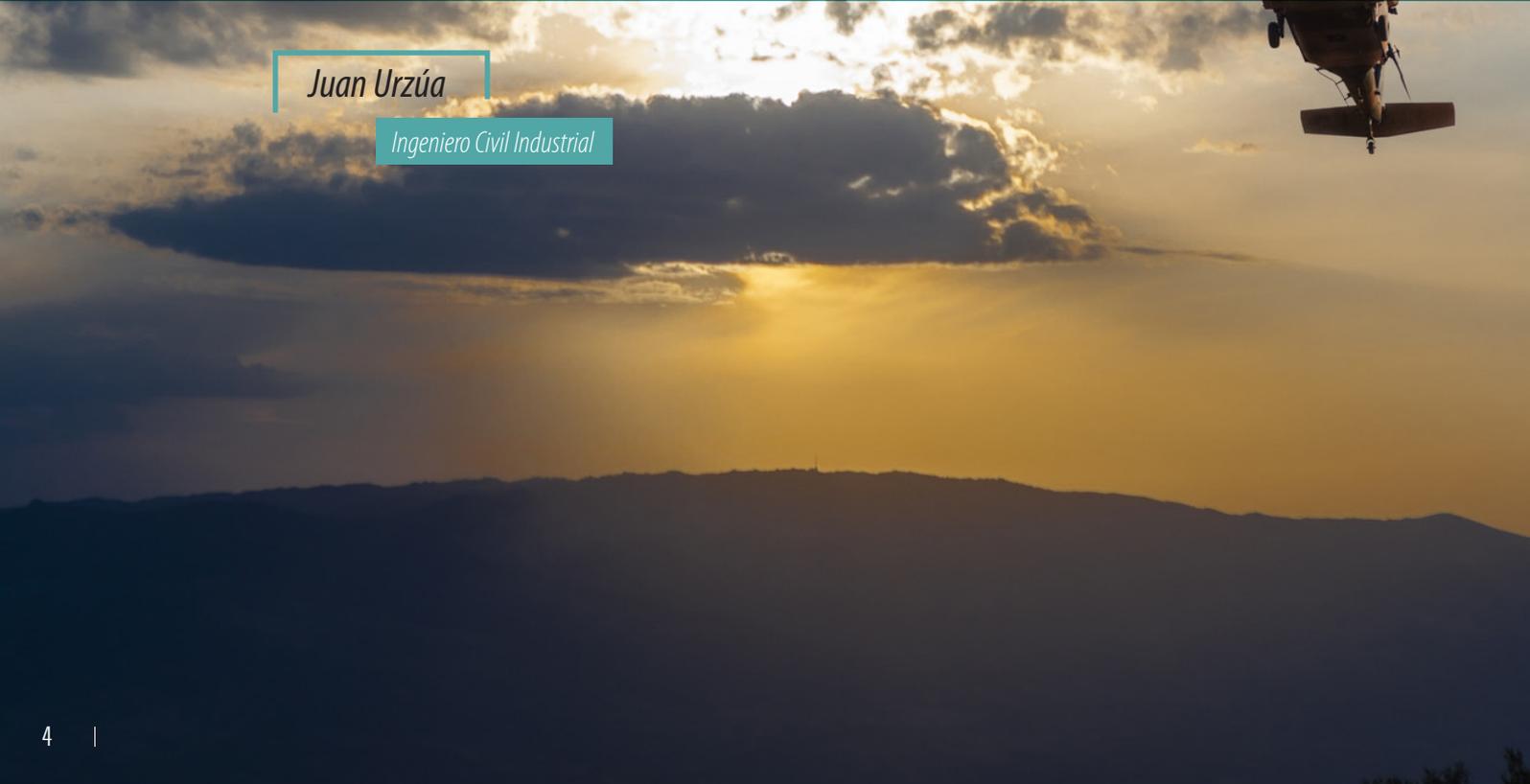




HORAS QUE HACEN LA **DIFERENCIA:** LOGÍSTICA AÉREA DE EMERGENCIA ANTE DESASTRES NATURALES



Juan Urzúa

Ingeniero Civil Industrial

27F CHILE 2010

Chile, el país con la economía más dinámica de América Latina padece una debilidad crucial que reside en los desastres naturales que ha sufrido en su historia. El accionar de un suceso se divide en 3 etapas, la primera corresponde a la urgencia de rescate de vidas humanas, la segunda se sitúa en el abastecimiento de distinto tipos de insumos, partiendo con los básicos como agua y medicamentos y llegando a alimentos, ropa, etc. Finalmente la última etapa se centra en la reconstrucción de la infraestructura dañada por el acontecimiento. Si bien los desastres no se pueden predecir o eliminar, sí es importante contar con una muy buena capacidad de respuesta que logre minimizar el daño e impacto provocado por las catástrofes. Según palabras del Coronel de Aviación (A) Víctor Drake de la Fuerza Aérea de Chile, los últimos siniestros han tenido un denominador común, que radica en logística deficiente con la cual se ha enfrentado el abastecimiento de los insumos básicos en los lugares afectados. Es en este punto donde se buscará dar con una solución aceptable que mejore la operación en la distribución. En el proceso de acción posterior a una catástrofe, la ONEMI es el organismo técnico del Estado de Chile encargado de la coordinación del Sistema Nacional de Protección Civil y que a su vez mide el impacto generado por el suceso, para evaluar y recurrir a las medidas respectivas. Si el acontecimiento es de gran envergadura el protocolo llama a declarar Estado de Catástrofe y si es necesario Estado de Excepción Constitucional. Ocurrido lo último, el mando de las maniobras operativas en sus tres etapas mencionadas en párrafos anteriores es asumido por el Estado Mayor Conjunto, que por medio de la Fuerza Aérea deberá asumir el rol de abastecer a través de vehículos aéreos todas las localidades afectadas. Puntualmente, es esta responsabilidad la que se busca mejorar, se desea obtener un modelo de ruteo de vehículos aéreos para planificación de operaciones de ayuda humanitaria después de un desastre natural.

Reflexionar sobre uno de los tantos problemas en logística de emergencia es necesario, nos referimos al ruteo y asignación de vehículos aéreos en caso de desastre natural para dar respuesta rápida a las demandas de localidades afectadas. En el momento en que se produce un desastre, distintas localidades tendrán demandas de insumos de primera necesidad, por lo que el tiempo de respuesta se convierte en la variable más importante a considerar al momento de asignar un vehículo aéreo para llevar las provisiones demandadas. Además, se debe considerar que en muchos casos las rutas no estarán disponibles para todos los tipos de vehículos y existen localidades que tendrán prioridad debido al nivel de desabastecimiento y la variación de las condiciones climáticas.

Según lo declarado anteriormente, este trabajo tiene como objetivo diseñar un modelo matemático que dé respuesta a la asignación de ruteo de vehículos aéreos, según las condiciones que ofrecen las localidades afectadas, los vehículos disponibles y optimizando el tiempo de respuesta de la asignación de aeronaves para la ayuda humanitaria.

METODOLOGÍA

Modelamiento de Optimización

El modelamiento permite resolver problemas de optimización. Cuando se habla de optimización se refiere a maximizar o minimizar encontrando puntos de equilibrio, por ejemplo: se puede maximizar las utilidades de una empresa o minimizar sus costos.

Esto se conoce como programación lineal ya que la relación entre las distintas variables es de carácter lineal.

Dicho lo anterior, se presenta entonces un problema de ruteo de vehículos aéreos, simétrico (las distancias para ir de i a j son iguales a las distancias para ir de j a i) donde la flota considera las variables

asociadas a la operación de una aeronave, tales como, velocidad, autonomía de vuelo, capacidad del vehículo, y otras. Existiendo un conjunto $T = \{1, \dots, n\}$ de tipos de vehículos, donde se permite que la misma localidad pueda ser atendida por diferentes vehículos siempre y cuando se minimice el tiempo total de respuesta.

Técnicas de solución del VRP (Problema de Ruta de Vehículos)

El problema de ruteo de vehículos es de alta complejidad matemática, lo que sumado a la gran cantidad de variantes que existen, se presenta un escenario bastante complicado para poder obtener una solución adecuada.

Las técnicas de solución se dividen en: Procedimientos, Heurísticas y Meta-heurísticas.

El problema propuesto se resolverá por medio de Heurísticas. Las heurísticas, son procedimientos simples que realizan una exploración limitada del espacio de búsqueda y dan soluciones de calidad aceptable (no necesariamente óptimas) en tiempos de cálculo moderados. Son la forma más usada para resolver problemas de ruteo de vehículos, ya que la mayoría de estos son NP-Complejos, lo que deriva en grandes tiempos de resolución cuando se usan métodos exactos.

REFERENCIAS INTERNACIONALES

Yi y Ozdamar (2007) propusieron un modelo integral para la entrega de suministros y evacuación de heridos en las actividades de respuesta a desastres. Estableciendo las instalaciones de emergencia en la zona de desastre para atender las necesidades médicas de las víctimas inmediatamente después del desastre. Ellos usaron la **capacidad de los vehículos** para trasladar a las personas heridas, así como los productos básicos de socorro. Su modelo resultó en una formulación más compacta, pero no se considera el enrutamiento de los vehículos y los plazos de entrega.

Zhu y Cao (2011) exponen que **la respuesta rápida y precisa a la demanda de socorro es vital para una red logística de emergencia evite que el desastre se extienda**. En su trabajo caracterizan el proceso de difusión de desastre para pronosticar la demanda en el tiempo de socorro, mediante el uso de un modelo de epidemia para analizar las relaciones entre los tres grupos de individuos afectados. Presentan además un nuevo modelo de equilibrio de la red logística de emergencia de tres niveles formulado para satisfacer la demanda prevista urgente con el costo de alivio menor, en particular, el costo de tiempo. Llevaron a cabo la simulación numérica para demostrar la eficacia del modelo, y discutir el impacto de los parámetros importantes.

Qiang y Zezhu (2010) plantean que la programación logística en desastres naturales implica el envío de productos a los centros de distribución en zonas **tan pronto como sea posible** para que las operaciones de socorro se aceleren. En este estudio, los tres modelos de planificación han de integrarse en un sistema de apoyo a las decisiones de logística de desastre natural. El sistema fácilmente puede descomponerse en tres problemas: el primero es los grados de desastre, el segundo muestra la distinción de los grados de nuevas zonas de desastre basada en la discriminación por la Función de Fisher, la última que da el plan que incorpora materias primas y equipos de distribución en la secuencia apropiada de ayuda en zonas de desastre. Los modelos matemáticos planteados por los autores, describen que el entorno es considerablemente diferente a otros problemas de enrutamiento clásico de vehículos; En este sentido, sugieren que es necesario un ajuste macro en la logística de emergencia en los desastres naturales, y de más atención a este campo en un futuro próximo.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Salvaguardar la vida de las personas afectadas por la catástrofe es lo primordial, luego de ello, preocuparse por quienes se encuentran viviendo el día a día de esa situación pasa a ser un punto crítico dentro de la cadena de abastecimiento, pues suministrar los insumos básicos y suplir la demanda por alimentos en condiciones adversas, provoca descoordinaciones, tiempos muertos y re-trabajos en quienes tienen a cargo esa labor, por lo menos así se reflejó transcurridas las primeras horas de ocurrido el terremoto de 2010.

Se enfrentará el problema en las actividades operadas en las 24 horas posteriores al acontecimiento, donde el protagonismo y realización de las operaciones está a cargo de la Fuerza Aérea de Chile. Se pretende resolver la asignación eficiente de los vehículos aéreos disponibles para el traslado de los insumos básicos y el ruteo de estos mismos, por lo que se está frente a una variación del problema con flota heterogénea (Fleet Size and Mix VRP o abreviado FSMVRP).

UNA MIRADA AL 27F

Una vez ocurrida la catástrofe del 27 de febrero, el gobierno de turno realizó el respectivo levantamiento de información para obtener el recuento de daños y consecuencias de los eventos. Esta recopilación de antecedentes fue maniobrada por la Oficina Nacional de Emergencia, la cual solicitó la colaboración a todas las instituciones participantes de las actividades relacionadas

ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Datos de principales terremotos de Chile

Características	1939 (24 de enero)	1960 (21 y 22 de mayo)	1985 (3 de marzo)	2010 (27 de febrero)
Magnitud (° Richter)	8,3	9,6	7,7	8,8
Epicentro	Chillán	Valdivia y Concepción	San Antonio	Cobquecura
Área afectada	Regiones VII a IX	Regiones VII a X	Regiones V, VII, Metropolitana	Regiones V a IX
Víctimas fatales	30.000	60.001	177	521
Damnificados	N/A	2.000.000	979.792	2.000.000
Viviendas destruidas	95% de las viviendas de Chillán	45.000	142.489	200.000
Superficie afectada (km ²)	99.207	166.220	48.186	131.006
Superficie afectada (%)	4,90%	8,30%	2,40%	6,50%
Habitantes zona terremoto	1.261.623	2.780.213	6.114.846	12.800.000
Población total de Chile	4.930.000	7.374.115	12.102.174	17.094.275
Población afectada	26%	38%	50%	75%

FUENTE

Ministerio de Desarrollo Social Chile

con la catástrofe. Se recurrió a instituciones públicas y privadas, como gobiernos regionales, municipios, cruz roja, fundaciones, bomberos, fuerzas armadas, carabineros, etc.

Efectos terremoto y posterior tsunami del 27F:

Los efectos se resumen en 9 aeropuertos inutilizados, 28 caletas pesqueras destruidas, 31 personas desaparecidas, 40 hospitales en el suelo o con daños estructurales, 155 kms. de caminos destruidos, 221 puentes destruidos o dañados, 524 personas muertas, 1000 escuelas con daño considerable, 147.392 kms² de superficie afectada, 220.000 viviendas con daño severo, 12.880.000 personas afectadas, entre otros efectos.

La emergencia inmediata trajo pánico en la población, colapso generalizado de las comunicaciones, corte de suministros básicos, cierre del comercio y una aguda crisis de orden y seguridad en la ciudadanía.

Pasadas 24 horas de la tragedia, el trastorno ciudadano llevó al gobierno a establecer toque de queda en las regiones del Maule y Bío Bío. Más de 11.000 militares ocuparon las calles a partir de las 18 horas.

Operación del Estado Mayor Conjunto

La operación de las Fuerzas Armadas se dividió en tres fases:

1. Primera Fase: Desde ocurrido el sismo, hasta decretado el Estado de Excepción Constitucional de Catástrofe.

- Desde el inicio del Estado de Excepción Constitucional hasta el inicio del proceso reconstrucción nacional.
- Desde el inicio del proceso de reconstrucción hasta el despliegue militar.

Durante la segunda fase se llevó a cabo el despliegue del Centro de Coordinación Logística, que se encargó de la coordinación del funcionamiento de 17 puntos de acopio, donde se distribuyó ayuda a las regiones afectadas (desde Valparaíso a La Araucanía).

El Centro de Coordinación Logística en su operación aérea registró: 83 vuelos internacionales, 1.800 vuelos militares, 13.500 pasajeros trasladados, 2.400 toneladas transportadas.

Operación Fuerza Aérea de Chile

- Despliega un puente de ayuda aérea desde Santiago hacia Talca y Concepción.
- Despliega un puente de ayuda aérea en el Centro de Apoyo y Distribución (II Brig. Aérea).
- Despliega un puente de ayuda aérea en el aeropuerto Carriel Sur (Concepción).
- Despliega un Hospital Militar de Campaña en Curanilahue, con capacidad de 20 camas y un módulo quirúrgico.

SOLUCIÓN AL PROBLEMA

Para realizar la operación de traslado por medio de vehículos aéreos es necesario en primera instancia, contar con una demanda que justifique el desplazamiento y más aún que el trayecto requiera gestión aérea, ya sea por distancia del trayecto, rapidez de respuesta o complejidad de este. De tal forma las variables de análisis para el funcionamiento operacional del caso se recopilaron según las referencias enunciadas en apartados anteriores, llegar a definir estas en:

- Demanda
- Flota
- Lugar de despegue
- Lugar de aterrizaje
- Carga
- Distancia

Descripción población afectada

Para realizar una mejor descripción de la población afectada se debe considerar los datos de hechos históricos para calcular una estimación de la demanda requerida a abastecer. Para este caso se tomarán los datos de los terremotos de 1985 y 2010. Considerando que los factores de infraestructura y zona geográfica son similares. Y existe una menor desigualdad socioeconómica.

Tabla Población afectada en catástrofes anteriores en Chile

Características	1985 (3 de marzo)	2010 (27 de febrero)
Damnificados	979.792	2.000.000
Habitantes zona terremoto	6.114.846	12.800.000
% de Damnificados	16%	16%

FUENTE

Elaboración Propia

El porcentaje de damnificados en las zonas afectadas corresponde a un 16%. Por consiguiente la demanda a abastecer corresponderá a este porcentaje, en cada una de las localidades que demanden insumos de primera necesidad.

Flota de vehículos aéreos disponible para carga de suministros

No todos los vehículos pueden ser utilizados para carga de suministros. Esto dependerá de la finalidad con la que fueron diseñados. Existen aviones de carga, de transporte de pasajeros, de acrobacias, de combate, entre otras funciones específicas. Para ello se evaluará según la descripción de cada vehículo, la funcionalidad a la cual está orientado.

El modelo propuesto buscará mejorar la distribución de insumos básicos, requiriendo como vehículos sólo aquellos que fueron fabricados con el propósito de transportar carga, y por ende su espacio físico permite trasladar mayor cantidad de unidades. Se calificará de manera binaria la utilidad de estos, siendo 1 disponible para carga de suministros y 0 no óptimo para carga de suministros. Para todos los vehículos óptimos, es necesario conocer la información relevante que permite el traslado de carga de un lugar a otro. Siendo los principales factores:

Restricción de aterrizaje, restricción de autonomía de vuelo, restricción de peso máximo y restricción de velocidad

Lugar de despegue y aterrizaje

Para abastecer un vehículo se requiere tener un lugar de acopio de suministros. Este lugar debe cumplir con una serie de características para la operación de vehículos aéreos. Es necesario que el lugar cuente al menos con:

- Pista de aterrizaje y despegue de vehículos aéreos.
- Equipo de mantención de vehículos aéreos.
- Personal calificado en toda la operación de vehículos aéreos.
- Espacio para generar lugares de acopio.
- Estacionamiento de vehículos aéreos.

Estación de abastecimiento de combustible para vehículos aéreos. Los lugares que cumplen con todos estos requerimientos corresponden a las bases aéreas de la Fuerza Aérea. Además se encuentran ubicadas en puntos estratégicos del país que les permite abarcar todo el territorio nacional.

Distancia

Para el trayecto que deben realizar los vehículos aéreos con el fin de abastecer la demanda en las localidades afectadas se considerará la distancia directa entre el punto de partida y llegada.

MODELO MATEMÁTICO

Algunas distinciones a considerar radican en el problema clásico de FSMVRP, la función objetivo minimiza el costo total de la solución incluyendo costos fijos y variables, mientras que en el problema se pretende minimizar el tiempo que tardan en surtir las diferentes localidades considerando la prioridad que puedan tener estas.

En el caso expuesto con anterioridad, podemos observar un problema de flota heterogénea donde los costos, la velocidad, la autonomía de vuelo y la capacidad de los vehículos varían. Existiendo un conjunto $T = \{1, \dots, n\}$ de tipos de vehículos, donde:

- C_a : Capacidad de vehículo a
- A_a : Autonomía de vuelo de vehículo a
- V_a : Velocidad promedio del vehículo a
- W_a : Cantidad de Vehículos disponibles tipo a
- $D_{i,j}$: Distancia entre ciudades i, j
- $X_{a,i,j}$: Variable binaria que asigna vehículo a al tramo i, j (0 no se asigna, 1 se asigna)
- $Y_{i,j}$: Variable binaria que muestra si el tramo i, j está habilitado (0 no está habilitado, 1 está habilitado)
- B_i : Demanda del nodo i
- $K_{i,a}$: Cantidad de la demanda del cliente i entregada por el vehículo a
- P_i : Prioridad de la ciudad i

Función objetivo:

$$\text{Min } \sum_a \sum_i \sum_j \left(\frac{D_{i,j}}{V_a} \right) * X_{a,i,j} * \sum_a \sum_i \sum_j \frac{1}{P_i} * Y_{a,i,j} \quad (0)$$

Restricciones:

1. De cada ciudad sale a lo menos 1 vehículo

$$\sum_a \sum_j X_{a,i,j} \geq 1 \quad \text{para todo } i \quad (1)$$

2. Todas las ciudades deben ser visitadas por a lo menos 1 vehículo

$$\sum_a \sum_i X_{a,i,j} \geq 1 \quad \text{para todo } j \quad (2)$$

3. Suma de las horas de vuelo asignadas no deben superar las horas de autonomía de vuelo.

$$\sum_{i,j} \frac{D_{i,j}}{V_a} * X_{i,j,a} \leq A_a \quad \text{para cada } a \quad (3)$$

4. Suma de asignaciones al vehículo deben ser igual a los tramos habilitados.

$$\sum_{i,j} X_{i,j,a} = \sum_{i,j} Y_{i,j} * X_{i,j,a} \quad \text{Para todo } a \quad (4)$$

SIMULACIÓN DEL MODELO

Mapa de la Zona Afectada



FUENTE

Elaboración Propia

5. Cantidad de vuelos asignados por tipo debe ser menor o igual a la cantidad existente de cada tipo de vehículos.

$$\sum_j X_{0,j,a} \leq W_a \quad \text{para todo } a \quad (5)$$

6. Asegura que la demanda completa de cada cliente es satisfecha en su totalidad.

$$\sum_a K_{i,a} = B_i \quad \text{para todo } i \quad (6)$$

7. Impone que la cantidad entregada en cada viaje no exceda la capacidad del vehículo.

$$\sum_i K_{i,a} \leq C_a \quad \text{para todo } a \quad (7)$$

8. Otros

$$X_{a,i,j} \in \{0,1\}$$

$$K_{i,a} \geq 0$$

Las localidades afectadas son: Maullín, Ancud, Castro, Quellón y Melinka, las primeras cuatro ubicadas en la Región de los Lagos y la última en la Región de Aysén.

Distancia entre localidades.

En KM.	Puerto Montt	Ancud	Castro	Quellón	Melinka	Maullín
Puerto Montt	0	85	132	193	277	59
Ancud	85	0	47	135	220	34
Castro	132	47	0	72	155	95
Quellón	193	135	72	0	83	165
Melinka	277	220	155	83	0	250
Maullín	59	34	95	165	250	0

FUENTE

Carta Aeronáutica (CA-4) Los Ángeles - Puerto Montt. Escala 1:1.000.000. Servicio Aero fotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile (S.A.F.)

Vehículos Aéreos.

Descripción Aeronaves	UH-1h	Casa 212	Twin Otter
Velocidad	230 KM / Hora	390 Km/ Hora	297 km/ Hora
Autonomía de vuelo en Horas	2 horas 30 min	3 horas	4 horas
Autonomía de vuelo en Km	575 Km.	1170 Km.	1188Km.
Peso máximo	4000.0	7500.0	4763.0
Peso de carga	1493.2 Kg.	2800 Kg.	1778.0279 Kg.
Cantidad de aeronaves disponibles	3	1	4

FUENTE

Fuerza Aérea de Chile

Descripción población afectada.

Para la descripción de la población afectada se considera que el 16% de la población de las localidades dañadas. La prioridad es definida por ONEMI según los antecedentes entregados por los gobiernos locales.

Tabla Descripción Población Afectada

Ciudades	Habitantes según INE 2020	Población Afectada	1 litros de agua	Kilos totales	Demanda en Kilos	PRIORIDAD
Ancud	42.028	6.724	1	1	6.724	1
Castro	64.276	10.284	1	1	10.284	5
Quellón	43.407	6.945	1	1	6.945	2
Melinka	2.115	338	1	1	338	3
Mauullín	11.624	1.860	1	1	1.860	4

FUENTE

INE. * Censo del 2002 y Proyección Censo 2020

Lugar de aterrizaje disponible según el tipo de vehículo aéreo.

Uno indica que el aeródromo o aeropuerto está disponible para recibir a las siguientes aeronaves, cero indica lo contrario.

Aeropuerto y/o aeródromos habilitados por tipo de aeronave

Habilitación de Aeropuertos	Puerto Montt	Ancud	Castro	Quellón	Melinka	Mauullín
UH-1h	1	1	1	1	1	1
Casa 212	1	1	1	0	0	0
Twin Otter	1	1	1	1	0	0

FUENTE

Fuerza Aérea de Chile.

Resultados

Con la finalidad de establecer si el modelo matemático está correcto y considerando la complejidad de este tipo de problemas para ser resueltos de forma exacta, se realizó un modelamiento del proceso heurístico y posteriormente el desarrollo del problema. La heurística nos llevará a un resultado aceptable cercano al óptimo.

Vehículo	Ruta	Tiempo (horas)
Uh-1h	Base - melinka - quellon - base	2,40
Uh-1h	Base - mauullin - quellon - base	1,81
Uh-1h	Base - castro - mauullin - base	1,24
Casa 212	Base - castro - base - ancud - base - ancud - base	1,55
Twin otter	Base - castro - base - quellon - base	2,19
Twin otter	Base - castro - base - quellon - base	2,19
Twin otter	Base - castro - base - quellon - ancud - base	2,28
Twin otter	Base - castro - base - ancud - base	1,46

FUENTE

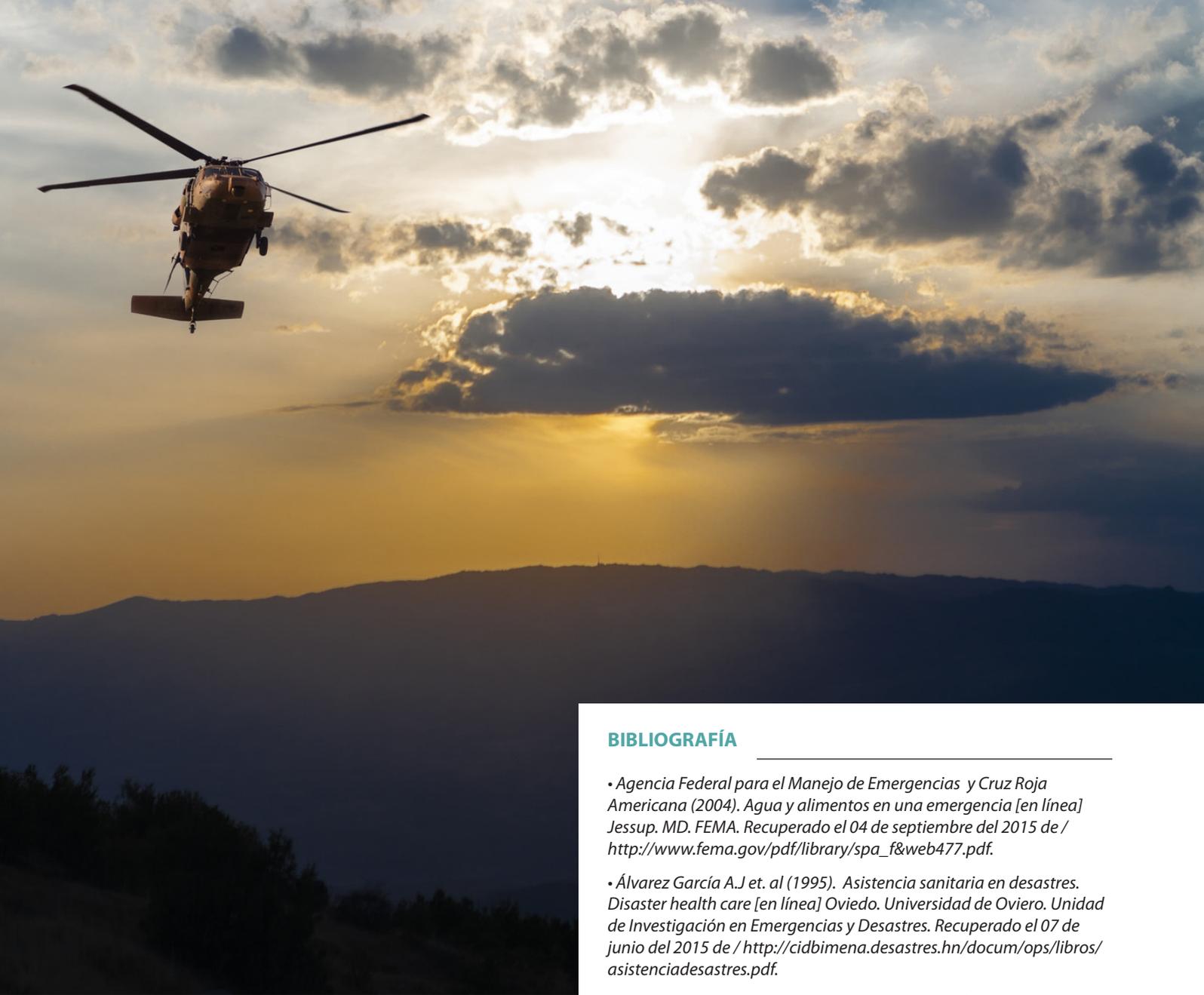
Elaboración Propia

Resumen de rutas y tiempos recorridos por cada aeronave

En el escenario de prueba establecido, el abastecimiento de la totalidad de las ciudades toma un tiempo de 2.4 horas, duración que corresponde al mayor periodo de operación de los vehículos, en este caso de un helicóptero UH-1h.

DISCUSIÓN

Esta solución se centró en la etapa de abastecimiento de insumos básicos transcurridas las primeras 12 horas de siniestro, puntualmente en un modelo de ruteo de vehículos aéreos para planificación de operaciones en caso de catástrofes, que contribuye a reducir los tiempos de respuesta con que los damnificados requieren insumos de primera necesidad. En situaciones como estas una hora puede significar una vida, como se observó en la propuesta generada y aplicada por medio de una heurística algo que en el 27F no existió, en 2.4 horas con los recursos disponibles se tenía abastecido 5 localidades encontradas a más de 250 kilómetros de distancia entre si.



BIBLIOGRAFÍA

- *Agencia Federal para el Manejo de Emergencias y Cruz Roja Americana (2004). Agua y alimentos en una emergencia [en línea] Jessup. MD. FEMA. Recuperado el 04 de septiembre del 2015 de / http://www.fema.gov/pdf/library/spa_f&web477.pdf.*
- *Álvarez García A.J et. al (1995). Asistencia sanitaria en desastres. Disaster health care [en línea] Oviedo. Universidad de Oviero. Unidad de Investigación en Emergencias y Desastres. Recuperado el 07 de junio del 2015 de / <http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/libros/asistenciadesastres.pdf>.*
- *Baas, Stephan et al. (2009) Análisis de Sistemas de Gestión del Riesgo de Desastres. Una Guía. [en línea]. Roma. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación División de Medio Ambiente, Cambio Climático y Bioenergía. Recuperado el 11 de agosto del 2015 de / <http://www.fao.org/3/a-i0304s.pdf>.*
- *Bertorelli, Paul (2010). Cirrus Rolls Out a New Turbocharged Model. [en línea]. Norwalk. AVweb. Recuperado el 18 de enero del 2016 de / http://www.avweb.com/avwebflash/news/Cirrus_SR22T_202743-1.html.*
- *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2010). Qué es el Estado de Catástrofe. [en línea] Santiago. BCN. Recuperado el 15 de abril del 2016 de / <http://www.bcn.cl/de-que-se-habla/estados-excepcion-constitucional>.*
- *Centro Sismológico Nacional. Universidad de Chile. Glosario. Términos habituales. [en línea]. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Recuperado el 12 de marzo del 2016 de / <http://www.sismologia.cl/links/glosario.html>.*
- *Chant, C. Y. (1982). Enciclopedia Ilustrada de la Aviación: Vol.1. Barcelona. Editorial Delta.*
- *Chile. Ejército de Chile. Estado Mayor Conjunto. Gestión de Emergencias [en línea] Santiago. EMCO. Recuperado el 07 de enero del 2016 de / http://www.emco.mil.cl/?page_id=106/.*
- *Chile. Fuerza Aérea de Chile. Misión [en línea]. Santiago. Fuerza Aérea de Chile. Recuperado el 28 de marzo del 2016 de / <http://www.fach.cl/mision.html>.*

El modelo en si puede ser mejorado y por sobre todo su simulación, en este trabajo fue realizado por medio de una heurística que si bien es una solución aceptable no es lo óptimo, por lo que considerar su análisis bajo el enfoque de mejora continua, le otorga la posibilidad de realizar mejoramientos partiendo desde esta base. Luego de realizar el seguimiento del problema surgen algunas inquietudes respecto a la ponderación de importancia que se asignará a las variables involucradas en la función objetivo, debido a que se debe establecer si se considerará más relevante la prioridad de la ciudad o la disminución del tiempo para abastecer a cada una de las ciudades.

Cabe destacar que actualmente la prioridad de las ciudades se asigna en forma aleatoria para fines académicos, pero en base a consulta a expertos se debe resolver cómo se calcula la prioridad real de cada ciudad. Como así también la demanda de cada ciudad, pudiendo llegar a un modelamiento específico que genere la sinergia entre las variables de localización del siniestro, el grado de impacto e intensidad como otras variables significantes.

Existe un sin número de variables a considerar dentro de una situación de catástrofe, por lo mismo, es importante poder enfocar el problema de forma acotada y tener claro que es lo que se pretende obtener, esto pues la complejidad de su desarrollo asociado a una heurística como a resolverlo en un software de programación lineal presenta una formulación sofisticada y, por lo tanto, a la mano del error humano.