

# Análisis de redes de centros de atención primaria de la salud empleando simulación numérica y algoritmos genéticos

**Moreno, Graciela A.**

[gmorenoing@gmail.com](mailto:gmorenoing@gmail.com)

*Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur -IIESS (CONICET-Universidad Nacional del Sur)  
(Bahía Blanca-Argentina).*

**Moreno, M. Susana**

[smoreno@plapiqui.edu.ar](mailto:smoreno@plapiqui.edu.ar)

*Planta Piloto de Ingeniería Química -PLAPIQUI (CONICET-Universidad Nacional del Sur)  
(Bahía Blanca-Argentina).*

**Blanco, Aníbal M.**

[ablanco@plapiqui.edu.ar](mailto:ablanco@plapiqui.edu.ar)

*Planta Piloto de Ingeniería Química -PLAPIQUI (CONICET-Universidad Nacional del Sur)  
(Bahía Blanca-Argentina).*

Fecha de recepción RIII: 17/04/2024

Fecha de aprobación RIII: 27/10/2024

## RESUMEN

Las redes de Centros de Atención Primaria de la Salud (CAPS) son una parte importante del sistema de salud pública de nuestro país. Con el fin de maximizar el acceso de la población a los bienes y servicios de salud brindados en los CAPS, los municipios realizan un esfuerzo permanente para ir adaptando estas redes al crecimiento demográfico y territorial de las ciudades. Se trata de un problema complejo que implica distribuir de forma adecuada en el territorio el número de centros, con la capacidad apropiada de cada tipo de servicio ofrecido. El objetivo principal de este trabajo es estudiar la necesidad, la demanda y la oferta de servicios de atención primaria de la salud con el auxilio de un modelo matemático. Para el caso de estudio específico de una ciudad mediana desagregada territorialmente en radios censales, en una primera instancia se investiga, mediante simulación, la situación actual del sistema empleando un modelo sencillo de predisposición al traslado. A continuación, se analiza el efecto de modificar la capacidad de los servicios en los CAPS existentes. Finalmente, se investiga el efecto de incorporar nuevos centros a la red con el objeto de maximizar la demanda estimada empleando un algoritmo genético. La metodología propuesta permite estudiar sistemáticamente el sistema con la información disponible y analizar el impacto de modificaciones en la oferta de servicios sobre los principales indicadores de acceso.

**Palabras Claves:** Necesidad-Oferta-Demanda; Algoritmo Genético; CAPS.

## Network analysis of primary health care centers using numerical simulation and genetic algorithms

### ABSTRACT

The networks of Primary Health Care Centers (PHCC) are an important part of the public health system of our country. In order to maximize the population's access to health goods and services provided in the PHCC, the municipalities make a permanent effort to adapt these networks to the demographic and territorial growth of the cities. This complex problem involves distributing appropriately the number of centers in the territory, with the proper capacity for each type of service offered. The main objective of this work is to study the need, demand, and supply of primary health care services using a mathematical model. For the specific case study of a medium-sized city territorially disaggregated into census cells, firstly, the current system situation is investigated through simulation using a simple model of willingness to move. Next, the effect of modifying the capacity of services in existing PHCC is analyzed. Finally, the impact of incorporating new centers into the network is investigated in order to maximize the estimated demand using a genetic algorithm. The proposed methodology makes it possible to systematically study the system with the available information and analyze the impact of changes in services' offering on the main access indicators.

**Keywords:** Need-Supply-Demand; Genetic Algorithm; PHCC.

## Análise de redes de centros de atenção primária à saúde utilizando simulação numérica e algoritmos genéticos

### RESUMO

As redes de Centros de Atenção Primária a Saúde (CAPS) constituem parte do sistema público de saúde do nosso país. Para maximizar o acesso da população aos bens e serviços de saúde disponibilizados nos CAPS, os municípios fazem um esforço permanente para adequar essas redes ao crescimento demográfico e territorial das cidades. Este é um problema complexo que envolve distribuir adequadamente o número de centros no território, com capacidade adequada para cada tipo de serviço oferecido. O objetivo principal desde trabalho é estudar a necessidade, a demanda e a oferta de serviços de atenção primária à saúde com o auxílio de um modelo matemático. Para o estudo de caso específico de uma cidade de médio porte desagregada territorialmente em raios censitários, em primeiro lugar, a situação à sistema é investigada por meio de simulação utilizando um modelo simples de predisposição à transferência. A seguir, analisa-se o efeito da modificação de novos centros à rede para maximizar a demanda estimada por meio de um algoritmo genético. A metodologia proposta permite estudar sistematicamente o sistema com a informação disponível e analisar o impacto das alterações na oferta de serviços nos principais indicadores de acesso.

**Palavras chave:** Necessidade-Oferta-Demanda; Algoritmo genético; CAPS.

## 1. INTRODUCCIÓN

La salud pública en Argentina está organizada en tres niveles de atención. El Primer Nivel de Atención (PNA) está conformado por centros que se ocupan de la prevención de enfermedades y la atención de patologías menores. El segundo nivel corresponde básicamente a los hospitales generales que atienden pacientes derivados del primer nivel. El tercer nivel se centra en hospitales y centros especializados en donde se tratan patologías más complejas que requieren diagnósticos y tratamientos especializados.

La infraestructura del PNA consiste en Centros de Atención Primaria de la Salud (CAPS), antiguamente conocidos como salas médicas o dispensarios, los cuales poseen una amplia distribución territorial en las ciudades.

Este trabajo propone estudiar la relación entre la necesidad de consultas por parte de la población y la oferta de consultas en el PNA. A la vez, se persigue estimar la demanda de consultas con el auxilio de un modelo matemático.

El PNA ha sido estudiado extensamente mediante el empleo de modelos matemáticos de cobertura máxima y localización óptima. Una revisión exhaustiva de trabajos hasta el año 2017 se puede encontrar en [2]. Algunos trabajos más recientes incluyen, por ejemplo, el estudio de Pu y col. [10], donde se evalúa el acceso espacial a centros de salud en la República Democrática del Congo, y el de Mendoza-Gómez y col. [8], donde se presenta una variación del problema de localización de cobertura máxima en los centros de atención primaria de la salud en México. Los modelos utilizados son típicamente variantes del problema de localización de máxima cobertura [3].

La metodología propuesta en este trabajo persigue ubicar un dado número de CAPS en el territorio, determinando el nivel óptimo de cada servicio ofrecido de manera de maximizar la demanda de consultas a lo largo de un año. Para formular y resolver el problema se diseñó un Algoritmo Genético (AG), que es una técnica de optimización que busca soluciones al azar guiada por el principio de la evolución natural. Las soluciones se codifican en cromosomas y se utilizan operadores de selección, cruce y mutación, a lo largo de un número de generaciones para identificar “el mejor” cromosoma.

Adicionalmente, este tipo de estudios que involucran la localización de nodos en el territorio, se complementan habitualmente con Sistemas de Información Geográfica (SIG), especialmente diseñados para analizar datos en función de su posición geográfica. En este trabajo se los empleará para representar la necesidad de servicios sanitarios de la población de cada radio censal, así como la oferta de servicios que se brindan en cada CAPS y la demanda estimada hacia estos.

Como caso de estudio se investigó el PNA del municipio de Bahía Blanca, sistema que se viene estudiando desde hace un tiempo en nuestro grupo de investigación ([1], [5], [6]).

## 2. METODOLOGIA

### **Estimación de la necesidad, oferta y demanda**

Para realizar el análisis de la población del partido de Bahía Blanca, se utilizó como referencia la información proporcionada por el Centro Nacional de Población, Hogares y Viviendas [4] el cual divide el partido en 369 radios censales urbanos y 9 radios censales rurales. Se incluyeron estimaciones adicionales para actualizar la información a fechas más recientes [1].

La estimación de la necesidad de consultas médicas de cada especialidad para la población objetivo en base anual, se realizó con la metodología de cálculo presentada en [5]. Una vez definida la distribución

poblacional en cada radio censal, diferenciando por grupo etario y sexo, se tienen diferentes necesidades de bienes y servicios de salud.

En este trabajo se asume que un 40% de la población (uniformemente distribuida) hace uso del PNA. Este valor es difícil de estimar y posee una gran incertidumbre. El mismo se correlaciona en alguna medida con el nivel de cobertura de la obra social/prepaga de la población y seguramente posee una variabilidad territorial no considerada a los fines de este estudio.

Con respecto a la estimación de la oferta, la ciudad cuenta con 56 CAPS, entre centros de salud y unidades sanitarias, los cuales se diferencian en la cantidad de servicios que ofrecen, los horarios y capacidad de atención, siendo mayores en los centros de salud que en las unidades sanitarias. Para cuantificar la oferta se utilizaron datos de la cantidad de profesionales por servicio en cada CAPS y las horas trabajadas por cada profesional de acuerdo a la metodología propuesta en [5] y la información proporcionada por la secretaría de salud de la ciudad. Los servicios considerados en este estudio son: enfermería, medicina familiar/clínica, pediatría, ginecología, obstetricia, psicología y odontología.

La oferta estimada es proporcional a la cantidad de profesionales asignados a cada centro, la cantidad de horas semanales y los días laborables a lo largo del año en el que desempeñan sus funciones.

La demanda es difícil de estimar dado que depende de numerosos factores. En este trabajo se considera únicamente la componente geográfica, que sugiere que la proximidad de una dada población a un CAPS hace que este sea más demandado que otro se encuentre más alejado, aunque se sabe que se trata de un fenómeno complejo que involucra muchos más elementos.

Para representar la tendencia de una cierta población a buscar servicios en los CAPS ubicados a determinadas distancias de su ubicación, en este trabajo se propone el siguiente modelo sencillo de predisposición al traslado:

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

$$\text{Si } ds_{n,o} \geq dr_{n,o}^{\max} \rightarrow \delta_{n,o} = 0 \quad (2)$$

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

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 límite. 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 (radios censales) y de oferta (CAPS). 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 Figura 1 se representan gráficamente las tres dimensiones descritas para el servicio de enfermería. La necesidad se representa en escala de rojos a nivel de radio censal. La oferta en el CAPS se presenta como un disco verde cuyo diámetro es proporcional a la cantidad de consultas ofrecidas. La demanda estimada se representa con un disco de color amarillo que muestra la cantidad de consultas del servicio en cada CAPS.

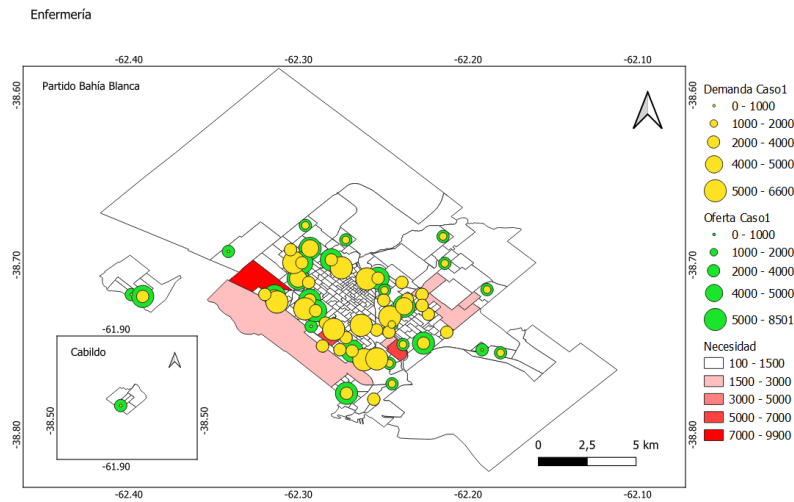


Figura 1 Necesidad, oferta y demanda del servicio de enfermería para el Caso 1.

### Simulación de la demanda

Dada la necesidad de cada servicio en cada radio censal y la capacidad de ese servicio en cada CAPS del sistema, es posible calcular la demanda de acuerdo al modelo de predisposición al traslado propuesto. En la Figura 2, cada recuadro representa un radio censal ( $rc$ ) con una dada población y cierta necesidad asociada. En algunos  $rc$  existen CAPS que ofrecen distintos servicios (nodos de oferta,  $o$ ). El sombreado gris oscuro representa los  $rc$  que se encuentran a menos de 500 m del nodo  $o$  y el gris claro los que están a menos de 1500 m.

El proceso de asignación de la demanda se describe a continuación estilo pseudocódigo.

1. Para cada CAPS ( $i$ ) se identifican los  $rc$  cercanos ( $<1500$  m) y se los ordena de mayor a menor de acuerdo al modulador de distancia y se los almacena en una matriz ( $RC_i$ ).
2. Se recorre cada CAPS ( $i = 1$  a 56)
  - a. Para cada CAPS  $i$ , se realiza un segundo ciclo que recorre los servicios ( $j = 1$  a 7).
    - i. Para cada servicio  $j$  se recorren los  $rc$  identificados ( $k = 1$  a  $RC_i$ ) partiendo de  $D_{ij}=0$ 
      1. La demanda de cada servicio en cada CAPS se calcula como la suma de la necesidad de los  $RC_i$  hasta que se alcanza la capacidad máxima:  $D_{ij} = N_j(RC_k) + D_{ij}$

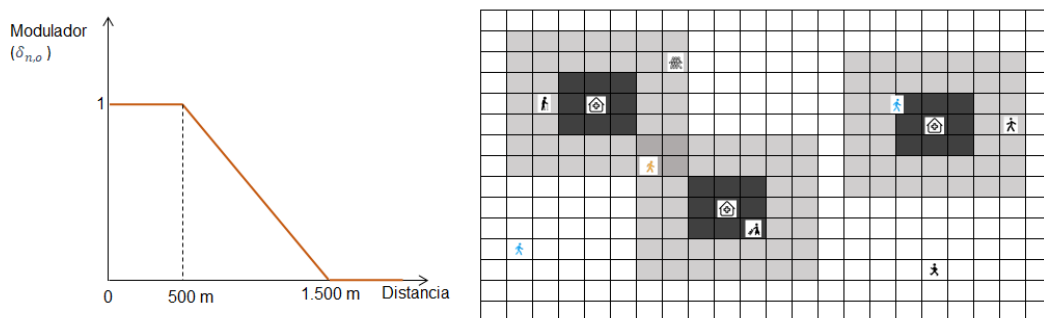


Figura 2 Predisposición de traslado en función de la distancia.

### Optimización de la oferta

En esta sección proponemos un algoritmo genético para maximizar la demanda de consultas mediante la reasignación de capacidades en los CAPS existentes y la apertura de nuevos CAPS.

### Población inicial

La población inicial se crea generando una matriz binaria de los cromosomas o individuos. Cada cromosoma se codifica como una matriz donde las filas representan la cantidad de radios censales del sistema (1 a 378) y las columnas corresponden a los servicios que se ofrecen en cada CAPS (Figura 3). En aquellas filas que corresponden a los radios censales donde existe o se abrirá un CAPS (indicados con subrayado), los servicios que se prestan se generan al azar y se indican con valor 1 si existen y 0 si no.

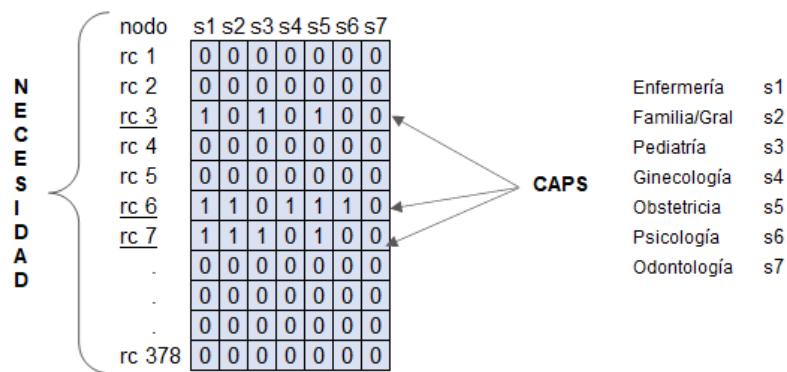


Figura 3 Estructura general del cromosoma propuesto del AG.

Cabe señalar que, para que un CAPS exista/se abra, debe contar al menos con el servicio de enfermería (s1), el cual es obligatorio.

El tamaño de la población es un parámetro que indica la cantidad de individuos que se someterán a los operadores de selección, cruce y mutación.

### Fitness o función de aptitud

El objetivo de la optimización es maximizar la demanda de consultas en todo el sistema. Para cada cromosoma o individuo se calcula la demanda estimada de servicios de todos los nodos de necesidad en función del modulador de distancia para todos los nodos oferta del sistema siguiendo la metodología descrita en la sección simulación de demanda.

### Selección

La estrategia de selección empleada en este trabajo es por torneo. Este método consiste en seleccionar al azar dos individuos de la población y generar un torneo o competencia entre ellos, donde el individuo con mejor fitness o aptitud será el ganador y se elegirá como padre/madre. La cantidad de individuos de la población a seleccionar es un parámetro del algoritmo. El valor más utilizado es el de dos individuos, pero se puede aumentar este valor según el problema. La aptitud se mide utilizando la función de fitness. Una vez que se obtiene el conjunto de padres se procede a utilizar los operadores de cruce y mutación.

### Cruce

Para combinar dos padres y generar dos nuevos hijos se utiliza el operador de cruce en un punto. Como se observa en la Figura 4, se establece al azar un punto de corte entre las columnas 2 y 6 para realizar el cruzamiento o intercambio genético donde se combina la primera parte de un padre con la segunda parte del otro.

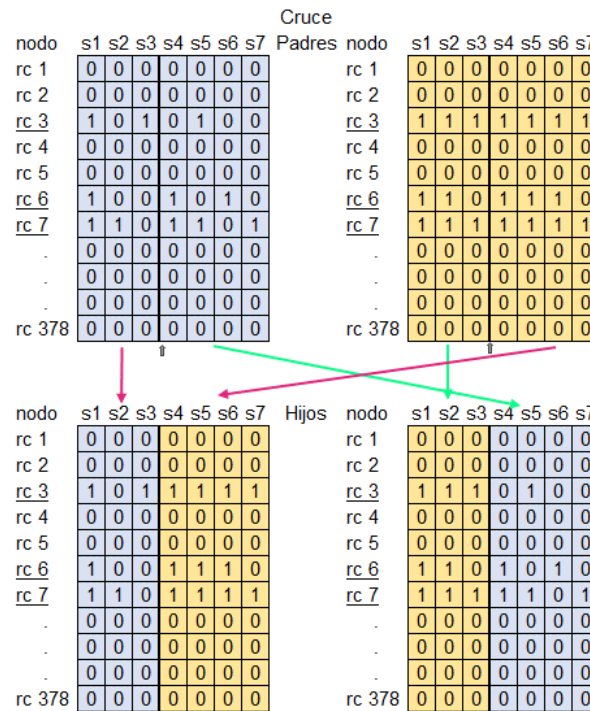


Figura 4 Representación del proceso de cruzamiento del cromosoma.

Sin embargo, para el caso en el que se abra un nuevo CAPS, después de realizar este cruzamiento los hijos podrían no representar una solución factible, incluso si ambos cromosomas poseen la misma cantidad de CAPS abiertos ( $s1 = 1$ ). Por ejemplo, como se observa en la Figura 5 el primer hijo tiene servicios habilitados en el radio censal 4 pero no tiene el servicio obligatorio de enfermería ( $s1$ ) lo mismo sucede en el rc2 del segundo hijo. Para salvar esta situación, se intercambian los servicios habilitados en estos radios censales con los del radio censal donde el servicio de enfermería toma valor 1.

Con este procedimiento se corrigen los servicios habilitados a partir del punto de cruce para los rc del cromosoma que poseen CAPS abiertos, generando de esta forma hijos factibles.

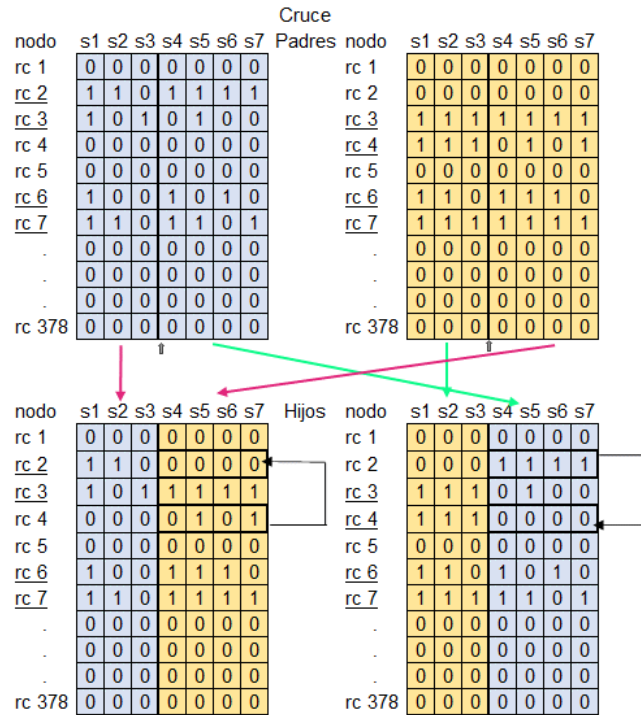


Figura 5 Corrección de cromosoma con diferentes CAPS abiertos en el cruzamiento.

### Mutación

El operador de mutación incorpora diversidad en la población para evitar la convergencia prematura del algoritmo. Esto se realiza generando soluciones diferentes de la original por medio de cambios al azar en una determinada posición o gen (columna/servicio y fila/CAPS), a través de una cierta probabilidad de mutación.

Para llevar a cabo esta mutación, se genera un número al azar y se compara con la probabilidad de mutación establecida (0,3 en este trabajo). Si el valor generado está por debajo de la probabilidad establecida, se procede a cambiar valor en la posición seleccionada (esto es, para el servicio del CAPS correspondiente) de 0 a 1 o de 1 a 0. En caso contrario, no se realiza ningún cambio. En la Figura 6 se muestra, a modo de ejemplo, la mutación de los hijos obtenidos en la Figura 5, indicando con color azul el gen que cambia.

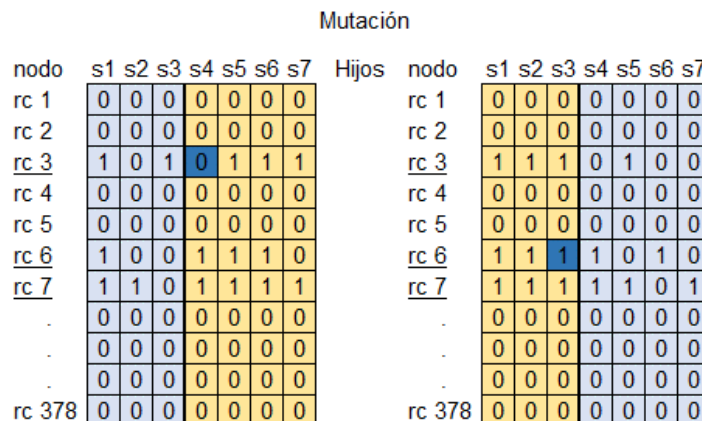


Figura 6 Representación del proceso de mutación de un gen al azar del cromosoma.



## Creación de la nueva población

Para la generación de una nueva población se utiliza el reemplazo generacional donde los padres son reemplazados en la nueva generación por los hijos. Este procedimiento es iterativo hasta que se cumple el criterio de parada.

## Criterio de parada

Los criterios de parada adoptados son: (i) por tiempo: como máximo 3600 s, (ii) por promedio de demanda estimada: si no hubo cambios en la demanda en las últimas 10 generaciones consecutivas y (iii) por cantidad fija de generaciones (por ejemplo, máximo 1 000 generaciones). Cuando se cumple alguno de los tres criterios mencionados se detiene el proceso y se obtiene la solución del AG como el cromosoma de la población con mejor función de fitness.

## Metodología de solución

Los parámetros del modelo, particularmente, los datos de distancia entre los radios censales, la población por grupo, los radios censales, la localización y capacidad de los servicios de los CAPS existentes se organizaron en planillas de cálculo para poder alimentar de forma práctica e interactiva el AG propuesto.

Los resultados obtenidos de demanda calculada y nuevas ubicaciones y capacidades de los CAPS se escriben en planillas de cálculo para su posterior procesamiento y graficación. El AG se implementó en software Python versión 3.10 utilizando las librerías de Numpy, Pandas y Matplotlib para la representación gráfica de los resultados. Los experimentos se realizaron en una computadora con procesador Intel Core i7-4790HQ, CPU 3.6 GHz, 16GB RAM y sistema operativo Windows 10pro 64-bit.

Para realizar un estudio de la calidad de las soluciones del AG propuesto, las soluciones obtenidas se comparan con las correspondientes a un modelo de optimización determinístico presentado en [9] con el cual se obtienen los resultados exactos del modelo para cada caso de estudio.

## 3. RESULTADOS

Para ilustrar el desempeño de la metodología propuesta, en esta sección proponemos analizar la situación actual y posibles rediseños de la red, a través de los siguientes casos de estudio:

1. Simulación de la situación actual:
  - a. La capacidad de los servicios de oferta esta fija en los CAPS existentes
  - b. Maximizar la demanda
2. Rediseño 1:
  - a. Se fija la ubicación de los CAPS existentes
  - b. Se liberan los servicios y capacidades en los CAPS
  - c. Maximizar la demanda
3. Rediseño 2:
  - a. Se fija la localización de los CAPS existentes
  - b. Se liberan los servicios y capacidades en los CAPS
  - c. Se habilita la posibilidad de incorporar un nuevo CAPS con los servicios que se necesiten en cualquier radio censal de la ciudad.
  - d. Maximizar la demanda

El Caso 1 persigue simular la situación actual de la red de CAPS con una oferta de servicios definida, estimando su demanda. Este caso sirve de base para realizar comparaciones con los otros dos casos. La estimación de la demanda se realiza considerando que, primero, deben asignarse los nodos de necesidad que posean un modulador igual a 1 y luego los siguientes en orden decreciente sin considerar el valor cero. La asignación de la necesidad modulada a un servicio del CAPS se realiza siempre y cuando no se supere la capacidad del servicio en el CAPS.

El Caso 2 está orientado a reestructurar las capacidades de los servicios ofrecidos en los CAPS manteniéndolos en la misma ubicación y sin incorporar nuevos centros en el sistema. Este experimento mide el impacto de reestructurar los centros. La diferencia en la simulación de este caso radica en la posibilidad de ofrecer todos los servicios en los CAPS existentes. El procedimiento de la estimación de la demanda es igual que en el Caso 1, ofreciendo una capacidad adecuada localmente a la necesidad.

La diferencia principal es que la demanda estimada aumenta porque se ofrecen todos los servicios en todos los CAPS.

Finalmente, el Caso 3, permite evaluar el sistema al incorporar un nuevo CAPS utilizando el algoritmo genético descrito en la sección anterior.

Los resultados de estos experimentos se reportan en la Tabla 1. Se presenta un resumen de los casos de estudio mencionados, detallando la información por servicio. La primera columna de la Tabla 1 muestra los servicios proporcionados por los CAPS y la segunda corresponde a la necesidad de consultas totales por servicio por parte de la población. Para cada uno de los casos de estudio, se presenta la demanda global estimada de consultas de cada servicio y la correspondiente oferta global de consultas por servicio.

Tabla 1 Resultados de los casos propuestos.

Servicio	Necesidad	Caso 1		Caso 2		Caso 3	
		Demanda	Oferta	Demanda	Oferta	Demanda	Oferta
Enfermería	200 072	152 768	186 613	161 708	221 629	172 078	247 740
Familia/General	11 420	8 796	20 848	9 391	22 776	9 892	22 394
Pediatría	67 029	42 392	50 352	55 036	74 422	57 599	76 852
Ginecología	15 063	10 499	17 820	12 434	25 514	13 093	26 323
Obstetricia	9 214	5 513	10 125	7 421	23 490	7 817	21 465
Psicología	14 303	10 412	18 630	11 746	24 300	12 222	22 678
Odontología	89 346	32 915	34 500	72 093	85 860	74 739	89 424
<b>Total</b>	<b>406 447</b>	<b>263 295</b>	<b>338 888</b>	<b>329 829</b>	<b>477 691</b>	<b>347 440</b>	<b>506 876</b>
Referencia		283 170	475 594	350 319	535 348	366 040	537 823
Nivel de utilización (%)		78		69		68	
DEM/NEC (%)		64,77		81,14		85,48	
OF/NEC (%)			83,37		117,5		124,7
RPD (%)		7	29	6	11	5	6

La demanda estimada según el modelo de predisposición al traslado utilizado, es menor a la necesidad teórica de la población (fila DEM/NEC). En los Casos 1, 2 y 3 la proporción de la necesidad que se manifiesta en demanda es de 64,77%, 81,14% y 85,48%, respectivamente.

Con respecto a la oferta global de servicios en relación a la necesidad teórica, en el Caso 1 es inferior manifestándose en un 83,37% pero se incrementa en los Casos 2 y 3, en un 17,5% y 24,7%, respectivamente, ampliando el potencial de cobertura del sistema (fila OF/NEC).

El indicador “nivel de utilización” se define como la demanda dividida la oferta (DEM/OF) y se utiliza para monitorear el uso efectivo de la capacidad instalada en el sistema. En el Caso 1 es del 78%, en el Caso 2 del 69% y en el Caso 3 del 68%.

Finalmente, para validar los resultados del método propuesto, se establece el indicador de rendimiento de desviación porcentual relativa (RPD) [7] como se muestra en la Ecuación (4), donde se emplea como referencia las soluciones obtenidas con un algoritmo determinístico reportadas en [9].

$$RPD = \frac{\text{solución de referencia GAMS} - \text{solución del algoritmo}}{\text{solución de referencia GAMS}} \cdot 100 \quad (4)$$

Las soluciones de los Casos 1, 2 y 3 se presentan gráficamente en las Figuras 1, 7 y 8, respectivamente, para el servicio de enfermería.

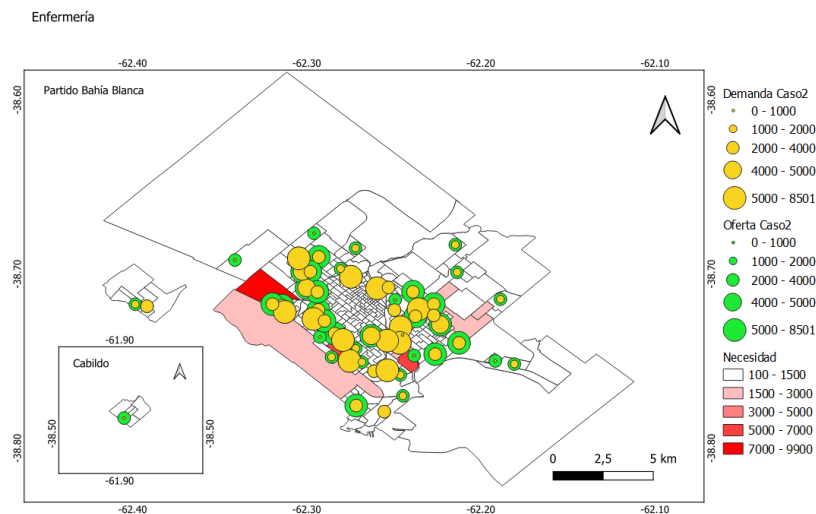


Figura 7 Necesidad, oferta y demanda del servicio de enfermería para el Caso 2.

En particular, para el Caso 3 (Figura 8), el nuevo CAPS se localiza en el radio censal indicado con un triángulo negro contando con la totalidad de servicios siendo la mayoría de baja capacidad. Este se ubica en un área densamente poblada que no cuenta con CAPS cercanos, pero donde existe una oferta importante de hospitales. En la práctica, probablemente no sea posible emplazar el CAPS en la ubicación propuesta por diferentes razones. El radio censal con un cuadrado negro señala la ubicación obtenida con el algoritmo determinístico en [9].

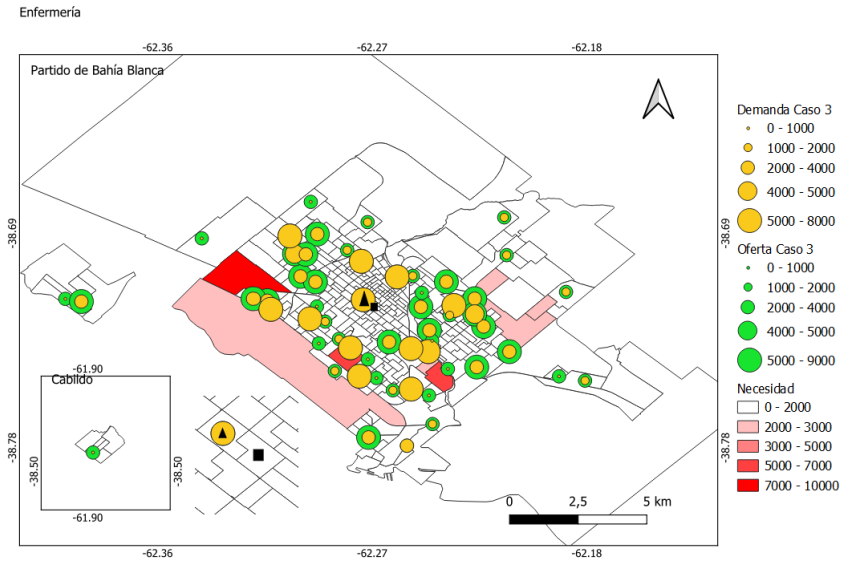


Figura 8 Necesidad, oferta y demanda del servicio de enfermería para el Caso 3.

Cabe aclarar que, para determinar la mejor solución del algoritmo en el Caso 3 se evaluaron las soluciones obtenidas de diferentes experimentos donde se trabajó poblaciones de 20, 60 y 100 individuos. Para obtener cierta representatividad estadística, se analizaron 10 ejecuciones independientes del AG en cada caso. Para ello se emplearon los criterios de parada del algoritmo que, como se mencionó previamente, consisten en un máximo de 1000 iteraciones, un máximo de una hora y otro que monitorea el promedio de función de aptitud en las últimas 10 generaciones seguidas. La Tabla 2 contiene los resultados de estos experimentos, y a partir de ellos se puede concluir que la solución con 100 pobladores conduce a soluciones que no se espera que mejoren significativamente con nuevos incrementos.

Tabla 2 Resumen promedio global de resultados del Caso 3 empleando el AG.

Tamaño Población	Iteración	Demanda estimada	Oferta estimada	Tiempo promedio (s)	RPD (%)	Cobertura (%)	Nivel de utilización (%)
20	382	338 847	495 133	866	7	92,57	68
60	400	344 096	509 596	2846	6	94,01	68
100	318	345 216	508 103	3605	6	94,36	68

#### 4. CONCLUSIONES

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

En el caso de simulación 1 se observa que la oferta potencial de consultas supera la demanda estimada para todos los servicios. Sin embargo, solo el 64,77% del total de la necesidad se manifiesta en demanda de acuerdo al modelo de predisposición de traslado empleado. Asimismo, solo el 83,37% de la necesidad posee una oferta asociada en el PNA para los datos de necesidad y oferta utilizados.

La posibilidad de modificar la capacidad de los servicios en los diferentes centros de la red (Caso 2) permite incrementar estos valores a 81,14 y 117,5% respectivamente.

Adicionalmente la posibilidad de incorporar un nuevo centro a la red (Caso 3) mejora aún más estas cifras (85,48 y 124,7%).

Globalmente se observa que la demanda del sistema se incrementa respecto del caso base como consecuencia del aumento de la oferta global de consultas.

Sin embargo, se observa un deterioro en el indicador “nivel de utilización”, el cual se reduce respecto del caso base. Esto es esperable dado que no se incorporó en los algoritmos ninguna restricción que fuerce a que dicha variable se mantenga en un nivel apropiado.

En cuanto al desempeño de la metodología propuesta en comparación con la versión determinística, se observa, para la variable demanda, un error (RPD) del 7% en el Caso 1 y de 6 y 5% en los Casos 2 y 3, respectivamente. Estas diferencias se atribuyen a que la demanda estimada realizada con el procedimiento de la sección 2.2 no es exacta, sino que se producen subestimaciones de la misma.

Sin embargo, los resultados se consideran razonables y pueden ser empleados como una guía en la toma de decisiones. Específicamente, el nuevo centro abierto en el Caso 3 se localiza en un radio censal muy próximo al propuesto por la solución de referencia.

Como trabajo futuro se planea mejorar la estimación de la necesidad y de la oferta. También se prevé realizar el cálculo de los costos operativos y de inversión en incrementos de capacidad de servicios e instalación de nuevos centros. También se espera mejorar el algoritmo de asignación de la sección 2.2 para estimar la demanda de consultas considerando la predisposición al traslado de la población. Finalmente, se evaluará el impacto de modificaciones del AG propuesto que permitan mejorar su desempeño, como por ejemplo los criterios de parada, la probabilidad de mutación o tipo de reemplazo de la población.

## 5. REFERENCIAS

- [1] Accattoli Colaneri, V., Moreno, M. S., Acroglano, P. L., & Blanco, A.M. (2020). Análisis del primer nivel de atención de la ciudad de Bahía Blanca usando SIG. XI Congreso Argentino de Informática y Salud (CAIS 2020) - JAIIO 49 (Modalidad virtual). <https://49jaiio.sadio.org.ar/pdfs/cais/CAIS%2009>
- [2] Ahmadi-Javid, A., Seyedi, P., & Syam, S.S. (2017). A survey of healthcare facility location. *Computers & Operations Research*, 223-263. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.05.018>
- [3] Church, R., & ReVelle, C. (1974). The maximal covering location problem. *Papers in Regional Science: The Journal of the Regional Science Association International*, 32(1), 101-118. <https://doi.org/10.1007/bf01942293>
- [4] CNPHyV. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. Provincia de Buenos Aires, Partido Bahía Blanca. Buenos Aires: INDEC. [Internet] (2010). Disponible en: <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135>
- [5] Elorza, M. E., Moscoso, N. S., Blanco, A. M., & Gentili, J. O. (2018). Estimating need, demand and supply in primary health care services: A local application in Argentina. *MEDICC Review*, 20(3), 36-44. <https://doi.org/10.37757/mr2018.v20.n3.8>
- [6] Elorza, M. E., Moscoso, N. S., & Blanco, A. M. (2022). Assessing performance in health care: A mathematical programming approach for the re-design of primary health care networks. *Socio-Economic Planning Sciences*, 84, 101454. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101454>
- [7] Gazani, M. H., Niaki, S. A. A., & Niaki, S. T. A. (2021). The capacitated maximal covering location problem with heterogeneous facilities and vehicles and different setup costs: An effective heuristic approach. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 12, 79-90. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2020.9.002>
- [8] Mendoza-Gómez, R., & Ríos-Mercado, R. Z. (2022). Location of primary health care centers for demand coverage of complementary services. *Computers & Industrial Engineering*, 169, 108237. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108237>

- [9] Moreno, G. A., Moreno, M. S., & Blanco, A.M. (2023). Análisis y rediseño de una red de centros de atención primaria de la salud. Simposio Argentino de Informática Industrial e Investigación Operativa (SIIIO 2023) - JAIIO 52, CABA, Argentina. <https://52jaiio.sadio.org.ar/>
- [10] Pu, Q., Yoo, E.-H., Rothstein, D. H., Cairo, S., & Malemo, L. (2020). Improving the spatial accessibility of healthcare in North Kivu, Democratic Republic of Congo. *Applied Geography*, 121, 102262. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102262>