



OPTIMIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE VACUNAS PARA PREVENIR EPIDEMIAS

Nombre: Carlos Miguel Hidalgo Toscano

Tipo de investigador: Personal con actividad científica y
tecnológica

Último grado obtenido de estudios: Maestría en Ciencias
en la especialidad de Matemáticas

Extensión: 6128

Línea de investigación: Las TIC y la gestión de la infor-
mación y el conocimiento

Ámbito: Desarrollo de las TIC

1. Antecedentes

El *Programa de Vacunación Universal*, que opera en México desde 1991, es uno de los mejores programas de vacunación en Latinoamérica. Este programa ha tenido numerosos logros, tales como: la erradicación de la poliomielitis, la difteria, el sarampión y el tétanos neonatal; controlar la tos ferina y las formas graves de tuberculosis. Un aspecto importante del programa es la identificación, notificación y control inmediato de casos y brotes [6]. Este es un aspecto fundamental para la prevención de epidemias, ya el tiempo de respuesta ante un brote oportuna puede ser decisiva para evitar su aparición.

Para lograr un tiempo de respuesta rápido, es indispensable que los centros de salud cuenten con una cantidad óptima de vacunas, y que los centros tengan una ubicación geográfica que permita hacer llegar las vacunas a la población en el menor tiempo posible. Esto conlleva una gran cantidad de restricciones a tomar en cuenta, tales como: la capacidad y costo de almacenamiento de las clínicas, el grado de facilidad de transporte de la población hacia las clínicas, el tiempo de vida de las vacunas en almacén y la asignación de la población a atender por cada centro.

Así, surgen los siguientes problemas: ¿Cómo decidir la ubicación de las clínicas? ¿Cómo determinar la cantidad idónea de vacunas atener en almacén optimizando costos? ¿Cómo determinar el periodo de tiempo que se tendrá cierta vacuna en existencia, teniendo en cuenta las temporadas de riesgo para las distintas enfermedades?

2. Planteamiento y definición del problema

El problema en cuestión es realizar un modelo que optimice los puntos tratados en la sección anterior. De manera más concreta, dados los siguientes datos:

- Un conjunto $\{C_i\}$ de clínicas
- Un conjunto $\{p_j\}$ de comunidades que atiende la clínica C_i
- Las distancias $d_{i,j}$ entre la clínica C_i y la comunidad p_j

- Capacidad y costo de almacenamiento de cada clínica C_i
- Un conjunto de enfermedades $\{e_k\}$ para las cuales se desea tener vacunas disponibles a lo largo del año
- Datos históricos de las incidencias de cada enfermedad e_k , divididos por meses y por grupos de edad en el territorio de interés

se desea determinar la cantidad de vacunas contra la enfermedad e_k que se deben tener en almacén para prevenir la aparición de una epidemia en cada mes del año. Esto, minimizando los costos involucrados y el tiempo que tardan en llegar las vacunas a la población.

Por sus características, este problema pertenece a una familia de problemas ampliamente estudiada llamada *Problemas de localización de Instalaciones* (Facility Location Problem). En su forma más simple, se cuenta con n instalaciones existentes y se quiere construir una instalación nueva, minimizando el costo de transporte entre instalaciones [2, 4].

Existen numerosas variantes de problemas de localización de instalaciones. Dos en particular son relevantes para el caso en cuestión:

1. **Varias instalaciones** En esta variante se busca crear al menos dos instalaciones nuevas. [1]
2. **Varias funciones objetivo** En esta variante se tienen varias funciones objetivo a optimizar simultáneamente [5]
3. **Cubiertas** En esta variante cada instalación tiene un radio de cobertura, y se busca maximizar el número de territorio cubierto. [3]

3. Justificación

El modelado del problema presentado en la Sección responde a la necesidad de contar con un sustento teórico para la distribución de vacunas en los centros de salud del país. Si bien se pueden realizar estimaciones empíricas,

es más confiable contar con un modelo matemático que tome en cuenta las restricciones y requerimientos particulares.

Si bien, existe una gran cantidad de trabajo sobre problemas de localización de instalaciones, las características de el problema de la Sección requieren que se cree un modelo específico. Dado que hay varias funciones objetivo a optimizar, varios centros de servicio que tomar en cuenta y dado que se busca tener una cobertura integral de la población para prevenir epidemias, no existe un modelo específico para el problema.

4. Objetivos

- Crear un modelo preciso del problema planteado en la Sección . Este modelo caerá dentro de la categoría de problemas de localización de facilidades.
- Obtener algoritmos que, de ser factible, resuelvan de manera exacta el problema. En caso de no ser así, (por ejemplo, en el caso de que el problema sea NP -duro) dar algoritmos que den aproximaciones buenas a la solución óptima del problema (por ejemplo, algoritmos genéticos).
- Paralelizar en medida de lo posible los algoritmos que se desarrollen para el problema
- Desarrollar un sistema que permita modelar problemas con características similares

5. Hipótesis

- El problema se puede modelar como un programa de optimización no lineal y que será NP -duro
- Se pueden desarrollar algoritmos genéticos que den aproximaciones buenas a la solución óptima

- Dichos algoritmos se pueden paralelizar. En particular, se puede utilizar CUDA para ello

6. Elementos de valor

El análisis del problema de la Sección tiene un valor teórico y práctico. Por un lado, presenta una variante no estudiada de problemas de localización de instalaciones. Esto tiene un valor académico y puede obtenerse un artículo para someterse a una revista arbitrada.

Por otro lado, el resultado dará bases para desarrollar un sistema que permita tomar decisiones sobre la distribución de vacunas en centros de salud del país.

7. Alcance

Se contempla elaborar un modelo específico para el problema en cuestión. De ser posible, se pueden abordar problemas relacionados, como el modelado de la transmisión de enfermedades y la velocidad de contagio mediante caminatas aleatorias.

8. Beneficios

- Tener una base teórica para respaldar las decisiones sobre la distribución de vacunas en los centros de salud.
- Contar con un modelo adaptable a problemas con características similares
- Contar con algoritmos eficientes que encuentren soluciones óptimas o cercanas a la óptima
- Contar con implementaciones eficientes de dichos algoritmos

9. Índice tentativo

1. Introducción
2. Antecedentes
3. Planteamiento del problema
4. Desarrollo del modelo
5. complejidad del problema
6. Algoritmos de aproximación
7. Implementaciones
8. Conclusiones

10. Cronograma de actividades y de entregables

FASE/ Actividad	2020												Productos entregables	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Recaudación de datos históricos														Reporte con el estado de los datos
Análisis de modelos relacionados														Reporte de los modelos y técnicas relacionados
Diseño del modelo														Reporte con el modelo
Diseño de algoritmos de aproximación														Reporte con el análisis de los algoritmos
Implementación de los algoritmos														Implementación <u>paralelizada</u>
Escritura de un artículo														Artículo en revista

11. Propiedad intelectual de los entregables y productos generados en el proyecto

En caso de tener un convenio con la Secretaría de Salud, la propiedad intelectual estará ahí definida. En otro caso, la propiedad intelectual será de Infotec.

Bibliografía

- [1] Adel A Aly y Ann S Maruchek. “Generalized Weber problem with rectangular regions”. En: *Journal of the Operational Research Society* 33.11 (1982), págs. 983-989.
- [2] Jack Brimberg, Reuven Chen y Doron Chen. “Accelerating convergence in the Fermat–Weber location problem”. En: *Operations Research Letters* 22.4 (1998), págs. 151-157. ISSN: 0167-6377. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-6377\(98\)00016-9](https://doi.org/10.1016/S0167-6377(98)00016-9). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167637798000169>.
- [3] Richard Church y Charles R Velle. “The maximal covering location problem”. En: *Papers in regional science* 32.1 (1974), págs. 101-118.
- [4] Zvi Drezner. “Location of regional facilities”. En: *Naval research logistics quarterly* 33.3 (1986), págs. 523-529.
- [5] Horst W Hamacher y Stefan Nickel. “Multicriteria planar location problems”. En: *European Journal of Operational Research* 94.1 (1996), págs. 66-86.
- [6] José Ignacio Santos. “El programa nacional de vacunación: orgullo de México”. En: *Revista de la Facultad de Medicina* 45.003 (2002).