



Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Industrial y Sistemas
ICS1113-Optimización

Informe 4

**Minimización de personas sin albergues en un desastre
natural en Chile**

Grupo 14

Claudia Acevedo - 19205619 - Sección 2
Dylan Díaz - 22637974 - Sección 2
Juan Ignacio Larraín - 19624964 - Sección 2
Sofía Godoy - 21204160 - Sección 4
Catalina Robles - 21205604 - Sección 5
Isidora Uribe - 19641249 - Sección 5

Fecha entrega: 22 de 11 de 2024

Índice

1 Descripción del contexto	3
1.1 Contexto	3
1.2 Impacto	4
1.3 Objetivo del modelo	4
2 Supuestos	5
3 Modelación del Problema	5
3.1 Conjuntos	5
3.2 Parámetros	5
3.3 Variables	6
3.4 Restricciones	6
3.5 Naturaleza de las variables	8
3.6 Función Objetivo	8
4 Definición de Datos	9
4.1 Valor del parámetro RMO_o y CO_o	9
4.2 Valor del parámetro RM_r , CR_r y B_r	9
4.3 Valor del parámetro CT_i , A_i , C_i y MP_i	9
4.4 Valor del parámetro $CT_{i,i'}$	9
4.5 Valor del parámetro $FV_{r,p}$	9
4.6 Valor del parámetro P y D	9
4.7 Archivo de parámetros	10
5 Modelo computacional	10
5.1 Archivo main.py	10
5.2 Manejo de Resultados	10
6 Valor Objetivo y Soluciones	11
6.1 Características del modelo	11
7 Validación del Resultado	11
8 Análisis de Sensibilidad	12
8.1 Presupuesto Total (P)	12
8.2 Capacidad de los Albergues (MP_i)	12
8.3 Fecha de Vencimiento de los Recursos ($FV_{r,p}$)	12
9 Conclusión	12
10 Bibliografía	12

1 Descripción del contexto

1.1 Contexto

Por su ubicación geográfica y sus características geológicas, Chile está expuesto a desastres naturales frecuentes, como terremotos, tsunamis, e incendios forestales. Es por esto que se necesita un plan de acción eficiente para poder garantizar que las necesidades básicas de los afectados sean satisfechas de manera digna mientras se trabaja en la recuperación y reconstrucción de las áreas afectadas. Además, el déficit habitacional (CECT, 2024) agrava la situación, ya que en caso de una emergencia, donde se vean comprometidas las viviendas de los afectados, se genera una necesidad urgente de encontrar un espacio donde puedan resguardarse mientras se definen soluciones a mediano plazo, como su re-ubicación con algún familiar o pariente fuera de la zona de desastre, y a largo plazo, como por ejemplo, la construcción de viviendas sociales (Fernández, A., 2013). Producto de estas situaciones de desastre natural, es necesario la habilitación de albergues temporales para las personas damnificadas en el corto plazo, mientras que se les asiste en la obtención de una vivienda definitiva. Los albergues en este contexto se definen como instalaciones físicas que alojan a personas en un período de tiempo limitado y tienen como objetivo brindar protección y cobijo a las personas refugiadas (ANCUR, 2023), por lo que es de suma importancia tener una buena gestión de estos.

De acuerdo con ACNUR, 2013, se tienen estructuras de emergencia utilizadas por un período corto de tiempo, o estructuras permanentes; utilizadas de forma permanente. Las estructuras de emergencia corresponden a estructuras comunitarias preexistentes que deben ser adaptadas para albergar a personas, por ejemplo, escuelas, polideportivos, espacios municipales, etc., donde se brinda estadía a un grupo de personas cumpliendo con ciertas condiciones para asegurar un servicio seguro y de calidad. Estas condiciones dependen del tiempo de estadía, pues si se trata de una estadía corta de hasta 14 días, los espacios deben ser adaptables a las circunstancias, mientras más larga la estadía, mayores servicios deben proporcionar las instalaciones para poder atender a las personas afectadas por la emergencia. El Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED) se encarga de coordinar, evaluar y supervisar los instrumentos del riesgo de desastres a nivel regional, provincial y comunal (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2023). La planificación y operación de los refugios requiere tener en consideración factores clave como la ubicación estratégica, capacidad de alojamiento, distribución de recursos básicos (alimentos, agua, ropa, suministros médicos), tratamiento de desechos y mantenimiento de condiciones higiénicas. La alta demanda de recursos y la urgencia de distribuirlos eficientemente en múltiples refugios aumentan la complejidad de la coordinación durante las emergencias. En estos contextos, donde la falta de recursos adecuados puede agravar las condiciones de las personas afectadas, y la cantidad de variables y parámetros puede aumentar de forma acelerada según la magnitud del desastre, la necesidad de herramientas de optimización que apoyen la toma de decisiones se vuelve imprescindible. Estas herramientas permiten realizar una asignación óptima de recursos, lo que puede lograr la minimización de desperdicios y asegurar que cada refugio reciba exactamente lo que necesita en el momento adecuado. Analizaremos el problema desde una perspectiva temporal, evaluando la optimización de recursos en función de un tiempo aproximado de estancia para los refugiados de desastres naturales.

En base al plan de acción chileno para brindar soluciones habitacionales luego de un desastre, especificado en Riveros, M. P. (2021), para este informe se tomará un horizonte de tiempo en el que el albergue estará en funcionamiento de 1 mes. Debido a que el tiempo en que se debería dar fin a la habitabilidad transitoria en caso de que la vivienda tuviera un daño reparable es de 4 semanas y en el caso de que el daño de la vivienda de la persona no fuera reparable se debería entregar una vivienda permanente de emergencia.

1.2 Impacto

La implementación de un modelo de optimización para la gestión de albergues temporales durante desastres naturales tiene un impacto significativo tanto en el ámbito humano como en el económico. Por ejemplo, en el terremoto del 2010, se estima que 500 mil viviendas fueron afectadas dejando un aproximado de 2 millones de damnificados (Unidad de reducción de riesgo de desastres, s.f.).

La protección de vidas humanas, resguardadas de los elementos naturales y las consecuencias del desastre natural son el principal objetivo de este problema, la asignación de forma eficiente de los recursos y espacios de albergue asegura que un mayor número de personas pueda recibir refugio y la asistencia necesaria. Todo lo anterior respondiendo a las condiciones de habitabilidad establecidas por manuales de gestión de albergues para recibir y mantener a los refugiados de forma digna. A lo anterior se añade la planificación y respuesta eficaz frente a la emergencia, logrando una mayor coordinación en la distribución de recursos evitando pérdidas económicas como las que se pueden producir al sobrestimar las necesidades del refugio e invertir demás en infraestructura o alimentación, así como también pérdidas humanas debido a una sub-estimación de la capacidad del albergue, imposibilitando la entrada de nuevos damnificados o en caso de ser recibidos, comprometer el bienestar y la cobertura de necesidades básicas de aquellos ya instalados en el albergue. Estos ejemplos demuestran que un modelo de optimización para la gestión de los albergues y recursos tiene el potencial de mejorar las respuestas frente a una situación de emergencia, proporcionando una herramienta valiosa para salvar vidas y aminorar el impacto de los desastres naturales.

Además, el uso de técnicas avanzadas de optimización mejora la capacidad de respuesta ante desastres naturales, ya que facilita una planificación más eficiente y la posibilidad de adaptarse rápidamente a cambios en las circunstancias, como la llegada de nuevos refugiados o la disponibilidad fluctuante de suministros, alterando fácilmente los parámetros correspondientes en el modelo. La implementación de estos métodos no solo optimiza la gestión de los recursos, sino que también incrementa la eficacia y la rapidez de la reacción al desastre, reduciendo el impacto negativo de la emergencia sobre la población afectada.

1.3 Objetivo del modelo

El modelo tiene como objetivo gestionar de manera eficiente los albergues tras un desastre natural en Chile, minimizando la cantidad de personas sin refugio a_t mientras se optimiza la asignación de recursos. El modelo se centra en optimizar la asignación de personas, recursos básicos r y recursos operativos o en los albergues $i \in \{1, \dots, n\}$, asegurando al mismo tiempo que los costos operativos sean controlados de manera efectiva.

Un aspecto clave del modelo es decidir cuántos recursos deben ser enviados a cada albergue $i \in \{1, \dots, n\}$ en un día determinado, de modo que estos recursos básicos r y operativos o se utilicen de manera eficiente y sin desperdicios considerando su almacenamiento y fecha de vencimiento. El modelo da prioridad a los recursos que estén más cerca de vencer, para evitar que se desperdicien, y organiza la asignación de estos recursos para asegurar que lleguen en el momento adecuado. Otro factor muy importante es la capacidad de los albergues. Cada albergue $i \in \{1, \dots, n\}$ tiene una capacidad máxima MP_i que no debe ser superada, además, esta influye directamente en la cantidad de recursos básicos r y operativos o asignados al refugio, ya que se debe cumplir con los recursos mínimos RM_r , RM_o , por persona, para dar un lugar digno y seguro a los afectados. También se consideran los costos asociados a la operación de los albergues $i \in \{1, \dots, n\}$, incluyendo la habilitación de los mismos C_i , la compra de recursos CR_r , CR_o y su transporte CT_i , $CT_{i,i'}$. El objetivo es que los costos se optimicen, asegurando que el presupuesto total P disponible no sea superado. De este modo, el modelo no solo se enfoca en alojar a las personas de

manera eficiente, sino que también tiene en cuenta las restricciones financieras y logísticas que acompañan la operación de los albergues.

2 Supuestos

- Cada albergue tiene una bodega y un contenedor de basura con capacidad máxima, ya que no habrá acceso al servicio regular de recolección.
- Los recursos y donaciones se reciben en un centro de distribución y se reparten a los albergues.
- Los albergues pueden transferir recursos y donaciones entre ellos.
- No hay retrasos logísticos significativos en la asignación y distribución de recursos.
- Los albergues son estructuras ya establecidas (colegios, iglesias, etc), por lo que la cantidad de baños y cocinas depende de la disponibilidad de la estructura.
- Los recursos operativos se asignan una sola vez para cada albergue, en $t = 1$.
- Los recursos donados y comprados con la misma fecha de vencimiento se consideran del mismo lote.
- Los inventarios iniciales $DR_{r,p}$ se consideran conocidos.
- Los recursos comprados $g_{r,p,i,t}$ y donados $h_{r,p,i,t}$ que tengan la misma fecha de vencimiento $FV_{r,p}$ serán considerados del mismo lote p . Esto implica que, aunque no provengan físicamente del mismo origen, se agrupan bajo la misma categoría para efectos de modelación y administración en el inventario.

3 Modelación del Problema

3.1 Conjuntos

- Albergues.

$$i \in \{1, \dots, n\}$$

- Tiempo en días.

$$t \in \{1, \dots, m\}$$

- Tipos de recursos básicos.

$$r \in R = \{1, 2\}$$

Donde

- 1: Alimentos
- 2: Agua

- Tipos de recursos operativos.

$$o \in O = \{1, 2, 3, 4\}$$

Donde

- 1: Colchonetas
- 2: Mantas
- 3: Ropa
- 4: Kit de higiene

- Lotes de alimentos ordenados según su fecha de vencimiento.

$$p \in \{1, \dots, p_v\}$$

$$p_v = 4$$

3.2 Parámetros

- $RM O_o$: Cantidad requerido de recurso operativo o por persona.
- RM_r : Cantidad de recurso r requerido por persona por día.
- $FV_{r,p}$: Fecha de vencimiento del recurso r del lote p .
- C_i : Costo asociado a habilitar el albergue i .
- CR_r : Costo de adquirir el recurso r .
- CO_o : Costo de adquirir el recurso operativo o .
- CT_i : Costo asociado al transporte inicial al albergue i .
- $CT_{i,i'}$: Costo asociado al transporte entre el albergue i y el albergue i' .
- B_r : Multa asociada al desecho de recurso r .

- P : Presupuesto total disponible.
- A_i : Capacidad de almacenamiento en albergue i .
- MP_i : Máximo de personas en albergue i .
- D_t : Demanda diaria de personas que necesitan alojarse en albergues en día t .
- τ : Permanencia mínima de una persona en un albergue.
- $DR_{r,p}$: Cantidad inicial de donaciones del recurso r del lote p en el centro de distribución.
- D_r : Cantidad inicial total de donaciones del recurso r .

$$D_r = \sum_{p=1}^{p_v} DR_{r,p} \quad \forall r \in R$$

- DG : Cantidad de desechos generados por persona por día.

$$DG = \sum_{r \in R} RM_r$$

3.3 Variables

- $x_{i,t}$: Cantidad de personas en el albergue i en día t .
- $y_{i,t}$: Variable binaria que indica si el albergue i esta habilitado (1) o no (0) en el día t .
- $z_{i,t}$: Cantidad neta de personas que llegan o se van del albergue i en el día t . $z_{i,t} > 0$ si llegan personas al albergue, y $z_{i,t} < 0$ si se van del albergue.
- $z_{i,t}^+$: Personas que llegan al albergue i en el día t .
- $z_{i,t}^-$: Personas que salen del albergue i en el día t .
- $g_{r,p,i,t}$: Cantidad de recurso r del lote p comprado y asignado en el albergue i en día t .
- $r_{o,i,t}$: Cantidad de recurso operativo o en albergue i en día t .
- $h_{r,p,i,t}$: Cantidad de recurso r del lote p donado y asignado en el albergue i en día t .
- $b_{r,i,t}$: Cantidad de recurso r desechado en albergue i en día t .
- $T_{r,i,i',t}$: Cantidad de recurso r transferido desde albergue i a albergue i' en día t .
- $I_{r,p,t}$: Inventario del centro de distribución del recurso r del lote p al final del día t .
- $I_{r,p,i,t}^A$: Inventario del recurso r del lote p en el albergue i en el día t .
- a_t : Cantidad de personas sin albergue en el día t .
- $CN_{r,p,i,t}$: Cantidad de recurso r consumido del lote p en el albergue i en el día t .

3.4 Restricciones

1. Cantidad inicial y máximo de personas en cada albergue. Las personas solo se pueden alojar en albergues habilitados.

$$x_{i,1} = z_{i,1} \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}$$

$$x_{i,t} \leq MP_i \cdot y_{i,t} \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, t \in \{1, \dots, m\}$$

2. Balance del flujo de personas en cada albergue.

$$x_{i,t} = x_{i,t-1} + z_{i,t} \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall t \in \{2, \dots, m\}$$

$$x_{i,t} \geq x_{i,t-1} - z_{i,t} \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall t \in \{2, \dots, m\}$$

3. El número de recursos operativos debe cumplir con el requerimiento mínimo por persona.

$$x_{i,t} \cdot RMO_o \leq r_{o,i,t} \quad \forall o \in O, \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall t \in \{1, \dots, m\}$$

4. El número de recursos debe cumplir con el requerimiento mínimo por persona.

$$x_{i,t} \cdot RM_r \leq \sum_{p=1}^{p_v} (g_{r,p,i,t} + h_{r,p,i,t}) \quad \forall r \in R, \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall t \in \{1, \dots, m\}$$

5. Actualización diaria de recursos y donaciones en inventario.

$$I_{r,p,1} = DR_{r,p} \quad \forall r \in R, \forall p \in \{1, \dots, p_v\}$$

$$I_{r,p,t+1} = I_{r,p,t} - \sum_{i=1}^n h_{r,p,i,t} \quad \forall r \in R, \forall p \in \{1, \dots, p_v\}, \forall t \in \{1, \dots, m-1\}$$

6. Prohibición de asignación de recursos y donaciones vencidas.

$$\sum_{i=1}^n (h_{r,p,i,t} + g_{r,p,i,t}) = 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, m\} : t > FV_{r,p}, \forall r \in R, \forall p \in \{1, \dots, p_v\}$$

7. La cantidad de desechos generados son las donaciones y recursos vencidos, más los desechos que se generan por personas en cada albergue.

$$b_{r,i,t} = I_{r,p,i,t}^A \quad \forall t \in \{1, \dots, m\} : t > FV_{r,p}, \forall r \in R, \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall p \in \{1, \dots, p_v\}$$

$$b_{r,i,t} = 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, m\} : t \leq FV_{r,p}, \forall r \in R, \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall p \in \{1, \dots, p_v\}$$

8. Inventario inicial de cada albergue.

$$I_{r,p,i,1}^A = 0 \quad \forall r \in R, \forall p \in \{1, \dots, p_v\}, \forall i \in \{1, \dots, n\}$$

9. Balance de inventario en los albergues.

$$I_{r,p,i,t}^A = I_{r,p,i,t-1}^A + g_{r,p,i,t-1} + h_{r,p,i,t-1} + \sum_{i' \neq i} (T_{r,i',i,t-1} - T_{r,i,i',t-1}) - CN_{r,p,i,t-1}$$

$$\forall r \in R, \forall p \in \{1, \dots, p_v\}, \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall t \in \{2, \dots, m\}$$

10. Consumo de recursos en albergue.

$$\sum_{p=1}^{p_v} CN_{r,p,i,t} = RM_r \cdot x_{i,t} \quad \forall r \in R, \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall t \in \{1, \dots, m\}$$

11. Límite de inventario.

$$CN_{r,p,i,t} \leq I_{r,p,i,t}^A \quad \forall r \in R, \forall p \in \{1, \dots, p_v\}, \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall t \in \{1, \dots, m\}$$

12. Límite de donaciones asignadas.

$$\sum_{t=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^{p_v} h_{r,p,i,t} \leq D_r \quad \forall r \in R$$

13. Capacidad máxima de almacenamiento.

$$\sum_{r \in R} \sum_{p=1}^{p_v} \left(I_{r,p,i,t}^A + g_{r,p,i,t} + h_{r,p,i,t} + \sum_{i'=1, i' \neq i}^n T_{r,i',i,t} \right) \leq A_i \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall t \in \{1, \dots, m\}$$

14. Los costos de todos los albergues no pueden superar el presupuesto disponible.

$$r_{o,i,t} = r_{o,i,t-1} \quad \forall o \in O, \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall t \in \{2, \dots, m\}$$

15. Capacidad máxima de almacenamiento del albergue.

$$\sum_{o \in O} r_{o,i,t} \leq A_i \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall t \in \{1, \dots, m\}$$

16. Permanencia mínima en el albergue.

$$z_{i,t}^- = 0 \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall t \in \{1, \dots, \tau - 1\}$$

$$z_{i,t}^- \leq \sum_{k=t-\tau+1}^t z_{i,k}^{\{+\}} \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall t \in \{\tau, \dots, m\}$$

17. Flujo neto de personas en el albergue.

$$z_{i,t} = z_{i,t}^+ - z_{i,t}^- \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall t \in \{1, \dots, m\}$$

18. Personas sin albergue en el día t .

$$a_t = D_t - \sum_{i=1}^n x_{i,t} \quad \forall t \in \{1, \dots, m\}$$

3.5 Naturaleza de las variables

$$x_{i,t} \in \mathbb{N}_0$$

$$b_{r,i,t} \in \mathbb{N}_0$$

$$y_i \in \{0, 1\}$$

$$I_{r,p,t} \in \mathbb{N}_0$$

$$g_{r,p,i,t} \in \mathbb{N}_0$$

$$I_{r,p,i,t}^A \in \mathbb{N}_0$$

$$h_{r,p,i,t} \in \mathbb{N}_0$$

$$z_{i,t}^+ \in \mathbb{N}_0$$

$$r_{o,i,t} \in \mathbb{N}_0$$

$$z_{i,t}^- \in \mathbb{N}_0$$

$$T_{r,i,i',t} \in \mathbb{N}_0$$

$$z_{i,t} \in \mathbb{Z}$$

3.6 Función Objetivo

- Minimizar la cantidad total de personas sin albergue durante todo el horizonte de tiempo.

$$\min \sum_{t=1}^m a_t$$

4 Definición de Datos

4.1 Valor del parámetro $RM O_o$ y CO_o

El valor de $RM R_o$ se elige según el uso de estos recursos operativos. Por ejemplo, cada refugiado solo necesita 1 colchoneta. El costo de estos recursos operativos (CO_o) se establece según el costo real y la cantidad necesaria. **Fuente de CO_o y poner la unidad de medida de éste**

4.2 Valor del parámetro RM_r , CR_r y B_r

Estos parámetros se definen de acuerdo a la necesidad de cada refugiado. En el caso de RM_r se exigen 3 comidas diarias y 15 litros de agua por persona (para beber, bañarse, etc). Por otro lado, CR_r se establece según el costo real de estos recursos en pesos, y la multa B_r por desechar estos recursos corresponde a un 10% de su costo. **Buscar fuente para CR_r**

4.3 Valor del parámetro CT_i , A_i , C_i y MP_i

El parámetro CT_i tiene 3 valores dependiendo de la cercanía del albergue i con el centro de distribución. De esta manera, depende de si el albergue se encuentra a una distancia cercana, media o lejana, lo que implica un costo de 2900, 3400 y 4990 pesos respectivamente. Por otro lado, se aplica el mismo criterio para los parámetros A_i , C_i y MP_i . Se establece un albergue i de tamaño pequeño, mediano o grande, por lo que el tamaño de su bodega, costo de habilitarlo y cantidad máxima de personas dependen de la categoría en la que clasifiquen. **Buscar Fuente para CT**

4.4 Valor del parámetro $CT_{i,i'}$

Los valores para definir la matriz $CT_{i,i'}$ provienen del parámetro CT_i , el cual toma los valores de 2900, 3400 y 4990 en pesos. Para establecer los valores, se considera el valor más alto de CT_i entre los dos albergues donde se realiza la transferencia de recursos.

4.5 Valor del parámetro $FV_{r,p}$

Para definir el parámetro $FV_{r,p}$, se consideran dos tipos de recursos: alimentos y agua, y cuatro tipos de lote, que representan una semana cada uno. De esta manera, se establece que el agua tiene una fecha de vencimiento de un mes para todos los lotes, mientras que los alimentos asignados a cada lote tienen una fecha de vencimiento cada siete días.

4.6 Valor del parámetro P y D

Para definir estos valores, no existen cifras oficiales públicas de presupuesto para emergencias, puesto que cada una es diferente y no hay un monto claro de dinero a inyectar en cada desastre. Lo mismo sucede con la cantidad de personas afectadas por estos. Por lo anterior, se realizaron estimaciones y suposiciones. En primer lugar, se definió el presupuesto de albergues P en base al programa «Protege Calle», que considera en sus gastos el alojamiento, insumos médicos, administración, etc., cuyo total ejecutado en el 2022, según la Subsecretaría de Servicios Sociales, fue de \$16.977 millones de pesos a nivel país, por lo que, para el horizonte de tiempo de un mes, se espera el uso de \$1.414 millones de pesos. En segundo lugar, para el parámetro D , se tomaron en consideración registros de damnificados por el terremoto del 27 de febrero de 2010, donde, según la página de Memoria Chilena, solo en la región de O'Higgins hubo 130.000 personas que quedaron sin vivienda. Sumado al informe de encuestados post-terremoto (Larrañaga & Herrera, 2010) y una estimación en base al Censo 2017, esta cifra debería ser alrededor de 109.000 personas afectadas en esta región. En base a lo anterior, se fijó un estimado de 100.000 personas afectadas por la emergencia, ya que, si bien no corresponde a una cifra de daño a nivel nacional, el terremoto del 27 de febrero constituye un desastre de magnitud muy alta, la cual no se ha vuelto a repetir. Por lo tanto, tomar un número de damnificados mayor sería sobreestimar mucho el parámetro;

en cambio, si reducimos el valor del parámetro, podemos quedar poco preparados en caso de que una emergencia afecte a un gran número de personas.

4.7 Archivo de parámetros

Los parámetros utilizados en el modelo para la gestión de albergues y recursos fueron extraídos del archivo «datos.xlsx». Este archivo contiene varias hojas con datos fundamentales para la modelación, organizado en diferentes secciones:

1. **Parámetros de Albergues:** Incluye información sobre la capacidad de los albergues, los costos asociados a su habilitación, el máximo de personas que pueden alojar, y los costos de transporte asociados a cada albergue.
2. **Recursos Básicos y Operativos:** Contiene los valores de los recursos necesarios por persona, como alimentos, agua, colchonetas, mantas, ropa y kits de higiene. Además, se especifican los costos de adquisición de estos recursos.
3. **Fecha de Vencimiento de los Recursos:** Define las fechas de vencimiento de los lotes de alimentos y agua utilizados en los albergues.
4. **Costos de Transporte:** Establece los costos de transporte inicial y las transferencias entre albergues.
5. **Escalares:** Proporciona valores como el presupuesto total disponible y las donaciones iniciales de recursos.

5 Modelo computacional

La implementación del modelo se realiza utilizando Python con la librería Gurobi. El modelo fue desarrollado para optimizar la asignación de personas y recursos en albergues durante desastres naturales, con el objetivo de minimizar el número de personas sin albergue.

5.1 Archivo main.py

1. **Carga de datos:** El modelo comienza con la carga de los parámetros desde el archivo de Excel “datos.xlsx”. Esta información es procesada y almacenada en estructuras de datos como diccionarios y DataFrames de Pandas para ser utilizada en el modelo de optimización.
2. **Definición de Variables:** Se definen las variables, junto con los conjuntos respectivos.
3. **Definición de Restricciones:** Se incluyen las restricciones para asegurar que se cumplan las condiciones explicitadas en el informe.
4. **Función Objetivo:** Se busca minimizar el número total de personas sin albergue durante todo el horizonte de tiempo.
5. **Optimización:** Durante la optimización, se establece un tiempo límite de 30 minutos para evitar tiempos de cálculo excesivos.

5.2 Manejo de Resultados

El modelo imprime en consola información relevante sobre el GAP, el número de variables, el número de restricciones y el tiempo de ejecución. Además, se muestra el valor óptimo de la función objetivo al final de la optimización.

Después de la optimización, se genera un archivo CSV para cada una de las variables del modelo. Estos archivos se guardan en la carpeta “Resultados/Vars/”.

El modelo también genera gráficos utilizando Matplotlib. Los gráficos se guardan en la carpeta “Resultados/Graficos”.

6 Valor Objetivo y Soluciones

Faltan tablas para mostrar los resultados Presentar el valor de las variables Valor que toma a[t] y cual sería el valor objetivo

6.1 Características del modelo

- El modelo tiene un total de **X** variables.
- El modelo cuenta con **Y** restricciones.
- El GAP obtenido entre la solución óptima y la mejor solución factible encontrada por Gurobi es de **Z**%.
- El modelo se ejecutó en **T** segundos.

7 Validación del Resultado

Aunque el modelo ha sido resuelto correctamente y proporciona una solución factible, el valor objetivo obtenido (100.000 personas sin albergue) no es el esperado. Esto se debe a que el valor de ciertos parámetros, como el presupuesto disponible y la capacidad de los albergues, puede estar limitando la asignación de recursos de manera eficiente.

El modelo es factible, ya que Gurobi ha encontrado una solución dentro del conjunto de soluciones posibles que cumplen con las restricciones. Sin embargo, el valor de la función objetivo no es el óptimo esperado.

El problema puede radicar en restricciones demasiado estrictas, como el presupuesto limitado o la capacidad máxima de los albergues. También es posible que los valores de algunos parámetros, como el número de recursos disponibles o la demanda de personas, no estén suficientemente ajustados para reflejar la magnitud real de los desastres naturales.

El presupuesto disponible puede ser uno de los factores limitantes en el modelo. Si bien el presupuesto fue ajustado según los valores proporcionados, un presupuesto más amplio habría permitido una asignación más generosa de recursos a los albergues, reduciendo la cantidad de personas sin albergue. Un presupuesto más bajo limita la cantidad de recursos que pueden distribuirse. Además, los albergues tienen una capacidad máxima que limita el número de personas que pueden ser alojadas. Si la capacidad de los albergues fuera mayor, el número de personas sin albergue podría haberse reducido aún más. Sin embargo, la capacidad reducida también está ligada a los costos operativos, lo que limita el número de personas que pueden ser acomodadas. Las fechas de vencimiento de los recursos también pueden afectar la eficiencia con la que los recursos se asignan a los albergues. Si los recursos más cercanos a su vencimiento no se gestionan adecuadamente, esto puede causar desperdicio y limitar la cantidad de recursos disponibles para satisfacer la demanda de los albergues.

Los resultados del modelos son validados correctamente, ya que cumple con todas las restricciones del sistema y genera una solución factible. El valor objetivo es válido, aunque sub-óptimo. Esto indica que el modelo es funcional, pero su capacidad de optimización se puede mejorar ajustando los parámetros.

Potencial

8 Análisis de Sensibilidad

8.1 Presupuesto Total (P)

El presupuesto disponible es un parámetro crucial, ya que limita la cantidad de recursos que se pueden distribuir entre los albergues. Variaciones en el presupuesto pueden afectar directamente el número de recursos asignados y, por lo tanto, la cantidad de personas albergadas y sin albergue.

Se consideran 2 escenarios, el primero es un aumento del 20% en el presupuesto, y el otro es una reducción del 10% en el presupuesto.

8.2 Capacidad de los Albergues (MP_i)

La capacidad de los albergues es otro parámetro crítico que limita el número de personas que pueden ser albergadas en cada refugio. Si la capacidad de los albergues no es suficiente para alojar a todas las personas afectadas, el modelo no podrá reducir completamente el número de personas sin albergue.

Se consideran 2 escenarios, el primero es un incremento del 15% en la capacidad, y el otro es una reducción del 20%.

8.3 Fecha de Vencimiento de los Recursos ($FV_{r,p}$)

El manejo de las fechas de vencimiento de los recursos es crucial, ya que los recursos cercanos a su vencimiento deben ser utilizados primero para evitar desperdicios. Modificar la fecha de vencimiento afecta cómo se asignan los recursos a los albergues.

Se consideran 2 escenarios, el primero es el vencimiento anticipado de los recursos, específicamente, 1 semana antes; y el otro es un vencimiento extendido con 1 semana extra.

9 Conclusión

La implementación del modelo de optimización para la gestión de albergues durante desastres naturales presenta un gran potencial para mejorar la eficiencia en la asignación de recursos, reducir el número de personas sin albergue y optimizar el uso de los recursos disponibles en situaciones de emergencia.

La solución implementada ha mostrado ser factible y efectiva, aunque no alcanzó el nivel óptimo que se esperaba.

Recomendaciones:

Este informe resalta la importancia de utilizar herramientas de optimización matemática en la gestión de crisis y ofrece un camino claro para mejorar la eficiencia de los albergues en futuras emergencias.

10 Bibliografía

- Centro de estudios de ciudad y territorio. (2024). *Déficit Habitacional en Chile*. <https://centrodeestudios.minvu.gob.cl/deficit-habitacional/>
- Fernández, A. (2013). *Hábitat vulnerable en situación de emergencia por desastres naturales* [Actividad Formativa Equivalente para postular al Grado Académico de Magister en Hábitat Residencial]. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/114166>
- Agencia de la ONU para los Refugiados (ACNUR). (2023). *Manual para el Diseño de Alojamientos Colectivos Temporales en las Américas*. Recuperado de: <https://www.acnur.org/sites/default/>

files/2024-02/ACNUR-manual-para-el-diseno-de-alojamientos-colectivos-temporaneos-en-las-americas.pdf

- Riveros, M. P. (2021). Estado de desastre: Albergue para damnificados [Tesis de Pregrado, Universidad de Chile] Recuperado de: repositorio.uchile.cl
- Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (ONEMI). (2018). *Habitabilidad transitoria en desastres en Chile: Experiencia en el periodo 2014 - 2017*. Recuperado de: <https://uchile.cl/dam/jcr:b1b1b30e-c61c-43dc-8c1d-f6726e6e80fb/habitabilidad-transitoria-en-desastres-en-chile-experiencia-en-el-periodo-2014-2017-3.pdf>
- Unidad de reducción de riesgo de desastres (s.f.). *Terremoto 27F*. Mineduc. Recuperado de: <https://emergenciadesastres.mineduc.cl/terremoto-27f/>
- Subsecretaría de Servicios Sociales, Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2022). *Monitoreo y seguimiento oferta pública 2022: Protege Calle (Ex Plan de Invierno Noche Digna)*. Dirección de Presupuestos, Gobierno de Chile. Recuperado de: https://www.dipres.gob.cl/597/articles-310153_doc_pdf.pdf
- Memoria Chilena (n.d.). *Terremoto del 27 de febrero de 2010, costa sur del Maule*. Biblioteca Nacional de Chile. Recuperado de: <https://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-93853.html>
- Larrañaga, O., & Herrera, R. (2010). *Encuesta Post Terremoto: Principales resultados. Efectos en la calidad de vida de la población afectada por el terremoto/tsunami*. Ministerio de Planificación de Chile. Recuperado de: <https://www.desarrollosocialyfamilia.gob.cl/pdf/informe-encuesta-post-terremoto.pdf>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2018). *Síntesis de resultados Censo 2017*. Recuperado de: <https://www.ine.cl>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2023). Sistema nacional de prevención y respuesta ante desastres. Ley Fácil. Recuperado el [fecha], de <https://www.bcn.cl/portal/leyfacil/recurso/sistema-nacional-de-prevencion-y-respuesta-ante-desastres>