

Análisis y rediseño de una red de centros de atención primaria de la salud

Graciela A. Moreno¹, M. Susana Moreno²[0000-0001-5744-5586], Aníbal M. Blanco²[0000-0003-2190-8619]

¹ Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur – IIESS (CONICET-Universidad Nacional del Sur), Bahía Blanca, Argentina
gmorenoing@gmail.com

² Planta Piloto de Ingeniería Química – PLAPIQUI (CONICET-Universidad Nacional del Sur), Bahía Blanca, Argentina
{smoreno, ablanco}@plapiqui.edu.ar

Resumen. Las redes de Centros de Atención Primaria de la Salud (CAPS) de las ciudades brindan servicios sanitarios preventivos a la sociedad, especialmente a la población que no posee cobertura médica. A pesar de los esfuerzos de los municipios para ir adaptando el sistema a la necesidad de sus poblaciones, la dinámica poblacional y el crecimiento demográfico y territorial hace que los CAPS no siempre estén distribuidos de forma adecuada o presten el tipo y volumen de servicios en niveles óptimos. El objetivo principal de este trabajo es estudiar la necesidad, la demanda y la oferta de servicios del primer nivel con el auxilio de un modelo matemático. Se implementó un modelo de programación mixto entero lineal de localización óptima/cobertura máxima para investigar rediseños de la red con el objeto de mejorar los indicadores de acceso. Experimentos hipotéticos basados en modelos teóricos de predisposición al traslado como función de la distancia permiten estimar los niveles de demanda y analizar el impacto de modificaciones sobre la infraestructura. Los casos de estudio propuestos permiten detectar incrementos potenciales de demanda y mejoras en el nivel de utilización de algunos servicios que pudieran estar subutilizados.

Palabras clave: CAPS, Modelo matemático, Necesidad-oferta-demanda, SIG.

Abstract. The Primary Health Care Centers (PHCC) networks in the cities provide preventive health services to society, particularly to the population without medical coverage. Despite the efforts of municipalities to gradually adapt the system to their population's needs, population dynamics and demographic and territorial growth mean that the PHCC are not always adequately distributed or provide the type and volume of services at optimal levels. The main objective of this work is to study the need, demand, and supply of first-level services using a mathematical model. An optimum location/maximum coverage mixed-integer linear programming model was implemented to investigate network redesigns to improve access indicators. Hypothetical experiments based on theoretical models of willingness to move as a function of distance allow estimating demand levels

and analyzing the impact of infrastructure modifications. The proposed case studies identify potential increases in demand and improvements in the level of use of some underutilized services.

Keywords: PHCC, GIS, Need-supply-demand, Mathematical model.

1 Introducción

La salud pública está organizada típicamente en tres niveles de atención. El primer nivel está conformado por centros que se ocupan de la prevención de enfermedades y la atención de patologías menos graves. El segundo nivel de atención se presta básicamente en hospitales generales que atienden pacientes derivados del primer nivel. Finalmente, el tercer nivel se centra en hospitales o centros especializados en donde se tratan patologías más complejas que exigen un diagnóstico preciso y un tratamiento más sofisticado.

En nuestro país, el primer nivel se organiza mayormente sobre la base de centros de atención primaria de la salud (CAPS), comúnmente conocidos como salas médicas o dispensarios, los cuales poseen una amplia distribución territorial en las ciudades.

Este trabajo tiene como propósito estudiar la relación necesidad/oferta/demanda del primer nivel de atención con el auxilio de un modelo matemático. Se busca identificar en qué grado la oferta se ajusta a la necesidad y cómo respondería la demanda de la población, en particular, para el segmento sin cobertura médica.

El primer nivel de atención se ha estudiado extensamente empleando modelos matemáticos. Típicamente, se emplean modelos de cobertura máxima y de localización óptima. La literatura sobre el tema es muy amplia. Una revisión muy completa hasta el año 2017 puede encontrarse en [1]. Entre los trabajos más recientes se encuentran, por ejemplo, Pu y col. [2] donde se evalúa el acceso espacial a centros de salud en la República Democrática del Congo y Mendoza-Gómez y col. [3] donde se presenta una variación del problema de localización de cobertura máxima en los centros de atención primaria de la salud en México, por mencionar solo algunos.

Si bien la distancia geográfica no es el único elemento importante para asegurar el adecuado acceso a los bienes y servicios de salud, la proximidad de los CAPS a las personas es un factor que contribuye a mejorarlo.

El modelo matemático propuesto en este trabajo es una extensión del problema de localización de cobertura máxima (MCLP, *Maximal Covering Location Problem*) que tiene como objetivo ubicar un determinado número de instalaciones de tal forma que la máxima demanda sea cubierta dentro de una distancia determinada [4].

Este tipo de estudios que involucran la localización de nodos en el territorio se complementan perfectamente con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), especialmente diseñados para analizar los datos en función de su posición geográfica. En particular, para el problema bajo estudio, permiten representar la necesidad de los distintos servicios sanitarios, la cual depende de la cantidad de población en una cierta localización, y la oferta que se brinda puntualmente a nivel CAPS. Como caso de estudio se investigó el primer nivel de atención del municipio de Bahía Blanca. Se analizó, en primer lugar, información proporcionada por el Censo Nacional de Población, Hogares

y Viviendas (CNPhyV) para estimar en el territorio la necesidad anual de consultas de servicios de primer nivel y se relevó la oferta existente en la red municipal a través de la información proporcionada por la secretaría de salud para cada CAPS del sistema.

Finalmente, a través del modelo matemático se estudió el efecto de posibles rediseños de la red empleando como indicador de desempeño la demanda estimada en términos de consultas anuales de cada servicio en cada CAPS.

2 Estimación de la Necesidad

La necesidad puede cuantificarse como el número de consultas médicas necesarias de cada especialidad por parte de su correspondiente población objetivo en base anual. Una metodología de cálculo y una primera estimación para el caso de Bahía Blanca, se propuso en [5]. Para su estimación se requiere información poblacional detallada y con el mayor nivel posible de desagregación geográfica.

Para realizar el análisis de la población del partido de Bahía Blanca, se utilizó la base de datos del CNPhyV 2010^[1] que dividió al partido de Bahía Blanca en 369 radios censales. El radio censal es una unidad territorial que se utiliza para referir información estadística de las personas que la habitan. Según este censo, la población de Bahía Blanca en el año 2010 era de 301.572 personas, de las cuales un 27% no contaba con una cobertura médica. Para actualizar los datos del censo 2010 se realizó una proyección sencilla afectando la población de cada radio censal por el factor 1.0175^[2] para estimar la población actual. Adicionalmente, dado que en la actualidad hay varios sectores de la ciudad intensamente poblados que en 2010 estaban prácticamente deshabitados, se desarrolló una metodología *ad hoc* con el objetivo de mejorar las estimaciones de la población de estas áreas. Los detalles pueden encontrarse en [6].

Una vez establecida la distribución poblacional en cada radio censal, se estimó la necesidad de los servicios sanitarios. Cada grupo etario de la población tiene diferentes necesidades de bienes y servicios de salud, las cuales, a su vez, también difieren según el sexo. La metodología de cálculo propuesta en [5] estima la necesidad basada en el tamaño de los requerimientos de los diferentes grupos etarios g . La Ec. (1) calcula la necesidad del servicio s en cada radio censal n para cada grupo g .

$$NE_{g,n,s} = (1 + DS_n) \cdot (GS_{g,s} \cdot FC_{g,s}) \cdot POB_{g,n} \cdot SC_{g,n} \quad \forall s, n, g \quad (1)$$

donde:

$NE_{g,n,s}$	cantidad de consultas totales del grupo g en el radio censal n , del servicio s necesarias en un año.
$POB_{g,n}$	cantidad de individuos del grupo g en el radio censal n
$SC_{g,n}$	proporción de la población del grupo g en el radio censal n sin cobertura médica
DS_n	proporción de la población expuesta a condiciones adversas en el radio censal n

^[1] <https://redata.indec.gob.ar/argbin/RpWebEngine.exe/PortalAction?>

^[2] http://www.estadistica.ec.gba.gov.ar/dpe/images/Proyecciones_x_municipio_2010-2015.pdf

$GS_{g,s}$ proporción del grupo poblacional g que necesita el servicio s
 $FC_{g,s}$ frecuencia anual de visitas del grupo poblacional g al servicio s

Para analizar la necesidad de la población, se diferenciaron los grupos reportados en la Tabla 1. Para ejemplificar el tipo de información generada, en la Fig. 1 se muestra la distribución de la necesidad del servicio de enfermería en cada radio censal empleando escala de rojos. Una vez establecida la distribución poblacional en cada radio censal, se estimó la necesidad.

Tabla 1. División de la población en grupos según edad y sexo.

Grupo	Niños					Adolescentes/Jóvenes			Adultos	Adultos Mayores
Edad (años)	< 1	1	2	3-4	5-9	10-14 (v-m)	15-19 (v-m)	20-39 (v-m)	40-64	≥ 65

v: varones, m: mujeres

3 Estimación de la Oferta

De los 56 CAPS presentes en la ciudad, siete son Centros de Salud y los 49 restantes son Unidades Sanitarias^[3]. La diferencia entre los Centros de Salud y las Unidades Sanitarias radica en la cantidad de servicios que ofrecen, horarios y capacidad de atención, siendo mayores para los Centros de Salud que para las Unidades Sanitarias.

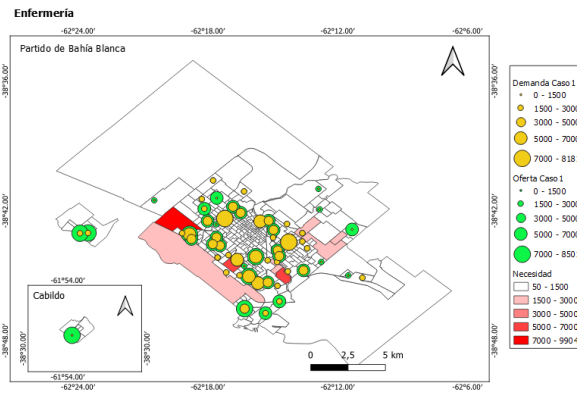


Fig. 1. Necesidad, oferta y demanda del servicio enfermería.

Para cuantificar la oferta se utilizaron datos de la cantidad de profesionales por servicio por CAPS y la cantidad de horas trabajadas por cada profesional de acuerdo a la metodología propuesta en [5]. Los servicios considerados en el presente estudio son: enfermería, medicina familiar/general, ginecología, obstetricia, pediatría, psicología y odontología.

^[3] <https://www.bahia.gob.ar/salud/unidadessanitarias/>

La cantidad de consultas anuales disponibles en el CAPS o para el servicio s ($CC_{o,s}$) se calcula en la Ec. (2). Esta oferta se estima proporcional a la cantidad de profesionales asignados a ese centro ($CP_{o,s}$) y a la cantidad de horas semanales y días laborales a lo largo del año en los que desempeñan funciones (Hs). Se asumió que en una hora cada profesional puede ofrecer 4 consultas (Nc). Para calcular las semanas laborales (Sa) se consideraron 230 días laborales.

$$CC_{o,s} = \alpha \cdot CP_{o,s} \cdot Nc \cdot Hs \cdot Sa \quad \forall o, s \quad (2)$$

La cantidad de horas semanales es dependiente del contrato de cada profesional, existiendo, en un sistema tan amplio, una gran variabilidad dependiendo de la especialidad, del CAPS, etc. En este trabajo se emplearon valores típicos del sistema, pero es un dato que admite una mejor estimación. Finalmente, el parámetro α se incorpora para considerar que los profesionales no asignan el 100% de su tiempo solo a la atención de consultas, sino que también desarrollan otras actividades como, por ejemplo, trabajos administrativos, desinfección/limpieza del sector de trabajo, etc. En este trabajo se utilizó $\alpha = 0,53$ en promedio para contar con una primera estimación, pero se intuye que es un factor que varía entre servicios, entre CAPS y, seguramente, entre profesionales. Su estimación precisa requeriría de una metodología *ad hoc* empleando un análisis de los datos históricos disponibles y, eventualmente, de encuestas a los propios profesionales de los CAPS. El α utilizado en cada servicio es el presentado en [7] en la tabla I.2.

En la Tabla 2 se proporciona la lista completa de servicios analizados y una estimación global de la oferta (columna OF - Caso 1) en el sistema empleando la metodología descripta e información recabada del sitio web de la secretaría de salud municipal. Para presentar la información distribuida territorialmente por centro, se utilizó una simbología graduada por tamaño para poder representar con discos de diferentes radios la cantidad de consultas por servicio. A manera de ejemplo, en la Fig. 1 se presenta la ubicación de los CAPS indicando con un disco verde la oferta del servicio de enfermería.

Además, en cada centro, sobre la base de la cantidad de consultas que puede llegar a ofrecer, es posible categorizar la capacidad de cada servicio en baja, media y alta. Esta clasificación se emplea luego, en el modelo, con fines de rediseño.

4 Estimación de la Demanda

La demanda efectiva idealmente queda registrada en el sistema información de la red de centros de atención de los municipios. Específicamente, la secretaría de salud del municipio de Bahía Blanca cuenta con un sistema informático donde se registran las consultas atendidas en cada CAPS. Un análisis de la demanda efectiva fue presentado en [6].

En este trabajo, que apunta al rediseño de la red de CAPS, la demanda se estima sobre la base de un modelo matemático, el cual se describe en la sección 5.

La demanda es una dimensión difícil de estimar debido a que depende de numerosos factores. Uno de ellos es la componente geográfica, que sugiere que, la proximidad en la distancia hará que un CAPS sea más demandado por un cierto nodo de necesidad que otro que se encuentre más alejado. Un aspecto esencial en el estudio geográfico de la

demanda es, entonces, cómo modelar la tendencia de una cierta población a buscar servicios en los CAPS ubicados a dadas distancias de su ubicación (nodo de necesidad).

En este trabajo se emplea el siguiente modelo simple para representar esta tendencia:

$$\text{Si } ds_{n,o} \leq dr_{n,o}^{\min} \rightarrow \delta_{n,o} = 1 \quad (3)$$

$$\text{Si } ds_{n,o} \geq dr_{n,o}^{\max} \rightarrow \delta_{n,o} = 0 \quad (4)$$

$$\text{Si } dr_{n,o}^{\min} < ds_{n,o} < dr_{n,o}^{\max} \rightarrow \delta_{n,o} = f(ds_{n,o}) \quad (5)$$

donde $ds_{n,o}$ es la distancia entre el centro de necesidad n (radio censal) y el CAPS (centro de oferta, o) y $f(ds_{n,o})$ es una función que decrece linealmente entre 1 y 0 con $ds_{n,o}$. Los parámetros $dr_{n,o}^{\min}$ y $dr_{n,o}^{\max}$ son distancias. Si la distancia es menor a $dr_{n,o}^{\min}$, hay una predisposición total a visitar el CAPS y si es mayor a $dr_{n,o}^{\max}$ esa predisposición se anula. Entre estos valores la predisposición va decreciendo linealmente. El parámetro $\delta_{n,o}$ actúa entonces modulando la demanda entre los nodos de necesidad y de oferta. Esta representación sencilla se adopta para establecer la cantidad de consultas que se demandan, idealmente, en cada CAPS del sistema. Los valores empleados para $dr_{n,o}^{\min}$ y $dr_{n,o}^{\max}$ en este trabajo son 500 y 1500 m, respectivamente. En la Tabla 2 (columna DEM - Caso 1) se presenta un valor global por servicio obtenido al implementar el modelo descrito en la sección subsiguiente. Para el caso del servicio de enfermería, esta información también se muestra, de manera gráfica, en el mapa de la Fig. 1 con discos de color amarillo. En aquellos puntos donde los discos de color verde contienen a los discos de color amarillo se infiere que la capacidad que tiene el servicio (oferta) excede a la demanda. Los casos donde los discos amarillos cubren completamente los discos verdes indican que la capacidad del servicio estaría completamente demandada, lo que podría sugerir cierta congestión del mismo.

5 Modelo matemático

El modelo de programación mixta entera lineal (MILP) propuesto a continuación se basa en el presentado en [7]. Los conjuntos, parámetros y variables de la formulación son:

Conjuntos e índices

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

Parámetros

$CS_{s,g}$	Cantidad de consultas del servicio s por grupo g
$dr_{n,o}^{\min}$	Distancia mínima recorrida desde nodo población n al nodo oferta o

$dr_{n,o}^{max}$	Distancia máxima recorrida desde nodo población n al nodo oferta o
DS_n	Proporción de la población n expuesta a condiciones desfavorables
$ds_{n,o}$	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) en el sistema
$NE_{g,n,s}$	Necesidad del grupo poblacional g del nodo n por el servicio s
NOF	Cantidad de nodos oferta existentes o abiertos
NP	Cantidad máxima de CAPS posibles 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
NU_s^L	Cota inferior para el nivel de utilización del servicio s
<i>Variables binarias</i>	
Y_o	Vale 1 si el nodo oferta o está abierto
$W_{s,t,o}$	Vale 1 si el servicio s tiene capacidad t en el nodo oferta o
<i>Variables continuas</i>	
$D_{g,n,s,o}$	Demanda estimada del grupo poblacional g del nodo n por el servicio s en el nodo oferta o
DEM	Demanda estimada total cubierta por los servicios
$SCA_{s,o}$	Capacidad del servicio s en el nodo oferta o

$$Max DEM = \sum_o \sum_s \sum_n \sum_g D_{g,n,s,o} \quad (6)$$

sujeto a:

$$\sum_n \sum_g D_{g,n,s,o} \leq SCA_{s,o} \quad \forall s \in S, o \in O \quad (7)$$

$$D_{g,n,s,o} \leq \delta_{n,o} \cdot NE_{g,n,s} \quad \forall g \in G, n \in N, s \in S, o \in O \quad (8)$$

$$\sum_o D_{g,n,s,o} \leq NE_{g,n,s} \quad \forall s \in S, n \in N, g \in G \quad (9)$$

$$\sum_t W_{s,t,o} \cdot TS_{t,s} = SCA_{s,o} \quad \forall s \in S, o \in O \quad (10)$$

$$\sum_t W_{s,t,o} = Y_o \quad \forall s \in S, o \in O \quad (11)$$

$$\sum_{o \in O} Y_o \leq NCAPS \quad (12)$$

$$\sum_{n,g} D_{g,n,s,o} \geq NU_s^L \cdot SCA_{s,o} \quad \forall s \in S, o \in O \quad (13)$$

$$\sum_{t \neq 1} W_{s,t,o} = Y_o \quad \forall s = 1, o \in O \quad (14)$$

$$Y_o, W_{s,t,o} \in \{0,1\} \quad (15)$$

$$D_{g,n,s,o}, SCA_{s,o} \geq 0 \quad (16)$$

La función objetivo (6), a maximizar, es la suma de las demandas estimadas de los servicios por parte de los distintos grupos poblacionales de todos los nodos de necesidad (radios censales) en todos los nodos oferta (CAPS) del sistema.

La Ec. (7) establece que la demanda estimada de cada servicio en cada CAPS no puede superar la capacidad de consultas ofrecidas de ese servicio en ese nodo oferta. La Ec. (8) asigna la demanda estimada en cada nodo oferta en función de la distancia que está dispuesta a trasladarse la población para requerir el servicio (ver sección 4). La Ec. (9) controla que la totalidad de la demanda estimada de consultas de cada grupo poblacional por un determinado servicio sea inferior a la necesidad de sus consultas. Se trata de una restricción redundante respecto de la Ec. (8) que se intuye puede tener un efecto positivo en la resolución numérica del modelo.

La Ec. (10) determina, para cada servicio en cada CAPS, el nivel de capacidad ofrecido. La Ec. (11) asegura que se seleccione solo un tamaño posible de cada servicio si el CAPS efectivamente existe ($Y_o = 1$). La Ec. (12) limita la cantidad máxima de CAPS en el sistema ($NCAPS = NOF + NP$). Esta expresión asegura que la apertura de nodos no supere el máximo número de centros a incorporar (NP).

La Ec. (13) establece el nivel de utilización mínimo, que debe cumplir cada servicio. Esto apunta a garantizar que cada servicio abierto en cada CAPS tenga una concurrencia apropiada para la capacidad para la que fue diseñado. La Ec. (14) establece que el servicio de enfermería ($s = 1$) tenga al menos un nivel de capacidad de tipo bajo.

Finalmente, las restricciones (15) y (16) establecen la integralidad de las variables binarias Y_o y $W_{s,t,o}$ y que las variables continuas son positivas, respectivamente.

6 Casos de estudio

Para ilustrar las prestaciones del modelo MILP propuesto analizando la situación actual y posibles rediseños de la red, se proponen los siguientes casos de estudio:

1. Simulación situación actual:
 - a. Fijar todas las capacidades de los servicios en los CAPS existentes

- b. Maximizar demanda
- 2. Rediseño 1:
 - a. Fijar la localización de los CAPS existentes
 - b. Liberar los servicios y las capacidades
 - c. Maximizar la demanda
- 3. Rediseño2:
 - a. Fijar la localización de los CAPS existentes
 - b. Liberar los servicios y capacidades
 - c. Habilitar la posibilidad de incorporar un (1) nuevo CAPS con los servicios que se necesiten en cualquier radio censal de la ciudad
 - d. Maximizar la demanda

El Caso 1 es básicamente una simulación de la situación actual que persigue fundamentalmente servir de caso base con fines comparativos para los experimentos subsiguientes. En este ejercicio, la restricción (13) se encuentra completamente relajada, esto es, $NU_s^L = 0.0$ para todos los servicios en todos los CAPS. Esta situación, para el caso de enfermería se ilustra en la Fig.1.

En el Caso 2 se asume la posibilidad de que algunos de los centros no estén correctamente dimensionados para atender la necesidad actual, es decir, subdimensionados para algunos servicios y sobredimensionados para otros. Para estudiar esta situación, se propone mantener las localizaciones actuales de los CAPS, permitiendo que en cualquiera de ellos se presten la totalidad de los servicios a la capacidad adecuada. Esta situación es una idealización dado que difícilmente sea posible en la locación actual de cada CAPS, incrementar los tamaños de los servicios que se ofrecen o incorporar nuevos debido, por ejemplo, a limitaciones de la infraestructura edilicia existente. Se persigue, básicamente, identificar aquellos sectores y servicios que pueden llegar a impactar mayormente en la demanda, garantizando, para cada servicio, un nivel de utilización mayor o igual al 70%, excepto solamente para el servicio de enfermería para el cual no se establece un nivel de utilización mínimo ($NU_s^L = 0.0$).

Finalmente, en el Caso 3 se permite incorporar un nuevo centro en el sistema con el número de servicios y la capacidad adecuada en el radio censal más apropiado. Se busca maximizar la demanda manteniendo la localización de los CAPS existentes, considerando la posibilidad de modificar en ellos la capacidad de los servicios, si resultara necesario. Este ejercicio persigue simular la dificultad en la práctica de “cerrar” CAPS que se ya encuentran establecidos en los barrios, pero que sí pueden llegar a reestructurar su oferta además de, por supuesto, incorporar nuevos centros a la red. Si bien la ubicación de un nuevo CAPS en el radio censal seleccionado puede no resultar factible en la práctica, el objetivo es detectar un sector de la ciudad donde el impacto de la nueva incorporación sea máximo.

Cabe aclarar que el problema de maximizar demanda en los Caso 2 y 3 (ítems 2c y 3d), donde las capacidades de los CAPS están “libres”, puede resultar en el sobredimensionamiento de algunos servicios dado que no existe, en la formulación del modelo presentado de la sección anterior, ningún elemento que contrapeso por el lado de la oferta. Por ejemplo, una demanda pequeña puede ser cubierta indistintamente por un servicio de baja, media o alta capacidad. Por supuesto, habilitar una capacidad media o

alta implicaría recursos mal asignados. Para tener en cuenta esta situación, el problema de Maximizar demanda en los casos 2 y 3 implica en realidad la resolución de dos problemas en serie: i) Maximizar la demanda sin restricciones de oferta (todos los servicios a máxima capacidad), y ii) Minimizar la capacidad, sujeta a la demanda encontrada en el problema i). De esta manera se garantiza cubrir la máxima demanda posible, con la menor infraestructura de servicios necesaria.

7 Resultados

En la Tabla 2 se presenta un resumen de los casos de estudio mencionados en la sección anterior, incluyendo indicadores básicos de los modelos matemáticos correspondientes. La información se presenta agregada por servicio en este caso, pero recordamos que los resultados obtenidos por el modelo poseen una granularidad por CAPS.

Tabla 2. Casos de estudio para los siete servicios elegidos.

Servicio	Caso 1				Caso 2			Caso 3		
	NEC	DEM	OF	NU	DEM	OF	NU	DEM	OF	NU
Enfermería	200 072	165 469	235 391	70	172 494	238 832	72	180 677	253 405	71
Familia/General	11 420	9 537	63 949	15	8 734	11 592	75	9 307	13 138	71
Pediatría	67 029	42 605	56 304	76	56 948	72 643	79	58 785	74 189	79
Ginecología	15 063	11 750	29 955	39	11 618	15 787	74	12 369	17 002	72
Obstetricia	9 214	5 720	22 669	25	6 635	8 906	75	7 106	9 715	73
Psicología	14 303	11 466	31 170	37	10 989	14 978	73	11 612	15 787	74
Odontología	89 346	31 188	36 156	86	77 283	101 016	77	79 491	99 084	80
Total	406 447	277 735	475 594		344 701	463 754		359 347	482 320	
DEM/NEC (%)				68,3			84,8			88,4
OF/NEC (%)				117			114			118,6
Tiempo (s)				1			23			3 606
Var. Binarias				1 148			1 624			10 701

DEM: Demanda, NEC: Necesidad, NU: Nivel de utilización (%), OF: Oferta.

La primera columna de la Tabla 2 muestra los servicios proporcionados en el sistema y la segunda corresponde a la necesidad de consultas globales de cada servicio por parte de la población. Para cada caso se presenta la demanda global cubierta de cada servicio y la correspondiente oferta global de las consultas ofrecidas de cada servicio.

Para la situación actual simulada (Caso 1) se observa que, globalmente, la oferta de servicios supera a la necesidad en un 17% lo que indica que el sistema posee un potencial amplio de cobertura (fila OF/NEC). Por cada servicio, la oferta también supera ampliamente a la necesidad en casi todos ellos, excepto en odontología, la que solo se cubre en un 40,5% ya que no todos los CAPS de la red ofrecen este servicio, y en pediatría para la que cubre un 84% de la necesidad teórica.

La demanda, sin embargo, estimada de acuerdo al modelo propuesto de predisposición de traslado por distancia, resulta bastante menor que la necesidad teórica de la población. Globalmente para todos los servicios, solo el 68,3% de la necesidad se manifiesta como demanda en los CAPS. El nivel de utilización de los servicios es en general bajo (menor al 40%) excepto para enfermería, pediatría y odontología, para lo que supera el 70% (columna NU).

El primer problema de rediseño (Caso 2) está orientado a reestructurar las capacidades de los CAPS mantenidos todos en la misma ubicación y sin incorporar nuevos centros en el sistema. Este experimento mide el impacto de reestructurar los centros ofreciendo una capacidad más adecuada localmente a la necesidad. En la Tabla 2 se reportan, para este experimento, las nuevas ofertas, las demandas por servicio y el porcentaje de nivel de servicio cubierto. Esta reestructuración de servicios permitiría incrementar en un 24,11% la demanda respecto de la situación original con una disminución del 2,48% en la oferta global. En esta situación se consigue que el 84,80% de la necesidad teórica de la población se manifieste como demanda en los CAPS.

En la Fig. 2a se presenta un detalle de las modificaciones, expresadas globalmente, por servicio. En materia de oferta (Fig. 2a, barras), enfermería, pediatría y odontología incrementan su capacidad de consultas (1,5, 29 y 179 %, respectivamente), mientras que en los restantes servicios se observan reducciones importantes (familia/general 82%, obstetricia 61%, psicología 52% y ginecología 47%).

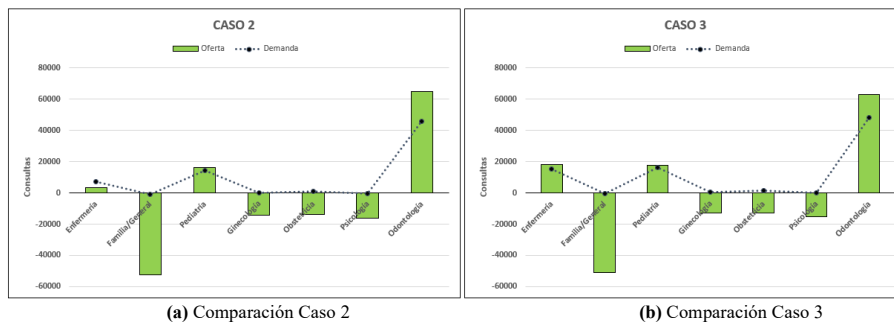


Fig. 2. Diferencia de oferta y demanda con respecto al Caso 1.

Con este nuevo escenario de oferta, la demanda teórica se incrementaría globalmente en un 17%. Los servicios de enfermería, obstetricia, odontología y pediatría observan aumentos de 4, 16, 148 y 34% respectivamente, mientras que los restantes presentarían disminuciones (ginecología -1%, psicología -4% y familia/general -8%) (Fig. 2a, línea).

En todos los casos el nivel de utilización es superior al 70% como lo garantiza la restricción sobre esta variable. En la Fig. 3 se muestra, por CAPS y por servicio, el detalle de incrementos y reducciones propuesto por el modelo. El color azul corresponde al Caso 1 y el verde al Caso 2.

Como es de esperar, el modelo propone la apertura de servicios en los CAPS donde no se ofrecen (la gran mayoría de pequeña capacidad) y el cierre de servicios para cumplir con el nivel de utilización mínimo del 70% así como la apertura de servicios de odontología de gran capacidad en la mayoría de los CAPS de la red. Esto asegura una máxima distribución territorial de la oferta, lo que contribuye a maximizar la demanda calculada, la cual, en este estudio, depende exclusivamente de la distancia geográfica.

Como se mencionó anteriormente, tanto por cuestiones de costo como por restricciones de infraestructura esta solución sería difícil de implementar en la práctica, pero proporciona una guía de los centros que, preferentemente, podrían recibir reestructuraciones de servicios para ir adaptando el sistema a la necesidad de la población.

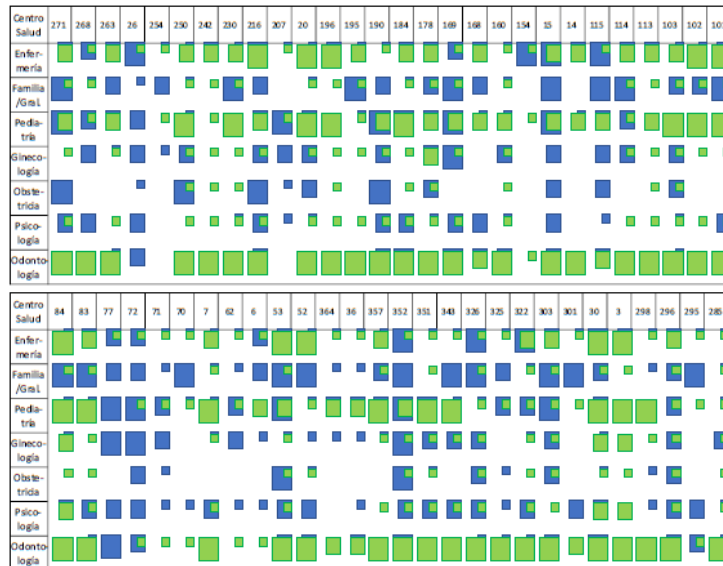


Fig. 3. Comparación de capacidades de servicios entre Caso 1 (azul) y Caso 2 (verde).

Los resultados del Caso 3, en el cual se ha incorporado un nuevo CAPS a la red, se detallan en la Tabla 2. El nuevo CAPS se dispone en el radio censal indicado con un triángulo negro en la Fig. 4 y cuenta con la totalidad de los servicios, la mayoría con baja capacidad. Este centro se ubica en un área densamente poblada que no cuenta con CAPS cercanos, pero donde existe una oferta importante de hospitales. Dado que la tendencia es a evitar que la población acuda al segundo nivel para tender consultas propias del primer nivel, en este trabajo no se consideró la capacidad de los hospitales de atender consultas que habitualmente deberían resolverse a nivel CAPS en sectores donde existan hospitales. En la práctica, sin embargo, probablemente no sea posible emplazar el CAPS en la ubicación propuesta por diferentes razones.

La demanda global del sistema se incrementa en un 29,38% respecto del caso base a costa de un aumento del 1,4% en la oferta global de consultas. En esta nueva situación se consigue que el 88,4% de la necesidad teórica de la población se manifieste como demanda en los CAPS.

La oferta de consultas aumentó en los servicios de odontología, pediatría y enfermería en un 174%, 31,77% y 7,65%, respectivamente. A su vez, se observa una disminución de la oferta en los servicios familia/general (-79%), psicología (-49%), ginecología (-43%) y obstetricia (-57%). (Fig. 2b, barras) Por su parte, la incorporación de un nuevo centro junto con la redistribución de capacidades en los restantes produce, como es de esperar, un aumento de la demanda de consultas global y por servicios (Fig. 2b línea). En particular, se incrementa odontología un 155%, obstetricia un 24%, pediatría un 38%, ginecología un 5%, psicología un 1% y enfermería un 9%. Solo disminuye familia/general (-2%).

Los parámetros del modelo, en particular los datos de distancias entre radios censales, población por grupo y radio censal, y localización y capacidades de servicios de los CAPS existentes, se organizaron en planillas de cálculo para poder ser alimentados de forma práctica e interactiva al modelo de optimización. El modelo presentado anteriormente es de tipo MILP y fue programado en la plataforma GAMS versión 32.2.0^[4]. Para resolverlo se emplea el *solver* CPLEX 12.10.0.0 en una computadora con procesador Intel Core i7-4790HQ, CPU 3.6 GHz, 16GB RAM y sistema operativo *Windows* 10pro 64-bit. Los resultados principales, en particular, las demandas calculadas, y las nuevas ubicaciones y capacidades de los CAPS, se escriben en planillas de cálculo para su posterior procesamiento y graficación vía SIG.

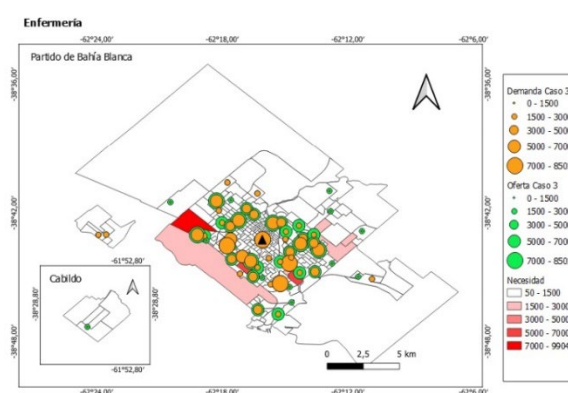


Fig. 4. Necesidad, oferta y demanda del servicio de enfermería para el Caso 3.

8 Conclusiones

La metodología planteada permite estimar la demanda con relación a la necesidad de servicios del primer nivel como función de la distancia de traslado de la población hacia los CAPS. Se consideró una función sencilla de predisposición al traslado, que contempla una distancia máxima de 1500 m con una función linealmente decreciente a partir de los 500 m.

En el caso base se detectó que la oferta potencial de consultas supera grandemente a la demanda estimada para todos los servicios. Esta oferta supera incluso a la necesidad de consultas en todos los casos, excepto para el servicio de odontología, el cual se presta solo en algunos CAPS. Los niveles de utilización simulados para esta situación son, en general, bajos.

Al liberar la apertura y capacidad de todos los servicios la oferta se distribuye en el territorio, con el consecuente aumento de demanda. Cuando se permite la apertura de un nuevo CAPS el modelo de localización lo asigna en un radio censal ubicado en un área central y redimensiona las capacidades de todos los servicios del resto de los

[4] <https://www.gams.com/>

CAPS. El nivel de servicio obtenido está comprendido entre el 71% y el 80% en cada servicio, siendo los servicios con el mayor porcentaje de atención los de odontología y pediatría en ambos casos de rediseño.

Sin embargo, hay que considerar que en la práctica no todos los CAPS tienen la posibilidad de ofrecer nuevos servicios, debido a que las instalaciones deberán tener el espacio suficiente para prestarlos. Asimismo, es necesario tener en cuenta que se debe incorporar más personal.

Si bien no se realizó un estudio específico de costos, se espera un incremento significativo tanto de los costos de inversión como de los costos fijos y operativos, en ambos casos de rediseño. Trabajo futuro incluye un estudio detallado de los mismos. Adicionalmente se seguirá trabajando en la refinación de la necesidad y de la oferta, así como en un modelado más ajustado de la demanda.

Para mejorar la estimación de la necesidad, sería óptimo contar con datos más actuales de la población, aunque suponemos que los datos del censo 2022 no estarán disponibles en breve. Para mejorar la estimación de la oferta se prevé realizar un relevamiento que permita establecer con mayor precisión la cantidad de consultas posibles por servicio ofrecidas en cada centro. Esto implica conocer en detalle, por CAPS, la cantidad de profesionales por servicio, así como los diferentes contratos de cada uno, y obtener además una aproximación más ajustada del modulador de oferta α . Finalmente, el cálculo de la demanda también admite mejoras. Además de considerar la distancia geográfica, trabajo futuro prevé la incorporación de aspectos como el grupo etario, el nivel socioeconómico y el tipo de centro en el cálculo del modulador de la demanda, $\delta_{n,o}$.

Referencias

1. Ahmadi-Javid, A., Seyedi, P., Syam, S.S.: A survey of healthcare facility location. *Computers & Operations Research* 79, (2017) 223-263.
2. Pu, Q., Yoo, E-H., Rothstein, D.H., Cairo, S., Malerno, L.: Improving the spatial accessibility of healthcare in North Kivu, Democratic Republic of Congo. *Applied Geography* 121, (2020) 102262.
3. Mendoza-Gómez, R., Ríos-Mercado, R. Z.: Location of primary health care centers for demand coverage of complementary services. *Computers & Industrial Engineering* 169, (2022) 108237.
4. Church, R.L., ReVelle, C.: The maximal covering location problem. *Papers in Regional Science: The Journal of the Regional Science Association International* 32(1), (1974) 101-118.
5. Elorza, M. E., Moscoso, N. S., Blanco, A. M., Gentili, J. O.: Estimating Need, Demand and Supply in Primary Health Care Services: A Local Application in Argentina. *MEDICC Review* 20(3), (2017) 36-44.
6. Accattoli Colaneri, V., Moreno, M.S., Acrogliano, P.L., Blanco, A.M.: Análisis del Primer Nivel de Atención de la ciudad de Bahía Blanca Usando SIG. Congreso 49 JAIIO: Jornadas Argentinas de Informática, XI Congreso Argentino de Informática y Salud 2020 (CAIS 2020) ISSN :2451-7607 SADIO - Sociedad Argentina de Informática. (2020).
7. Elorza, M. E., Moscoso, N. S., Blanco, A. M.: Assessing performance in health care: A mathematical programming approach for the re-design of primary health care networks. *Socio-Economic Planning Sciences* 84, (2022) 101454.