



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y SISTEMAS
ICS1113-OPTIMIZACIÓN

Informe 1

Nombre Proyecto Grupo 44

Ignacio Quera 20638175 sección 3
Jorge Molina 21642400 sección 4
Nicolás Cruz 20642156 sección 1
Josefina Nazar 22640657 sección 1
Vicente Jara 21626324 sección 4
Fernando Jara 21642788 sección 2

Fecha entrega: 5 de abril de 2023

Índice

1. Descripción del problema	3
1.1. Contexto	3
1.2. Impacto y objetivo del modelo	5
2. Modelo matemático	5
2.1. Conjuntos	5
2.2. Parámetros	5
2.3. Variables	6
2.4. Supuestos	6
2.5. Restricciones	7
2.6. Función objetivo	7

1. Descripción del problema

1.1. Contexto

Es evidente que Chile es uno de los tantos países que ha sufrido un gran impacto negativo debido al cambio climático. Olas de calor, incendios forestales cada vez más frecuentes, son algunas de ellas. Sin embargo, una de las consecuencias más alarmantes es la crisis hídrica que hemos sufrido por más de 10 años. La falta de precipitaciones en todo el país, el déficit de acumulación de nieve, una disminución de los caudales en los ríos del país, las olas de calor y el consumo descuidado de agua potable han obligado al Gobierno a decretar escasez hídrica en 184 comunas del país el año 2021, haciendo a Chile uno de los países con más estrés hídrico del mundo (Crisis Hídrica: Un Desafío de todos, Gobierno de Chile, 2021).

En cuanto al consumo de agua potable, este se mide en metros cúbicos de agua potable que se facturan a los clientes en cada empresa sanitaria. De acuerdo al SISS, en el año 2021, $1,214,064,000m^3$ fueron facturados por las principales empresas, significando un consumo de alrededor de $17,45m^2$ por cliente al mes.

El agua no facturada (ANF) corresponde a la diferencia entre el volumen de agua producida y el volumen de agua facturada a los clientes. Actualmente esta representa alrededor del 33 % del volumen total de agua potable producida, valor que se ha mantenido relativamente constante en los últimos 10 años. Cerca de un 75 % de estas aguas no facturadas corresponden a pérdidas físicas en las redes de suministro y distribución de agua potable (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2021). Debido a la situación actual, es fundamental priorizar la protección de los recursos hídricos y considerar las pérdidas asociadas al deterioro y envejecimiento del alcantarillado y redes de distribución de agua potable, que provocan pérdidas físicas que muchas veces pasan desapercibidas. Una parte relevante del mantenimiento de redes implica una planificación responsable de tiempos óptimos de reparación, teniendo en cuenta el estado de cada alcantarillado a reemplazar y el porcentaje de pérdida asociado a él.

Es por ello que como grupo hemos decidido centrarnos en buscar una forma de optimizar el proceso de decisión y administración de recursos centrados en la reparación de cañerías, revisando temas como prioridad de cañerías averiadas, posibles empresas capaces de resolver el problema (por medio de subcontratación y delegaciones), tiempo en que estas empresas reparan el problema, etc.

Para profundizar más en esta problemática, pasaremos a poner de ejemplo el actuar de un país en donde su pérdida de agua es tan solo del 10 %, siendo este país Israel. En Israel el agua es muy escasa, debido a ser un país desértico, por lo que los esfuerzos en su preservación no han sido para nada despreciables, con procesos como la desalinización de agua, medidas para desincentivar el derroche irresponsable de agua, técnicas de riego más eficientes, etc. Cosa que lamentablemente no se ha replicado con el mismo interés en Chile, y por un lado tiene sentido, a fin de cuentas Chile

no es un país en su mayoría desértico, y poseemos una gran reserva de agua dulce gracias a la cordillera. Sin embargo, la mayoría de esta agua se desaprovecha, debido a técnicas poco eficientes de riego, derroche general de la población, etc. Pese a la múltiple cantidad de fallas y problemas que, de resolverse y tratarse apropiadamente, podrían aportar a la labor de preservación hídrica, lo cierto es que es difícil adjudicarle la responsabilidad de estos problemas a un individuo o individuos en particular, a excepción de unos pocos casos, siendo uno de estos el estado de las cañerías.

En Chile el agua está privatizada, y su distribución está delegada a diferentes empresas sanitizadoras cuyo negocio y deber es el de entregar agua limpia a todos los ciudadanos, siendo responsables del debido mantenimiento de cañerías y embalses de agua, y cualquier fuga o filtración debe ser atendida y reparada por ellos dentro de los plazos establecidos por la ley. Es por esto, que para este proyecto designaremos como el “tomador de decisiones” al director de una de estas múltiples distribuidoras de agua, Aguas Andinas, siendo este el responsable de implementar el modelo que se presentará más adelante.

El objetivo de este director será administrar sus recursos disponibles (como presupuesto, tiempo, mano de obra, etc), con el objetivo de minimizar lo más posible las pérdidas de agua por fugas en sus cañerías y sistema de alcantarillado. Para esto, nuestro “tomador de decisiones” (Referido de ahora en adelante como “TD”), contará con un presupuesto mensual dado, y un listado de empresas capaces de ser subcontratadas para la reparación de estas fugas, cada una con un coste de dinero y tiempos de trabajo distintos, y deberá priorizar el reparar las fugas que generen mayor pérdida de agua en el menor tiempo posible. Por otro lado, existen multas asociadas a la negligencia de el estado de las cañerías, por lo que si una cañería pasa demasiado tiempo sin ser reparada (pese a que esta presente una pérdida pequeña de agua en comparación a otras), se le descontara del presupuesto mensual del TD la suma asociada a esta multa. Además, el estado de las cañerías será sujeta a constantes chequeos, por lo que al inicio de cada mes se le entregará al TD fechas tentativas (que para el modelo trataremos como hechos asegurados) en las que ciertas cañerías se romperán, de esta forma siendo capaz el TD de prepararse cada mes para administrar el trabajo de las empresas subcontratadas y asegurarse de tener todas las cañerías posibles reparadas para fin de mes (quedando las cañerías rotas como un tema pendiente para el siguiente mes, que se agregara al listado entregado por los inspectores al inicio de ese siguiente mes).Adicionalmente, mientras se repare una cañería, esta deberá ser cortada, por lo que la empresa deberá cubrir las necesidades del cliente que se quede sin agua durante esos días, agregándose un coste adicional por cantidad de agua cortada que se necesita suplir para cierto cliente.

Finalmente, y debido a las alarmantes cifras entregadas por la comunidad científica respecto al panorama nacional e internacional en los próximos años, respecto al cambio climático y potenciales sequías, este modelo ha de ser implementado para antes del 2025, e idealmente perfeccionado durante estos años para que, al llegar esta fecha, el modelo sea lo más eficiente posible.

1.2. Impacto y objetivo del modelo

Consideramos que es sumamente valioso para la sociedad tener un sistema de alcantarillado confiable. Tener un sistema de cañerías en que las fallas puedan ser previstas y reparadas de forma más eficiente tendría un impacto muy positivo en el cuidado del agua y del medio ambiente, ya que se evitarían pérdidas innecesarias de un recurso natural tan importante como lo es el agua potable.

Esto generaría, en primer lugar, una disminución en las pérdidas de agua en caso de que una cañería se rompa. A día de hoy las cañerías suelen pasar largos periodos no atendidas y con fallas, lo que supone que se pierde una gran cantidad de agua. Sumado a esto, el suministro de agua puede llegar a ser cortado o contaminado, lo que imposibilita el acceso al agua para muchas personas, perjudicándolos en varias actividades relacionadas a salud, higiene, alimentación, entre otros.

Además de esto, le ahorraría dinero a las compañías distribuidoras de agua, ya que nuestro modelo disminuirá significativamente las Aguas No Facturadas (ANF) las cuales actualmente significan una pérdida de alrededor de 25 % del agua potable producida.

Por último, la mejora de las tuberías supondría un ahorro energético, ya que el proceso de distribución de agua requiere de grandes cantidades de energía, y aquellas cañerías con fugas requieren ser sujetas a una mayor presión de agua para mantener un apropiado suministro de agua, agravando incluso más la pérdida de agua.

2. Modelo matemático

A continuación se presenta como fue modelada la problemática expuesta de manera formal.

2.1. Conjuntos

- $t \in \{1, \dots, T\}$: días del año
- $m \in \{1, \dots, M\}$: meses del año (en los cuales solo una determinada cantidad de días t ocurren de manera real)
- $i \in \{1, \dots, E\}$: empresas dedicadas a la reparación de cañerías rotas
- $j \in \{1, \dots, J\}$: cañerías

2.2. Parámetros

- C_i : Coste diario asociado al contratar a la empresa i para reparar una cañería
- $L_{i,j}$: Tiempo que tarde la empresa i en reparar una cañería rota j

- P_j : Pérdida de agua por cañería rota j por día
- Q : Presupuesto mensual para reparar cañerías y otros costos asociados
- D_j : Tiempo máximo que la cañería j puede estar rota sin ser multada
- G_j : Coste diario por mantener cortada el agua de la cañería j
- K_j : Multa por no reparar una cañería j en un tiempo D_j

2.3. Variables

▪

$$X_{j,t,n} : \begin{cases} 1 & \text{si la cañería } j \text{ esta rota el día } t \text{ en el mes } m \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

▪

$$Y_{j,m} : \begin{cases} 1 & \text{si la cañería } j \text{ no fue arreglada en el tiempo } D_j \text{ en el mes } m \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

▪

$$R_{j,i,t,m} : \begin{cases} 1 & \text{si la cañería } j \text{ esta siendo reparada por la empresa } i \text{ en el día } t \text{ en el mes } m \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

▪

$$\dot{Z}_{j,i,t} : \begin{cases} 1 & \text{si la cañería } j \text{ empieza a ser reparada por la empresa } i \text{ en el día } t \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

▪

$$\dot{R}_{j,i,t,m} : \begin{cases} 1 & \text{si la cañería } j \text{ esta siendo reparada por la empresa } i \text{ en el día } t \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

2.4. Supuestos

- Se asume que luego del arreglo, la pérdida de agua es 0.
- Se asume que el tiempo D_j se empieza a considerar una vez que la empresa es notificada de la falla.
- Se asume que la empresa es capaz de encontrar el lugar de una falla y no gasta tiempo extra en ello.

2.5. Restricciones

1. El costo mensual de reparación de cañerías mas la multa por cañerías dañadas no puede superar el presupuesto mensual Q

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^E \sum_{j=1}^J R_{j,i,t,m} (C_i + G_i) + \sum_{j=1}^J Y_{j,m} K_j \leq Q \quad \forall m \in \{1, \dots, M\}$$

2. Una empresa no puede reparar mas de una cañería al mismo tiempo

$$\sum_{j=1}^J R_{j,i,t,m} \leq 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, E\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad \forall m \in \{1, \dots, M\}$$

3. Una cañería no puede estar rota y en reparación a la vez

$$X_{j,t,m} + \sum_{i=1}^E R_{j,i,t,m} \leq 1 \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad \forall m \in \{1, \dots, M\}$$

4. Una cañería no puede estar siendo reparada por dos empresas al mismo tiempo

$$\sum_{i=1}^E R_{j,i,t,m} \leq 1 \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad \forall m \in \{1, \dots, M\}$$

5. Una cañería no puede estar más de una cantidad determinada de días sin ser reparada

$$L_{i,j} \dot{Z}_{j,i,t} \leq \sum_{\alpha=t}^{t+L_{i,j}} \dot{R}_{j,i,\alpha} \quad \forall i \in \{1, \dots, E\} \quad \forall j \in \{1, \dots, J\}$$

6. Naturaleza de las variables

$$X_{j,t,n} \in \{0, 1\}$$

$$Y_{j,m} \in \{0, 1\}$$

$$R_{j,i,t,m} \in \{0, 1\}$$

$$\dot{Z}_{j,i,t} \in \{0, 1\}$$

$$\dot{R}_{j,i,t,m} \in \{0, 1\}$$

2.6. Función objetivo

La función que se busca optimizar es de la cantidad de agua perdida por cañerías dañadas. Para esto, se busca minimizar la perdida de agua anual por cañerías en mal estado.

$$\min \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J X_{j,t,m} * P_j$$