



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

Informe 1

Centros de vacunación móvil Grupo 17

Gabriel Andrés Faúndez Soto 16640373 sección 2
Francisco Guíñez Correa 16641132 sección 2
Miguel Andrés Martínez Ramírez 19639449 sección 3
Raimundo Martínez Rioseco 16637232 sección 3
Jose Tomas Schuwirth 16640438 seccion 5
Juan Schuwirth Montero 1764030J sección 3

Fecha entrega: 19 de 04 de 2021

Descripción del problema

Contexto: Desde su detección en diciembre de 2019 en la ciudad de Wuhan, China, el virus conocido como SARS-CoV-2, COVID-19 o simplemente “coronavirus” se ha diseminado rápidamente por todo el mundo [1]. La pandemia generada ha puesto prácticamente a todos los países en situaciones complejas: el repentino aumento de contagios y colapso de centros de salud ha forzado a tomar medidas para controlar el esparcimiento del virus. Esto se ha traducido en la aplicación de cuarentenas para limitar la movilización de las personas, uso de elementos de protección personal como mascarillas, aforo máximo en establecimientos, entre otras medidas. Si bien estos métodos de control apuntan a minimizar la tasa de nuevos contagios, las personas han experimentado una interrupción repentina del curso natural de sus vidas, sin mencionar el temor asociado al contagio y sus repercusiones.

Chile se ha visto involucrado como un partícipe más en esta historia: desde que el primer caso nacional fue detectado en marzo de 2020 [2], la pandemia a nivel nacional parece no dar tregua. A la fecha han habido más de 1.100.000 casos y más de 24.000 fallecimientos asociados a la enfermedad [3]. La tasa de casos diarios ha aumentado últimamente a cifras incluso mayores a las vistas en junio de 2020, fecha en la que ocurrió el primer *peak* de casos diarios [4]. La disponibilidad de camas para casos críticos se encuentra al límite, con aproximadamente de 200 camas disponibles a nivel nacional [5] de un total de aproximadamente 4.000 [6]. Cuarentenas se han aplicado a lo largo de todo el país y de forma intermitente como respuesta al surgimiento de casos diarios, pero la aparente relajación de la población hacia la pandemia a causado que esta medida no tenga resultados satisfactorios [7].

Sin embargo, en diciembre de 2020 Chile recibió el primer cargamento de vacunas del laboratorio Pfizer y BioNTech [8], dando inicio a la campaña de vacunación que tiene como objetivo inocular al 80 % de la población nacional, a través de vacunatorios distribuidos por todo el país [9]. Esta campaña ha sido reconocida internacionalmente por la rapidez con la que se han distribuido las vacunas en la población, pero a la fecha solo el 34 % de la población objetivo ha recibido la segunda dosis de su vacuna [10]. La población está siendo vacunada, pero esta no necesariamente ha sido equitativa a lo largo de todo el territorio nacional [11].

Problema a estudiar: Es de interés colectivo continuar acelerando la tasa de vacunas administradas para inocular a la población objetivo lo antes posible, pero también es importante preocuparse de distribuir de manera justa las vacunas. Una vacunación demasiado centralizada podría generar focos de contagio en regiones, lo que desestabilizaría la gestión de los centros de salud. Por ello, el enfoque particular de este proyecto está en las desigualdades interregionales e intercomunales en cuanto a la administración de vacunas, producto de diferencias en infraestructura de salud entre estos territorios.

Hasta ahora, la administración de vacunas se ha realizado de forma inicua. Actualmente, los menores porcentajes de vacunación se encuentran mayoritariamente en el norte del país (Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta)¹. Debido a esto, surge el interés de explorar las posibilidades de lograr que la distribución de vacunas a nivel nacional se realice de forma más justa entre localidades. Más específicamente, se investiga el potencial de la implementación de camiones como vacunatorios móviles para complementar la campaña de vacunación tradicional. Estos centros móviles cooperarían con una distribución más equitativa de inoculaciones, ya que permiten alcanzar zonas aisladas y grupos de personas que experimentan dificultades para dirigirse por su cuenta a centros de vacunación [12].

Impacto: una campaña complementaria que tuviera la capacidad de moverse por el territorio nacional sería un enfoque interesante para aumentar la cobertura de vacunación en zonas más aisladas, y así aportar en la gestión de los centros de salud para acabar lo antes posible con la pandemia.

¹El análisis de datos realizado para llegar a esta conclusión se encuentra en [este](#) Google Colab, en el cual se estudiaron los datos entregados por el gobierno.

Un aspecto débil de la red nacional de salud es la gran diferencia en la infraestructura de diferentes comunas, por lo que la implementación de infraestructura móvil permitiría optimizar la gestión de los centros de salud.

Recientemente el Ministerio de Salud (MINSAL) publicó los resultados de un estudio sobre la efectividad de la vacuna CoronaVac. Este estudio concluyó que esta vacuna tiene un 89 % de efectividad para prevenir el ingreso a UCI y un 80 % de efectividad para prevenir la muerte del individuo [13]. Esto indica que, aparte de la reducción de la mortalidad relacionada a COVID-19, la distribución de vacunas es efectivamente una vía para disminuir la demanda en centros de salud, por lo que con un incremento en la velocidad de esta tarea se esperaría una pronta reducción de la carga de estos establecimientos. Además, propiciar una distribución equitativa de vacunas a través de la facilitación del acceso a población aislada o con dificultades de movilidad aumentaría la satisfacción de estos grupos hacia la gestión de las instituciones involucradas en el desarrollo de esta campaña.

Objetivo: dado lo anterior, nuestro objetivo es realizar un modelo de optimización que maximice el beneficio entregado por una flota de N centros de vacunación móviles que se mueven libremente por las comunas descongestionando los centros de vacunación locales. Al cabo de un mes, nos interesa maximizar de manera justa el porcentaje de vacunación entre todas las comunas.

Decisiones y Restricciones: por un lado, hemos decidido basarnos en la información oficial entregada por el MINSAL [11], dividiendo el territorio nacional en C comunas. La comuna c con $c \in \{1, \dots, C\}$ tiene los valores h_c y Pv_c como el total de habitantes y la cantidad de habitantes vacunados que forman parte de la población objetivo en la comuna respectivamente.

Por otro lado, tendremos que, a modo de plan piloto, esta campaña estará operativa por 30 días, redistribuyendo cada día los centros móviles a las comunas donde más se necesiten. Cada centro móvil podrá vacunar a un máximo de v personas por día.

Modelo

Conjuntos

$N \in \mathbb{Z}^+ : \{1, \dots, N\}$ Camiones disponibles

$C \in \mathbb{Z}^+ : \{1, \dots, C\}$ Comunas

$D \in \mathbb{Z}^+ : \{1, \dots, D\}$ días

Parámetros

F = fondos disponibles

C_v = costo variable de utilizar un camión un día

C_{vn} = costo variable de no utilizar un camión un día

h_c = cantidad de habitantes de la comuna que son población objetivo

Pv_c = cantidad de habitantes vacunados en la comuna c

v = cantidad máxima de personas que puede vacunar un centro móvil por día

H_{max} = capacidad máxima de vacunas en un camión

V_t = Número de vacunas disponibles

Variables

$X_{ncd} \in \{0, 1\}$: toma valor 1 si el camión n se encuentra en la comuna c en el día d .

$H_{nd} \in \mathbb{Z}_0^+$: numero de vacunas en el camión n en el día d .

$P_{cd} \in \mathbb{Z}_0^+$: numero de personas que se vacunaron en la comuna c en el día d .

$Y_{cd} \in \mathbb{R}_0^+ \in [0, 1]$: porcentaje de personas vacunadas en la comuna c hasta el día d

Función Objetivo

Buscamos maximizar la distribución equitativa de las vacunas. Lo anterior se logra maximizando la suma del número de vacunados en una comuna (P_{cd}), al ponderar este valor por uno menos el porcentaje de vacunación acumulado hasta un día d en la comuna c . Así, le damos mayor prioridad a las comunas con poco porcentaje de vacunación.

$$\max \sum_{d \in D} \sum_{c \in C} P_{cd} \cdot (1 - Y_{cd})$$

Restricciones

No se sobrepasa el presupuesto

$$\sum_{n \in N} \sum_{c \in C} (X_{ncd} \cdot C_v + (1 - X_{ncd}) \cdot C_{vn}) \leq F \quad \forall d \in D$$

Camión no lleva más vacunas que su capacidad máxima

$$H_{nd} \leq H_{max} \quad \forall n \in N, \forall d \in D$$

Asignar un camión a una sola comuna y no a mas, en un mismo día.

$$\sum_{c=1}^C X_{ncd} \leq 1 \quad \forall n \in N, \forall d \in D$$

No se pueden utilizar más vacunas de las disponibles.

$$\sum_{c \in C} \sum_{d \in D} P_{cd} \leq V_t$$

En una comuna no se pueden vacunar más personas que el número de habitantes no vacunados.

$$\sum_{d \in D} P_{cd} \leq h_c - P_{vc} \quad \forall c \in C$$

En una comuna en un cierto día, no se pueden vacunar más personas que el número de vacunas en el camión.

$$P_{cd} \leq \sum_{n \in N} X_{ncd} \cdot H_{nd} \quad \forall c \in C, \forall d \in D$$

En una comuna en un cierto día, no se pueden vacunar más personas que el límite de vacunación de un camión.

$$P_{cd} \leq v \quad \forall c \in C, \forall d \in D$$

El porcentaje de personas vacunadas un cierto día depende del número de personas que han vacunado los camiones.

$$h_c \cdot Y_{cd} = P_{vc} + \sum_{\theta=1}^d P_{c\theta} \quad \forall c \in C, \forall d \in D$$

Referencias

- [1] Drew Hinshaw Jeremy Page and Betsy McKay. In hunt for covid-19 origin, patient zero points to second wuhan market, 2021-02-26. Revisado: 2021-04-15. Disponible [aquí](#).
- [2] Ministerio de Salud. A un año del primer caso covid-19 en chile autoridades de salud advierten que la pandemia se mantiene y llaman a conservar medidas de prevención, 2021-03-03. Revisado: 2021-04-16. Disponible [aquí](#).
- [3] Gobierno de Chile. Cifras oficiales covid-19. Revisado: 2021-04-16. Disponible [aquí](#).
- [4] Worldometers. Daily new cases in chile. Revisado: 2021-04-16. Disponible [aquí](#).
- [5] Ministerio de Salud. Covid-19: Se reportan 7.590 nuevos casos y siete regiones disminuyen sus casos en los últimos 14 días, 2021-04-16. Revisado: 2021-04-16. Disponible [aquí](#).
- [6] Ministerio de Salud. Reporte covid-19: Autoridades de salud hacen llamado a la unidad para controlar la pandemia, 2021-04-08. Revisado: 2021-04-17. Disponible [aquí](#).
- [7] BBC News. Vacuna contra la covid-19: 5 razones por las que los contagios de coronavirus pueden seguir aumentando aunque se avance en la vacunación, 2021-03-18. Revisado: 2021-04-13. Disponible [aquí](#).
- [8] Ministerio de Salud. Presidente piñera recibe primer cargamento de vacunas contra el covid-19: “son una luz de esperanza”, 2020-12-24. Revisado: 2021-04-17. Disponible [aquí](#).
- [9] Subsecretaría de Salud Pública. Planificación: Vacunación contra sars-cov-2, 2021-02-02. Revisado: 2021-04-15. Disponible [aquí](#).
- [10] Ministerio de Bienes Nacionales. Visor Territorial - Yo Me Vacuno, 2021. Revisado: 2021-04-15. Disponible [aquí](#).
- [11] Ministerio de Bienes Nacionales. Dosis por comuna, 2021. Revisado: 2021-04-15. API disponible [aquí](#), *query* a la API disponible [aquí](#).
- [12] Publimetro. Rezagados: Un 30 % de los adultos mayores aún no recibe la vacuna, 2021-02-23. Revisado: 2021-04-16. Disponible [aquí](#).
- [13] Ministerio de Salud. La vacuna coronavac demostró ser efectiva en un 89 % para evitar hospitalizaciones uci, 2021-04-16. Revisado: 2021-04-16. Disponible [aquí](#).