcik & Beamon, en base a (Thomas, 2002)

Se aprecian 4 etapas luego de producido el desastre:

- **Evaluación (Assessment):** Se busca identificar qué es lo que se necesita en la zona.
- **Despliegue (Deployment):** Comienzan a llegar los elementos de emergencia a la zona para satisfacer las necesidades.
- **Mantenimiento (Sustainment):** Se mantienen las operaciones de ayuda en la zona por un período de tiempo.
- **Reconfiguración (Reconfiguration):** Se reducen las operaciones hasta finalmente dar por finalizados los trabajos en la zona.

El desafío consiste en reducir los tiempos entre la ocurrencia del desastre y el momento en que comienzan a recibirse los artículos de emergencia en la zona. Con una rápida etapa de evaluación se puede pasar a desplegar los elementos que hayan sido identificados como necesarios.

IV.3 Localización de Instalaciones

(Nahleh, Kumar, & Daver, 2013) desarrollan un modelo de cobertura para localizar 3 niveles (nacional, regional y continental) de centros de distribución de productos de ayuda en emergencias. Utilizan la base EM-DAT para obtener información de la cantidad de desastres por país para luego asignarle las coordenadas del país a dicho número de desastres. Aquello es la base para utilizar la técnica del Centro de Gravedad y ponderar las coordenadas de los desastres con la cantidad de sucesos, para finalmente definir dónde deberá ubicarse cada centro de distribución. Con ello se logra orientar la ubicación estratégica que permita localizar estos centros cercanos a puntos de alto movimiento de elementos de emergencia.

Otro trabajo sobre la localización de instalaciones es el de (Murali, Ordóñez, & Dessouky, 2012) que se enmarca en la respuesta frente a un ataque bio terrorista y busca definir los puntos en una ciudad donde se le entregarán artículos medicinales a la población. Lo logra mediante un modelo de máxima cobertura que busca llevar al máximo la proporción de la población que ve cubiertas sus necesidades, probando con distintos valores la cantidad de centros de distribución a considerar.

Del mismo modo, el trabajo de (Iakovou, Ip, Douligieris, & Korde, 1997) busca definir la ubicación óptima de centros para realizar labores de limpieza de derrame de aceites en el mar. Utilizan un modelo de programación lineal cuyo objetivo es minimizar los Costos Totales (costos fijos de abrir un centro, costos operativos de mantener el equipamiento de emergencia y el costo de transportarlos hasta el punto del derrame), sujeto al tiempo crítico para responder a la emergencia. El modelo se prueba con data de

la costa de Florida y entrega nociones tácticas de en qué puerto debiese instalarse qué tipo de equipamiento para responder a estos desastres.

IV.4 Gestión de Inventario en Emergencias

Es relevante mencionar la importancia del tratamiento que se le da a los elementos para atender una emergencia. Entendiendo las diferencias que existen entre los inventarios comerciales y los de ayuda a desastres (Whybark, 2007), se explica la importancia de los Sistemas de Gestión de Inventario de Ayuda.

La primera distinción en la literatura relacionada se da según la etapa del desastre en que se enmarca el trabajo. En ese sentido, se diferencian las 3 etapas que se muestran en la Ilustración 3 a continuación: i) Pre-desastre, ii) Post Alarma, iii) Post-desastre.

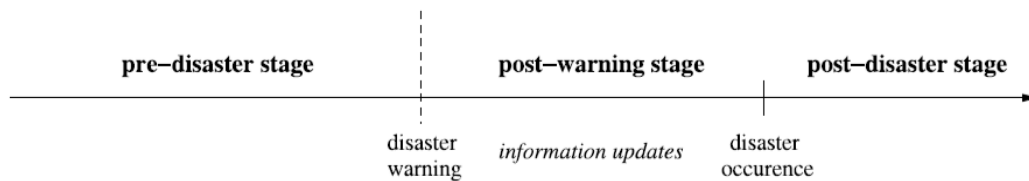


Ilustración 3 - Etapas de una emergencia
Fuente: (Balcik, Bozkir, & Kundakcioglu, 2016)

Pre-Desastre

De acuerdo a la revisión que realizan (Balcik, Bozkir, & Kundakcioglu, 2016), la mayor parte (24 en total) de los modelos para la gestión de inventarios de emergencias se enfocan en la etapa de pre-desastre, donde los trabajos toman como desastre de referencia los de tipo súbito (terremotos, inundaciones, huracanes). Otra tendencia es considerar más de un tipo de elemento de emergencia en la red, con centros de distribución restringidos por cierta capacidad de almacenamiento.

Este tipo de artículos tienen como objetivo más común la minimización de los costos totales, sólo una minoría es la que tiene como foco central el maximizar la porción

de la demanda satisfecha. En general, este tipo de estudios se reduce a las decisiones de pre-posicionamiento de stock en la red de distribución.

Post-Desastre

Para el caso de los estudios enmarcados en las etapas post-desastre/post-alarma, el desafío principal consiste en la distribución de la ayuda a los beneficiarios. En ese sentido, se puede ver una diferencia en los estudios enfocados en la post-alarma (9 estudios) con los post-desastre (14 trabajos) pues los primeros incorporan información dinámica, como los pronósticos de vientos en casos de huracanes, para ir actualizando sus resultados. Caso contrario es el de los trabajos post-desastre, donde se trabaja con la información recabada de los daños de un evento ya consumado.

En su mayoría, los trabajos consideran 1 sólo tipo de producto a ser distribuido, entendiendo que el fin es la manera de hacer llegar ese elemento a la población. Por lo mismo, se suele asumir un “kit” que agrupa los productos necesarios para atender a la población. Otra distinción relevante es que en este tipo de trabajos no se considera la capacidad de los centros de almacenamiento, sin embargo, al igual que en los modelos pre-desastre; la métrica de evaluación más común son los costos totales para atender la emergencia.

IV.5 Sistema de Protección Civil en Chile

En el caso de Chile, el país cuenta con un organismo coordinador de las operaciones de emergencia: la Oficina Nacional de Emergencias del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (ONEMI).

Tal organismo es el encargado de dar asesoría técnica al Ministerio de Interior en las decisiones a nivel nacional propias de una emergencia. Como se puede apreciar en el organigrama de la Ilustración 4, la representación de ONEMI se da a nivel Regional, Provincial y Comunal mediante las Direcciones de Protección Civil. Dicho organismo es el que trabaja a la par con la Municipalidad en labores de preparación, siendo éste último el encargado de consolidar la ayuda recaudada para finalmente entregarla a las personas residentes en la comuna, durante alguna situación de emergencia.

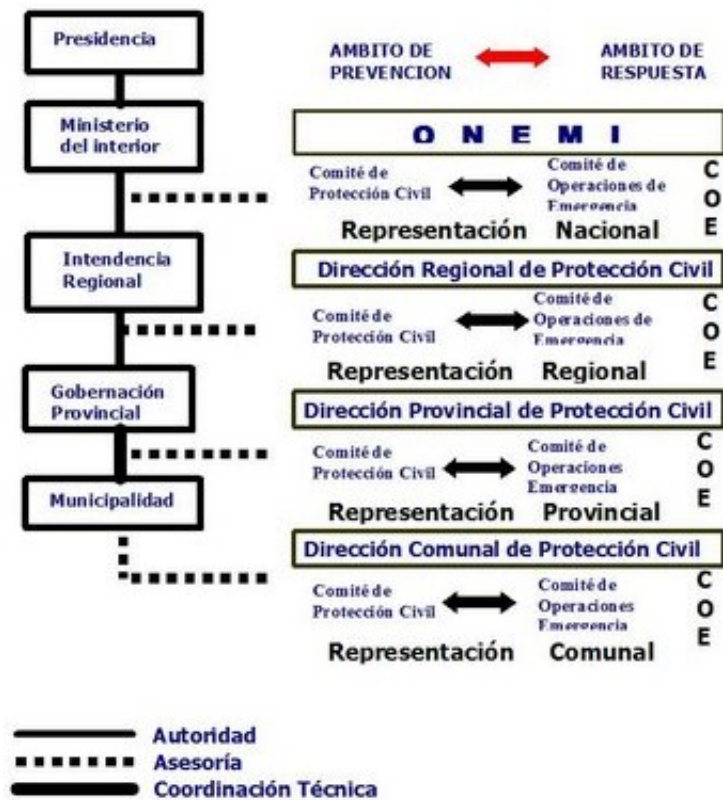


Ilustración 4 - Organización Onemi

Fuente: (ONEMI, 2002)

V. METODOLOGÍA

Se puede ver que existe material científico atinente al tema tratado, además de instituciones de coordinación nacional relevantes para el desarrollo del presente proyecto. A continuación se describe cómo se aborda el problema para cumplir los objetivos planteados.

V.1 Modelo de Diseño de Red

Considerando los distintos enfoques disponibles para abordar la complejidad de un evento desastroso y las decisiones que debe conllevar el proceso de preparación para éste; se decide utilizar el modelo de (Balcik & Beamon, 2008). Esto debido a que dicho modelo permite incorporar tiempos de respuesta límite como metas a cumplir por el modelo, lo que va en concordancia con los objetivos de *Respuesta Efectiva*¹ que mantiene ONEMI; donde entre sus desafíos está contar con una Red de Distribución a nivel nacional que permita una gestión logística oportuna, optimizando los tiempos de desplazamiento. Cabe destacar que, en situaciones de emergencia, cada minuto adicional que demoren en llegar los suministros de emergencia es otro minuto de espera para la población que la requiere.

Del mismo modo, el modelo de (Balcik & Beamon, 2008) permite entregar orientaciones de zonas en el territorio nacional desde donde se podrá llegar a la población potencialmente vulnerable de manera eficiente. Así es que contribuye como sustento de orientaciones estratégicas para la configuración de una macro red de distribución nacional. Esto va en línea con los objetivos² estratégicos de ONEMI de fortalecer, ya sea renovando o ampliando, la actual red de distribución con la que se trabaja para atender eventos desastrosos. Además, el modelo tiene como objetivo lograr el máximo cumplimiento de la demanda por ayuda, dejando en segundo plano el ítem de costos.

¹ De acuerdo a (ONEMI, 2017). Propuesta 2.5.3, explicada en cuadro bajo el título 2.8, fila 8.

² Explicado en recuadro bajo el título 2.8, fila 5.

El modelo que proponen los autores se define como una solución al Problema de Localización de Máxima Cobertura (MCLP, por sus siglas en inglés) donde el objetivo es llegar a la mayor cantidad de zonas en un espacio geográfico desde la menor cantidad de instalaciones.

Lo singular de su modelo radica en que aborda en conjunto dos problemas a resolver: la ubicación de instalaciones y decisiones de inventario en éstas. Además, lo hace capturando ciertas particularidades propias de la logística de emergencia:

- i. Múltiples elementos/artículos destinados a atender la emergencia, cada uno con su propio requerimiento de entrega
- ii. Restricciones presupuestarias de costos logísticos en la atención
- iii. Restricciones de capacidad en las instalaciones definidas
- iv. Colaboración entre los centros para surtir cada uno parcialmente hasta completar los niveles de cada zona afectada.

Al utilizar este modelo, se puede tener base para saber: cuántos centros se deben abrir, dónde ubicarlos, qué almacenar en ellos, en qué cantidad y, quizás lo más importante, en cuánto tiempo estarán los productos donde deben estar luego de sucedida la emergencia.

En la Ilustración 5 se muestra un ejemplo de la aplicación del modelo en la Región de la Araucanía, donde se puede ver en el polígono rosado el área hasta donde se puede llegar dentro del límite de tiempo de 24 horas³. Se aprecia que, con ese límite de tiempo de cobertura, el Centro de Distribución “*Araucanía 5*” podría abastecer a las comunas de Temuco y Padre las Casas; no así a la comuna de Vilcún, que se encuentra fuera de esa área alcanzable en 24 horas mediante la red vial terrestre.

³ Asumiendo una velocidad de 40 Km/Hr



Ilustración 5 - Modelo de Cobertura

Fuente: Elaboración Propia

El modelo de optimización se construye de la siguiente manera:

Conjuntos:

- S : conjunto de escenarios de demanda (comunas); $s \in S$
- N : conjunto de centros de distribución candidatos (CD); $j \in J$
- K : conjunto de tipos de ítems; $k \in K$

Parámetros:

- p_s : probabilidad de ocurrencia del escenario s
- d_{sk} : demanda esperada por el ítem k en el escenario s (unidades)
- CAP_j : capacidad del CD j (m^3)
- γ_k : volumen unitario del ítem k
- β_0 : presupuesto pre-desastre (\$)
- β_1 : presupuesto post-desastre (\$)
- F_j : costo fijo de establecer el CD j (\$)
- g_{jk} : costo unitario de adquisición y almacenamiento del ítem k en el CD j (\$/unidad)
- c_{sjk} : costo unitario de envío del ítem k en el escenario s desde el CD j (horas)

t_{sjk} : tiempo para satisfacer la demanda por el ítem k en el escenario s desde el CD j (horas)

w_k : criticidad del ítem tipo k ; $\sum_k w_k = 1 \wedge w_k \geq 0$

l_k : nivel de cobertura para el ítem k ; $l_k = 1, \dots, L_k$

$\alpha_k^{l_k}$: peso al nivel de cobertura $\alpha_k^1 = 1 > \alpha_k^2 > \dots > \alpha_k^{l_k} > \dots > \alpha_k^{L_k} \geq 0$

$N_s(l_k)$: CD con nivel de cobertura l_k para el tipo de ítem k en el escenario s

$$N_s(l_k) = \{j / LR_k^{l_k} < t_{sjk} \leq UR_k^{l_k}\}$$

$LR_k^{l_k}$: límite de tiempo de respuesta inferior para el nivel de cobertura l_k

$UR_k^{l_k}$: límite de tiempo de respuesta superior para el nivel de cobertura l_k

Variables de decisión:

f_{sjk} : proporción de la demanda del ítem tipo k satisfecha por el CD j en la comuna s

Q_{jk} : unidades del ítem tipo k almacenadas en el CD j

$$X_j : \begin{cases} 1 & \text{si el CD } j \text{ es localizado} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Modelo:

$$\text{Max} \sum_s \sum_k \sum_{l_k} \sum_{j \in N_s(l_k)} p_s d_{sk} w_k \alpha_k^{l_k} f_{sjk} \quad (1)$$

$$\text{s.a.} \quad d_{sk} f_{sjk} \leq Q_{jk} \quad \forall s \in S, j \in N, k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} \gamma_s Q_{jk} \leq CAP_j x_j \quad \forall j \in N \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} (F_j x_j + \sum_{k \in K} g_{jk} Q_{jk}) \leq \beta_0 \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N} d_{sk} c_{sjk} f_{sjk} \leq \beta_1 \quad \forall s \in S \quad (5)$$

$$\sum_{j \in N} f_{sjk} \leq 1 \quad \forall s \in S, k \in K \quad (6)$$

$$f_{sjk} \geq Q_{jk} \leq 0 \quad \forall s \in S, j \in N, k \in K \quad (7)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in N \quad (8)$$

La función objetivo (1) maximiza la demanda esperada total cubierta por los CD establecidos. El conjunto de restricciones (2) asegura que el nivel de inventario en el CD no sea menor que la máxima cantidad de demanda que el CD deba afrontar para un escenario (comuna). El conjunto de restricciones (3) garantiza que el inventario esté sólo en los CD establecidos y que la cantidad de ítems no exceda la capacidad del CD. La restricción (4) requiere que los gastos pre desastre (habilitación CD y pre-posicionamiento stock) no excedan el presupuesto, y el conjunto de restricciones (5) garantiza que los costos de transporte incurridos entre el CD y cada escenario (comuna) sean menores que el presupuesto post desastre. El conjunto de restricciones (6) asegura que la cantidad de suministros enviados para satisfacer la demanda de una comuna no exceda la demanda. Finalmente, el conjunto de restricciones (7) y (8) corresponden a la naturaleza de las variables de decisión.

V.2 Levantamiento información

Para el desarrollo del caso chileno, se busca encontrar sectores en nuestro territorio que tengan las condiciones para poder instalar un centro de distribución en ellos. Dicha factibilidad se define en base a los siguientes aspectos:

- Uso de Suelo
- Fuera de zonas de riesgo de emergencia
- Servicios relevantes
- Conectividad Vial

Esos criterios se conjugan para lograr tener una zona apta, segura, relevante y conectada. Para ello se sigue la metodología descrita en la Ilustración 6:

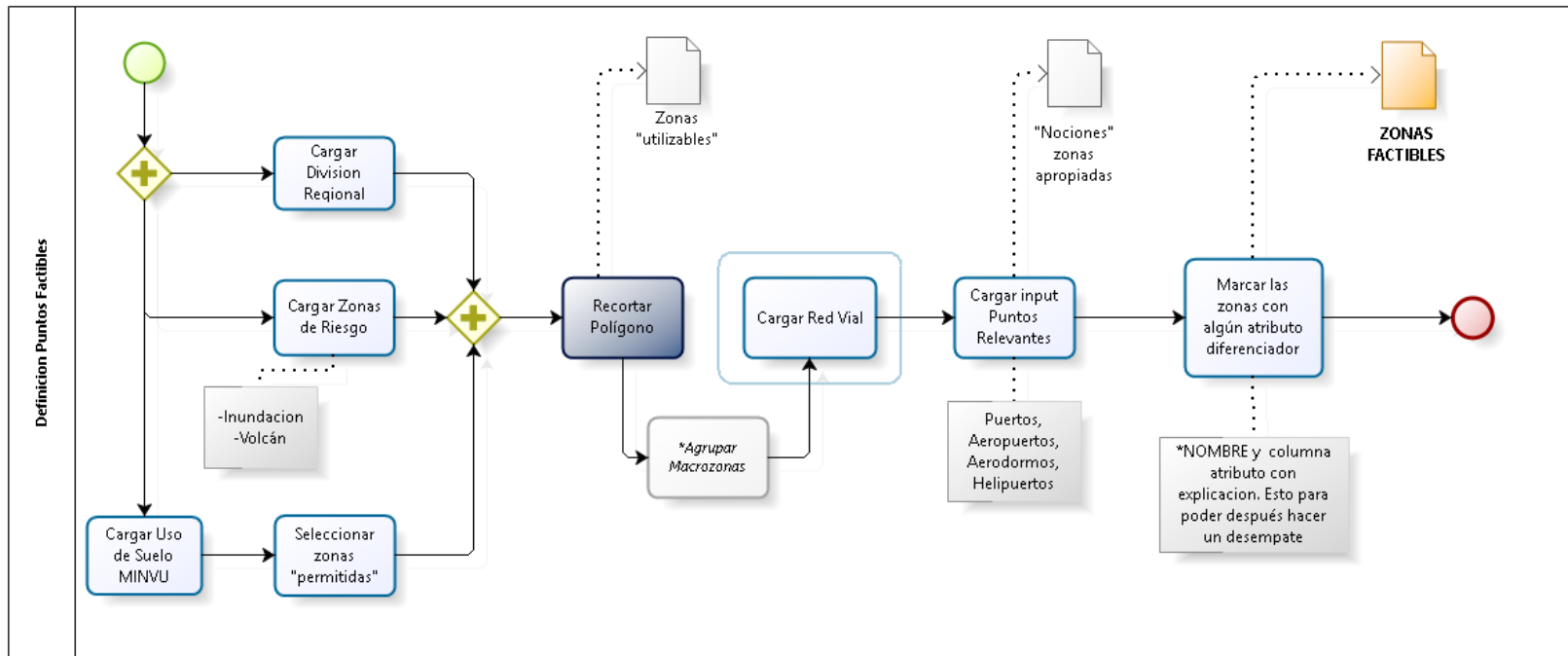


Ilustración 6 - Método Determinación Sitios Factibles
Fuente: Elaboración Propia

V.2.A Puntos Factibles

Se puede ver que al comienzo se trabaja de manera paralela con 3 tipos de información: Límites Regionales, Zonas de Riesgo y Uso de Suelo Minvu. Con ello se logra el primer entregable, que corresponde a las zonas utilizables. Cabe destacar que el procedimiento descrito a continuación fue realizado para las 15 regiones de Chile, logrando obtener un total de 64 puntos factibles para la instalación de Centros de Distribución.

V.2.A.i Zonas utilizables

El primer entregable considera, en primera instancia, la división de Chile en las 15 regiones. Esto se hace para luego poder incorporar los instrumentos de planificación territorial: Plano Regulador Comunal (PRC), Intercomunal (PRI) y Plan Regional de Desarrollo Comunal (PRDC) que proporciona el MINVU y los polígonos de riesgo para distintas amenazas que se manejan en la Oficina Nacional de Emergencias.

Respecto a los Planos reguladores, se seleccionan las zonas (polígonos) en que se permita la actividad industrial de una bodega. Para ello, se utiliza la noción de la bodega ubicada en las dependencias de ONEMI, en Beaucheff, cuya calificación ambiental corresponde a la categoría de “actividad productiva inofensiva”; por lo que se consideran únicamente los territorios que permiten dichas actividades o expresamente el bodegaje. En la Ilustración 7 se pueden ver los atributos de las zonas proporcionadas por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, donde el “Uso permitido” (UPERM) es el que valida la utilización de dicho polígono.

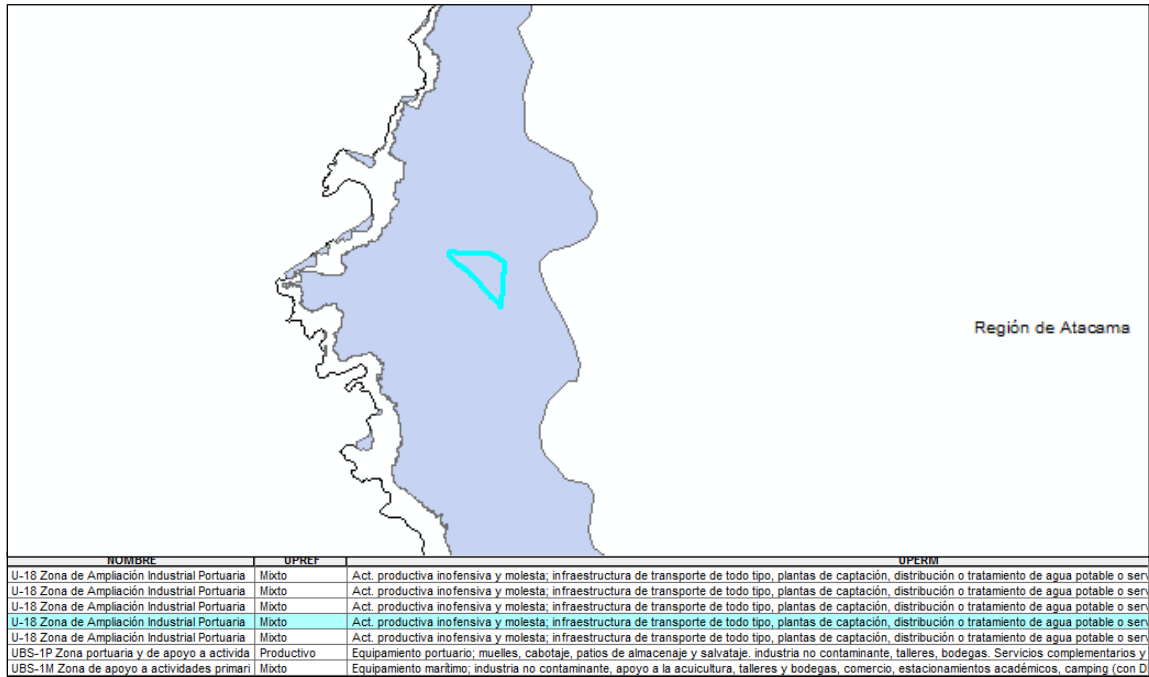


Ilustración 7 - Calificación Uso Suelo
Fuente: Polígonos Ministerio Vivienda y Urbanismo

Finalmente, a los polígonos de zonas permitidas se les eliminan los sectores que puedan traslapar con los sitios riesgosos de ONEMI, buscando evitar que se instalen bodegas en zonas que luego de ocurrido un desastre queden inutilizables. A dicha selección apta y segura se le llama zona utilizable.

V.2.A.ii Macro Zonas utilizables

El siguiente paso consiste en agrupar las distintas zonas utilizables que hay en cada región. Teniendo en cuenta que las definiciones para esta etapa del modelo son de carácter estratégico, se agrupan grandes bloques de áreas utilizables como uno solo, siendo representados por un único punto geográfico, de modo que brinde una noción de la zona en que debiese estar el centro de distribución en caso de ser abierto en dicha región.

En la Ilustración 8 se pueden ver al costado izquierdo los polígonos de las zonas utilizables en el ejemplo de la Región de Arica y Parinacota.



Ilustración 8 - Zonas Utilizables Arica

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en una mirada más cercana de la Ilustración 9, se aprecia que existen dos subdivisiones: una cercana a la costa y otro pequeño sector alejado del borde costero, en color celeste y rojo; respectivamente.

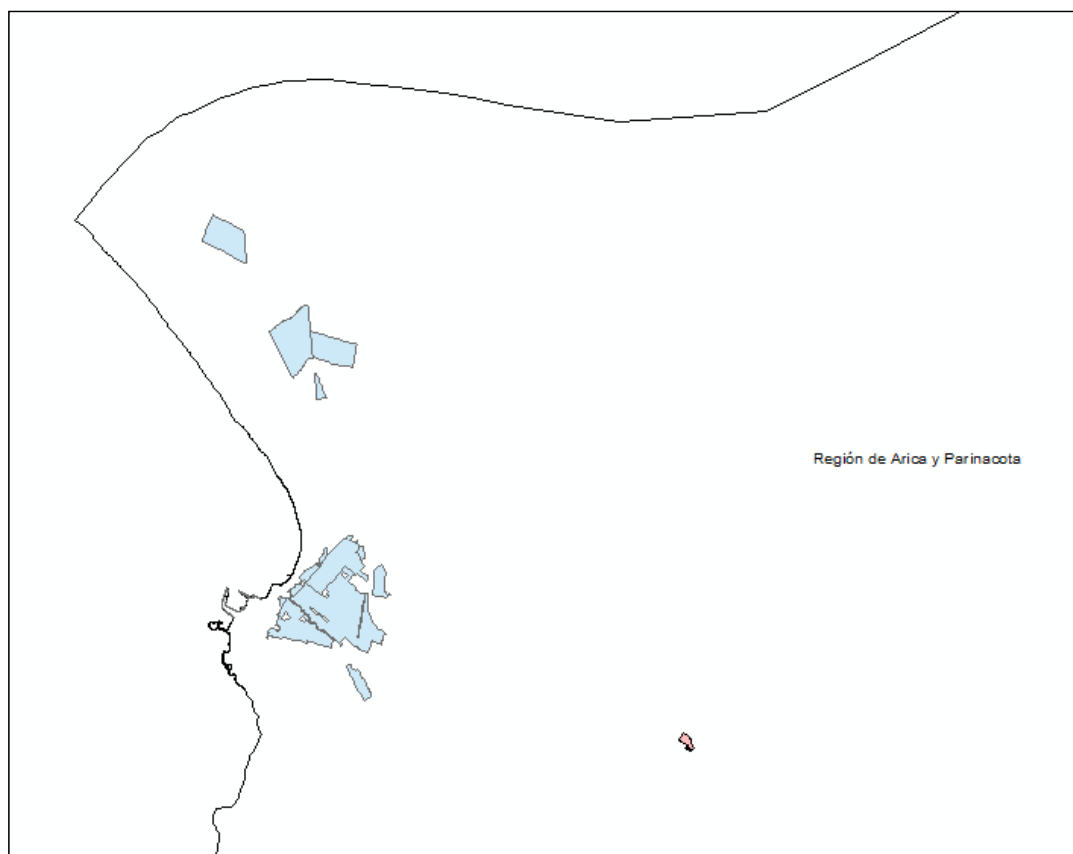


Ilustración 9 - Polígonos Sitios Factibles

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se representan dichos sectores como 2 puntos geográficos según el centroide de los polígonos. Éstos serán utilizados en los cálculos de distancias. En la Ilustración 10 se ve la representación por puntos de las 2 Macrozonas disponibles en la XV Región: i) Arica y ii) San Miguel de Azapa.

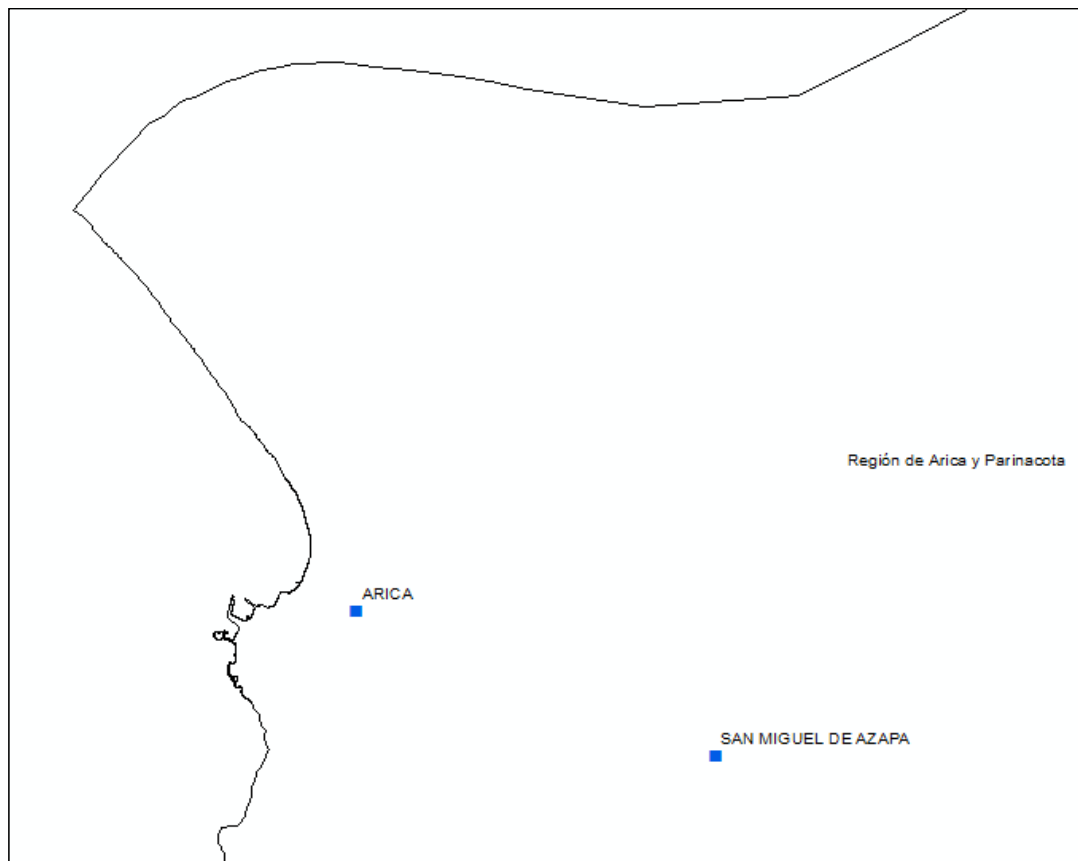


Ilustración 10 - Puntos Factibles
Fuente: Elaboración Propia

V.2.A.iii Jerarquización

Para el caso de la Red Vial a lo largo de Chile, se trabaja con las líneas que representan los ejes viales de cada región de nuestro país, solicitadas al Ministerio de Transportes. Se utilizaron éstas para, en primera instancia, poder jerarquizar cada uno de los puntos factibles. En la Ilustración 11 se puede ver el punto con mayor conectividad es el punto “Arica”, por lo que en caso de priorizar uno sobre otro, se prefiere incorporar este punto a la selección.

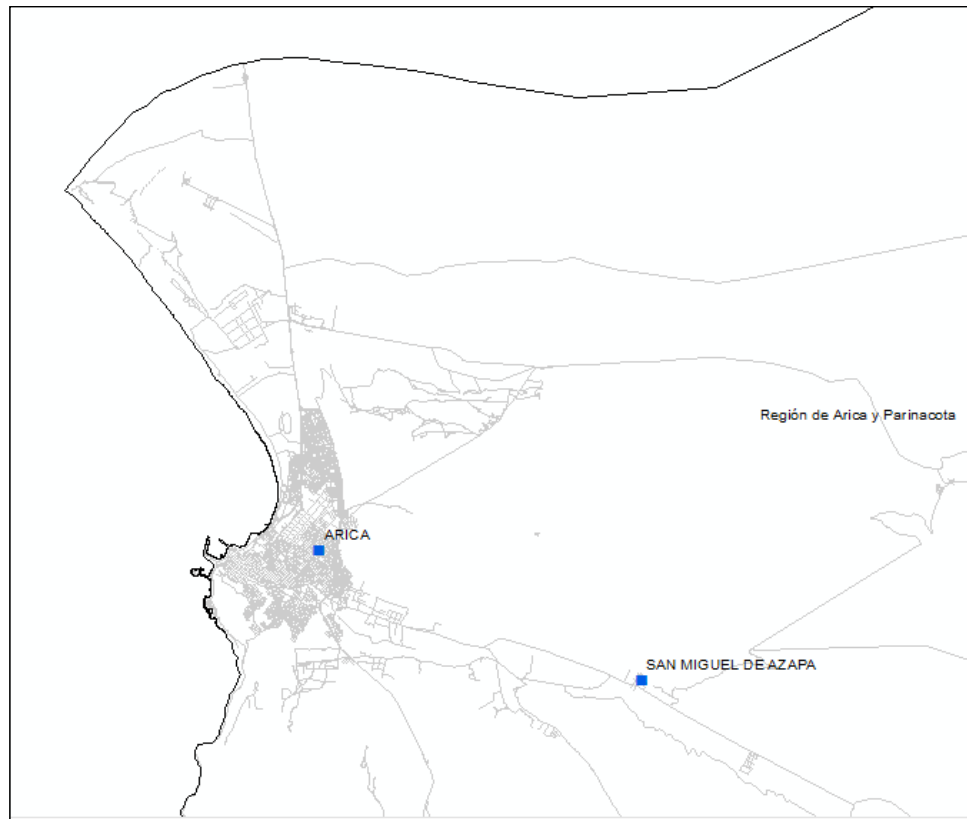


Ilustración 11 - Puntos Factibles y Red Vial
Fuente: Elaboración Propia

Aquella jerarquización se reafirma al incorporar otros puntos relevantes al análisis. En la Ilustración 12 se muestran los aeródromos, aeropuertos, helipuertos, infraestructura portuaria (en rojo) y los hospitales (color rosa) de la zona.

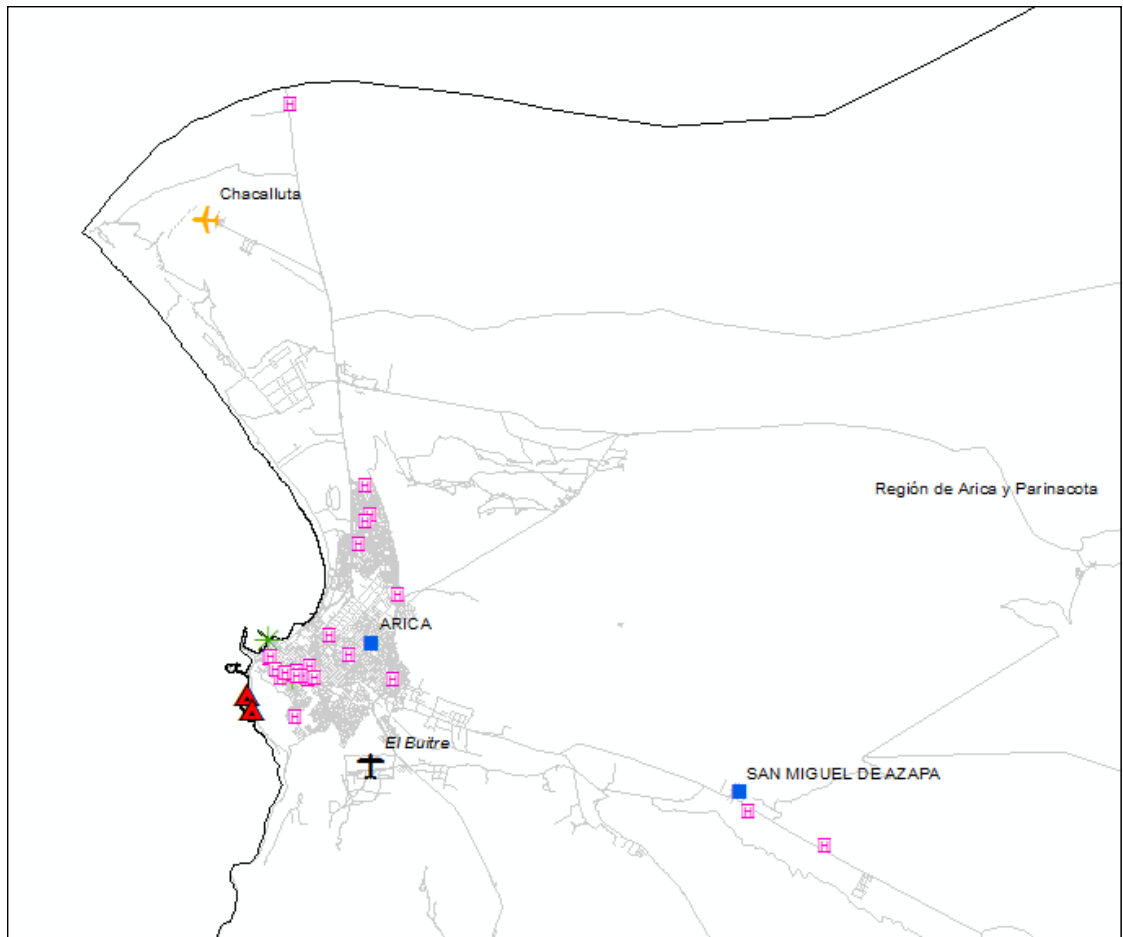


Ilustración 12 - Puntos Factibles y Conectividad
Fuente: Elaboración Propia

Ambos puntos marcados con azul son puntos factibles, pero uno tiene mayor relevancia que el otro al ser apto, seguro, relevante y mejor conectado.

V.2.B Puntos de Demanda

El siguiente aspecto a considerar para el modelo es la demanda percibida, por lo que a continuación se describe el proceso utilizado para ello.

Teniendo en cuenta las limitantes de conexión terrestre de la zona sur de Chile, y por lo tanto las complejidades de conexión vial; se decide considerar el territorio nacional hasta la Región de Los Lagos, descartando las dos regiones más australes: Aysén y Magallanes. En cada una de esas comunas, que para efectos del modelo corresponden a escenarios de demanda, se considera la población de acuerdo a los datos del Censo 2002. Dicha información se encuentra en el Anexo N°1.

Para el desarrollo de los experimentos se utilizan distintas proporciones de población afectada buscando conocer cómo se comporta la asignación de Centros de Distribución a las comunas ante un desastre que afecte ciertos porcentajes del total de la población que contiene cada comuna. Como se pudo ver en el título IV.5, las funciones de ONEMI es asesorar a las Municipalidades en momentos de responder a emergencias, por ello, se considera como punto representativo de las comunas a las edificaciones de cada municipalidad. Dicho punto es considerado como el destino de los productos de emergencia que se envían para atender a la población afectada en cada comuna.

V.2.C Red Vial Nacional

Se trabaja en la generación de una red vial por donde han de circular los productos al momento de asignar la atención de un Centro de Distribución a cada municipalidad, buscando la manera más real de representar el trayecto que deben seguir en un caso real. Para ello, se considera el archivo SIG de la red de carreteras, proporcionado por ONEMI, además de los ejes viales urbanos que se obtuvieron del Ministerio de Transporte, mediante solicitud formal.

Se hizo una combinación de estas redes estratégico-tácticas mediante la unión de sus arcos coincidentes, de modo de evitar errores en la posterior asignación de puntos relevantes esta red de vías para el transporte terrestre. El resultado del trabajo se puede ver en la Ilustración 13, donde se aprecia la posibilidad de unir Regiones mediante carreteras (arcos en verde) además de llegar al detalle dentro de una ciudad con los ejes viales urbanos (arcos en gris).

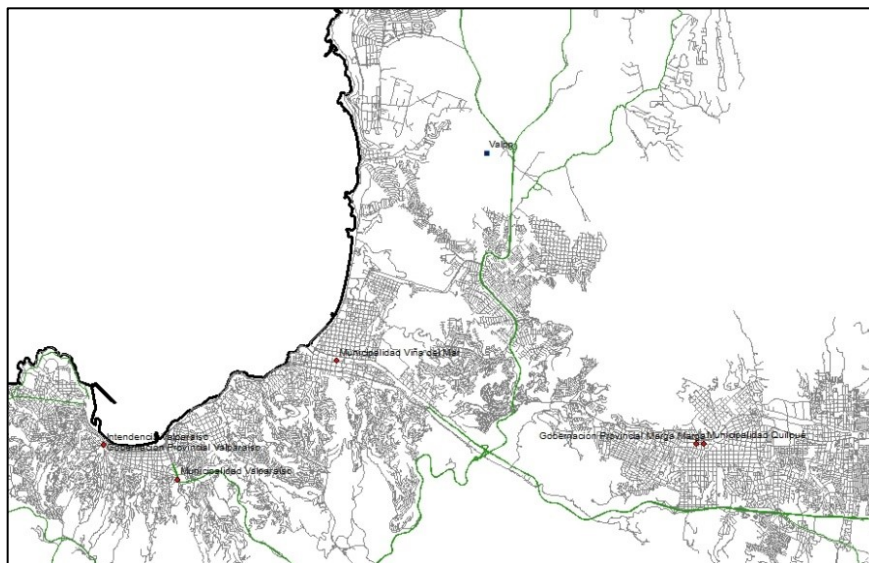


Ilustración 13 - Red Vial Trabajada

Fuente: Elaboración Propia

VI. CASO DE ESTUDIO: CHILE

Tomando en cuenta la metodología señalada, el caso chileno toma en consideración 309 comunas del territorio nacional, desde Arica a Los Lagos. Se excluyen del análisis las regiones más al sur de nuestro país, debido a que la baja conectividad vial terrestre obligaría a considerar otros modos de transporte para llegar a las comunas de dichas zonas. El detalle de cada comuna se puede encontrar en el Anexo N°1, con su correspondiente población.

Esos escenarios de demanda son servidos por los hipotéticos 64 Centros de Distribución, que se muestran en la Ilustración 14, cuyo detalle está disponible en las tablas del Anexo N°2.

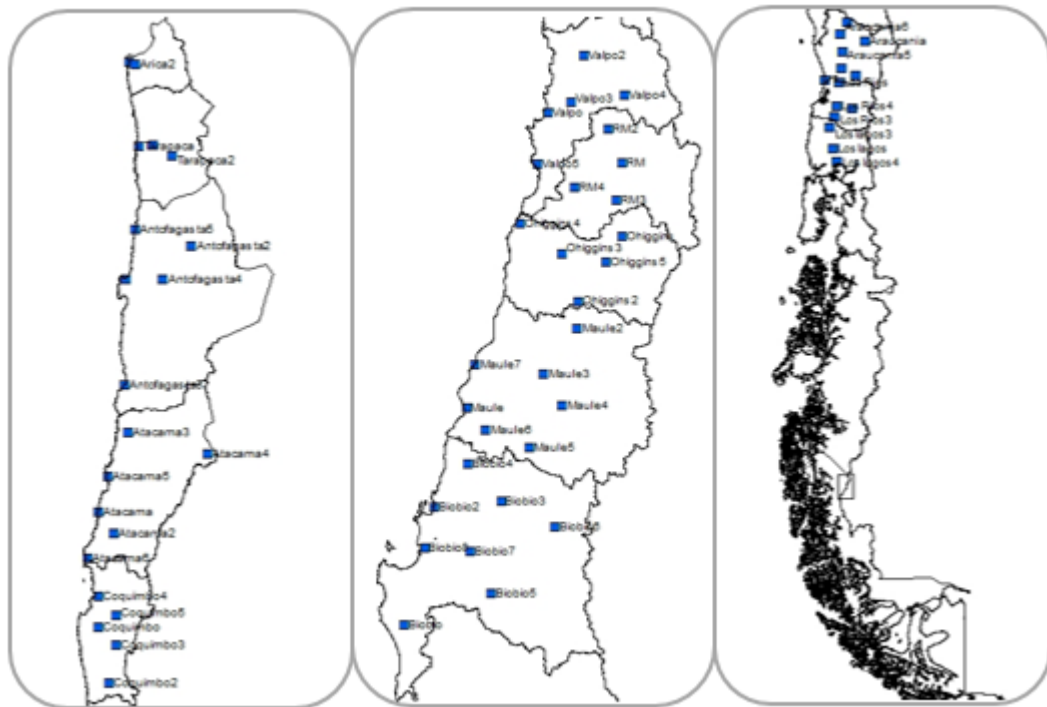


Ilustración 14 - Centros de Distribución

Fuente: Elaboración Propia

VI.1 Supuestos

La aplicación del modelo requiere definir ciertos parámetros, los cuales se señalan a continuación.

Tipos de Productos

ONEMI entregó el listado y características de los productos que se requieren para atender una emergencia, así como también su agrupación según la etapa del desastre en el que son requeridos.

Se agruparon en conjuntos de elementos que se entienden como los 3 tipos de producto a despachar; donde el tipo 1 es la primera necesidad inmediatamente después de sucedida la emergencia, el tipo 2 es requerido como segunda prioridad y el tipo 3 se necesita en etapas posteriores. Estas prioridades al momento de despachar se ven reflejadas en el parámetro de niveles de cobertura, donde el producto tipo 1 es forzado a ser recibido dentro de las primeras 24 horas, mientras que para los productos tipo 2 y tipo 3 se prueban tiempos de 36 ó 48 horas y 48 ó 72 horas, respectivamente.

Finalmente, entendiendo cada tipo de producto como una unidad a entregar a cada persona, el contenido de los tipos de productos es el disponible en la Tabla N°2:

PRODUCTO TIPO 1	
Volumen [m3]	0.03
Peso [Kg]	9.5
Costo adquisición [\$CLP]	28.322
ARTÍCULOS	
CAJA CON ALIMENTOS (TRADICIONAL) AGUA MINERAL - 1,6 LITROS MASCARILLAS DESECHABLES RACIONES ALIMENTICIAS 12 HORAS FRAZADAS	
PRODUCTO TIPO 2	
Volumen [m3]	0.32
Peso [Kg]	15.4
Costo adquisición [\$CLP]	16.743
ARTÍCULOS	
KIT DE ASEO PERSONAL HOMBRE KIT DE ASEO PERSONAL MUJER KIT DE ASEO DOMICILIARIO COLCHON FORRADO EN TELA D-21	
PRODUCTO TIPO 3	
Volumen [m3]	0.13
Peso [Kg]	21.8
Costo adquisición [\$CLP]	73.380
ARTÍCULOS	
PLANCHA DE ZINC ACANALADA 2 METROS BOBINAS FILMS PLASTICO - ROLLOS 50 KG SACO DEFENSA FLUVIAL CAMA DE MADERA DE 1 PLAZA Kit Herramientas RACIONES ALIMENTICIAS 12 HORAS	

Tabla 2 - Tipos de Producto

Fuente: Elaboración propia en base a definiciones ONEMI

Costo de Transporte

Para conocer los gastos en que se incurre por mover los productos a los puntos de demanda, se requiere contar con una tarifa por unidad transportada [\$/unidad], para lo cual se utiliza como base el tarifario de un proveedor de servicios de transporte que mantiene acuerdo con ONEMI. Desde él se extrajeron las tarifas por mover un camión tipo $\frac{3}{4}$ completamente cargado⁴ a ciudades relevantes del territorio nacional.

Las tarifas correspondientes se utilizaron como dato en una regresión lineal simple, disponible en la Ilustración 15, que pudiera estimar un costo [\$/Kg] a cualquier punto del país, basado en la distancia.

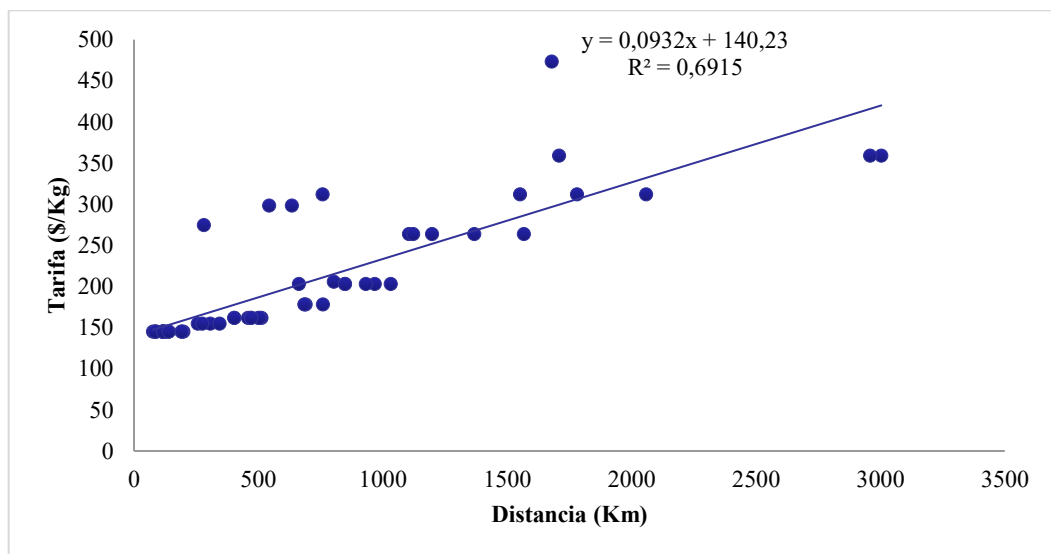


Ilustración 15 - Costos de Transporte

Fuente: Elaboración Propia

Con un coeficiente R^2 de 0.69 se logra dar con un estimado del costo que, al incorporar el peso del producto a transportar, permite conocer el gasto [\$/unidad] de mover unidades entre cada par CD-Municipio en Chile.

La ecuación es la siguiente:

⁴ Se asume que llevará entre 1.8 y 2.0 toneladas de peso total.

$C_{sjk} =$	$\{ 140,23 + (0,0932 * DISTANCIAS_j) \}$	$* PESO_k$
[\$/unid]	[\$/(Kg*Km)]	[Kg/unid]

VI.2 Escenarios a estudiar

Se probaron escenarios con distintos valores para los parámetros que alimentan el modelo, estos son: Población afectada, Presupuesto pre-desastre, Tamaño Bodegas, Costo Bodegas, Límites de Cobertura, Criticidad de los productos.

Asumiendo como fija la actual bodega de ONEMI, ubicada en calle Beaucheff, se busca conocer cuántos y qué centros sugiere abrir el modelo, además que cómo se asignan los costos en los que se incurre; y en qué proporción fue satisfecha la demanda de elementos de emergencia en las comunas. A continuación, se describe el detalle de los parámetros que configuran cada escenario corrido:

Demanda

Para tener una referencia de las distintas magnitudes de eventos desastrosos, se prueban escenarios donde un 34%, 66% o el 100% de la población de las comunas sea afectada, y por consiguiente requieren ser provistos con elementos de ayuda.

Presupuesto pre-desastre

De acuerdo a la información reportada por ONEMI en apoyo a este proyecto, se puede hablar de que hay destinados 3.500 Millones de pesos chilenos para tareas pre-desastre. Esto corresponde a un 25% del total de presupuesto de la institución y es similar a los montos que maneja el área de Operaciones en dicha entidad.

Siguiendo esa línea, se prueba con valores de 2.000, 6.000 y 10.000 Millones de pesos chilenos; pudiendo conocer cómo se comportaría la asignación de ayuda ante escenarios con capacidad de gasto más reducida o ampliada que la referencia aportada por la Oficina Nacional de Emergencias.

Tamaño de Centros de Distribución

Dada las proporciones de las operaciones que deben llevarse a cabo en los sitios de almacenamiento de elementos de ayuda, se utiliza como noción la superficie de la bodega disponible en calle Beaucheff, que bordea los 250 metros cuadrados.

Se asume una altura de 10 metros, por lo que se prueba con valores de 2.500, 7.500 y 12.500 metros cúbicos de capacidad de almacenamiento.

Costo del Centro de Distribución

Al igual que el tamaño, también se prueba con distintos costos asociados al arriendo de una bodega de almacenamiento. De acuerdo a una cotización con Bodegas San Francisco⁵, los costos para una bodega de las proporciones que se consideran en el presente estudio ronda los 20 Millones de pesos.

Por ello, se prueba con valores de 20, 60 y 100 Millones de pesos para la instalación de los Centros de Distribución.

Niveles de Cobertura

De acuerdo al modelo, se deben entregar límites de tiempo/distancia para considerar que cada punto de demanda puede ser satisfecho por un Centro de Distribución candidato. Se busca que la familia de productos 1 sea la que tenga un menor tiempo de límite, al ser los productos que se requieren en el inicio del evento desastroso.

Por lo tanto, asumiendo una velocidad promedio de 40 Km/Hr, se definieron 2 parámetros de tiempos de respuesta que se muestran en la Tabla N°3.

⁵ http://www.bsf.cl/arriendo_bodegas.html#

Familia de productos	1	2	3
Tiempos de respuesta Max. 1 [Hrs.]	24	36	48
Tiempos de respuesta Max. 2 [Hrs.]	24	48	72

Tabla 3 - Parámetros Cobertura
Fuente: Elaboración Propia

Niveles de Criticidad de los productos

De acuerdo a la apreciación de ONEMI, las familias de productos tienen distinta prioridad al ser despachadas a los puntos de demanda. La familia de productos 1 tiene un ponderador de importancia de 0.45, la familia 2 tiene 0.35 y la familia 3 tiene un 0.2 asignado.

Por ello, se prueba con el parámetro ajustado a lo reportado por ONEMI, además de otro caso donde todos los productos tengan igual importancia. Estos se ven en la Tabla 4.

Familia de productos	1	2	3
Criticidades 1	0.45	0.35	0.2
Criticidades 2	0.34	0.33	0.33

Tabla 4 - Parámetros Criticidad
Fuente: Elaboración Propia

VII. RESULTADOS

En la Ilustración 16 a continuación se puede ver el funcionamiento del modelo, donde las comunas son atendidas completa o parcialmente por los Centro de Distribución que se habilitaron.

Se puede apreciar en la Ilustración 16 que dicha atención de las comunas se da de manera colaborativa. En este caso, las comunas de la Región Metropolitana, Valparaíso, O'Higgins y la Región del Maule son surtidas por los Centros "Maule3" (cuadrado color verde claro) y "RM" (cuadrado amarillo); además de otro Centro (en verde oscuro) habilitado más al sur de Chile que no se aprecia en la imagen.

También se puede ver que en algunos casos las comunas son atendidas exclusivamente por uno de estos centros, mientras que, en otros, cada centro cubre una porción hasta completar el total de las necesidades de la comuna. Tal es el caso de la comuna de Constitución, que es atendida principalmente desde el Centro "Maule3" y el restante desde la bodega "RM", que representa a la actual bodega de ONEMI.

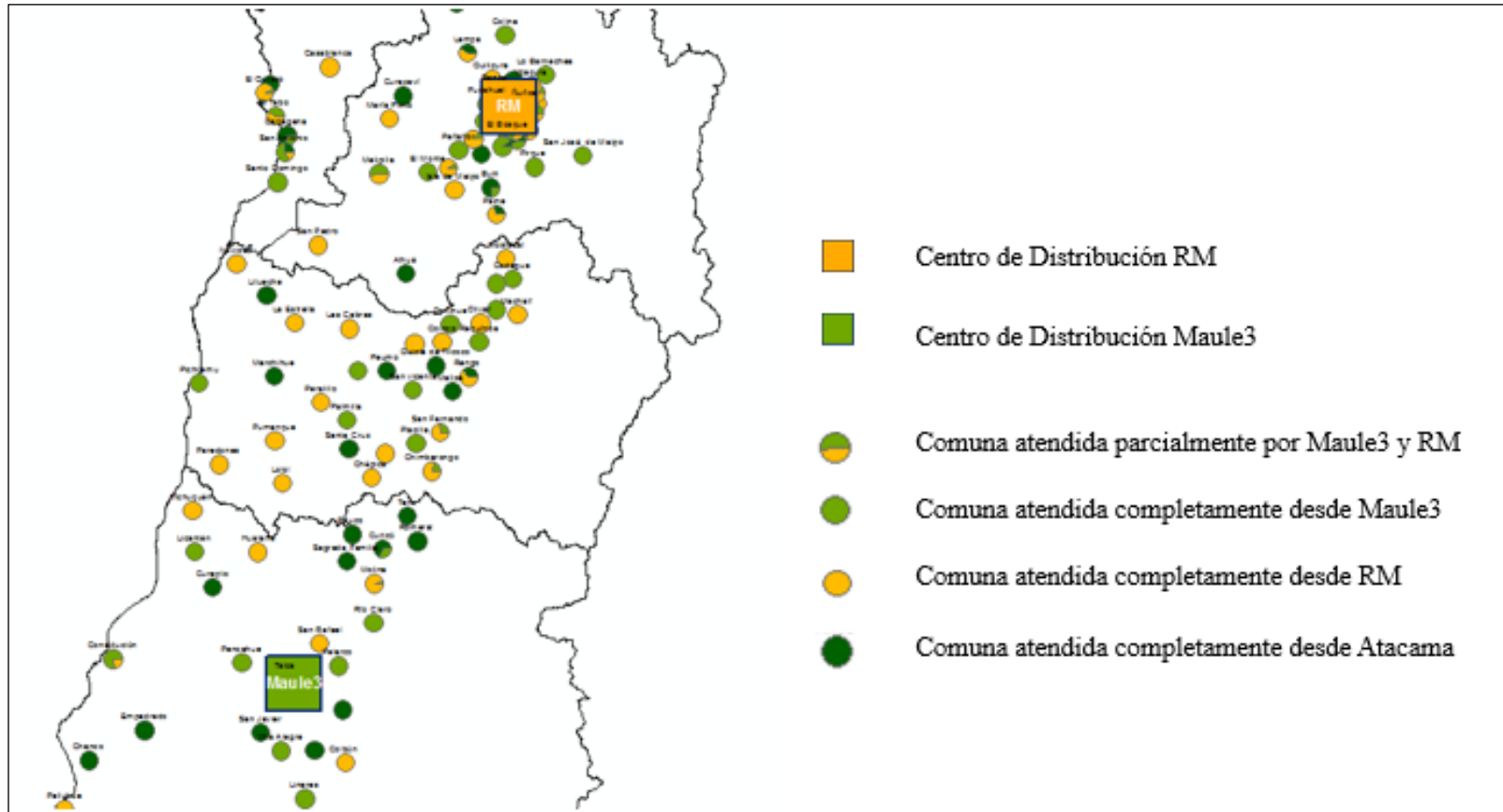


Ilustración 16 - Asignación Modelo

Fuente: Elaboración Propia

VII.1 Resultado de los Escenarios

Habiendo configurado y probado las 144 combinaciones posibles con los parámetros definidos para el experimento, se evalúa cada escenario respecto a la cantidad de comunas con sus demandas de suministros satisfechas al 100%, para cada producto. Independiente de si es un único Centro de Distribución el que abastece a la comuna, o colaboran un grupo de ellos; si la comuna recibe toda la cantidad que requiere en cada escenario, se considera como satisfecha.

Con ese indicador de desempeño, se configura un tablero que evalúa las variaciones en el desempeño para cada tipo de producto, al modificar los parámetros definidos al inicio. Los resultados se pueden ver en la Ilustración 17 y muestran para cada parámetro (Costo Bodegas, Demanda, Criticidad, Coberturas, Presupuesto, Tamaño Bodegas) cómo varía el % de comunas con sus necesidades satisfechas completamente. Para ello, se toma el promedio obtenido entre los 144 escenarios probados.

A modo de ejemplo, se puede ver en las barras de la izquierda superior de la imagen que, al considerar un costo de bodegas de 60 millones de pesos, se logra un promedio del 63% de comunas satisfechas completamente de producto tipo 1 (197 de las 309 consideradas), un 52% del producto tipo 2, y un 51% para el producto tipo 3. En conjunto, como muestra la línea punteada, el promedio de comunas satisfechas completamente alcanza el 56% si asumimos un costo de 60 millones.

Performance v/s Parámetros

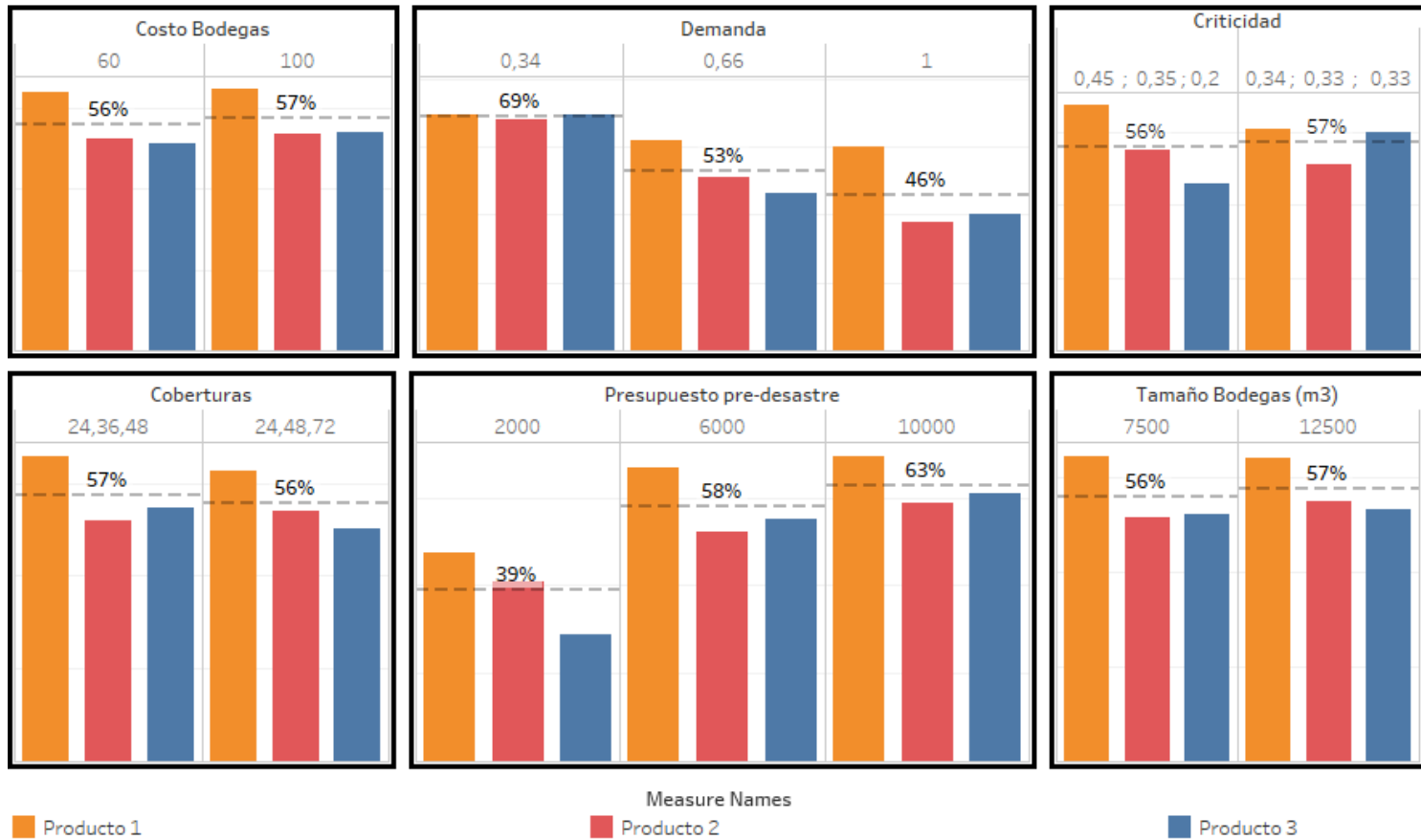


Ilustración 17- Tablero Desempeño
 Fuente: Elaboración Propia

Algunas observaciones que se pueden hacer respecto al desempeño ante cada parámetro son las que se señalan a continuación.

Costo de Bodegas: No se aprecian cambios relevantes ante valores de 60 o 100 Millones de pesos. El mejor desempeño se logra para el producto tipo 1, pero en general se mantiene en torno al 57% de comunas satisfechas.

Demanda: Como se podría suponer, el desempeño del modelo es menor ante una mayor proporción de demanda. En los escenarios con mayor proporción de demanda, el desempeño más alto lo tiene el producto tipo 1, en desmedro de los otros.

Criticidad: Con respecto a los niveles de criticidad, al asignarle mayor ponderador a un producto se ve que se logra un peor desempeño, pero una observación destacable es que al igualar los ponderadores se privilegia el cumplimiento de demanda por producto tipo 3 (con un 60%), en desmedro del desempeño para el de tipo 2, que alcanza el 51%. Esto es por el mayor tiempo de entrega con el que cuenta el producto tipo 3.

Coberturas: No se observa un comportamiento relevante en las configuraciones del parámetro cobertura. Para el caso con mayor holgura en los tiempos de entrega, sólo se aprecia una leve mejoría en el desempeño del producto tipo 2.

Presupuesto pre-desastre: Como se podría intuir, ante un mayor presupuesto disponible, el desempeño general del modelo es mayor. Sin embargo, se puede ver que los beneficios de un mayor presupuesto no son lineales; se puede ver que aumentar de 2 mil a 6 mil millones genera aun aumento de 19% en el promedio de desempeño, mientras que pasar de esos 6 mil a 10 mil millones de pesos significa sólo un aumento de 5%. El óptimo se encuentra entre de esos valores.

Tamaño Bodegas: No se aprecian cambios significativos con un mayor tamaño de los puntos de almacenamiento. El mejor desempeño se logra para el producto tipo 1, en ambos casos, con un desempeño general en torno al 57%.

Los escenarios probados con el modelo sugieren abrir entre 0 y 3 centros, siendo la opción más frecuente abrir 2, sin contar el centro “RM” que se asume como abierto en todo caso. En cuanto a los centros más frecuentes a abrir en la red, esto se encuentra en la Ilustración 11 Ilustración 188, donde se aprecia el desempeño general de los Centros de Distribución, en términos del número de salidas que sugieren su utilización. Si bien se prueba con 144 configuraciones, en algunos casos se abre más de un Centro, por lo que el total considerado es 244. Dentro de ese total, los centros más frecuentes son los ubicados en las Regiones de O’Higgins, el Maule, Atacama, Valparaíso. Otro caso que tiene cierta repetición es la opción de no abrir Centros, quedándose únicamente con el funcionamiento del disponible en la Comuna de Santiago actualmente. Esta opción se prefiere en 32 ocasiones.

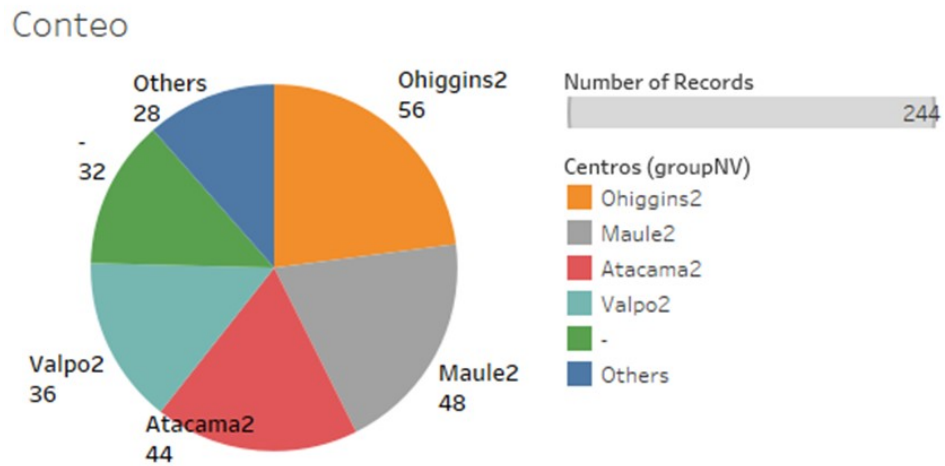


Ilustración 18 - Conteo Centros de Distribución

Fuente: Elaboración Propia

Si bien la primera opción a abrir se encuentra en la zona centro del país, debido a la concentración de población en esa zona, se pueden sacar conclusiones sobre qué centros toman relevancia ante variaciones de cada parámetro considerado en el experimento. Para ello, se desarrolla el tablero de la Ilustración 19, donde se puede ver lo siguiente:

-El **Costo de las Bodegas** no modifica considerablemente los Centros a abrir, se mantiene la tendencia global mostrada en la figura anterior; lógicamente a mayor costo se abre menor cantidad de Centros de Distribución. La opción que sí toma cierta preponderancia al considerar bodegas más costosas es el caso de no abrir centro alguno, esto debido a que se puede funcionar únicamente con el CD disponible en las actuales instalaciones de ONEMI.

-Los **Niveles de Demanda** a considerar sí tiene efectos importantes en la apertura de Centros de Distribución. Como norma general, ante mayores niveles de demanda se abren menos cantidad de centros, posiblemente en la búsqueda de que el gasto se concentre en las actividades de compra de productos, más que en la apertura de centros. Ante mayores niveles de demanda, se hace más frecuente la apertura de los centros en O'Higgins y Valparaíso. Inversamente, las mayores demandas por producto hacen cada vez menos frecuente la elección de los centros en Atacama y Maule; esto debido a la concentración de población en la zona centro. Se tiende a estar más cerca de las zonas donde se demanda más producto, que es justamente la zona centro de Chile.

-Sobre el efecto de la **Criticidad**, se puede ver que ante una priorización entre los productos a despachar el resultado es una creciente importancia de la opción de abrir los centros en O'Higgins y la región de Atacama. Esto se explica en el próximo análisis en la Ilustración 20, donde se muestra qué uso se le da a cada uno de esos centros pensando en el pre-posicionamiento de stock multi-producto.

-En cuanto al parámetro de **Coberturas**, se puede notar que, ante mayor holgura en los tiempos de respuesta, baja la cantidad de centros que se abren además de tomar importancia la opción de abrir los centros en las regiones de Atacama y O'Higgins. En contrapartida, no es tan frecuente la apertura de los centros en Maule y Valparaíso. Esto se puede explicar por la concentración de la población en la zona centro ya que, al tener menor tiempo para despachar los productos se tiende a ubicar Centros en las regiones centrales de país, de modo de satisfacer la demanda en esa zona. Caso contrario son los casos donde hay más holgura para despachar, pues se abre un centro más alejado del centro, en Atacama, además de otro en la región de O'Higgins que abastece dicha zona.

-En cuanto al **Presupuesto**, con el menor monto disponible considerado en las pruebas, se ve que la moda es no abrir centro alguno y, en caso de abrir uno, la primera opción la tiene el ubicado en la región del Maule. Si consideramos el presupuesto medio (6 mil millones de pesos) la primera opción a abrir pasa a ser el centro en O'Higgins, pues tiene una ubicación central en el territorio chileno. Ante un escenario con presupuesto alto (10 mil millones de pesos), la primera opción a abrir pasa a ser el centro en la región de Atacama y otros centros, esto porque una mayor capacidad de gasto permite abrir centros a lo largo de todo Chile, estando más cerca de cada región.

-El **Tamaño** de los centros no modifica la elección de los centros a abrir. Además, como podría esperarse, al considerar puntos de almacenamiento con mayor capacidad, se requiere abrir menor cantidad de ellos, pues se puede almacenar más cantidad de productos en cada uno.

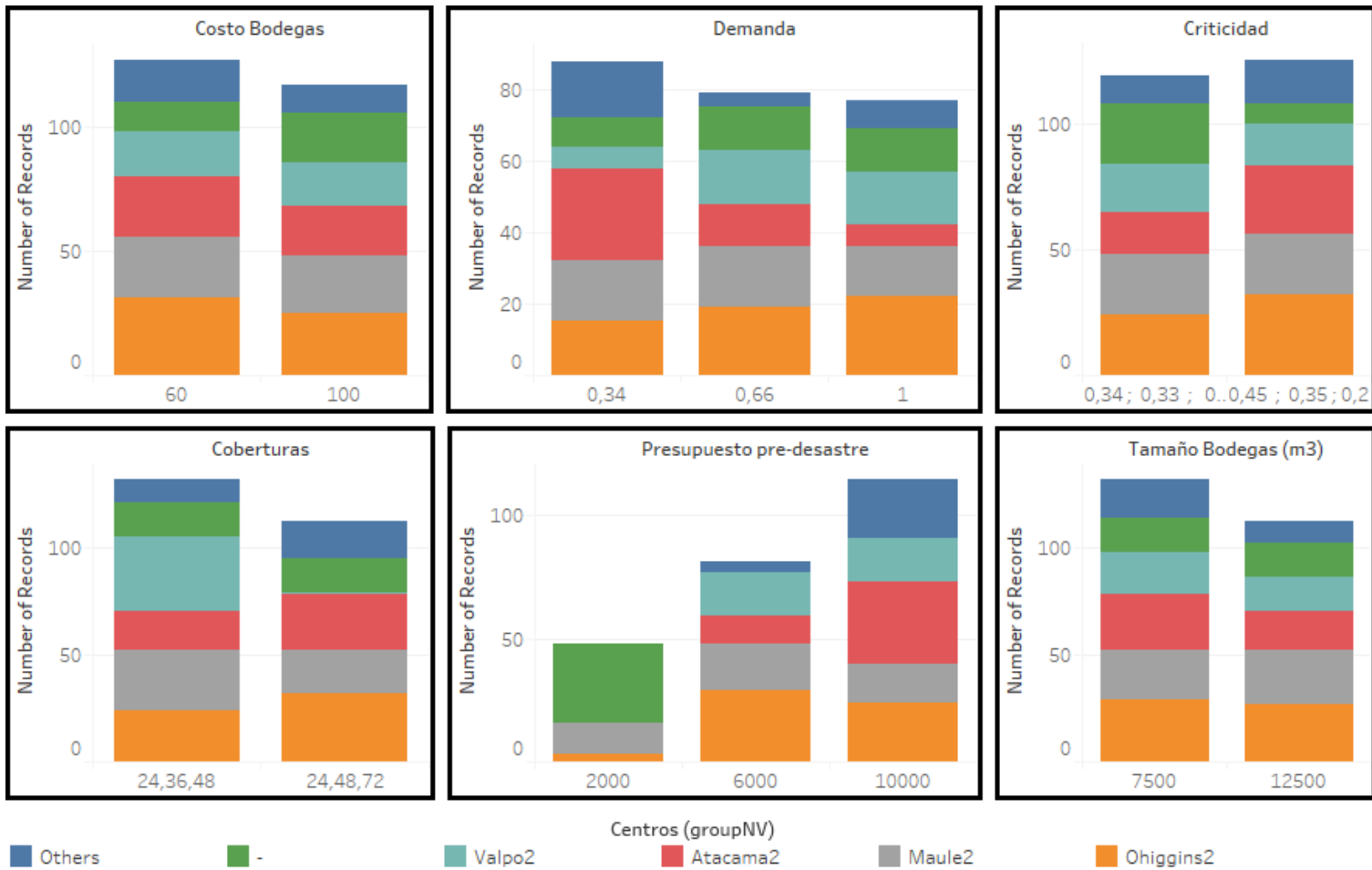


Ilustración 19 -Conteo Centros por Parámetro
Fuente: Elaboración Propia

El siguiente factor a considerar son las decisiones de pre-posicionamiento de stock que se dan entre los centros abiertos. Los resultados del comportamiento del stock se pueden ver en la Ilustración 20, donde se muestra el promedio de stock asignado, tanto en el CD abierto como en el centro RM; para el caso que se abra cada uno de los centros más frecuentes.

A modo de ejemplo, se pueden ver las barras del sector izquierdo donde está representado el comportamiento en caso de abrir el centro de distribución en O'Higgins. De él se puede desprender que el centro O'Higgins es utilizado principalmente para mantener producto tipo 1, mientras que almacenar los productos tipo 2 y tipo 3 es parte del rol que le corresponde al centro de distribución "RM" o un segundo centro abierto, recordando que el resultado de los experimentos desarrollados sugiere, en la mayoría de los casos, abrir 2 centros. Bajo esa lógica, se pueden observar 2 tendencias:

1) Los centros en O'Higgins y Maule son utilizados principalmente para pre-posicionar producto tipo 1, mientras que los productos tipo 2 son mantenidos en el centro RM u otro centro abierto en simultáneo.

2) Los CD en Atacama y en Valparaíso son la opción para mantener el inventario de producto tipo 2 y 3, funcionando en conjunto con el centro RM considerado abierto en todo escenario.

El hecho de que 2 CD sean reservados para almacenar producto tipo 1 es por la formulación de la función objetivo. De acuerdo a ella, se tiene mayor beneficio si se satisfacen las necesidades de producto 1 por tener, en la mitad de los casos, mayor prioridad (criticidad) que los otros. Además, se logra mayor beneficio si tomamos en cuenta que tiene baja holgura para cumplir con el pedido, por lo que sobrepasar su tiempo de entrega (cobertura) lleva la función objetivo a verse perjudicada de mayor manera respecto a los otros productos, por la variable de peso del nivel de cobertura. Si no se logra despachar el producto tipo 1 en 24 horas, pasa de entregar 1 punto a sólo 0.4, mientras que al no cumplir para los productos tipo 2 y 3 se entregan 0.6 y 0.8, respectivamente; lo que los hace menos sensibles al no cumplimiento.

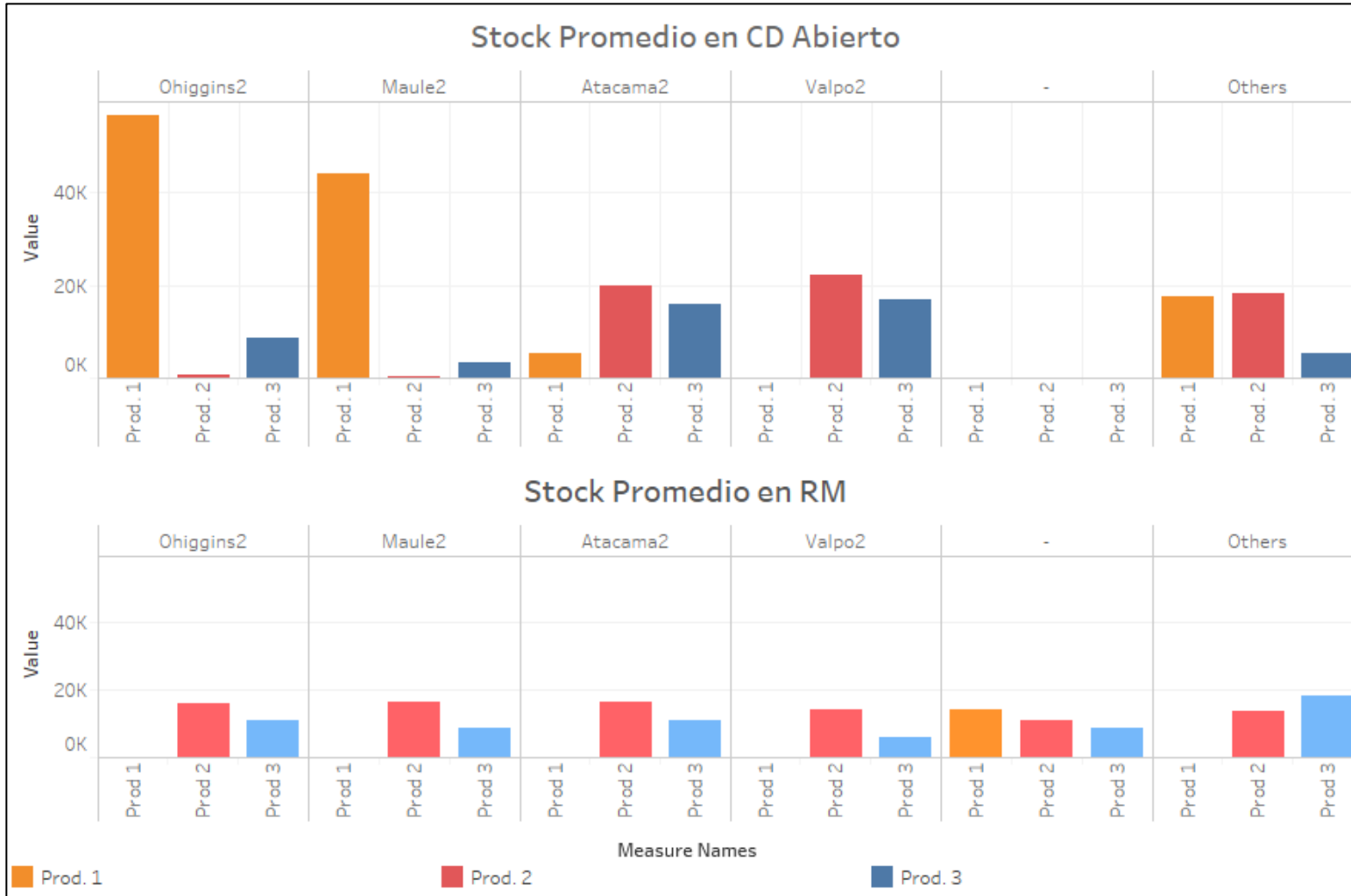


Ilustración 20 - Pre-posicionamiento Stock
Fuente: Elaboración propia

VII.2 Discusión de los Resultados

En el caso del presupuesto pre-desastre con el que se cuenta para atender la emergencia, se puede ver en la Ilustración 21 que existen mejorías en el desempeño general de los productos, además del desempeño individual. Un caso particular sucede con el desempeño del producto tipo 2, que presenta una magnitud menor de mejoras en comparación al producto tipo 3, ante aumentos de presupuesto. Se puede ver que, desde un presupuesto de 6 mil millones y superiores, el producto tipo 3 pasa a tomar el segundo lugar en desempeño.

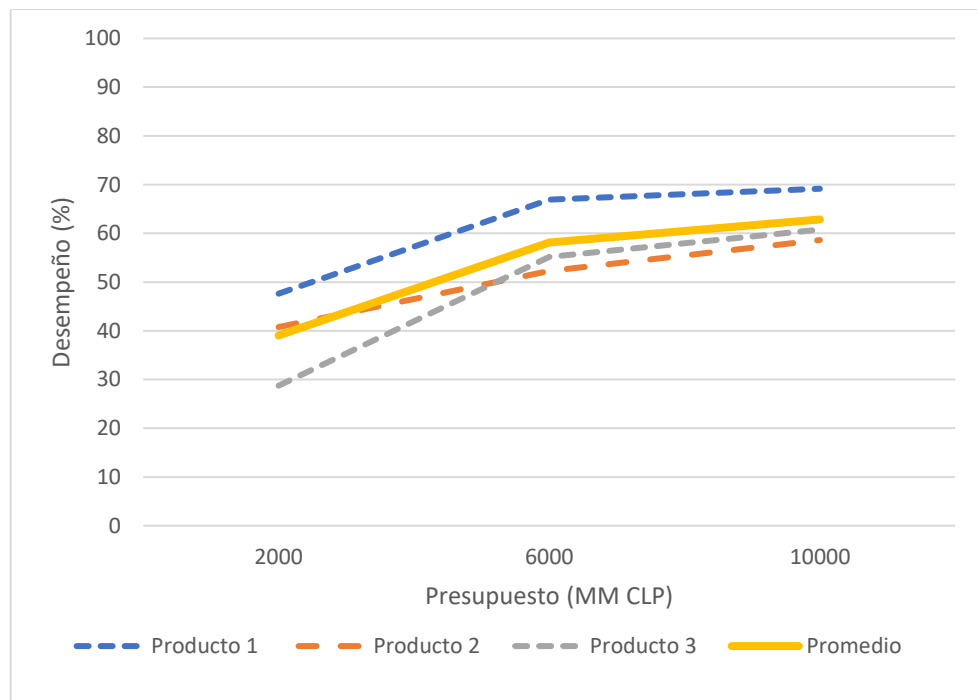


Ilustración 21 - Desempeño vs Presupuesto

Fuente: Elaboración Propia

Además, podemos señalar que el presupuesto adecuado para las operaciones de ONEMI debe estar en torno a los 6 mil millones de pesos, pues no es considerablemente beneficioso un aumento de capacidad de gasto desde ese monto en adelante.

En términos del comportamiento de los resultados ante cambios en el parámetro de **Criticidad**, se puede ver en la Ilustración 22 que el desempeño de cada producto, utilizando los dos posibles valores considerados, mantienen su tendencia en todas las combinaciones posibles con las otras variables.

Esto se entiende como que, independiente del Costo de Bodegas, Tamaño de Bodegas, Coberturas, Presupuesto y Demanda se sigue la misma lógica: si todos los productos tienen igual importancia se prioriza el producto tipo 3 por sobre el tipo 2; si tiene mayor importancia el producto tipo 2, se prioriza éste por sobre el tipo 3. Cabe recordar, en virtualmente todos los casos el mejor desempeño se logra para la familia de productos tipo 1. Podemos concluir que estos resultados derivan de la configuración del parámetro de Coberturas, pues se establecieron únicamente valores donde el producto tipo 1 es el con tiempo esperado de respuesta menor (24 horas), mientras que el producto tipo 3 es siempre el con mayor holgura para su despacho. Por ello, en el escenario donde todos los productos tienen igual importancia el modelo prioriza la entrega de producto tipo 3, que cuenta con mayor espacio de tiempo para concretar dicha entrega.

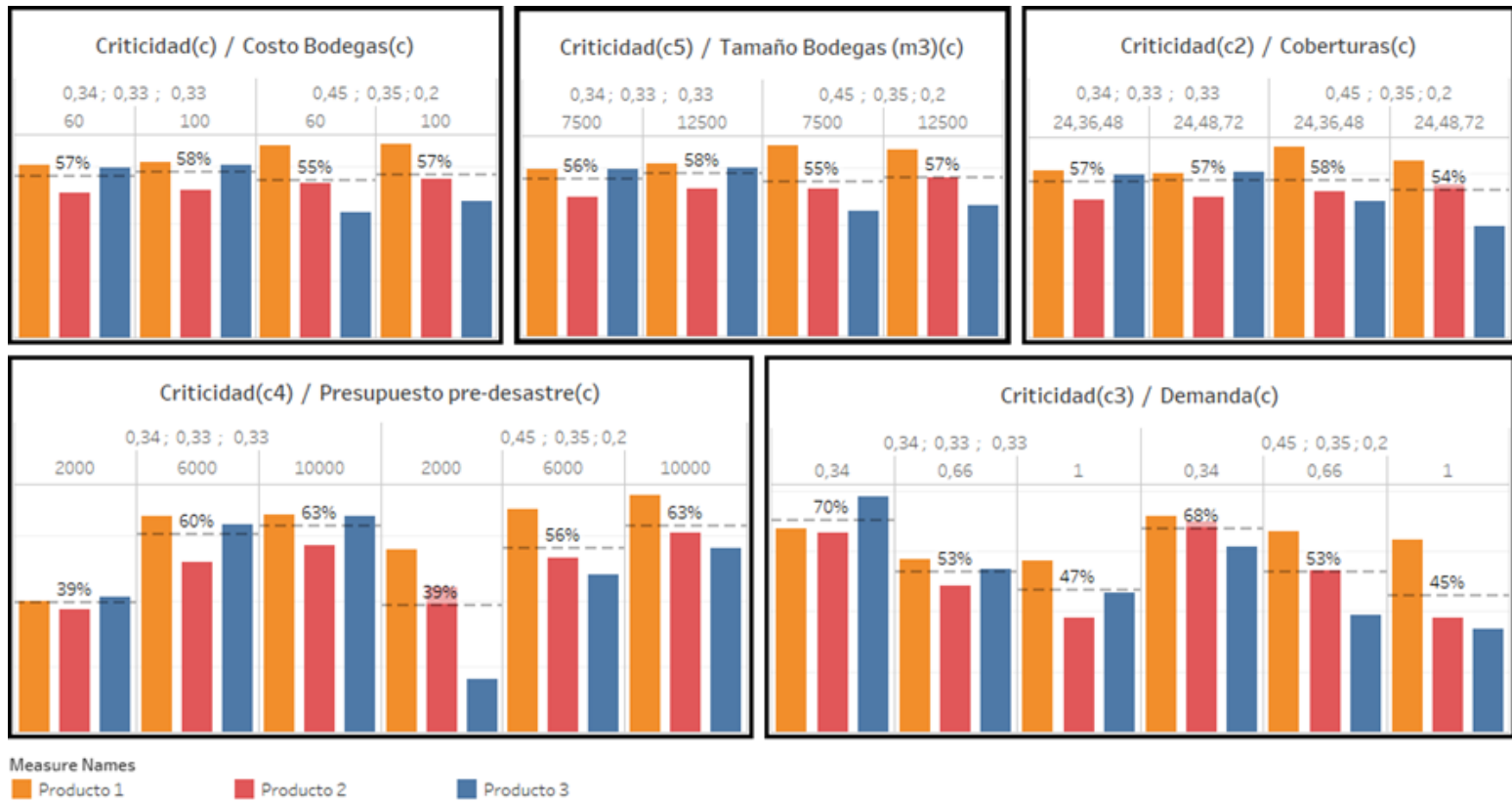


Ilustración 22 - Desempeño por Criticidad
Fuente: Elaboración Propia

VIII. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados en el capítulo III, se puede mencionar lo siguiente con respecto a cada uno de ellos:

1. Se logra determinar los sitios factibles en el territorio nacional para instalar Centros de Distribución. Esto se realiza considerando los usos de suelo que permitan la actividad productiva pertinente, además de estar fuera de zonas con riesgo de inundación por tsunamis.
2. Se selecciona la formulación matemática idónea para abordar el caso de estudio planteado, pues permite dar nociones para la localización de los CDs y también su posterior asignación de stock a pre-posicionar, con el fin de maximizar la población atendida.
3. Se proponen 69 zonas para instalación de Centros de Distribución a lo largo de Chile, utilizando finalmente 64 de ellas para las pruebas desarrolladas en este estudio.
4. Se proponen los inventarios a mantener por cada tipo de producto en cada Centro considerado.
5. Se logra estimar los niveles de desempeño, entendido como número de comunas que son atendidas al 100% sus necesidades de cada tipo de producto.
6. Con respecto al desempeño, también se conoce la variación que tendrá ante modificaciones en cada uno de los 6 parámetros considerados en el presente estudio.

Esto nos lleva a concluir, teniendo en cuenta que varía según cada caso probado en los experimentos, que la propuesta es abrir 2 centros en el territorio nacional. Uno de esos centros debe estar en la zona centro del país y el otro en una región fuera de esta zona. Los pares de opciones más frecuentes son O'Higgins (zona centro) junto a Atacama (zona norte), o bien Valparaíso (zona centro) acompañado de El Maule (zona sur). Sólo en los casos de extrema demanda, donde se considera que la totalidad de la población

requiere ayuda, se decide funcionar con ambos CD en la zona centro del país, abriendo conjuntamente bodegas en O'Higgins y Valparaíso.

De los centros abiertos, uno se encargará de almacenar el producto de mayor importancia, producto tipo 1; mientras que el otro se hará cargo de los productos tipo 2 y 3. El centro RM apoyará en el almacenamiento de los productos tipo 2 y 3, recordando que este centro se considera abierto en todo escenario debido a que representa a la actual oficina de ONEMI en la comuna de Santiago.

IX. FUTURAS INVESTIGACIONES

Con base en el trabajo desarrollado en el presente documento, se plantea la opción para desarrollar investigaciones que apunten a trabajar temas que no fueron el foco en este trabajo.

Así, se plantea la posibilidad de estudiar una red de distribución con un sistema de inventario más complejo, vale decir, uno donde se adopte alguna política de colaboración entre los centros de distribución a lo largo de un período de tiempo de modo de incorporar el comportamiento del gasto de presupuesto al análisis. Esto también plantea el desafío de considerar eventos desastrosos que se generen de manera aislada, cada uno a su tiempo afectando cierta zona del país y no la totalidad de éste como se hizo en este documento para también probar el comportamiento de la red en distribuciones de producto entre centros de almacenamiento y no únicamente desde centros a municipios, como se asume acá.

Del mismo modo, se plantea la necesidad de realizar un estudio ad-hoc para la zona austral de país, dada la baja conectividad terrestre. Esto lleva a considerar una distribución multimodal que involucre movimientos aéreos o acuáticos hasta llegar a los municipios de las localidades del extremo sur, lo que aumenta la complejidad del problema y su coordinación con las regiones que sí fueron consideradas en este estudio.

Otro ámbito relevante para estudiar a futuro son los beneficios percibidos por ONEMI luego del trabajo conjunto con la Universidad Andrés Bello en el proyecto desarrollado en 2016. Se trabajó para dar sustento al proyecto de mejoramiento de la red de distribución de la institución, logrando la aprobación de presupuesto para 2 bodegas en el territorio nacional. Hasta la fecha se desconoce el estado de avance en el uso de dichos montos.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Balcik, B., & Beamon, B. (2008). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics*, 11(2), 101-121.
- Balcik, B., Bozkir, C., & Kundakcioglu, O. (2016). A literature Review on inventory management in humanitarian supply chains. *Surveys in Operations Research and Management Science*.
- CRED: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. (2011). *2010 diasters in numbers*.
- Davies, L. B., Samanlioglu, F., Qu, X., & Root, S. (2013). Inventory planning and coordination in disaster relief efforts. *International Journal of Production Economics*, 141, 561-573.
- FEMA EMI. (8 de Septiembre de 2017). *FEMA Emergency Management Institute*. Obtenido de <https://training.fema.gov/emi.aspx>
- Guha-Sapir, D., Below, R., & Hoyois, P. (6 de Agosto de 2017). *EM-DAT: The CRED/OFDA International Disaster Database-Université Catholique de Louvain*. Obtenido de www.emdat.be
- Iakovou, E., Ip, C. M., Douligeris, C., & Korde, A. (1997). Optimal location and capacity of emergency cleanup equipment for oil spill response. *European Journal of Operational Research*, 96(1), 72-80.
- Izhak, R. (2004). *Special report: Disaster planning and management*. NCD Malaysia, 3(2), 47-51.
- Khan, H., Vasilescu, L. G., & Khan, A. (2008). Disaster management cycle-a theoretical approach. *Journal of Management and Marketing*, 6(1), 43-50.
- Kumar, A., Latif, Y. L., & Daver, F. (2012). Developing Forecasting Tool for Humanitarian Relief Organizations in Emergency Logistics Planning. *International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*, 6(11), 3194-3200.
- Messer, N. M. (2003). *The role of local institutions and their interaction in disaster risk mitigation: A literature review*. Food and Agriculture Organization, United Nations.
- Murali, P., Ordóñez, F., & Dessouky, M. M. (2012). Facility location under demand uncertainty: Response to a large-scale bio-terror attack. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 78-87.
- Nahleh, Y. A., Kumar, A., & Daver, F. (2013). Facility Location in Emergency Logistic. *International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering*, 7(10), 833-838.
- ONEMI. (2002). *Plan Nacional de Protección Civil, Decreto 156*. Santiago.
- ONEMI. (2017). *Directiva 2017 de la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio de Interior y Seguridad Pública*. Santiago.
- Thomas, M. U. (2002). Supply Chain Reliability for Contingency Operations. *Reliability and Maintainability Symposium, 2002. Proceedings. Annual* (págs. 61-67). Seattle: IEEE.
- Tomasini, R., & Van Wassenhove, L. (2009). *Humanitarian Logistics*. Springer.

Whybark, D. (2007). Issues in managin disaster relief inventories. *International journal of production economics* 108(1), 228-235.

XI. ANEXOS

Anexo 1: Comunas consideradas

Anexo 2: Centros de Distribución Factibles

Anexo N°1: 309 Comunas consideradas

ID	Comuna	Población	Lat.	Long.	ID	Comuna	Población	Lat.	Long.
1	Algarrobo	10.588	-71,655561	-33,360521	155	Melipeuco	5.835	-71,680102	-38,865541
2	Alhué	5.816	-71,106887	-34,030127	156	Melipilla	118.142	-71,211297	-33,683637
3	Alto Biobío	6.034	-71,438088	-37,893086	157	Molina	42.409	-71,267784	-35,108254
4	Alto del Carmen	6.412	-70,340543	-28,886931	158	Monte Patria	33.952	-70,894412	-30,790418
5	Alto Hospicio	118.413	-70,100249	-20,270846	159	Mostazal	26.693	-70,687126	-33,984565
6	Andacollo	11.488	-71,084813	-30,234975	160	Máfil	7.461	-72,929587	-39,67794
7	Angol	55.570	-72,702688	-37,804761	161	Mulchén	30.484	-72,243911	-37,723948
8	Antofagasta	384.065	-70,345509	-23,642525	162	Nacimiento	28.471	-72,701276	-37,49231
9	Antuco	3.926	-71,624169	-37,347341	163	Nancagua	17.113	-71,210745	-34,655874
10	Arauco	38.363	-73,319192	-37,241021	164	Navidad	5.980	-71,81513	-33,984287
11	Arica	239.710	-70,286605	-18,475381	165	NEgrete	10.348	-72,549358	-37,597602
12	Buin	84.651	-70,74604	-33,738343	166	Ninhue	5.817	-72,431498	-36,386796
13	Bulnes	22.002	-72,289132	-36,763634	167	Nogales	23.859	-71,208735	-32,710184
14	Cañete	34.260	-73,390056	-37,83711	168	Nueva Imperial	33.528	-72,94341	-38,75704
15	Cabildo	20.137	-71,028074	-32,427356	169	Olivar	15.248	-70,800083	-34,210445
16	Cabrero	29.357	-72,403714	-37,059285	170	Ollagüe	311	-68,272709	-21,337577
17	Calama	179.200	-68,927193	-22,44384	171	Olmué	16.075	-71,1531	-33,008651
18	Calbuco	35.073	-73,165954	-41,761475	172	Osorno	157.855	-73,138817	-40,578952
19	Caldera	17.830	-70,815654	-27,073913	173	Ovalle	121.868	-71,226943	-30,609714
20	Calera	55.343	-71,199685	-32,786787	174	Pedro Aguirre Cerda	122.462	-70,676499	-33,492572
21	Calera de Tango	25.060	-70,783272	-33,621081	175	Padre Hurtado	57.287	-70,813741	-33,567494
22	Calle Larga	14.712	-70,626155	-32,863107	176	Padre Las Casas	89.163	-72,590222	-38,776143
23	Camarones	778	-69,62323	-18,873358	177	Paiguano	4.492	-70,495415	-30,093229
24	Camiña	1.278	-69,457762	-19,326362	178	Paillaco	20.956	-72,836682	-40,078157

25	Canela	9.914	-71,4091	-31,419017	179	Paine	68.101	-70,727356	-33,830457
26	Carahue	26.515	-73,228797	-38,682025	180	Palmilla	13.379	-71,368092	-34,535359
27	Cartagena	20.396	-71,589178	-33,54188	181	Panguipulli	36.527	-72,232634	-39,646427
28	Casablanca	29.333	-71,406427	-33,306821	182	Panquehue	7.361	-70,843341	-32,7792
29	Catemu	14.062	-70,95174	-32,764223	183	Papudo	5.310	-71,42924	-32,502364
30	Cauquenes	40.401	-72,316321	-35,967962	184	Paredones	6.389	-71,911151	-34,680163
31	Cerrillos	86.240	-70,722144	-33,494673	185	Parral	38.552	-71,809689	-36,160563
32	Cerro Navia	158.506	-70,740385	-33,422513	186	Peñaflor	91.635	-70,877534	-33,605995
33	Chañaral	13.698	-70,60961	-26,347226	187	Peñalolén	243.847	-70,558012	-33,481337
34	Chanco	9.037	-72,501626	-35,694657	188	Pelarco	7.944	-71,430074	-35,391589
35	Chiguayante	100.157	-73,022522	-36,929066	189	Pelluhue	7.678	-72,613458	-35,85947
36	Chillán	180.348	-72,101199	-36,610155	190	Pemuco	9.297	-72,120114	-36,973451
37	Chillán Viejo	33.146	-72,147688	-36,633672	191	Pencahue	8.840	-71,839123	-35,37114
38	Chimbarongo	37.660	-71,015079	-34,721334	192	Penco	51.853	-72,988736	-36,733235
39	Chol chol	11.936	-72,888412	-38,564856	193	Peralillo	11.658	-71,475391	-34,473638
40	Chépica	16.196	-71,271604	-34,738457	194	Perquenco	7.300	-72,406123	-38,43002
41	Cobquecura	5.689	-72,74051	-36,143739	195	Petorca	10.351	-70,983109	-32,264397
42	Cochamó	4.078	-72,349748	-41,66544	196	Peumo	16.181	-71,19855	-34,368472
43	Codegua	14.392	-70,660689	-34,058072	197	Pica	6.653	-69,038455	-20,716478
44	Coelemu	17.004	-72,720023	-36,504358	198	Pichidegua	20.317	-71,317763	-34,365281
45	Coihueco	25.933	-71,819584	-36,621958	199	Pichilemu	14.502	-71,985885	-34,395322
46	Coinco	7.217	-70,962306	-34,272203	200	Pinto	11.363	-71,833888	-36,749706
47	Colbún	19.499	-71,410593	-35,728095	201	Pirque	22.403	-70,563673	-33,669209
48	Colchane	1.688	-68,692361	-19,356061	202	Pitrufquén	24.794	-72,662148	-39,01943
49	Colina	124.958	-70,677364	-33,20628	203	Placilla	9.293	-71,079116	-34,624327
50	Collipulli	24.638	-72,37492	-37,95298	204	Portezuelo	5.627	-72,471042	-36,545013
51	Coltauco	19.894	-71,075976	-34,276864	205	Pozo Almonte	14.156	-69,693261	-20,273256

52	Combarbalá	15.379	-71,029098	-31,118883	206	Providencia	149.165	-70,609293	-33,433074
53	Concepción	229.118	-73,039035	-36,8146	207	Pucón	28.146	-71,919126	-39,278168
54	Conchalí	141.185	-70,675028	-33,382836	208	Puchuncaví	18.115	-71,447531	-32,730002
55	Concón	50.154	-71,522998	-32,930875	209	Pudahuel	235.629	-70,754761	-33,447357
56	Constitución	50.888	-72,38415	-35,345501	210	Puerto Montt	248.230	-72,948165	-41,47153
57	Contulmo	5.549	-73,228336	-38,028595	211	Puerto Octay	9.465	-72,772842	-40,92593
58	Copiapó	175.524	-70,315841	-27,370683	212	Puerto Varas	41.182	-72,922978	-41,320567
59	Coquimbo	236.799	-71,316203	-29,98076	213	Pumanque	3.469	-71,672706	-34,600426
60	Coronel	116.256	-73,160116	-37,0038	214	Punitaqui	10.868	-71,277877	-30,847449
61	Corral	5.761	-73,428994	-39,899824	215	Purranque	21.354	-73,219736	-40,921938
62	Cunco	18.990	-72,112443	-38,962459	216	Purén	12.926	-73,053933	-38,032505
63	Curacautín	17.164	-71,872383	-38,446006	217	Putendo	16.469	-70,714418	-32,624829
64	Curacaví	29.980	-71,106169	-33,412171	218	Putre	2.084	-69,509126	-18,267128
65	Curanilahue	34.977	-73,340216	-37,475921	219	Puyehue	10.988	-72,590356	-40,700315
66	Curarrehue	7.466	-71,551903	-39,300445	220	Quilaco	4.097	-71,885018	-37,753527
67	Curepto	10.799	-71,953142	-35,106361	221	Quilicura	216.857	-70,73516	-33,362064
68	Curicó	145.344	-71,230299	-34,987131	222	Quillón	16.914	-72,470716	-36,783991
69	Diego de Almagro	14.939	-69,810675	-26,324385	223	Quilleco	9.964	-71,950662	-37,475616
70	Ñiquén	11.653	-71,841192	-36,337862	224	Quillota	94.749	-71,252545	-32,887863
71	Doñihue	20.499	-70,926498	-34,21148	225	Quilpué	170.853	-71,429369	-33,050674
72	Ñuñoa	225.109	-70,597368	-33,45779	226	Quinta de Tilcoco	13.333	-70,988109	-34,355204
73	El Bosque	194.555	-70,672199	-33,565643	227	Quinta Normal	115.592	-70,704317	-33,426759
74	El Carmen	12.851	-71,936316	-36,912279	228	Quintero	28.124	-71,52279	-32,797707
75	El Monte	36.377	-71,006953	-33,680213	229	Quirihue	13.526	-72,569914	-36,260913
76	El Quisco	13.359	-71,676831	-33,39062	230	Rancagua	234.048	-70,731543	-34,16247
77	El Tabo	10.351	-71,636422	-33,473538	231	Ránquil	6.065	-72,567382	-36,625469
78	Empedrado	4.477	-72,260269	-35,59599	232	Rauco	10.115	-71,357569	-34,93568

79	Ercilla	9.168	-72,42387	-38,055195	233	Recoleta	169.372	-70,6422	-33,398504
80	Estación Central	145.749	-70,702031	-33,46459	234	Renaico	10.662	-72,580987	-37,686607
81	Florida	8.843	-72,70706	-36,819181	235	Renca	152.399	-70,717424	-33,403452
82	Freire	24.584	-72,608529	-38,94544	236	Rengo	61.700	-70,853315	-34,394991
83	Freirina	6.992	-71,089253	-28,549607	237	Requinoa	32.827	-70,807176	-34,274819
84	Fresia	12.737	-73,454034	-41,152859	238	Retiro	19.696	-71,749699	-36,07117
85	Frutillar	17.312	-73,081504	-41,098982	239	Rinconada	10.703	-70,689809	-32,84712
86	Futrono	16.564	-72,338442	-40,138348	240	Río Hurtado	4.997	-70,811423	-30,381628
87	Galvarino	12.523	-72,795842	-38,444664	241	Romeral	15.234	-71,082295	-34,963723
88	General Lagos	577	-69,535136	-17,793487	242	Río Bueno	33.069	-72,810313	-40,405017
89	Gorbea	15.649	-72,666659	-39,128375	243	Río Claro	13.505	-71,276389	-35,243246
90	Graneros	34.212	-70,728853	-34,072804	244	Río Negro	13.517	-73,230656	-40,787434
91	Hijuelas	18.143	-71,116995	-32,823744	245	Saavedra	12.840	-73,317975	-38,822382
92	Hualañé	10.230	-71,758036	-34,988666	246	Sagrada Familia	19.596	-71,383306	-35,029025
93	Hualaihué	11.165	-72,685133	-41,935314	247	Salamanca	27.410	-70,903091	-31,808023
94	Hualpén	109.436	-73,131191	-36,788518	248	San Antonio	97.136	-71,599695	-33,599789
95	Hualqui	25.745	-72,92407	-36,988614	249	San Bernardo	300.435	-70,694903	-33,595689
96	Huara	2.943	-69,659589	-19,75978	250	San Carlos	53.249	-71,952927	-36,4269
97	Huasco	10.429	-71,206	-28,450968	251	San Clemente	41.746	-71,416412	-35,545106
98	Huechuraba	97.470	-70,644658	-33,367167	252	San Esteban	18.765	-70,566764	-32,793501
99	Illapel	32.887	-71,164266	-31,633821	253	San Fabián	4.070	-71,558849	-36,506169
100	Independencia	84.354	-70,665992	-33,414585	254	San Felipe	74.337	-70,721068	-32,748514
101	Iquique	199.629	-70,135865	-20,238105	255	San Fernando	74.030	-70,976422	-34,586881
102	Isla de Maipo	36.024	-70,898055	-33,744367	256	San Ignacio	15.943	-72,044927	-36,826633
103	La Cisterna	92.831	-70,663439	-33,529974	257	San Javier	41.157	-71,767435	-35,614253
104	La Cruz	19.667	-71,226664	-32,831052	258	San Joaquín	104.588	-70,628426	-33,497996
105	La Estrella	3.314	-71,57588	-34,192393	259	San José de Maipo	15.083	-70,361119	-33,631777

106	La Florida	389.392	-70,586591	-33,539243	260	San Juan de la Costa	7.410	-73,480235	-40,537722
107	La Granja	143.558	-70,622201	-33,538218	261	San Miguel	112.686	-70,652201	-33,500356
108	La Higuera	4.686	-71,184157	-29,41241	262	San Nicolás	11.544	-72,21501	-36,497448
109	La Ligua	33.883	-71,235077	-32,435073	263	San Pablo	10.462	-73,107878	-40,420572
110	La Pintana	213.702	-70,634668	-33,575149	264	San Pedro	9.765	-71,471603	-33,926409
111	La Reina	101.614	-70,550161	-33,448236	265	San Pedro de Atacama	7.626	-68,134636	-23,08098
112	La Serena	221.021	-71,232543	-29,901962	266	San Pedro de la Paz	135.093	-73,12358	-36,84155
113	La Unión	43.484	-73,040566	-40,279628	267	San Rafael	9.908	-71,507451	-35,311638
114	Lago Ranco	10.854	-72,364182	-40,308857	268	San Ramón	99.860	-70,642289	-33,54256
115	Laja	24.066	-72,678782	-37,284137	269	San Rosendo	3.916	-72,717047	-37,253091
116	Lampa	91.936	-70,832405	-33,267461	270	San vicente	47.317	-71,087619	-34,437707
117	Lanco	17.777	-72,675874	-39,478586	271	Santa Bárbara	12.884	-71,9744	-37,652535
118	Las Cabras	24.134	-71,347112	-34,219204	272	Santa Cruz	37.810	-71,363565	-34,637912
119	Las Condes	285.140	-70,555883	-33,411166	273	Santa Juana	13.725	-72,93334	-37,222081
120	Lautaro	37.119	-72,341537	-38,536191	274	Santa María	15.836	-70,644687	-32,741195
121	Lebu	26.618	-73,647527	-37,629289	275	Santiago	372.330	-70,656173	-33,450736
122	Licantén	7.253	-72,023531	-34,979694	276	Santo Domingo	9.432	-71,634712	-33,702877
123	Limache	45.709	-71,265761	-32,999802	277	Sierra Gorda	3.151	-69,509612	-23,144189
124	Linares	91.193	-71,585067	-35,85095	278	Talagante	71.378	-70,922746	-33,666711
125	Litueche	6.355	-71,691439	-34,0961	279	Talca	234.760	-71,653247	-35,430651
126	Llanquihue	18.137	-73,037027	-41,259665	280	Talcahuano	178.500	-73,107723	-36,737635
127	Llailay	24.826	-70,955498	-32,84433	281	Taltal	13.174	-70,460246	-25,339157
128	Lo Barnechea	106.187	-70,510146	-33,349024	282	Temuco	290.234	-72,614333	-38,733254
129	Lo Espejo	120.145	-70,691032	-33,517257	283	Teno	28.591	-71,121706	-34,873621
130	Lo Prado	113.146	-70,723455	-33,445783	284	Teodoro Schmidt	16.147	-73,148172	-39,028904
131	Lolol	7.022	-71,646717	-34,750976	285	Tierra Amarilla	17.530	-70,203698	-27,582625
132	Loncoche	23.354	-72,606341	-39,360781	286	Tiltil	17.773	-70,876826	-33,095369

133	Longaví	29.486	-71,63432	-35,998473	287	Tirúa	10.477	-73,454555	-38,296016
134	Lonquimay	10.964	-71,295724	-38,507767	288	Tocopilla	27.807	-70,196897	-22,092881
135	Los Alamos	23.925	-73,430538	-37,640569	289	Toltén	11.391	-73,115472	-39,197071
136	Los Andes	68.401	-70,583661	-32,839632	290	Tomé	55.788	-72,898622	-36,596702
137	Los Angeles	196.454	-72,327591	-37,430896	291	Traiguén	19.771	-72,665838	-38,254073
138	Los Lagos	22.727	-72,745797	-39,861073	292	Treguaco	5.295	-72,647848	-36,451582
139	Los Muermos	16.441	-73,525205	-41,396714	293	Tucapel	14.457	-71,907225	-37,257741
140	Los Sauces	7.838	-72,836051	-37,971639	294	Valdivia	169.735	-73,226108	-39,829828
141	Los Vilos	20.259	-71,455888	-31,963428	295	Vallenar	53.338	-70,7621	-28,59134
142	Lota	47.539	-73,153612	-37,087249	296	Valparaíso	295.731	-71,610674	-33,051873
143	Lumaco	11.270	-72,980098	-38,2653	297	Viña del Mar	325.195	-71,529804	-33,017612
144	Machalí	53.118	-70,64375	-34,182055	298	Vichuquén	5.127	-72,027933	-34,837382
145	Macul	124.492	-70,596225	-33,489135	299	Victoria	34.911	-72,314579	-38,25743
146	Maipú	554.548	-70,76716	-33,507726	300	Vicuña	26.781	-70,709272	-30,012047
147	Malloa	13.905	-70,92298	-34,444155	301	Vilcún	27.996	-72,266887	-38,68454
148	Marchihue	7.623	-71,668226	-34,376233	302	Villa Alegre	15.306	-71,680904	-35,681248
149	Mariquina	22.385	-73,003861	-39,538976	303	Villa Alemana	141.729	-71,376994	-33,049746
150	María Elena	5.000	-69,66198	-22,336024	304	Villarrica	55.582	-72,223541	-39,303896
151	María Pinto	13.066	-71,162162	-33,490596	305	Vitacura	88.548	-70,570111	-33,387081
152	Maule	53.238	-71,682758	-35,512083	306	Yerbas Buenas	18.313	-71,538826	-35,683724
153	Maullin	15.647	-73,579706	-41,637366	307	Yumbel	21.593	-72,573478	-37,104556
154	Mejillones	11.541	-70,434315	-23,076838	308	Yungay	18.293	-72,015615	-37,122015
					309	Zapallar	6.223	-71,333878	-32,593878

Anexo N° 2: 64 Centros Factibles

CD	Lat.	Long.	CD	Lat.	Long.	CD	Lat.	Long.
Arica1	-70,288991	-18,473278	Ohiggins2	-71,194903	-34,764698	Araucania2	-72,429076	-37,945423
Arica2	-70,176136	-18,517904	Ohiggins3	-71,381036	-34,308849	Araucania3	-72,227600	-39,289562
Tarapaca3	-69,784125	-20,254774	Ohiggins4	-71,845257	-34,016257	Araucania4	-72,676658	-39,098743
Tarapaca2	-69,329258	-20,488542	Ohiggins5	-70,872114	-34,400630	Araucania5	-72,605512	-38,709262
Tarapaca	-70,093197	-20,279422	Ohiggins	-70,682931	-34,154336	Araucania6	-72,675753	-38,251668
Antofagasta1	-70,418078	-23,128496	Maule2	-71,214216	-35,020921	Araucania7	-73,207800	-39,400718
Antofagasta2	-68,900350	-22,441754	Maule3	-71,618823	-35,449053	LosRios	-72,773605	-39,450863
Antofagasta3	-70,475387	-25,415243	Maule4	-71,414053	-35,754595	LosRios2	-72,384152	-40,124930
Antofagasta4	-69,562076	-23,138300	Maule5	-71,814141	-36,147313	LosRios3	-72,946587	-40,335419
Antofagasta5	-70,190067	-22,078643	Maule6	-72,320938	-35,963610	LosRios4	-72,862978	-40,061671
Atacama3	-70,402143	-26,413049	Maule7	-72,413962	-35,341530	Loslagos	-73,067387	-41,127159
Atacama4	-68,507504	-26,889942	Maule	-72,537964	-35,749586	Loslagos3	-73,121810	-40,580804
Atacama5	-70,892071	-27,348532	Biobio	-73,377948	-37,785092	Loslagos4	-72,937035	-41,441189
Atacama6	-71,408648	-29,100431	Biobio2	-72,957925	-36,672948	Valpo	-71,501724	-32,969175
Atacama2	-70,784703	-28,572091	Biobio3	-72,165987	-36,643674	Valpo2	-71,076783	-32,434243
Atacama	-71,147709	-28,111772	Biobio4	-72,541871	-36,278777	Valpo3	-71,232417	-32,868411
Coquimbo2	-70,965006	-31,784274	Biobio6	-71,536028	-36,908794	Valpo4	-70,624631	-32,812570
Coquimbo3	-70,772043	-30,963001	Biobio5	-72,322786	-37,520430	Valpo5	-71,628259	-33,452615
Coquimbo4	-71,192730	-29,924004	Biobio7	-72,549333	-37,111237	RM	-70,663895	-33,458377
Coquimbo5	-70,750079	-30,335223	Biobio8	-73,094473	-37,058410	RM2	-70,815627	-33,136342
Coquimbo	-71,201565	-30,593933	Araucania	-71,887398	-38,442545	RM3	-70,741555	-33,814537
						RM4	-71,212821	-33,681519

