



Estudios Socioterritoriales

ISSN: 1853-4392

revistaest@fch.unicen.edu.ar

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Argentina

Barbero, Dante Andrés

Optimización de tareas de logística en tiempos de pandemia. El caso de la asignación de voluntarios para asistir a personas que no pueden salir de sus hogares

Estudios Socioterritoriales, núm. 28, 065, 2020, julio-diciembre  
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires  
Argentina

DOI: <https://doi.org/10.37838/unicen/est.28-065>

- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en [portal.amelica.org](http://portal.amelica.org)



# Optimización de tareas de logística en tiempos de pandemia. El caso de la asignación de voluntarios para asistir a personas que no pueden salir de sus hogares

*Optimization of logistics tasks in pandemic times. The case of volunteers' assignment to assist people that can not get out of their households*

Dante Andrés Barbero

Posdoctorado (UNC). Doctor en Ciencias Informáticas. Investigador Adjunto del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Instituto de investigaciones y políticas del ambiente construido (IIPAC, CONICET-UNLP). Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de La Plata. Calle 47 N° 162, (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina, dantebarbero@yahoo.com.ar, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7820-2388>

Recibido: 25 de mayo 2020 || Aprobado: 4 de agosto 2020

## Resumen

En el marco de la actual cuarentena establecida con el objetivo de contener el avance de la pandemia de coronavirus (COVID-19), este trabajo analiza cómo asignar de forma óptima voluntarios a personas que requieren asistencia por verse imposibilitadas de salir de sus hogares. Para ello se presenta la estructura de un sistema de soporte para la toma de decisiones el cual, a partir de la geolocalización de los voluntarios y de las personas que demandan asistencia, puede sugerir cómo deben asignarse a los efectos de optimizar (minimizar en este caso) la suma de las distancias (o de los tiempos que demanda el recorrido) entre los domicilios de cada par voluntario-demandante. Poder identificar la asignación óptima permitirá reducir los desplazamientos necesarios o el tiempo de circulación requerido para realizar las tareas de asistencia y hará posible la ayuda a aquellas personas que lo necesitan.

Palabras clave: Problema de asignación; Asistencia; Sectores vulnerables; COVID-19; Argentina

## Abstract

Within the framework of the current quarantine established, in order to contain the advance of the coronavirus pandemic (COVID-19), this work analyze how to optimally assign volunteers to people who need assistance because they are unable to leave their homes. For this, the structure of a support system for decision-making is presented, which, based on the geolocation of volunteers and people who demand assistance, can suggest how they should be assigned in order to optimize (to minimize in this case) the sum of the distances (or the time it takes to travel) between the addresses of each pair of volunteer/assisted person. Being able to identify the optimal allocation will reduce the necessary displacements or the circulation time required to carry out assistance tasks and will make it possible to help those who need it.

Key words: Assignment problema; Assistance; Vulnerable sectors; COVID-19; Argentina

Cita sugerida: Barbero, D.A. (2020). Optimización de tareas de logística en tiempos de pandemia. El caso de la asignación de voluntarios para asistir a personas que no pueden salir de sus hogares. *Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía*, (28), 065. DOI: <https://doi.org/10.37838/unicen/est.28-065>



Este trabajo está bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

## INTRODUCCIÓN

El 19 de marzo de 2020 el Poder Ejecutivo Nacional, contando con el aval de los distintos gobiernos provinciales y de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, y asesorado por un comité de expertos en temas de salud, dictó mediante un decreto de necesidad y urgencia (DNU), la cuarentena obligatoria en todo el país como medida para reducir la propagación del COVID-19. La medida entró en vigor a las 00:00 del día siguiente. Los expertos en salud señalaron que el perfil de personas con mayor riesgo, en caso de contraer la enfermedad, incluía a mayores de 60 años con patologías crónicas sobre todo de tipo cardiovascular, o bien con factores de riesgo cardiovascular, como son hipertensos, diabéticos, fumadores, y también personas con cáncer o con problemas respiratorios crónicos. La cuarentena establecía el aislamiento social, preventivo y obligatorio hasta el 31/03/2020 pero con la posibilidad de extenderse, cosa que luego sucedió hasta el 13 de abril, 26 de abril y el 10 de mayo del mismo año.

Las medidas tomadas al comienzo de la cuarentena incluyeron, entre otras, a las siguientes (Presidencia de la Nación 2020):

- » Todos los argentinos deberán someterse al aislamiento social preventivo y obligatorio.
- » Se adelantará el feriado nacional por el Día del Veterano y de los Caídos en la Guerra de Malvinas del 2 de abril al 31 de marzo.
- » Los negocios de cercanía se mantendrán abiertos: se podrán hacer compras de alimentos, medicamentos y productos de primera necesidad.
- » El gobierno movilizará a la Prefectura Naval, la Gendarmería Nacional, la Policía Federal y las policías provinciales para controlar las calles del país para que nadie transite en ellas.
- » Quien no pueda justificar que hace en la calle será sometido a las sanciones que prevé el código penal.
- » Habrá actividades exceptuadas tales como: conducción de los gobiernos nacionales, provinciales y municipales; sanidad, fuerzas de seguridad y armadas; trabajadores en la producción de alimentos, fármacos; petróleo, refinerías, etc..
- » Se conformará un gabinete federal que atenderá la situación de la pandemia y las cuestiones ligadas a la economía.
- » Se dictarán normas para aliviar la situación de los monotributistas y del sector no formal.

## EL PROBLEMA

Una consecuencia del aislamiento social, preventivo y obligatorio fue que muchos habitantes que requerían de productos esenciales diarios para afrontar la pandemia tales como alimentos, fármacos y artículos de sanidad, entre otros, no podían acceder a ellos porque, por algún motivo, se veían impedidas de salir de sus hogares. Esto llevó a algunos municipios a inscribir a voluntarios y a personas que necesitaban asistencia (en adelante, demandantes) con el objetivo de asignarles a estas últimas un voluntario para las tareas de asistencia. Un ejemplo fue el caso de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), cuyo gobierno anunció el 22 de marzo del presente año, el programa

Mayores Cuidados con el objetivo de ayudar a aquellas personas que, por determinadas circunstancias, requirieran ayuda y/o colaboración especial ante la emergencia sanitaria provocada por el COVID-19 (Coronavirus). A la fecha, numerosos municipios a lo largo de todo el país, que suman millones de habitantes, se han sumado con iniciativas similares lanzando convocatorias para inscribir a voluntarios y a demandantes. Entre ellos se puede citar a La Plata, Rosario, San Miguel de Tucumán, Santa Fe, Corrientes, Paraná, Salta, Morón, Lanús, Avellaneda, Lomas de Zamora, Vicente López, La Matanza, Pergamino, entre muchos otros (ver apartado Otras fuentes). Incluso el municipio bonaerense de San Miguel del Monte, sin presentar casos positivos de coronavirus al momento de iniciar la convocatoria, también decidió sumarse a la iniciativa.

El programa de la CABA convocaba a aquellos interesados en participar a inscribirse en una página web y completar un formulario (Figura 1).

Figura 1. Formulario on-line para la inscripción de voluntarios

Nombre \*

Apellido \*

¿Cómo puedo ayudar? \*

podés elegir una o las dos

Fecha de nacimiento \*

DD-MM-AAAA

DNI \*

Género \*

Número de trámite del DNI \* @

ej: 0000012345

Celular \*

Email \*

Zona \*

Seleccione

¿Sos profesional? \*

¿Sos estudiante?

¿Trabajas?

¿Vivís en edificio?

En caso de poder brindar colaboración logística, declaro no haber viajado al exterior, ni haber tenido contacto con gente que pueda haber sido afectada por el COVID-19 (Coronavirus), ni haber presentado ningún síntoma asociado a la enfermedad en los últimos 14 días (fiebre, tos, mucosidad, dificultad para respirar), ni ser mayor de 60 años, ni estar embarazada, ni formar parte del grupo de riesgo definido por el Ministerio de Salud de la Nación y según lo indica la Decisión Administrativa Nacional N° 390/2020.

Acepto las [bases y condiciones](#)

Enviar

\* Los datos son obligatorios.  
Los datos optimizados en el presente marcados con \* (asteriscos) son obligatorios y necesarios. No serán válidos los formularios que se encuentren incompletos o que contengan datos falsos y/o inexactos. El GCABA tratará los datos personales consignados en este formulario de acuerdo a la Ley CABA N° 1843. El firmante podrá solicitar que sus datos personales sean suprimidos, modificados o actualizados. El autor/ante podrá recibir por mensajería, correo electrónico, SMS, canales digitales y cualquier herramienta que el GCABA considere necesaria, información sobre el programa de voluntariado, noticias de interés y demás novedades relativas al GCABA y en caso que quisiera dejar de recibirlos podrá darse de baja cuando los reciba. El organismo de control de la Ley N° 1843 es la Defensoría del Pueblo de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Fuente: Ciudad Autónoma de Buenos Aires (2020)

A los voluntarios se les realizaba un proceso de validación del DNI y antecedentes penales, y luego recibían una capacitación sobre sus tareas y funciones, además de un manual y el protocolo de asistencia en el territorio. Por otra parte, las personas que requerían asistencia debían hacerlo telefónicamente llamando al 147 donde debían dejar sus datos personales (nombre y apellido, DNI, dirección, teléfono, entre otros) e indicar qué tipo de ayuda necesitaban (contención telefónica o logística para compras de comida, medicamentos, etc.) (Infobae, 2020).

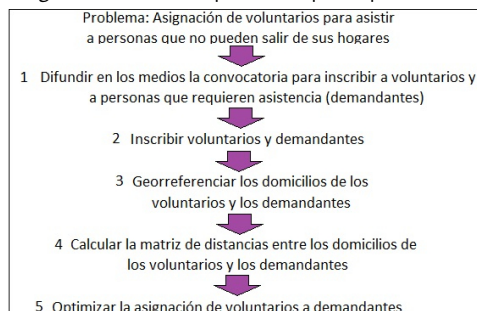
La opción ¿Cómo puedo ayudar? tenía dos opciones: contención telefónica o colaboración logística. Esta última incluía, por ejemplo, compras en supermercados y farmacias para satisfacer las necesidades básicas diarias de personas que se vieran imposibilitadas de hacerlo. La alternativa Zona tenía tres opciones posibles: CABA (Ciudad Autónoma de Buenos Aires), GBA (Gran Buenos Aires) y Resto del país. En caso de que se seleccionara CABA aparecía otro campo a completar que requería la información del barrio al que pertenecía el voluntario. En el caso de que el voluntario fuese profesional se le preguntaba cuál era su profesión; y si era estudiante cuál era la carrera que estaba estudiando. En el caso de trabajadores se consultaba acerca de si trabajaba en relación de dependencia y en caso afirmativo, el nombre de la empresa para la cual trabajaba.

A partir de los datos de los voluntarios y de las personas que requieren asistencia (demandantes de asistencia) es posible asignar voluntarios a cada uno de los demandantes de forma óptima minimizando la suma de las distancias (o de los tiempos) requeridos para llegar del domicilio de cada voluntario al del demandante asignado. Este problema se conoce con el nombre de problema de asignación y puede ser resuelto mediante métodos de programación lineal como el método Simplex (Dantzig, 1963) o el método del punto interior (Karmarkar, 1984).

Asimismo, es posible optimizar también el itinerario que debe realizar el voluntario para satisfacer los requerimientos del demandante. Este último problema se lo conoce con el nombre del problema del viajante (o TSP, *traveling salesman problem*) asimétrico. Este problema es de tipo NP-duro y por lo tanto no puede ser resuelto en tiempo polinomial. La característica de asimetría hace referencia a que el costo (tiempo o distancia) de ir de un lugar  $i$  a otro lugar  $j$  puede diferir del de  $j$  hacia  $i$  (esto ocurre si se considera, por ejemplo, el sentido de circulación de las calles). Existen algoritmos para resolver este problema de forma óptima (Papadimitriou y Steiglitz, 1998, Tucker 1960, Dantzig 1963) o soluciones heurísticas (por ejemplo, algoritmos genéticos, colonia de hormigas, entre otras) que, en ocasiones pueden no encontrar el óptimo, pero sí soluciones próximas al óptimo en un tiempo razonable cuando el número de variables es elevado.

En este trabajo se propone una solución al primer problema, es decir, al de asignación de voluntarios a personas que demandan asistencia. Para ello es necesario realizar previamente las tareas que se observan en la Figura 2.

Figura 2. Diagrama de tareas para construir un sistema de soporte para la toma de decisiones para asignar voluntarios a personas que requieren asistencia



Fuente: elaboración personal

Tal como se puede observar en la Figura 2, en primer lugar se debe difundir la convocatoria de voluntarios y demandantes. Luego, los interesados deben inscribirse. Esto se lleva a cabo generalmente de manera *on-line*, habilitando un sitio web *ad-hoc*. En la inscripción del voluntario deben constar datos como su dirección y el tipo de asistencia que puede brindar (y resulta útil saber el modo de transporte que piensa usar en caso de que se le asigne un demandante, pues el tiempo y la distancia se calculan en función del modo de transporte elegido). En el caso de los demandantes, deben informar su domicilio y qué tipo de asistencia necesitan pues esta última puede ser logística o de contención telefónica. Luego, se deben georreferenciar las direcciones de los voluntarios y los demandantes. Esto puede llevarse a cabo usando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Posteriormente, se debe calcular la matriz de distancias (o tiempo en llegar) desde el domicilio de cada posible voluntario al de cada posible demandante

desde el sitio web de Google Maps (Google, 2020a) o mediante aplicaciones (web o de escritorio) *ad-hoc* que invoquen a las librerías de funciones de *Google Maps Platform* (Google 2020b). Una vez que se cuenta con la matriz de distancias (o tiempos) entre los domicilios de los asistentes y los demandantes se optimiza la asignación mediante la metodología que se expone a continuación.

## METODOLOGÍA

Dado un número  $M$  de voluntarios y un número  $N$  de personas que requieren la asistencia para realizar tareas de logística (compra de comidas, medicamentos, y otras operaciones), el problema de cómo asignar de manera óptima a los voluntarios con los demandantes tiene la forma de un problema de asignación, tal como se lo conoce en la rama de las matemáticas conocida como investigación de operaciones o investigación operativa. El modelo matemático del problema de asignación sirve para asignar recursos a tareas.

Para resolver un problema de asignación se requiere conocer los costos (expresados en distancias o tiempo) para llegar desde el domicilio de cada voluntario al de cada persona que requiere asistencia, y que se expresan en forma de matriz (Figura 3). Una vez elegido el criterio, tiempo o distancia, todos los  $c_{ij}$  de la matriz  $C$  significarán, el tiempo en ir del domicilio  $i$  al del demandante  $j$ , o la distancia para ir desde el domicilio del voluntario  $i$  al del demandante  $j$ . Es decir, no se pueden mezclar los criterios en los  $c_{ij}$ ; todos deben significar lo mismo. Un aspecto importante cuando se calculan los valores de la matriz de costos  $C$  es considerar el modo de transporte a utilizar por el voluntario, pues de ello dependerán los caminos a seguir y consecuentemente la distancia y el tiempo requerido. Así, una persona a pie podrá ir en contramano, en tanto que quien use otro modo de transporte deberá hacerlo respetando el sentido de circulación de las calles. Suele ser mejor utilizar el tiempo en lugar de la distancia porque en él se verán reflejadas algunas cuestiones inherentes a las ciudades como el tipo y estado del camino, la presencia de barreras urbanas, entre otros, que en ocasiones suelen producir que dos lugares próximos en distancia requieran de un tiempo mayor al que supondría bajo condiciones normales.

La matriz  $C$  (Figura 3) sintetiza los costos  $c_{ij}$ , en función del criterio elegido, de ir desde el domicilio de cada voluntario  $i$  al de cada demandante  $j$ .

Figura 3. La matriz  $C$  expresa los costos  $c_{ij}$  expresados en tiempo o distancia

		DEMANDANTES			
		1	2	...	N
VOLUNTARIOS	1	$c_{11}$	$c_{12}$	...	$c_{1N}$
	2	$c_{21}$	$c_{22}$	...	$c_{2N}$
	...	...	...	...	...
	M	$c_{M1}$	$c_{M2}$	...	$c_{MN}$

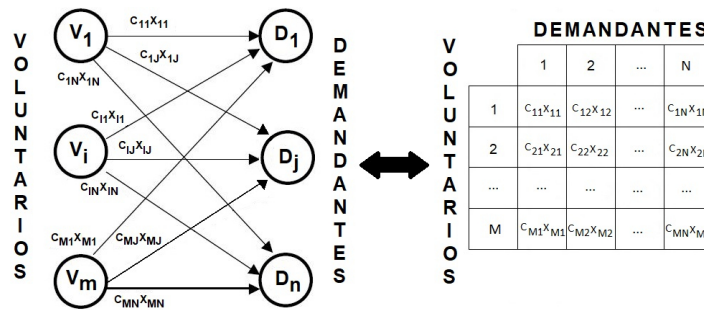
Fuente: elaboración personal

El problema puede pensarse como el diagrama de la Figura 4 (izquierda) y su matriz correspondiente (derecha) donde cada  $c_{ij}$  tiene asociado un valor  $x_{ij}$  tal que cada  $x_{ij}=1$  si el voluntario  $i$  asiste al demandante  $j$  o  $0$  en caso contrario. Lo anterior resulta en que

si  $x_{ij}=1$  el valor del producto entre  $c_{ij} \cdot x_{ij}$  será igual a  $c_{ij}$  y si  $x_{ij}=0$  el producto resultará ser igual a 0. El problema se reduce a encontrar aquellos  $x_{ij}=1$  tales que minimice la suma de todas las distancias entre cada voluntario y el/los demandante/s asignado/s, es decir, encontrar los  $x_{ij}$  que minimicen la función objetivo. Esta función tendrá la forma de la suma de cada uno de los elementos ( $c_{ij} \cdot x_{ij}$ ) de la matriz de la Figura 4 (derecha). Por lo tanto, cada  $x_{ij}$  indicará si el voluntario  $i$  asiste al demandante  $j$  y de ser así el término  $c_{ij} \cdot x_{ij}$  sumará el valor  $c_{ij}$  a la función objetivo.

Por lo tanto, la formulación general del problema de asignación tiene la forma que se muestra en la Figura 5.

Figura 4. Diagrama de costos y asignaciones posibles (izquierda) y su matriz equivalente (derecha)



Fuente: elaboración personal

Figura 5. Formulación matemática para el problema de asignación

**Formulación del problema**

Minimizar  $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}x_{ij}$

**sujepto a las siguientes restricciones:**

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, m \quad m = \text{Número de voluntarios}$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, \quad j = 1, \dots, n \quad n = \text{Número de demandantes}$$

$x_{ij} \geq 0, x_{ij} \in \mathbb{Z}; \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n$

**donde**  
 $x_{ij} = 1$  significará que el voluntario  $i$  asistirá al demandante  $j$ . Si no es así, entonces  $x_{ij} = 0$ .

$C_{ij}$  es el costo de que el voluntario  $i$  asista al demandante  $j$ . Este costo puede entenderse como la distancia entre los domicilios del voluntario  $i$  y el demandante  $j$  o también podría considerarse el tiempo que tarda el voluntario  $i$  en llegar, desde su domicilio, al domicilio del demandante  $j$ .

Fuente: elaboración personal

Suponiendo que se desea asignar a cada voluntario  $i$  un demandante  $j$ , y que existen un número  $M$  de voluntarios y  $N$  de demandantes, y que existe una matriz  $C$ , tal que cada  $c_{ij}$  indica el costo de que el voluntario  $i$  asista al demandante  $j$ . Entonces, la primera restricción significa que cada voluntario puede asistir a un demandante, y la segunda restricción, que cada demandante será asistido por un solo voluntario. La función objetivo a minimizar consistirá, por lo tanto, en sumar los costos  $c_{ij}$  para cada  $x_{ij}$  cuyo valor sea 1 ya que  $c_{ij} \cdot x_{ij} = c_{ij}$  si y solo si ocurre que  $x_{ij}=1$  (cuando el voluntario  $i$  asiste al demandante  $j$ ).

Una vez formulado el modelo, y dado que el mismo se trata de un problema de programación lineal, es posible aplicar el Método Simplex propuesto por George Dantzig

para encontrar la solución óptima (Hillier y Lieberman, 2010; Bazaraa, Jarvis y Sherali, 2010). Por lo antes expuesto, el problema de asignación puede ser aplicable al problema de la gestión logística donde  $c_{ij}$  represente el costo (en este caso sería la distancia o el tiempo) para llegar del domicilio del voluntario  $i$  al del demandante  $j$ ,  $x_{ij}=1$  si el voluntario  $i$  asistirá al demandante  $j$  o 0 en caso contrario.

No obstante, en la realidad, pueden ocurrir tres casos diferentes:

- » Caso A: El número de voluntarios es mayor al número de demandantes.
- » Caso B: El número de voluntarios es igual al número de demandantes.
- » Caso C: El número de voluntarios es menor al número de demandantes.

El caso B se corresponde con el modelo original planteado anteriormente, el resto de los casos debe adaptarse en función del número de voluntarios y del número de demandantes. Se muestran a continuación ejemplos de cómo resolver cada caso usando el método Simplex y luego se deducirá la formulación del problema para cualquier número de voluntarios (M) y demandantes (N).

## RESULTADOS

Se presentan a continuación ejemplos de los tres casos señalados en el inciso anterior y dos corolarios que pueden deducirse de ellos para generalizar el problema para cualquier número M de voluntarios y N de demandantes.

### CASO A: EL NÚMERO DE VOLUNTARIOS SUPERA AL NÚMERO DE DEMANDANTES

Suponiendo que M=6 voluntarios y N=4 demandantes y que la matriz de costos C es la de la Figura 6:

Figura 6. Matriz de costos

$$C = \begin{pmatrix} 6 & 4 & 3 & 4 \\ 4 & 2 & 1 & 6 \\ 5 & 3 & 2 & 7 \\ 8 & 6 & 5 & 10 \\ 6 & 4 & 3 & 8 \\ 3 & 1 & 4 & 5 \end{pmatrix}$$

Fuente: elaboración personal

El problema consistirá en:

$$\text{Minimizar } c_{11}x_{11} + c_{12}x_{12} + c_{13}x_{13} + c_{14}x_{14} + c_{21}x_{21} + c_{22}x_{22} + c_{23}x_{23} + c_{24}x_{24} + c_{31}x_{31} + c_{32}x_{32} + c_{33}x_{33} + c_{34}x_{34} + c_{41}x_{41} + c_{42}x_{42} + c_{43}x_{43} + c_{44}x_{44} + c_{51}x_{51} + c_{52}x_{52} + c_{53}x_{53} + c_{54}x_{54} + c_{61}x_{61} + c_{62}x_{62} + c_{63}x_{63} + c_{64}x_{64}$$

En el ejemplo a considerar, la fórmula anterior se convierte en:

$$\text{Minimizar } 6x_{11} + 4x_{12} + 3x_{13} + 4x_{14} + 4x_{21} + 2x_{22} + 1x_{23} + 6x_{24} + 5x_{31} + 3x_{32} + 2x_{33} + 7x_{34} + 8x_{41} + 6x_{42} + 5x_{43} + 10x_{44} + 6x_{51} + 4x_{52} + 3x_{53} + 8x_{54} + 3x_{61} + 1x_{62} + 4x_{63} + 5x_{64}$$

sujeto a las siguientes restricciones:

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} \leq 1$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} \leq 1$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} \leq 1 \text{ Un voluntario puede atender a lo sumo un demandante}$$

$$x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} \leq 1$$

$$x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} \leq 1$$

$$x_{61} + x_{62} + x_{63} + x_{64} \leq 1$$

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} = 1$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} = 1 \text{ A cada demandante se le asigna un único voluntario}$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} + x_{63} = 1$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} + x_{64} = 1$$

$$x_{ij} = 0 \text{ o } x_{ij} = 1$$

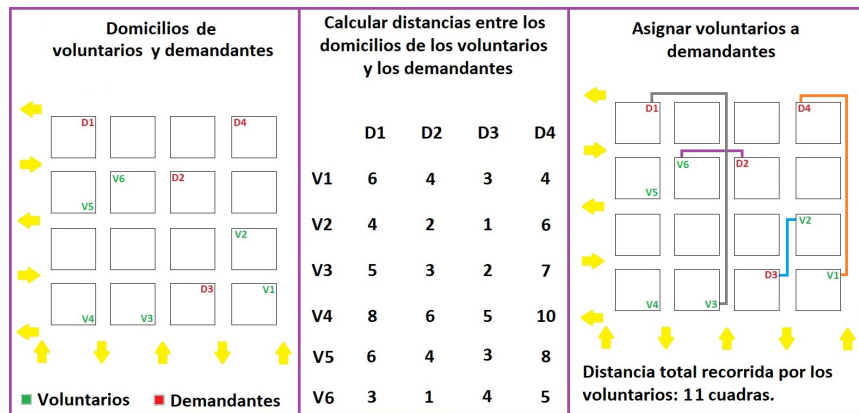
$$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6.$$

$$j = 1, 2, 3, 4.$$

Solución óptima:  $x_{14}=1, x_{23}=1, x_{31}=1, x_{62}=1$  y el resto de las variables  $x_{ij} = 0$ .

Valor de la función objetivo: 11

Figura 7. Asignación óptima para 6 voluntarios, 4 demandantes y matriz de costos C



Fuente: elaboración personal

El resultado indica que:

- El voluntario 1 asiste al demandante 4
- El voluntario 2 asiste al demandante 3
- El voluntario 3 asiste al demandante 1
- El voluntario 6 asiste al demandante 2
- Los voluntarios 4 y 5 no asisten a nadie

La suma de los tiempos que demorarán (o la distancia que deberán recorrer) todos los voluntarios para asistir a cada uno de los demandantes será de 11 unidades (de tiempo o distancia) (Figura 7).

CASO B: EL NÚMERO DE VOLUNTARIOS ES IGUAL AL NÚMERO DE DEMANDANTES

Como ejemplo, suponiendo que  $M=4$  voluntarios y  $N=4$  demandantes y que la matriz de costos  $C$  es la de la Figura 8:

Figura 8. Matriz de costos

$$C = \begin{pmatrix} 6 & 4 & 3 & 4 \\ 4 & 2 & 1 & 6 \\ 5 & 3 & 2 & 7 \\ 8 & 6 & 5 & 10 \end{pmatrix}$$

Fuente: elaboración personal

El problema consistirá en:

$$\text{Minimizar } C_{11}x_{11} + C_{12}x_{12} + C_{13}x_{13} + C_{14}x_{14} + C_{21}x_{21} + C_{22}x_{22} + C_{23}x_{23} + C_{24}x_{24} + C_{31}x_{31} + C_{32}x_{32} + C_{33}x_{33} + C_{34}x_{34} + C_{41}x_{41} + C_{42}x_{42} + C_{43}x_{43} + C_{44}x_{44}$$

sujeto a las siguientes restricciones:

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} = 1$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} = 1 \text{ Un voluntario es asignado a solo un demandante}$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} = 1$$

$$x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} = 1$$

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} = 1$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} = 1 \text{ Cada demandante tiene asignado un único voluntario}$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} = 1$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} = 1$$

$$x_{ij} = 0 \text{ o } x_{ij} = 1$$

$$i, j = 1, 2, 3, 4.$$

**Solución óptima:**  $x_{14}=1$ ,  $x_{23}=1$ ,  $x_{32}=1$ ,  $x_{41}=1$  y el resto de las variables  $x_i = 0$ .

**Valor de la función objetivo:** 16

El resultado indica que:

El voluntario 1 asiste al demandante 4

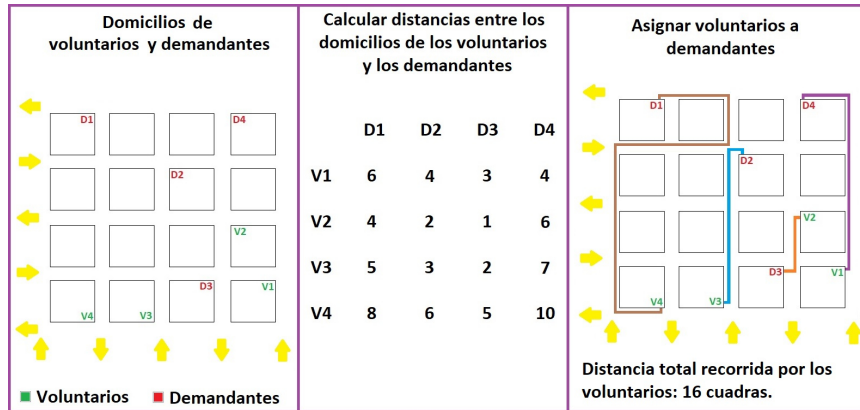
El voluntario 2 asiste al demandante 3

El voluntario 3 asiste al demandante 2

El voluntario 4 asiste al demandante 1

La suma de los tiempos que demorarán (o la distancia que deberán recorrer) todos los voluntarios para asistir a cada uno de los demandantes será de 16 unidades (de tiempo o distancia) (Figura 9).

Figura 9. Asignación óptima para 4 voluntarios, 4 demandantes y matriz de costos C



Fuente: elaboración personal

CASO C: EL NÚMERO DE VOLUNTARIOS ES MENOR QUE EL NÚMERO DE DEMANDANTES

Suponiendo que M=4 voluntarios y N=6 demandantes y que C es la matriz de costos de la Figura 10; y que  $cdmv_i \leq 2$  para  $1 \leq i \leq 4$ . Es decir, cada voluntario puede atender a lo sumo a dos demandantes.

Figura 10. Matriz de costos

$$C = \begin{pmatrix} 6 & 4 & 3 & 4 & 7 & 4 \\ 4 & 2 & 1 & 6 & 5 & 2 \\ 5 & 3 & 2 & 7 & 6 & 3 \\ 8 & 6 & 5 & 10 & 5 & 6 \end{pmatrix}$$

Fuente: elaboración personal

El problema consistirá en:

$$\text{Minimizar } c_{11}x_{11} + c_{12}x_{12} + c_{13}x_{13} + c_{14}x_{14} + c_{15}x_{15} + c_{16}x_{16} + c_{21}x_{21} + c_{22}x_{22} + c_{23}x_{23} + c_{24}x_{24} + c_{25}x_{25} + c_{26}x_{26} + c_{31}x_{31} + c_{32}x_{32} + c_{33}x_{33} + c_{34}x_{34} + c_{35}x_{35} + c_{36}x_{36} + c_{41}x_{41} + c_{42}x_{42} + c_{43}x_{43} + c_{44}x_{44} + c_{45}x_{45} + c_{46}x_{46}$$

o lo que es lo mismo:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^6 c_{ij} x_{ij}$$

sujeto a las siguientes restricciones:

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} \leq cdv1$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} \leq cdv2 \text{ El voluntario } i \text{ no puede asistir a más de } cdv \text{ i demandantes}$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} \leq cdv3$$

$$x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} + x_{46} \leq cdv4$$

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} = 1$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} = 1$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} = 1$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} = 1$$

$$x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} = 1$$

$$x_{16} + x_{26} + x_{36} + x_{46} = 1$$

Cada demandante debe tener asignado un voluntario

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^6 x_{ij} = 6$$

Los voluntarios deben satisfacer tantas solicitudes como demandantes existan (N=6 en este ejemplo)

cdvi = 2, para 1 ≤ i ≤ 4, cdvi significa la cantidad máxima de domicilios que puede atender el voluntario i.

Solución óptima: X14=1, x23=1, x26=1, x31=1, x32=1, x45=1 y el resto de las variables x i = 0.

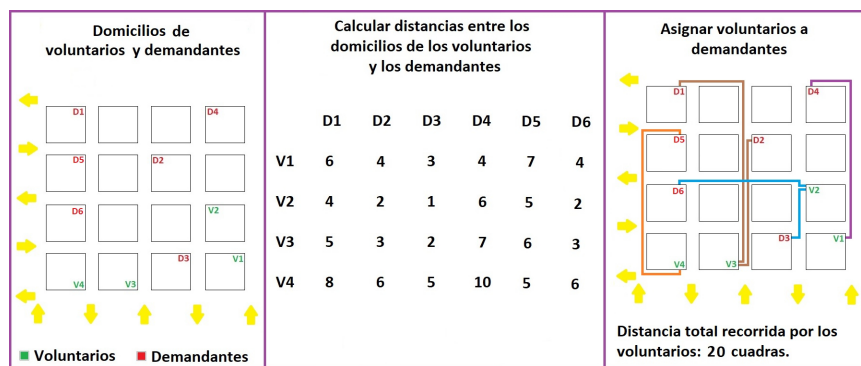
Valor de la función objetivo: 20

El resultado indica que:

- El voluntario 1 asistirá al demandante 4
- El voluntario 2 asistirá a los demandantes 3 y 6
- El voluntario 3 asistirá a los demandantes 1 y 2
- El voluntario 4 asistirá al demandante 5

La suma de los tiempos que demorarán (o la distancia que deberán recorrer) los voluntarios para asistir a cada uno de los demandantes será de 20 unidades (de tiempo o distancia) (Figura 11).

Figura 11. Asignación óptima para 4 voluntarios, 6 demandantes y matriz de costos C



Fuente: elaboración personal

Se puede deducir, como corolario de lo anterior, que cuando el número de voluntarios  $M$  es mayor al de demandantes  $N$ , el sistema de ecuaciones que resultan de la primera sumatoria de la formulación general del modelo (Figura 5) debe modificarse como lo indica el corolario 1 (Figuras 12 y 13).

Por otra parte, cuando el número de voluntarios  $M$  es menor que el número de demandantes  $N$ , cada voluntario podrá asistir a un número ( $cdv_i$ ) de demandantes, en ocasiones, a más de uno. Por lo tanto, en este último caso la formulación general del modelo debe modificarse como lo indica el corolario 2 (Figuras 14 y 15).

**Corolario 1:** (Cuando el número de voluntarios  $M$  es *mayor* al número de demandantes  $N$ ).

Las ecuaciones que resultan de la primera sumatoria en la formulación original deben sustituirse por la de la Figura 12:

Figura 12. Restricciones adaptadas cuando  $M > N$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq 1, \quad i = 1, \dots, m \quad m = \text{Número de voluntarios} \quad (\text{sustituye a la de la formulación general})$$

Fuente: elaboración personal

El resto de las otras restricciones se mantienen sin cambios (Figura 13):

Figura 13. Restricciones sin cambios cuando  $M > N$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, \quad j = 1, \dots, n \quad n = \text{Número de demandantes}$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad x_{ij} \in \mathbb{Z}; \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n$$

Fuente: elaboración personal

**Corolario 2:** (Cuando el número de voluntarios  $M$  es menor al número de demandantes  $N$ ).

La primera sumatoria debe reemplazarse por las siguientes (Figura 14):

Figura 14. Restricciones adaptadas cuando  $M < N$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq cdv_i, \quad i = 1, \dots, m$$

$m = \text{Número de voluntarios}$   
 $cdv_i = \text{cantidad máxima de personas que puede asistir el voluntario}_i$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} = n \quad n = \text{Número de demandantes}$$

Fuente: elaboración personal

Obsérvese en la Figura 14, que se agrega una segunda sumatoria. Esta refleja el hecho de que el número de asignaciones debe ser igual al número de personas que demandan asistencia.

El resto de las restricciones se mantienen sin cambios (Figura 15):

Figura 15. Restricciones sin cambios cuando  $M < N$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, j = 1, \dots, n \quad n = \text{Número de demandantes}$$

$$x_{ij} \geq 0, x_{ij} \in \mathbb{Z}; \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n$$

Fuente: elaboración personal

## CONCLUSIONES

Existe una solución óptima al problema de asignar voluntarios a personas que demandan asistencia. Cuando el número de voluntarios sea diferente al de demandantes entonces la formulación general del problema deberá adaptarse para satisfacer tales requisitos y en este trabajo se mostró cómo hacerlo.

En cuanto a la elección del criterio a optimizar, distancia o tiempo, es preciso observar que la distancia lineal no puede adoptarse como unidad de medida pues cada voluntario se desplazará por la calle si utiliza algún medio de transporte automotor o bicicleta, o irá por la acera en caso de ir a pie, con lo cual su recorrido será, en general, no lineal. En caso de ir en bicicleta o en algún tipo de transporte automotor se deberá tener en consideración los sentidos de las calles para calcular los datos de la matriz  $C$ . Se sugiere utilizar el tiempo (y no la distancia) como unidad de medida pues, en ocasiones, factores como la accesibilidad, la presencia de barreras urbanas, o el estado y tipo de camino podría hacer que un lugar próximo demande para recorrerlo un tiempo considerable. Asimismo, resulta útil saber el modo de transporte que piensa usar cada voluntario en caso de que se le asigne un demandante, pues el tiempo y la distancia se calculan en función del modo de transporte elegido. Por lo tanto, en la etapa de inscripción de voluntarios debería incluirse una pregunta acerca del modo de transporte a utilizar por el voluntario.

En cuanto a los beneficios que supone poder asignar de manera óptima voluntarios a demandantes que vivan en las cercanías de sus domicilios, se observa que:

- » El tiempo o la distancia que recorren todos los voluntarios siempre será menor o igual que el que requeriría asistir a cada demandante si no se hubiese realizado ninguna planificación o si se hubiesen asignado al azar.
- » Los voluntarios recorrerán distancias mínimas (o demorarán el tiempo mínimo) desde sus hogares hasta el hogar de los demandantes.
- » Las personas que requieran asistencia podrán quedarse en sus hogares y delegar en los voluntarios la asistencia requerida.
- » Al demorar menos tiempo en llegar al domicilio del demandante o estar a menor distancia permitirá que el voluntario pueda asistir a quien lo necesite en menor tiempo.
- » El método de asignación propuesto puede ser aplicado a cualquier municipio, sin importar su localización geográfica, ni su número de habitantes, ni el número de voluntarios y demandantes inscritos.

Por todo lo anterior, implementar un sistema de soporte para la toma de decisiones que asesore de forma óptima la asignación de voluntarios a demandantes, será una herramienta de gran ayuda para colaborar con quienes más lo necesitan.

## REFERENCIAS

- Bazaraa, M.S.; Jarvis, J.J. y Sherali, H.D. (2010). *Linear programming and network flows* (4<sup>o</sup> edición). John Wiley & Sons.
- Dantzig, G.B. (1963). *Linear programming and extensions*. Princeton, New Jersey, U.S.A.: Princeton University Press.
- Hillier, F.S. y Lieberman, G.J. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones* (novena edición). México D. F., México: McGraw-Hill.
- Karmarkar, N. (1984). A new-polynomial-time algorithm for linear programming. *Combinatorica*, 4(4), 373-395.
- Papadimitriou, C.H. y Steiglitz, K. (1998). *Combinatorial optimization: algorithms and complexity*. Mineola, NY, U.S.A.: Dover.
- Tucker, A.W. (1960). *On Directed Graphs and Integer Programs*. IBM Mathematical research Project (Princeton University). Princeton, U.S.A..

## OTRAS FUENTES

- AUNO. Agencia universitaria de noticias (26/3/2020). *La UNLZ lanza un programa de voluntariado para asistir a vecinxs*. Recuperado de <https://auno.org.ar/la-unlz-lanza-programa-de-voluntariado-para-asistir-a-vecinxs/> (consulta 2 de mayo de 2020).
- Ciudad Autónoma de Buenos Aires (2020). Recuperado de <https://www.buenosaires.gob.ar/coronavirus/mayores-cuidados> (consulta 30 de abril de 2020).
- El 1 digital (21/4/2020). *A través de un decreto, La Matanza creó una red de voluntariado para asistir a grupos vulnerables ante la pandemia*. Recuperado de <http://www.el1digital.com.ar/articulo/view/90757/a-traves-de-un-decreto-la-matanza-creo-una-red-de-voluntariado-para-asistir-a-grupos-vulnerables-ante-la-pandemia> (consulta 2 de mayo de 2020).
- El protagonista web (7/4/2020). *La municipalidad sumará voluntarios a las actividades de asistencia y contención por la pandemia*. Recuperado de <https://www.santafeciudad.gov.ar/la-municipalidad-sumara-voluntarios-a-las-actividades-de-asistencia-y-contencion-por-la-pandemia/> (consulta 30 de abril de 2020).
- Gobierno de la ciudad autónoma de Buenos Aires (23-04-2020). *Mayores Cuidados (Red colaborativa)*.
- Gobierno de la provincia de Salta. Dirección General de Adultos Mayores (2/5/2020). Recuperado de [https://es-la.facebook.com/pg/SaltaMayor/posts/?ref=page\\_internal](https://es-la.facebook.com/pg/SaltaMayor/posts/?ref=page_internal) (consulta 2 de mayo de 2020).
- Google (2020a). *Google Maps*. Recuperado de <https://www.google.es/maps> (consulta 30 de abril de 2020).
- Google (2020b). *Google Maps Platform*. Recuperado de <https://cloud.google.com/maps-platform/routes?hl=es> (consulta 30 de abril de 2020).
- Infobae (23-04-2020). *Cómo tienen que hacer los adultos mayores para pedir asistencia durante la cuarentena*. Recuperado de <https://www.infobae.com/coronavirus/2020/03/30/como-tienen-que-hacer-los-adultos-mayores-para-pedir-asistencia-durante-la-cuarentena/> (consulta 30 de abril de 2020).
- Inforbano (27/3/2020). *Lanús: El municipio lanzó un programa para asistir a los adultos mayores en cuarentena*. Recuperado de <https://inforbano.com.ar/2020/03/27/49339/lanus-el-municipio-lanzo-un-programa-para-asistir-a-los-adultos-mayores-en-cuarentena/> (con-

- sulta 2 de mayo de 2020).
- La Ciudad. El diario de Avellaneda (30/3/2020). *La municipalidad de Avellaneda suma voluntarios para ayudar a adultos mayores*. Recuperado de <https://laciudadavellaneda.com.ar/la-municipalidad-de-avellaneda-suma-voluntarios-para-ayudar-a-adultos-mayores/> (consulta 30 de abril de 2020).
- La noticia 1 (13/4/2020). *Coronavirus: Vicente López anunció el programa “Cuidar y asistir” para adultos mayores*. Recuperado de <https://www.lanoticia1.com/noticia/coronavirus-vicente-lopez-anuncio-el-programa-cuidar-y-asistir-para-adultos-mayores-121383.html> (consulta 2 de mayo de 2020).
- Ministerio de Salud Pública. Gobierno de Tucumán (2/5/2020). *Quiero ser voluntario*. Recuperado de <http://msptucuman.gov.ar/quiero-ser-voluntario/> (consulta 2 de mayo de 2020).
- Municipalidad de Corrientes (6/4/2020). *Más de 600 voluntarios integran el programa Juntos Chamigo para ayudar en esta emergencia*. Recuperado de <http://ciudaddecorrientes.gov.ar/content/m-s-de-600-voluntarios-integran-el-programa-juntos-chamigo-para-ayudar-en-esta-emergencia> (consulta 30 de abril de 2020).
- Municipalidad de Monte (23/3/2020). *Boletín oficial de Monte. Creación de un registro municipal de voluntarios por la pandemia del Covid-19*. Recuperado de <https://monte.gob.ar/voluntarios/> (consulta 30 de abril de 2020).
- Municipalidad de Paraná (29/3/2020). *La municipalidad de Paraná convoca a integrar una red de ayuda para adultos mayores*. Recuperado de <https://www.parana.gob.ar/notas/la-municipalidad-de-paran-convoca-a-integrar-una-red-de-ayuda-para-adultos-mayores.htm> (consulta 30 de abril de 2020).
- Norte Bonaerense (29/3/2020). *Pergamino lanza un programa de Voluntariado para asistir a adultos mayores*. Recuperado de [https://www.nortebonaerense.com.ar/noticias/pergamino-lanza-un-programa-de-voluntariado-para-asistir-a-los-adultos-mayores\\_816443.html](https://www.nortebonaerense.com.ar/noticias/pergamino-lanza-un-programa-de-voluntariado-para-asistir-a-los-adultos-mayores_816443.html) (consulta 30 de abril de 2020).
- Presidencia de la Nación (2020). *Decreto 297/2020*. Boletín oficial de la República Argentina. Recuperado de <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/227042/20200320> (consulta 30 de abril de 2020).
- Viví el Oeste.com. El diario del Oeste (8/4/2020). *Morón: Convocan a jóvenes voluntarios para asistir a personas de riesgo*. Recuperado de <https://www.vivieloeste.com.ar/moron-convocan-a-jovenes-voluntarios-para-asistir-a-personas-de-riesgo/> (consulta 30 de abril de 2020).

Dante Andrés Barbero es posdoctorado (UNC). Doctor en Ciencias Informáticas. Magister en Paisaje, Medio Ambiente y Ciudad. Licenciado en Informática y Analista de Computación (UNLP). Actualmente, sus temas de interés son: los sistemas de soporte para la toma de decisiones en el ámbito urbano y el estudio de metodologías aplicables a problemas de planificación urbana que permitan mejorar la gestión de los municipios y mejorar la calidad de vida de los habitantes. Ha obtenido dos becas de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) y actualmente es Investigador Adjunto del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Instituto de investigaciones y políticas del ambiente construido (IIPAC, CONICET-UNLP). Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de La Plata. Calle 47 N° 162, (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina, dantebarbero@yahoo.com.ar, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7820-2388>