Optimización Multiobjetivo de una Red de Centros de Atención Primaria de la Salud

Graciela Moreno
Bahía Blanca, Argentina
gmorenoing@gmail.com

I. Introducción

La Atención Primaria de la Salud (APS) debe encargarse de las necesidades sanitarias de las personas a lo largo de sus vidas, incluyendo la prevención y promoción de la salud, hábitos saludables, tratamientos de las enfermedades, rehabilitación y cuidados paliativos, garantizando el mayor nivel de salud y bienestar dentro del entorno más próximo de las personas [3]. El primer nivel de atención prioriza los servicios de salud cruciales destinados a las personas y las familias, a través de la asistencia primaria de la población.

Es difícil establecer un equilibrio justo entre la oferta de servicios de salud y la demanda de la población de una región geográfica específica. Por lo tanto, los problemas de localización y asignación óptima procuran determinar la ubicación óptima de los centros de atención primaria de la salud (CAPS) y asignarles la potencial población que requiera los servicios de salud. Estos modelos intentan determinar la región o área de influencia de un servicio, al intentar cubrir la mayor cantidad posible de la necesidad de los servicios de salud de la población. La literatura sobre el tema es amplia, una revisión muy completa puede encontrarse en Ahmadi-Javid et al. (2017).

El modelo matemático propuesto es una extensión del problema de localización de cobertura máxima (MCLP, *Maximal Covering Location Problem*), el cual considera un área de cobertura de los servicios en las CAPS habilitadas ubicadas en un espacio discreto. La distancia es un elemento importante, ya que cualquier cambio en ella afecta a la solución del problema. El MCLP no obliga que se cubra toda la demanda, pero busca maximizar la demanda atendida [4].

La naturaleza de los problemas de localización de instalaciones es estratégica (objetivos a largo plazo) que debe abordar la complejidad del problema y la incertidumbre de la demanda afectada por la demografía de la población. Una mejor ubicación de los centros de salud mejora la eficiencia y brinda los servicios adecuados a la población que los necesita [2].

Mediante el modelamiento matemático de las funciones objetivo, se busca representar mediante ecuaciones matemáticas la realidad con el fin de buscar las mejores decisiones.

En cuanto al número de objetivos, los problemas de localización se clasifican en dos: (a) enfoques de un solo objetivo y (b) enfoques multiobjetivo. La mayoría de los problemas en la realidad poseen múltiples objetivos, los cuales se modifican en el problema para transformarlo en un problema de un solo objetivo.

Este trabajo se propone representar el proceso de toma de decisiones de un modelo multiobjetivo para determinar la localización óptima de CAPS maximizando la demanda de consultas de los servicios de salud por parte de la población y minimizando los costos totales del sistema, con todos los servicios de salud habilitados en las CAPS abiertas.

Para resolver el problema de optimización multiobjetivo modelado, se utiliza el enfoque lexicográfico y restricción-ε para problemas de optimización combinatoria de localización - asignación para encontrar las soluciones del óptimo de Pareto (soluciones no dominadas) [5].

II. Descripción del problema

Se propone un modelo de localización de cobertura máxima para la asignación de la población a las CAPS abiertas (o localizadas) para atender la población, sin cobertura médica, de los servicios de salud que necesita la población por grupo (edad y género), con el objetivo de determinar la mayor cantidad de la población atendida en cada servicio requerido, dentro de una distancia de traslado (área de cobertura), en las CAPS que cuenten con la capacidad adecuada (al ser la capacidad de atención limitada) para atender la mayor cantidad de consultas posibles y considerando que los recursos son limitados, se desea minimizar los costos del sistema de atención de salud del primer nivel.

Se supone que se conoce el número de CAPS que hay que localizar cuya área de cobertura máxima es de 1500 m y de cobertura mínima es de 500 m. Cada CAPS puede ofrecer hasta 7 servicios sanitarios (Enfermería, Medicina Familiar/Clínica, Pediatra, Ginecología, Obstetricia, Psicología, Odontología).

El objetivo es atender a la mayor cantidad de población en los servicios de salud necesitados dentro del área de cobertura. No se limita a la población a que asista a un solo CAPS para ser atendido, sino que puede acceder a aquellos CAPS que le brinden los servicios que necesitan.

A. *Metodología*

Para identificar los parámetros, variables de decisión, restricciones y funciones objetivos involucradas, se utilizó los

datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas (CNPHyV 2010) para estimar la necesidad anual de consulta de servicios de la población y la oferta en las CAPS se utilizó el procedimiento explicado en [1].

El estudio se realizó en el partido de Bahía Blanca cuya extensión es de 2.300 km^2. El distrito cuenta con una población aproximada de 301.000 habitantes[1] con alrededor del 40% de la población sin cobertura de salud.

Inicialmente se identificaron los centros de salud (oferta), los nodos de necesidad (población) que corresponden a los centroides de los radios censales, de los cuales solo se consideran 369 radios urbanos, sin considerar los 9 radios rurales del partido de Bahía Blanca. Ver Figura. 1.

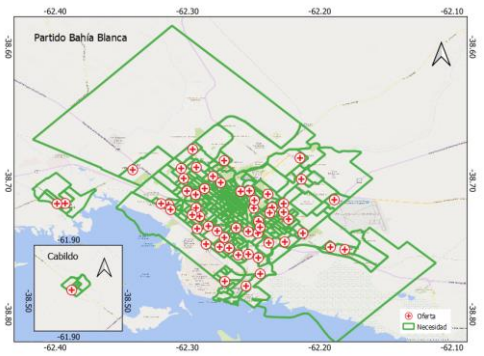

Figura 1. Necesidad y Oferta del Partido de Bahía Blanca.

El nivel de atención primaria de la salud de la ciudad cuenta con 7 Centros de Salud, 1 Centro Integral Comunitario y 48 Unidades Sanitarias. La diferencia entre Centros de Salud y Unidades Sanitarias radica en la cantidad de especialidades que ofrecen, los horarios y capacidad de atención, siendo mayor en los Centros de Salud. Para actualizar los datos del censo 2010 a valores más actuales se realizó una proyección sencilla afectando la población de cada radio censal por el factor 1,0175 para estimar la población al año 2019 [1].

Para resolver el problema se trabajó con una muestra máxima de 100 radios censales (nodos población) y 18 CAPS.

B. Problema multiobjetivo

Se presenta el modelo de optimización multiobjetivo basado en el problema MCLP. Considerando por un lado la demanda máxima de consultas atendidas de los servicios sanitarios, y los costos totales del sistema de salud que integran los costos operativos de atención de los servicios, los costos fijos apertura de los nodos oferta y el costo del servicio ofrecido en cada centro de salud.

Algunos enfoques más utilizados para resolver el problema multiobjetivo incluyen restricción-ε, suma ponderada y métodos lexicográficos. El modelo para el problema de optimización multiobjetivo se resolverá con el método de restricción-ε, que consiste en optimizar un objetivo mientras el otro se transforma en un conjunto de restricciones. En este proceso, se evalúan las soluciones óptimas de Pareto al ir variando los valores de ε para obtener la frontera de Pareto. El enfoque que se ha aplicado en [5].

El problema de optimización multiobjetivo se formula como una función de vectores como:

$$Max/Min\ F(x) = (f_1(x), f_2(x), \ldots, f_n(x)),$$

sujeto a:

$$g_j(x) \leq 0\ j = 1, 2, \ldots, q,$$

$$h_j(x) = 0\ j = 1, 2, \ldots, r\ (q + r = m)$$

El objetivo y el espacio de decisión en $\mathbb{R}^n$ y $\mathbb{R}^m$, respectivamente. El vector de variables de decisión del espacio de solución $x = (x_1, x_2, \ldots, x_m) \in \mathbb{R}^m$, representa un vector de funciones objetivo a maximizar o minimizar, se denota como $F(x) = (f_1(x), f_2(x), \ldots, f_n(x)) = f_1(x), f_2(x), \ldots, f_n(x) \in \mathbb{R}^n$. Con fines prácticos se asume que todas las funciones objetivo se van a maximizar. Ver Tabla I.

En este tipo de problemas no es posible encontrar una solución óptima para todas las funciones objetivo. Sin embargo, es posible encontrar un conjunto de soluciones no dominadas conocidas como "*Frente de Pareto*" (Pareto-eficientes) [5], la elección se realiza mediante técnicas de decisión basadas en diferentes criterios y pueden representarse espacialmente de $f_1(x)$ contra $f_2(x)$ en el caso de ser un problema bi-objetivo.

TABLE I. MÉTODO OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO

Problema multiobjetivo	***Método de restricción- ε***
$\max f_1(x)$ $\max f_2(x)$ $\ldots$ $\min f_m(x)$ Sujeto a: $x \in S$	$\max f_1(x)$ Sujeto a: $f_2(x) \geq e_2,$ $f_3(x) \geq e_3,$ $\ldots$ $f_m(x) \leq e_m$ $x \in S$
Donde x es el vector de variables de decisión, $f_1(x),\ldots, f_m(x)$ son las m funciones objetivo y S es la región factible del problema.	A partir de la variación del vector e_i de forma iterativa en las restricciones permite encontrar las diferentes soluciones del problema.

El método lexicográfico obtiene los puntos extremos del frente de Pareto: la solución máxima de $f_1(x)$ se obtiene, primero al resolver el modelo y con el valor $f_1(x^*)$, como cota máxima del problema y una vez hallada la máxima demanda de consultas de los servicios se busca minimizar el costo con dicha demanda. Se procede igual para encontrar la solución del mínimo costo para cubrir la máxima demanda. El valor óptimo $f_2(x^*)$ es la cota superior del costo de cualquier solución no dominada.

La solución del mínimo costo se obtiene, primero resolviendo el modelo y el valor $f_2(x^*)$ como cota mínima para La solución del mínimo costo y la mínima demanda cubierta queda determinada al resolver el problema El valor óptimo $f_1(x^*)$ como cota mínima de la demanda cubierta de cualquier

[1] Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022: 335.190 habitantes.

solución no dominada. Los extremos del frente de Pareto permiten establecer cuál es el vector ideal y vector nadir del problema.

Una vez obtenidas las cotas se procede a aplicar el algoritmo de restricción-ε para generar parte del frente de Pareto utilizando el procedimiento basado en programación matemática implementado en [5].

III. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los conjuntos, parámetros y variables de la formulación del modelo matemático propuesto empleando la programación lineal mixta entera del modelo de optimización multiobjetivo se presenta a continuación:

A. *Índices y Conjuntos*

G	Grupos de la población	$g \in G$
N	Nodos de población	$n \in N$
O	Nodos oferta (CAPS)	$o \in O$
OF	Nodos de oferta existente (CAPS) instaladas	$OF \in O$
OP	Nodos oferta posibles abrir	$OP \in O$
S	Servicios	$s \in S$
SP_o	Servicios proporcionados por el nodo oferta o	$s \in SP_o$
T	Tipo de capacidad del servicio (baja, media, alta)	$t \in T$

B. *Parámetros*

CA_s	Costo atención por servicio s
CF_o	Costo fijo de apertura del nodo oferta o
$CS_{s,g}$	Cantidad de consultas del servicio s por grupo g
CV_s	Costo fijo de abrir un servicio s
$dr^{min}_{n,o}$	Distancia mínima recorrida desde el nodo población n al nodo oferta o
$dr^{max}_{n,o}$	Distancia mínima recorrida desde el nodo población n al nodo oferta o
$ds_{n,o}$	Distancia entre el nodo población n y el nodo oferta o
$GS_{g,s}$	Proporción del grupo poblacional g que necesita el servicio s
NCAPS	Cantidad máxima de nodos oferta (CAPS) abiertos
$NE_{g,n,s}$	Necesidad del grupo poblacional g del nodo n por el servicio s
NOF	Cantidad máxima de nodos oferta posibles a abrir
NP	Cantidad de CAPS a abrir
$POB_{n,g}$	Número de personas del grupo g en el nodo población n
SC_g	Porcentaje de la población del grupo g sin cobertura de salud
$TS_{t,s}$	Cantidad máxima de consultas por tipo de capacidad t del servicio s
$\delta_{n,o}$	Modulador de distancia de traslado del nodo población n al nodo oferta o

C. *Variables binarias*

y_o	Vale 1 si el nodo oferta está abierto
$w_{s,t,o}$	Vale 1 si el servicio s tiene capacidad t en el nodo oferta o

D. *Variables continuas*

$d_{g,n,s,o}$	Demanda del grupo poblacional g del nodo n por el servicio s en el nodo oferta o
$sca_{s,o}$	Capacidad del servicio s en el nodo oferta o

E. *Funciones objetivo*

- f_1 (Demanda) Maximizar la suma de las demandas de los servicios por parte de los distintos grupos poblacionales de todos los nodos de necesidad.
- f_2 (Costos) Minimizar los costos totales del sistema. Se calcula el costo operativo, el cual es proporcional a la demanda de cada servicio, más el costo fijo por la apertura de los nodos oferta, el cual posee un término por CAPS y otro por servicio ofrecido en cada centro.

$$Max\ f_1 = \sum_o \sum_s \sum_n \sum_g d_{g,n,s,o} \tag{1}$$

$$\text{Min}\ f_2 = \sum_o \sum_s \sum_n \sum_g CA_s \cdot d_{g,n,s,o} + \sum_o \sum_s CV_s \cdot sca_{s,o} + \sum_o CF_o \cdot y_o \tag{2}$$

F. *Ecuaciones*

sujeto a:

$$\sum_n \sum_g d_{g,n,s,o} \leq sca_{s,o} \qquad \forall s \in S, o \in O \tag{3}$$

$$d_{g,n,s,o} \leq \delta_{n,o} \cdot NE_{g,n,s} \qquad \forall g \in G, n \in N, s \in S, o \in O \tag{4}$$

$$\sum_o d_{g,n,s,o} \leq NE_{g,n,s} \qquad \forall s \in S, n \in N, g \in G \tag{5}$$

$$\sum_t w_{s,t,o} \cdot TS_{t,s} = sca_{s,o} \qquad \forall s \in S, o \in O \tag{6}$$

$$\sum_t w_{s,t,o} \leq y_o \qquad \forall s \in S, o \in O \tag{7}$$

$$\sum_{o \in OF} y_o \leq NOF \tag{8}$$

$$\sum_{o \in OP} y_o \leq NP \tag{9}$$

$$y_o, w_{t,s,o} \in \{0,1\} \tag{10}$$

$$d_{g,n,s,o}, sca_{s,o} \geq 0 \tag{11}$$

La Ec. (3) establece que la demanda de cada servicio en cada centro no puede superar la capacidad de consultas ofrecidas de ese servicio en ese nodo oferta. La Ec. (4) asigna la demanda en cada nodo oferta en función de la distancia que está dispuesta a trasladarse la población para requerir el servicio. La Ec. (5) controla que la totalidad de la demanda de consultas de cada grupo poblacional por un determinado servicio no sea inferior a la necesidad de sus consultas. Se trata de una restricción redundante respecto de la Ec. (4) que se intuye que debe tener un efecto positivo en la resolución numérica del modelo.

La Ec. (6) determina, para cada servicio en cada CAPS, el nivel de capacidad ofrecido. La Ec. (7) asegura que se seleccione solo un tamaño posible de cada servicio si el CAPS efectivamente existe (y_o =1). La capacidad máxima de CAPS en el sistema se limita en la Ec. (8) mediante el parámetro *NOF*

mientras que la Ec. (9) asegura que la apertura de todos los nodos oferta no supere el valor *NP*.

Finalmente, las restricciones (10) y (11) establecen la integralidad de las variables binarias y_o, $w_{s,t,o}$ y que las variables sean positivas respectivamente.

Los parámetros del modelo, como los datos de distancias entre los radios censales, la necesidad por grupo, radio censal y servicio y capacidades de los servicios por CAPS existente se encuentran organizadas en una planilla de cálculo para poder se utilizados en el modelo de optimización. El modelo presentado es de tipo MILP (*Mixed Integer Linear Program*) y fue programado en el lenguaje de modelado de optimización *Pyomo* de código abierto basado en Python. Para resolverlo se emplea el solver glpk (*GNU Linear Programming Kit*), en una computadora con procesador *Intel Core* i7-4790HQ, CPU 3.6 GHz, 16GB RAM y sistema operativo Windows 10 pro 64-bit.

IV. ESTRATEGIA DE RESOLUCIÓN

Para establecer el frente de Pareto del modelo propuesto, liberando los servicios y capacidades de las CAPS, se proponen los siguientes casos de estudio:

1. Caso 1:
    a. Fijar la localización de 9 CAPS
    b. Nodos de población: 50 (radios censales)
2. Caso 2:
    a. Fijar la localización de 18 CAPS
    b. Nodos de población: 100 (radios censales)

Para evaluar la calidad de la solución del problema. Se utilizó como restricción el tiempo de procesamiento de resolución (180 segundos) y el número de llamadas de la función objetivo para ambos casos en 20 puntos del frente de Pareto. Las soluciones óptimas de cada función objetivo se obtuvieron al resolver individualmente el problema, obteniendo los puntos extremos que permiten identificar los puntos ideal y nadir para cada caso. Para cada problema se generó el frente de Pareto, uno parametrizando la restricción de costo y el otro la restricción de la demanda.

Las funciones objetivo se evaluaron utilizando el método de restricción épsilon y método lexicográfico, para generar las soluciones del frente de Pareto, es decir soluciones no dominadas encontradas.

V. RESULTADOS

En la Tabla II se presenta un resumen de los resultados de los diferentes métodos mencionados anteriormente. Se puede observar que al encontrar los extremos del frente de Pareto con la optimización lexicográfica se estima que el vector ideal = [26.538, 0] y el vector anti-ideal o nadir = [26.525, 19.871.592] para el Caso 1. En el Caso 2 el vector ideal = [0, 72.643] y el vector nadir = [0, 53.881.326]. En las Figuras. 2 y 3 se muestran los resultados obtenidos del Caso 1 y 2 para los 20 problemas al maximizar f1 y minimizar f2. (ver en el Anexo las tablas con las soluciones del frente de Pareto del método de restricción-ε)

En las Figuras. 4 y 5 se muestran los 20 problemas, para los dos casos considerados donde se minimiza f_2 y se maximiza f_1. El vector ideal estimado = [0, 26.538] y el vector nadir = [19.871.592, 0] para el Caso 1 y para el Caso 2 el vector ideal = [0, 72.643] y el vector nadir = [53.881.326, 0].

TABLE II. MATRIZ RESULTADOS

Método	**Valor de las funciones objetivos**		
		f_1	f_2
Lexicográfico Caso 1	Max f_1	26.538	19.871.592
	Min f_2	0	0
Lexicográfico Caso 2	Max f_1	72.643	53.881.326
	Min f_2	0	0
Restricción-ε Caso 1	Max f_1	26.525	19.856.853
Restricción-ε Caso 2	Max f_1	72.261	53.808.373
Restricción-ε Caso 1	Min f_2	26.538	19.856.853
Restricción-ε Caso 2	Min f_2	47.218	29.882.746

La cobertura de la demanda del Caso 1 es del 39% con respecto a la necesidad total de consultas de la población (68.219) y en el Caso 2 la cobertura de la demanda de consultas de servicios de salud con respecto a la necesidad de consultas (121.514) es del 60% al maximizar el objetivo f_1, el aumento de cobertura en las consultas atendidas se debe a que en el Caso 2 se abren más CAPS que en el Caso 1.

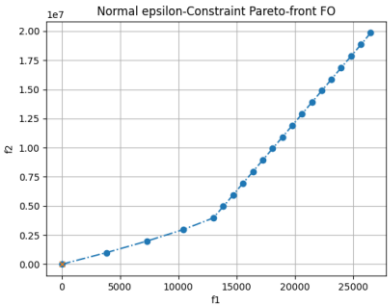

Figura 2. Frente de Pareto Caso 1 maximizando f_1

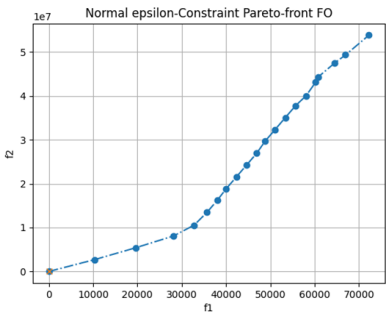

Figura 3. Frente de Pareto Caso 2 maximizando f_1.

Al comparar los resultados del método de restricción épsilon se puede observar que en el Caso 1 al maximizar f_1 y minimizar f_2 converge al mismo valor del objetivo f_2 de 19.856.853 y varía en el resultado del objetivo f_1 de 26.538 a 26.525, es decir que la diferencia es de. 0,1%. Pero en el Caso 2 al maximizar f_1 y al minimizar f_2 presentó un valor diferente para el objetivo f_1, siendo de 72.261 consultas al maximizar f_1 y converge a 47.218 consultas al minimizar f_2, entonces la cobertura es de un 59 % de la demanda atendida al maximizar el objetivo f_1, en relación a la necesidad de servicios por parte de la población, que se reduce en un 39% al minimizar el objetivo f_2 la demanda atendida, esta disminución se refleja también en el costo de 53.808.373 a 29.882.746. El tiempo de ejecución del algoritmo crece a medida que se modifica el tiempo límite del solver aproximadamente una hora y media para crear la frontera de Pareto.

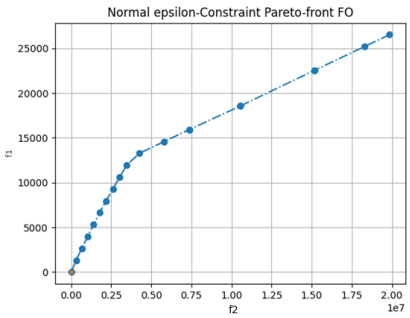

Figura 4. Frente de Pareto Caso 1 minimizando f_2.

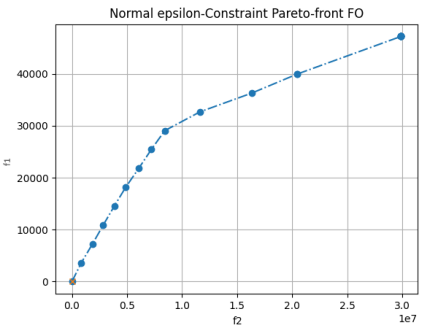

Figura 5. Frente de Pareto Caso 2 minimizando f_2.

VI. CONCLUSIÓN

La metodología planteada para presentar el problema multiobjetivo del problema de localización de máxima cobertura (MCLP), que contempla el primer objetivo de maximizar la demanda atendida de servicios de salud de la población por las instalaciones habilitadas y el segundo objetivo de minimizar los costos totales. La solución obtenida al optimizar el problema individual de los objetivos está garantizando que es un óptimo de Pareto. El método de restricción-ε permite definir la frontera de soluciones eficientes y estas soluciones proporcionan un apoyo al tomador de decisiones relacionado con determinar qué tan factible es tener todos los servicios en las CAPS de la red del sistema de salud de nivel primario de atención.

Al minimizar f_2 como objetivo principal del método de restricción-ε en el Caso 2 converge a un valor de 47.218 consultas que representa el 65% del frente de Pareto y a un costo de 29.882.746 US$ que equivale al 45% en la frontera de Pareto (Ver Anexo Tabla VI). En este caso se refleja el conflicto entre los objetivos ya que se reduce las consultas y costos que se obtuvieron al resolver el problema cuando se determinaron los puntos extremos con el método lexicográfico.

Si bien no se resolvió el problema completo, es decir con todas las CAPS del caso real, con las instancias más pequeñas se pudo identificar soluciones de Pareto óptimas, aunque hay que considerar que a mayor cantidad de nodos población y CAPS se consume más tiempo de cómputo en la resolución del problema.

Como trabajo futuro, se considera implementar el problema de optimización multiobjetivo con un algoritmo evolutivo o genético para estudiar el problema real completo.

REFERENCIAS

[1] Accattoli Colaneri V., Moreno M.S., Blanco A.M., y Acrogliano P.L. (2020, 19 al 30 de octubre). Análisis del Primer Nivel de Atención de la ciudad de Bahía Blanca Usando SIG. Congreso 49 JAIIO: Jornadas Argentinas de Informática, 11º Congreso Argentino de Informática y Salud 2020 (CAIS 2020), Argentina.

[2] Ahmadi-Javid, A., Seyedi, P., & Syam, S. S., "A survey of healthcare facility location", Computers & Operations Research, vol. 79, pp. 223–263, 2017. https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.05.018.

[3] Atención primaria de salud. (s/f). Who.int. Recuperado el 16 de marzo de 2023, de https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/primary-health-care.

[4] Church, R., y ReVelle, C., "The maximal covering location problem", Papers of the Regional Science Association, vol. 32(1), pp. 101–118. 1974. https://doi.org/10.1007/bf01942293.

[5] Mavrotas, G., "Effective implementation of the ε-constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming problems", *Applied Mathematics and Computation*, vol. *213*(2), pp. 455–465. 2009. https://doi.org/10.1016/j.amc.2009.03.037.

Anexo

TABLE III. SOLUCIONES DE PARETO DEL MÉTODO RESTRICCIÓN-ε CASO 1

	f_1	%	f_2	%
1	0	0%	0	100%
2	3.801	14%	992.843	95 %
3	7.316	28 %	1.985.685	90%
4	10.445	39%	2.978.525	85%
5	13.012	49%	3.970.884	80%
6	13.877	52%	4.964.213	75%
7	14.725	55%	5.957.056	70%
8	15.558	59 %	6.949.898	65%
9	16.415	62%	7.942.741	60%
10	17.258	65%	8.935.584	55%
11	18.106	68%	9.928.426	50%
12	18.953	71%	10.921.269	45%
13	19.794	75%	11.914.112	40%
14	20.642	78%	12.906.954	35%
15	21.481	81%	13.899.797	30%
16	22.328	84%	14.892.640	25%
17	23.171	87%	15.885.482	20%
18	23.985	90%	16.859.996	15%
19	24.854	94%	17.871.167	10%
20	25.701	97%	18.864.010	5%
21	26.525	100%	19.856.853	0%

TABLE IV. SOLUCIONES DE PARETO DEL MÉTODO RESTRICCIÓN-ε CASO 2.

	f_1	%	f_2	%
1	0	0%	0	100%
2	10.322	14%	2.694.066	95%
3	19.571	27%	5.388.133	90%
4	28.148	39%	8.082.199	85%
5	32.809	45%	10.549.595	80%
6	35.705	49%	13.470.332	75%
7	37.996	52%	16.164.398	70%
8	40.057	55%	18.858.464	65%
9	42.355	58%	21.552.531	60%
10	44.650	61%	21.216.597	55%
11	46.943	65%	26.940.663	50%
12	48.797	67%	29.634.730	45%
13	51.092	70%	32.328.796	40%
14	53.377	73%	35.022.862	35%
15	55.671	77%	37.716.929	30%
16	58.073	80%	40.017.045	26%
17	60.245	83%	43.105.061	20%
18	60.746	84%	44.238.396	18%
19	64.519	89%	47.464.446	12%
20	66.976	92%	49.309.519	8%
21	72.261	99%	53.808.373	0%

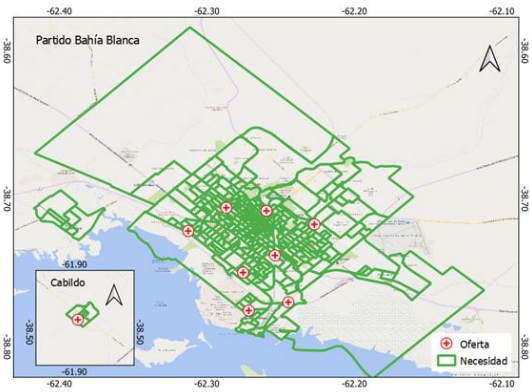

Figura 6. Caso 1: Localización de CAPS

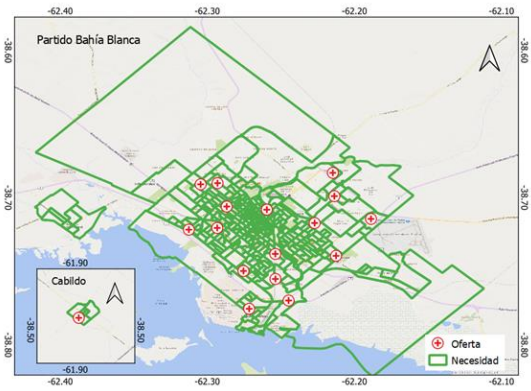

Figura 7. Caso 2: Localización de CAPS

TABLE V. SOLUCIONES DE DE PARETO DEL MÉTODO RESTRICCIÓN-ε CASO 1

	f_1	%	f_2	%
1	0	0%	0	100%
2	1.327	5%	316.784	98%
3	2.654	10 %	671.974	97%
4	3.981	15%	1.036.679	95%
5	5.308	20%	1.401.384	93%
6	6.635	25%	1.776.776	91%
7	7.961	30%	2.190.823	89%
8	9.288	35%	2.607.471	87%
9	10.615	40%	3.028.535	85%
10	11.942	45%	3.465.055	83%
11	13.269	50%	4.252.751	79%
12	14.596	55%	5.806.482	71%
13	15.923	60%	7.366.285	63%
14	15.923	60%	7.366.285	63%
15	18.577	70%	10.561.817	47%
16	18.577	70%	10.561.817	47%
17	18.577	70%	10.561.817	47%
18	22.557	85%	15.181.860	24%
19	22.557	85%	15.181.860	24%
20	25.211	95%	18.297.602	8%
21	26.538	100%	19.856.853	0%

TABLE VI. SOLUCIONES DE PARETO DEL MÉTODO RESTRICCIÓN-ε CASO 2.

	f_1	%	f_2	%
1	0	0%	0	100%
2	3.632	5%	854.315	98%
3	7.264	10%	1.869.517	97%
4	10.896	15%	2.844.015	95%
5	14.529	20%	3.842.918	93%
6	18.161	25%	4.878.631	91%
7	21.793	30%	6.058.905	89%
8	25.425	35%	7.204.133	87%
9	29.057	40%	8.421.119	84%
10	32.690	45%	11.627.075	78%
11	36.322	50%	16.354.641	70%
12	39.954	55%	20.438.585	62%
13	39.954	55%	29.882.746	45%
14	47.218	65%	29.882.746	45%
15	47.218	65%	29.882.746	45%
16	47.218	65%	29.882.746	45%
17	47.218	65%	29.882.746	45%
18	47.218	65%	29.882.746	45%
19	47.218	65%	29.882.746	45%
20	47.218	65%	29.882.746	45%
21	47.218	65%	29.882.746	45%