

APLICACIÓN EN EL ÁMBITO DE LA SALUD DE UN MODELO PARA EL TRATAMIENTO Y RESOLUCIÓN DE UN PROBLEMA DE PROGRAMACIÓN LINEAL CON RECURSOS ALEATORIOS

MARIELA NARES - MARIANO PRIETO - ANDRÉS REDCHUK
FCE, UNICEN. ARGENTINA - ENUSA Industrias Avanzadas. España - Facultad de Ingeniería.
Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Argentina
nares@econ.unicen.edu.ar – mariano.prieto@enusa.es – andres.redchuk@gmail.com

Fecha Recepción: Septiembre 2013 - Fecha Aceptación: Agosto 2014

RESUMEN

Este artículo presenta la aplicación, en el ámbito de la salud pública, del algoritmo desarrollado para la resolución de un problema de Programación Lineal en el que los recursos disponibles presentan aleatoriedad.

Se presenta una situación problemática específica vinculada a la distribución de elementos en los establecimientos sanitarios públicos del partido de Tandil, en la provincia de Buenos Aires. La resolución se realiza de forma acotada, demostrando la aplicación de un modelo específico para el tratamiento y resolución de un problema de Programación Lineal con recursos aleatorios.

PALABRAS CLAVE: Programación Lineal – Simulación – Aplicación – Salud.

ABSTRACT

This paper presents the application, in the field of public health, of the developed algorithm for solving a Linear Programming problem in which the available resources have randomness.

We present a specific problematic situation related to the distribution of elements in public health facilities of Tandil, in Buenos Aires's province. The resolution is performed bounded, demonstrating the application of a specific model for treatment and solving of a Linear Programming problem with random resources.

KEYWORDS: Linear Programming - Simulation - Application – Health.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene por objeto presentar la aplicación en el ámbito de la salud de un modelo específico para resolver un problema de Programación Lineal -PL- con recursos aleatorios (Nares y Trovato, 2012). En este caso en particular, se da tratamiento a un problema de distribución de un número cierto de elementos sanitarios a un conjunto finito de Centros de Atención Primaria de la Salud -CAPS-, ubicados en Tandil, provincia de Buenos Aires.

El partido de Tandil cuenta con la Dirección de Atención Primaria de la Salud -DAPS-, dependiente de la Secretaria de Salud del municipio. Desde allí se establecen los lineamientos básicos a implementar en materia de Atención Primaria en todo el partido de Tandil. Actualmente, los CAPS son considerados la puerta de entrada de los pacientes al sistema de salud público y, por consiguiente, representan el mayor punto de contacto entre la población y los sistemas de servicios sociales y de salud.

La totalidad de los centros y salas prestadores de servicios de salud a nivel municipal reciben insumos de características variadas periódicamente y cuentan con profesionales generalistas y especialistas, según la población a la que atienden y las características particulares de la misma.

¿Qué abarca Atención Primaria de la Salud -APS- en Tandil?

En la actualidad, son 22 los centros/salas dependientes de la DAPS, de los cuales seis están situados en la zona rural del partido, mientras que el resto se encuentran en la ciudad de Tandil.

Seguidamente, se presenta la ubicación y disposición de los centros en el territorio del partido. En la FIGURA 1 se puede observar la totalidad de los centros y salas de salud: los marcadores rojos muestran los ubicados en zonas rurales del partido, mientras que el conglomerado de puntos de color muestra los ubicados en el casco urbano.



FIGURA 1. Distribución de los centros y salas de salud en el partido de Tandil.

población ante síntomas frecuentes (fiebre, gastritis, presión alta, entre otros). Estos faltantes eran consecuencia de variados factores, a saber:

- recepción de pocos insumos en la DAPS por parte de programas nacionales y provinciales referidos a salud;
- gestión incorrecta de las entregas de determinados insumos (ausencia de criterios para establecer las cantidades a entregar a cada establecimiento);
- prioridad de entrega de insumos a los centros/salas ubicados en la ciudad respecto de los rurales.

2. OBJETIVO DE TRABAJO

Explicitar la aplicación del algoritmo desarrollado para la resolución de un problema de Programación Lineal con recursos aleatorios con la finalidad de optimizar la cantidad de recursos a entregar a cada centro/sala, en función de sus necesidades explícitas y de ciertos criterios relacionados con las características poblacionales de cada región.

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO APLICADA

En una primera instancia, se procedió a la recolección de datos secundarios, a través de la recopilación de referencias históricas. Esta actividad se realizó a partir de la búsqueda, en diarios locales, de artículos periodísticos en los que se expresaran las particularidades y la actual situación de APS en el partido de Tandil. A la par de esta actividad, se realizó la recolección de artículos científicos en los que se analizaron las estrategias de acción de la APS, las mejoras que se realizaron en el ámbito de la salud y las investigaciones que se conducían en este sentido.

Una vez comprendidas las implicancias de establecer un modelo de APS y analizada la situación a nivel local, se procedió a la obtención de datos primarios. Primeramente, se llevó adelante una entrevista a la directora del área en Tandil, quien ofreció un análisis detallado del objetivo y accionar de APS en la ciudad y en las áreas rurales y proveyó de datos numéricos actualizados sobre las acciones que se realizan habitualmente: entrega de insumos, prestaciones médicas y recepción de insumos por parte de programas provinciales y nacionales.

Otra de las herramientas que aportó una idea general de la situación de APS en el partido fue la observación directa, puesta en práctica a través de las visitas realizadas entre fines de 2010 y principios de 2011 a la totalidad de los centros y salas rurales.

En esta instancia, se realizaron observaciones directas del accionar de todos los actores involucrados y de la infraestructura de cada uno de los establecimientos. Asimismo, se estuvo en contacto con los profesionales que allí se desempeñan y los pacientes a los que se les proveen servicios de salud.

La tercera y última herramienta a disposición del investigador y utilizada fue la realización de encuestas. A través de las mismas, y de forma anónima, se relevaron percepciones y opiniones, tanto de los profesionales de la salud como de los pacientes que frecuentan las salas rurales.

A partir de los datos obtenidos por fuentes primarias y secundarias es que surge como propuesta de trabajo reorganizar las entregas de insumos a los centros/salas en función de un conjunto de criterios ciertos y determinados. En tal sentido es que se lleva adelante la aplicación del modelo elaborado para determinar las cantidades a entregar de cada insumo básico, por parte de la DAPS a cada uno de los establecimientos sanitarios bajo su órbita, logrando la optimización de las entregas al mínimo costo.

4. MODELIZACIÓN GENERAL

En esta instancia se explicitará el modelo desarrollado para dar tratamiento al problema y se expondrá su desarrollo para una situación acotada de la realidad. Con antelación a ello, se propone establecer un conjunto de criterios para realizar una correcta distribución de los insumos disponibles (Nares y Trovato, 2012).

4.1 Consideraciones previas

Identificación de los elementos del modelo

Para llevar adelante la construcción del modelo se considera trabajar bajo la metodología de transporte. A partir de la misma, lo primero es identificar las partes intervinientes del modelo a desarrollar. Así, los orígenes están dados por quienes disponen de insumos a distribuir: en este caso es un único origen representado por la DAPS y los destinos son aquellos que demandan ciertas cantidades conocidas de insumos: los 22 establecimientos de salud.

Determinación del objetivo del modelo

Por otro lado, y siendo uno de los elementos de mayor importancia, la modelización incluye la incorporación de un objetivo a maximizar o minimizar. El problema de distribución, usualmente, conlleva asociado el concepto de costo, el cual se busca minimizar. En oposición a ello, el modelo que se plantea desarrollar involucra la determinación del máximo beneficio a obtener por distribuir las unidades disponibles de insumos.

Éste estará dado por el valor esperado, concebido como el nivel de satisfacción que le reporta a cada paciente disponer de una unidad de recurso escaso.

Desconocimiento de las cantidades de insumos disponibles

Otra de las consideraciones a tener presente para modelizar la situación planteada, es que se desconocen las cantidades de cada insumo en posesión por APS, es decir, las disponibilidades no son valores ciertos. Así, debe considerarse trabajar con el concepto de disponibilidad como una variable aleatoria de tipo discreta, cuya variación se produce en tiempo discreto.

4.2 Desarrollo de la modelización

En esta instancia se plantea el modelo completo para lograr la distribución de los insumos en la totalidad de los establecimientos. Se explicita en dos partes: el modelo de programación lineal y la simulación de variables aleatorias con distintas distribuciones de probabilidad (Maroto Alvarez, Alcaraz y Ruiz García, 2002).

4.2.1 Modelo de programación lineal

A continuación se presenta el modelo teórico de PL construido para resolver el problema de transporte. Se explicitan las variables reales y las restricciones necesarias, además del funcional económico a maximizar.

Variables reales

Previo a la enumeración de las variables reales del modelo, se determinan cuáles son los subíndices que se van a utilizar.

- E_i – iésimo insumo de enfermería con i de 1 a 30
- M_i – iésimo medicamento con i de 1 a 64
- O_i – iésimo insumo de odontología con i de 1 a 39
- L_i – iésimo insumo de limpieza con i de 1 a 27
- C_j – jotaésimo CAPS con j de 1 a 22

Seguidamente se detallan las variables reales del modelo.

- x_{Eicj} – cantidad del insumo de enfermería i entregado al CAPS j
- x_{Micj} – cantidad del medicamento i entregado al CAPS j
- x_{Oicj} – cantidad del insumo de odontología i entregado al CAPS j
- x_{Licj} – cantidad del insumo de limpieza i entregado al CAPS j

Restricciones

A continuación, se explicita la totalidad de las restricciones del modelo.

En primera instancia se presentan aquellas restricciones que indican que las entregas realizadas a cada uno de los CAPS respecto de cada insumo deben ser menores o iguales a la disponibilidad (d) de cada insumo por parte de la DAPS.

$$\sum x_{EiCj} \leq d_{Ei} \quad \forall i y j$$

$$\sum x_{MiCj} \leq d_{Mi} \quad \forall i y j$$

$$\sum x_{OiCj} \leq d_{Oi} \quad \forall i y j$$

$$\sum x_{LiCj} \leq d_{Li} \quad \forall i y j$$

En esta etapa es dable aclarar que la disponibilidad de insumos -d- está dada por una variable aleatoria con una distribución de probabilidad asociada. Esto se debe a la complejidad de las actividades y el control de los stocks de insumos de forma constante o al menos periódica. En el apartado siguiente se analiza la forma de cuantificar a estas variables.

Seguidamente, se establecen las restricciones que indican que la cantidad de un determinado insumo entregada a cierto CAPS debe ser como máximo, lo requerido (r) por el CAPS de ese insumo.

$$x_{EiCj} \leq r_{Ei} \quad \forall i y j$$

$$x_{MiCj} \leq r_{Mi} \quad \forall i y j$$

$$x_{OiCj} \leq r_{Oi} \quad \forall i y j$$

$$x_{LiCj} \leq r_{Li} \quad \forall i y j$$

Finalmente, se establece que lo que se entrega de un insumo cierto CAPS debe ser igual o superior al requerimiento mínimo (z) planteado por el mismo o determinado por la DASP.

$$x_{EiCj} \geq z_{EiCj} * r_{Ei} \quad \forall i y j$$

$$x_{MiCj} \geq z_{MiCj} * r_{Mi} \quad \forall i y j$$

$$x_{OiCj} \geq z_{OiCj} * r_{Oi} \quad \forall i y j$$

$$x_{LiCj} \geq z_{LiCj} * r_{Ei} \quad \forall i y j$$

En estas últimas restricciones, el parámetro z está dado por la mínima proporción que se debe entregar de cada insumo, a cada uno de los centros.

Funcional económico

El funcional económico del modelo de programación lineal está dado por la maximización del beneficio social, que bajo nuestros supuestos, será de la sumatoria del valor esperado (VE) de cada individuo por disponer de una unidad de cada insumo.

$$Z (\max) = \sum VE_{EiCj} * X_{EiCj} + \sum VE_{MiCj} * X_{MiCj} + \sum VE_{OiCj} * X_{OiCj} + \sum VE_{LiCj} * X_{LiCj}$$

Surge el concepto de VE el cual implica, en una escala de 1 a 10, la cuantía de satisfacción por parte de un paciente por disponer de una unidad de determinado insumo. La determinación del VE es en función de ciertos criterios que conllevan la maximización de la satisfacción de las distintas poblaciones en materia de prestaciones de salud. Así,

- * los **centros rurales** tiene un mayor VE que los **urbanos**, ya que son pueblos en los que no se cuenta con farmacias o cualquier otro tipo de negocio que dispense medicamentos;
- * entre los **centros rurales**, el VE es mayor para aquellos más alejados de la ciudad cabecera del partido (Tandil) y los que contienen mayor proporción de población en grupos de riesgo;
- * entre los **centros urbanos**, el VE es mayor para aquellos ubicados en barrios más carenciados, que poseen mayor población a atender y/o se encuentran ubicados a mayor distancia del hospital municipal de la ciudad.

En relación con lo anterior, también se considera oportuno establecer ciertos criterios para otorgar valor al VE en función de las cuatro categorías de insumos.

Insumos de enfermería - El VE será mayor a medida que se incremente el número de atenciones de enfermería.

Medicamentos - El VE de un medicamento variará respecto de los distintos centros de acuerdo a la prevalencia de grupos de riesgo (hipertensos, diabéticos, celíacos, entre otros) y a la pirámide poblacional que registre el área de influencia: ante poblaciones jóvenes será necesario contar con insumos MAC y en aquellas más ancianas con medicación específica para enfermedades consecuentes de la vejez.

Insumos de odontología - El VE será mayor a medida que se incremente el número de atenciones odontológicas. Es dable aclarar que algunos CAPS no prestan este servicio.

Insumos de limpieza - El VE será igual para todos los CAPS, pudiendo variar para ciertos insumos que pueden ser requeridos, en mayor proporción, en centros periféricos o rurales.

Una vez concluida la construcción del modelo, se explicita la aplicación del mismo para un insumo determinado (agua destilada, código asignado: E1).

Variables reales

X_{E1C1} – cantidad de agua destilada A entregada al CAPS Cerro Leones

X_{E1C2} – cantidad de agua destilada A entregada al CAPS Barrio Gral. Belgrano

X_{E1C3} – cantidad de agua destilada A entregada al CAPS Barrio Metalúrgico

X_{E1C4} – cantidad de agua destilada A entregada al CAPS Barrio Palermo

X_{E1C5} – cantidad de agua destilada A entregada al Hospital de Niños

X_{E1C6} – cantidad de agua destilada A entregada al CAPS María Auxiliadora

X_{E1C7} – cantidad de agua destilada A entregada al CAPS Rodríguez Selvetti

X_{E1C8} – cantidad de agua destilada A entregada al CAPS La Movediza

X_{E1C9} – cantidad de agua destilada A entregada al CAPS Villa Italia Norte

X_{E1C10} – cantidad de agua destilada A entregada a la Sala 1° Auxilios Unión y Progreso

X_{E1C11} – cantidad de agua destilada A entregada al CAPS Barrio Maggiori

X_{E1C12} – cantidad de agua destilada A entregada al CAPS Lisandro de la Torre

X_{E1C13} – cantidad de agua destilada A entregada al CAPS Barrio Tunitas

X_{E1C14} – cantidad de agua destilada A entregada al CAPS Barrio Villa Aguirre

X_{E1C15} – cantidad de agua destilada A entregada al CAPS Barrio San Cayetano

X_{E1C16} – cantidad de agua destilada A entregada al CAPS Barrio San Juan

X_{E1C17} – cantidad de agua destilada A entregada a la Sala de Azucena

X_{E1C18} – cantidad de agua destilada A entregada a la Sala de Estación De la Canal

X_{E1C19} – cantidad de agua destilada A entregada al CAPS de Gardey

X_{E1C20} – cantidad de agua destilada A entregada a la Sala rural de Iraola

X_{E1C21} – cantidad de agua destilada A entregada a la Sala de Vela

X_{E1C22} – cantidad de agua destilada A entregada a la Sala de Estación Fulton

Así, se generan 22 variables reales por cada uno de los insumos que se entregan a los CAPS, teniendo el modelo un total de 3520 variables.

Restricciones

$$X_{E1C1} + X_{E1C2} + X_{E1C3} + X_{E1C4} + X_{E1C5} + X_{E1C6} + X_{E1C7} + X_{E1C8} + X_{E1C9} + X_{E1C10} + X_{E1C11} + X_{E1C12} + X_{E1C13} + X_{E1C14} + X_{E1C15} + X_{E1C16} + X_{E1C17} + X_{E1C18} + X_{E1C19} + X_{E1C20} + X_{E1C21} + X_{E1C22} \leq d_{E1}$$

$$X_{E1C1} \leq r_{E1}$$

$$X_{E1C2} \leq r_{E2}$$

$$X_{E1C3} \leq r_{E3}$$

$$X_{E1C4} \leq r_{E4}$$

$$X_{E1C5} \leq r_{E5}$$

$$X_{E1C6} \leq r_{E6}$$

$$X_{E1C7} \leq r_{E7}$$

$$X_{E1C8} \leq r_{E8}$$

$$X_{E1C9} \leq r_{E9}$$

$$X_{E1C10} \leq r_{E10}$$

$$X_{E1C11} \leq r_{E11}$$

$$X_{E1C12} \leq r_{E12}$$

$$X_{E1C13} \leq r_{E13}$$

$$X_{E1C14} \leq r_{E14}$$

$$X_{E1C15} \leq r_{E15}$$

$$X_{E1C16} \leq r_{E16}$$

$$X_{E1C17} \leq r_{E17}$$

$$X_{E1C18} \leq r_{E18}$$

$$X_{E1C19} \leq r_{E19}$$

$$X_{E1C20} \leq r_{E20}$$

$$X_{E1C21} \leq r_{E21}$$

$$X_{E1C22} \leq r_{E22}$$

$$X_{E1C1} \geq Z_{E1C1} * r_{E1}$$

$$X_{E1C2} \geq Z_{E1C2} * r_{E2}$$

$$X_{E1C3} \geq Z_{E1C3} * r_{E3}$$

$$X_{E1C4} \geq Z_{E1C4} * r_{E4}$$

$$X_{E1C5} \geq Z_{E1C5} * r_{E5}$$

$$\begin{aligned}
 X_{E1C6} &\geq Z_{E1C6} * r_{E1C6} \\
 X_{E1C7} &\geq Z_{E1C7} * r_{E1C7} \\
 X_{E1C8} &\geq Z_{E1C8} * r_{E1C8} \\
 X_{E1C9} &\geq Z_{E1C9} * r_{E1C9} \\
 X_{E1C10} &\geq Z_{E1C10} * r_{E1C10} \\
 X_{E1C11} &\geq Z_{E1C11} * r_{E1C11} \\
 X_{E1C12} &\geq Z_{E1C12} * r_{E1C12} \\
 X_{E1C13} &\geq Z_{E1C13} * r_{E1C13} \\
 X_{E1C14} &\geq Z_{E1C14} * r_{E1C14} \\
 X_{E1C15} &\geq Z_{E1C15} * r_{E1C15} \\
 X_{E1C16} &\geq Z_{E1C16} * r_{E1C16} \\
 X_{E1C17} &\geq Z_{E1C17} * r_{E1C17} \\
 X_{E1C18} &\geq Z_{E1C18} * r_{E1C18} \\
 X_{E1C19} &\leq Z_{E1C19} * r_{E1C19} \\
 X_{E1C20} &\leq Z_{E1C20} * r_{E1C20} \\
 X_{E1C21} &\leq Z_{E1C21} * r_{E1C21} \\
 X_{E1C22} &\leq Z_{E1C22} * r_{E1C22}
 \end{aligned}$$

Funcional económico

$$\begin{aligned}
 Z(\max) = &VE_{E1C1} * X_{E1C1} + VE_{E1C2} * X_{E1C2} + VE_{E1C3} * X_{E1C3} + VE_{E1C4} * X_{E1C4} + + \\
 &VE_{E1C5} * X_{E1C5} + VE_{E1C6} * X_{E1C6} + VE_{E1C7} * X_{E1C7} + VE_{E1C8} * X_{E1C8} + VE_{E1C9} * * X \\
 &E1C9 + VE_{E1C10} * X_{E1C10} + VE_{E1C11} * X_{E1C11} + VE_{E1C12} * X_{E1C12} + VE_{E1C13} * * X \\
 &E1C13 + VE_{E1C14} * X_{E1C14} + VE_{E1C15} * X_{E1C15} + VE_{E1C16} * X_{E1C16} + VE_{E1C17} * * X \\
 &E1C17 + VE_{E1C18} * X_{E1C18} + VE_{E1C19} * X_{E1C19} + VE_{E1C20} * X_{E1C20} + VE_{E1C21} * * X \\
 &E1C21 + VE_{E1C22} * X_{E1C22}
 \end{aligned}$$

4.2.2 Generación de simulaciones

A partir del modelo de PL antes desarrollado, existe un elemento cuyo valor es discreto y aleatorio dentro de una determinada distribución de probabilidad.

Esa situación se resuelve a partir de la simulación de su cuantía, a partir de una macro de Microsoft Excel, modificada para tal fin (Jensen, 2004; Pérez González, 2006; Mora y Espinoza, 2005).

La disponibilidad de datos históricos respecto de la demanda mensual de cada insumo por parte de cada establecimiento sanitario público permite determinar la distribución de probabilidad asociada a cada elemento y, en función de ello, sus parámetros asociados. La simulación del valor permite resolver la aleatoriedad de la cuantía disponible de cada uno de los 164 elementos entregados.

4.2.3 Algoritmo

El algoritmo que se presenta para la resolución de la situación planteada surge como consecuencia de la programación de los procesos independientes descriptos anteriormente. Seguidamente, se describe la secuencia de pasos que dan origen al algoritmo.

- a) Simular el valor de cada una de las variables involucradas en el modelo.
- b) Insertar el valor simulado en el campo correspondiente (como disponibilidad de un recurso) en el modelo de PL.
- c) Hallar la solución óptima del modelo (mediante SOLVER).
- d) Almacenar los resultados óptimos obtenidos y sus holguras.
- e) Repetir los pasos a, ..., d hasta convergencia.

5. APLICABILIDAD

El modelo planteado da resolución a un problema que se presenta en la vida real: la distribución de insumos a establecimientos sanitarios de carácter público. Asimismo, puede ser modificado (ampliado o reducido) para dar tratamiento a un modelo de características similares.

Por otro lado, el algoritmo resultante puede ser programado en cualquier lenguaje de bajo nivel, como por ejemplo Visual Basic o en el software R; siendo factible la introducción de modificaciones a la programación para lograr incluir mayor cantidad de datos u obtener más información como resultado de la aplicación del modelo.

6. CONCLUSIONES

Se ha presentado una aplicación acotada de la metodología planteada para la resolución de un modelo de Programación Lineal con particularidades definidas.

Ello conlleva la resolución de un problema particular, en el ámbito de la salud pública de un partido bonaerense.

Con el desarrollo del presente trabajo se afirma e impulsa la aplicabilidad de los métodos y herramientas existente para el apoyo a la toma de decisiones en ambientes con incertidumbre. Asimismo, se abre un espacio de trabajo para la programación en otros medios del algoritmo presentado y su ampliación para ser aplicado en otros ámbitos o a diferentes problemas que se presenten en la vida real.

7. REFERENCIAS

- JENSEN, P. (2004): "OPERATIONS RESEARCH MODELS AND METHODS". Internet.
<http://www.me.utexas.edu/jensen/ORMM/index.html>.
- MAROTO ALVAREZ, C.; ALCARAZ SORIA, J.; RUIZ GARCIA, R. (2002): "INVESTIGACIÓN OPERATIVA: MÉTODOS Y TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN". Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- MORA, W.; ESPINOZA, J. L. (2005): "PROGRAMACIÓN VISUAL BASIC (VBA) PARA EXCEL Y ANÁLISIS NUMÉRICO". Escuela de Matemática. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- NARES, M. E.; TROVATO, G. (2012): "TRATAMIENTO Y RESOLUCIÓN DE UN PROBLEMA DE PROGRAMACIÓN LINEAL CON RECURSOS ALEATORIOS". Revista de la Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa. N° 33. ISSN 1853-9777.
- PEREZ GONZÁLEZ, L. O. (2006): "MICROSOFT EXCEL: UNA HERRAMIENTA PARA LA INVESTIGACIÓN". Revista electrónica de las Ciencias Médicas en Cienfuegos. ISSN: 1727-897X.