



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR**

**TESIS DOCTORAL EN ECONOMÍA**

*Planeamiento Óptimo en el Sector Salud: aportes de la  
Economía y la Ingeniería de Sistemas*

María Florencia Arnaudo

**BAHÍA BLANCA**

**2017**

**ARGENTINA**

## **Prefacio**

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Economía, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Economía durante el período comprendido entre el año 2012 y el año 2017, bajo la dirección dirección y codirección respectivamente, de los Dres. Fernando Lago (Dpto. de Economía, IIESS, CONICET. Universidad Nacional del Sur) y J. Alberto Bandoni (Dpto. de Ingeniería Química, PLAPIQUI, CONICET. Universidad Nacional del Sur)



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR  
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el 27 de junio de 2017, mereciendo la calificación 10 (diez)

## **Resumen**

La presente Tesis Doctoral es el resultado de aplicar un enfoque multidisciplinario de Economía de la Salud e Ingeniería de sistemas al proceso de toma de decisiones en el sector salud, con el objetivo de alcanzar un uso más eficiente y equitativo de los recursos disponibles.

La tesis está estructurada en cuatro capítulos principales además de introducción y conclusiones. En el primero se reseña el campo de acción de la economía de la salud como disciplina científica, focalizando en algunos conceptos claves para evaluar la asignación de recursos en el sector salud. Luego se presenta a la Ingeniería de Sistemas de Procesos y su alcance como disciplina, destacando el rol de la modelización matemática como instrumento básico de análisis, revisando algunas aplicaciones potenciales de este enfoque para la mejora de la asignación de los recursos en el sector salud. En capítulo dos se presentan los principales modelos de localización desarrollados por la Ingeniería de Sistemas de Procesos, luego se aplican a un caso hipotético con el fin de comparar los resultados desde la perspectiva de la eficiencia, equidad y acceso reseñadas anteriormente. En el capítulo tres desarrollan distintas variantes de un modelo de localización diseñado para optimizar planificación de la ubicación de los centros de atención primaria (CAPS) en la localidad de Bahía Blanca, considerando explícitamente las necesidades de cuidados médico sanitarios de los habitantes de los distintos sectores de la ciudad. Por último, en el capítulo cuatro se analiza la localización de potenciales centros de trasplantes renales de la provincia de Buenos Aires con el objetivo de que el proceso sea eficiente, en términos de los costos de mantenimiento de los centros de trasplante y de los tiempos insumidos en el proceso de procuración.

## **Abstract**

This Thesis is the result of applying a multidisciplinary approach of Health Economics and Systems Engineering to the process of decision making in the health sector, with the objective of achieving a more efficient and equitable use of available resources.

The thesis is structured in four chapters, plus the introduction and conclusions. The first one reviews the field of study of health economics as a scientific discipline, focusing on some key concepts used to evaluate the allocation of resources in the health sector. Then, Process Systems Engineering and its scope as a discipline is presented, highlighting the role of mathematical

modeling as its basic tool for analysis and reviewing some potential applications of this approach for the improvement of the allocation of resources in the health sector. In chapter two the main families of location models developed by Process Systems Engineering are presented, then applied to a hypothetical case in order to compare the results from the perspective of efficiency, equity and access previously described. In chapter three, two different variants of a localization model designed to optimize the location of primary care centers (CAPS) in the city of Bahía Blanca (Argentina) are developed, explicitly considering the health care needs of the inhabitants of the different sectors from the city. Finally, chapter four analyzes the optimal location of kidney transplant centers in the province of Buenos Aires (Argentina) with the objective of making the process more efficient in terms of maintenance costs of the transplant centers and the time spent in the procurement process.

**INDICE**

<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>CAPÍTULO I. Aportes potenciales de la Economía de la Salud y la Ingeniería de Sistemas de Procesos para la toma de decisiones en el sector salud</b>	
1. Introducción	7
2. El sector salud como sistema	8
2.1. El sistema de salud argentino: una breve descripción	11
3. Economía de la Salud	14
3.1. Economía de la Salud: campos de aplicación	15
3.2. Economía de la Salud: principales objetivos	16
4. Ingeniería de Sistemas de Procesos Definición y campo de acción	23
4.1. Aplicaciones de la Ingeniería de Sistemas al Sistema de Salud	26
5. Reflexiones finales	27
Referencias Bibliográficas	28
<b>CAPÍTULO II. Modelos matemáticos de localización óptima: implicancias para la accesibilidad a los servicios de salud</b>	
1. Introducción	33
2. Los modelos de localización	36
2.1. Modelos basados en la media	36
2.2. Modelos de cobertura	37
2.3. Formulación matemática de los modelos basados en la media y de cobertura	39
3. Medidas de accesibilidad espacial o geográfica	42
4. Aplicación de los modelos: un caso hipotético	48
4.1. Datos	48
4.2. Resultados	50
5. Reflexiones finales	54
Referencias Bibliográficas	55
Anexo	59
<b>CAPÍTULO III. Planificación de un sistema de CAPS para la ciudad de Bahía Blanca, Argentina</b>	
1. Introducción	63
2. Antecedentes en la literatura	65
2.1. Modelos basados en la media	66
2.2. Modelos de cobertura	66
2.3. Comparación de modelos de cobertura y modelos basados en la media	67
2.4. Otros modelos	67

2.5. Problemas resueltos mediante la utilización de software SIG	69
2.6. Localización Centros de Prevención	70
3. Descripción del área de estudio	72
3.1. Perfil demográfico	73
3.2. Situación de cobertura de salud	72
3.3. Oferta actual: descripción de la situación actual de la ciudad y los CAPS	74
4. Supuestos y planteo general del modelo	75
4.1. Estimación de necesidades de servicios médico sanitarios	75
4.1.1 Concepto de necesidades en salud	76
4.1.2 Conceptos relacionados con la necesidad en salud	77
4.1.3 Técnicas de estimación de las necesidades en salud	79
4.2. Estimación de las necesidades en salud por radio censal en Bahía Blanca	88
4.2.1 Variables y fuentes de datos	88
4.2.2 Cálculo de los ponderadores	90
5. Modelo matemático para la planificación del sistema de CAPS en la ciudad de Bahía Blanca	91
5.1. Formulación del modelo	91
5.2. Definición de los conjuntos y valores de los parámetros	95
5.3. Caso Base, Escenarios y situación actual	96
5.4. Resultados	97
5.4.1 Caso 1: Diseño de red óptima de CAPS	98
5.4.2 Caso 2: Ampliación de la red actual de CAPS	111
6. Reflexiones finales	116
Referencias Bibliográficas	119
Anexo	123

#### **CAPITULO IV. Localización óptima de centros de trasplantes renales en la Provincia de Buenos Aires**

1. Introducción	131
2. Antecedentes en la literatura	133
3. La historia de los trasplantes en Argentina	134
4. El proceso de procuración, ablación y trasplante	137
5. Supuestos y planteo general del modelo	143
5.1 Descripción del modelo	146
5.2. Definición de conjuntos y valores de los parámetros en el caso base	150
5.3 Escenarios	152
5.4 Resultados	155
6. Reflexiones finales	159
Referencias Bibliográficas	161
Anexo	162

**REFLEXIONES FINALES**

168

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1.1. Componentes y relaciones de los sistemas de salud.	11
Figura 2.1. Medidas alternativas de distancia	47
Figura 2.2. Bahía Blanca. Región seleccionada como caso de estudio	49
Figura 2.3. Localización óptima de CAPS según modelos basados en la media	50
Figura 2.4 Localización óptima de CAPS según modelos de cobertura	51
Figura 3.1 Bahía Blanca. Distribución CAPS	75
Figura 3.2 Relación entre necesidad, oferta y demanda	79
Figura 3.3 Localización de CAPS. Representación gráfica del problema	93
Figura 3.4 Bahía Blanca. Radios Censales agrupados por cuartiles del índice de necesidad sanitaria y distribución actual de CAPS	98
Figura 3.5 Bahía Blanca. Radios censales urbanos. División de la ciudad y Distribución de CAPS	99
Figura 3.6 Bahía Blanca. Ubicación óptima de CAPS según modelo propuesto. Caso Base	104
Figura 3.7 Bahía Blanca. Ubicación óptima de CAPS según modelo propuesto. Escenario 1	104
Figura 3.8 Bahía Blanca. Ubicación óptima de CAPS según modelo propuesto. Escenario 2	105
Figura 3.9 Bahía Blanca. Ubicación óptima de CAPS según modelo propuesto. Escenario 3	105
Figura 3.10 Bahía Blanca. Ubicación óptima de CAPS según modelo propuesto. Escenario 4	106
Figura 3.11 Bahía Blanca. Expansión red actual de CAPS. Ubicación óptima de nuevos centros de salud. N=57.	114
Figura 3.12 Bahía Blanca. Expansión red actual de CAPS. Ubicación óptima de nuevos centros de salud. N=58.	114
Figura 3.13 Bahía Blanca. Expansión red actual de CAPS. Ubicación óptima de nuevos centros de salud. N=59.	115
Figura 3.14 Bahía Blanca. Expansión red actual de CAPS. Ubicación óptima de nuevos centros de salud. N=60.	115
Figura 4.1. Proceso de procuración argentino de corazón, pulmón, hígado, intestino y páncreas	142
Figura 4.2. Proceso de procuración de órganos argentino. Caso específico de riñón	142
Figura 4.3. Flujo extra de órganos desde el HD 1 al CT 1.	145
Figura 4.4. Tiempo insumido en el proceso de procuración y ablación de riñón. Comparación del Caso Base y los Escenarios 1 y 2	156
Figura 4.5. Tiempo insumido en el proceso de procuración y ablación de riñón. Comparación de los Escenarios 2 a 4	157
Figura 4.6. Tiempo insumido en el proceso de procuración y ablación de riñón. Comparación de los Escenarios 5 a 7	158

Figura 4.7. Tiempo insumido en el proceso de procuración y ablación de riñón. Comparación de los Escenarios 5 y 8	159
--	-----

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Impedancia promedio a todos los proveedores, relación entre impedancia promedio máxima y mínima según cada modelo analizado y número de CAPS instalados	52
Tabla 2.2. Índice gravitacional según cada modelo analizado	53
Tabla 2.3. Índice gravitacional modificado según cada modelo analizado	54
Tabla 3.1. Matriz de componentes rotados	90
Tabla 3.2. Escenarios Propuestos. Valores de la capacidad máxima de atención de cada CAPS (Parámetro $W_{max}$ ) y distancia máxima que una persona está dispuesta a recorrer para llegar a un CAPS (Parámetro $D$ )	96
Tabla 3.3. Estadística del modelo según cada región de análisis	100
Tabla 3.4. Tiempo de CPU (segundos) y GAP relativo (%) para cada escenario y región	100
Tabla 3.5. Bahía Blanca. Región Este. Número óptimo de CAPS según modelo propuesto	101
Tabla 3.6. Bahía Blanca. Región Este. Población atendida por CAPS ajustada por necesidad y real	102
Tabla 3.7. Bahía Blanca. Región Este. Distancias recorridas para concurrir a un CAPS (en km)	103
Tabla 3.8. Bahía Blanca. Región Oeste-Sur. Número óptimo de CAPS según modelo propuesto	106
Tabla 3.9. Bahía Blanca. Región Oeste-Sur. Población atendida por CAPS ajustada por necesidad y real	107
Tabla 3.10. Bahía Blanca. Región Oeste –Sur. Distancias recorridas para concurrir a un CAPS (en km)	108
Tabla 3.11. Bahía Blanca. Región Oeste-Norte. Número óptimo de CAPS según modelo propuesto	109
Tabla 3.12. Bahía Blanca. Región Oeste-Norte. Población atendida por CAPS ajustada por necesidad y total	110
Tabla 3.13. Bahía Blanca. Región Oeste –Norte. Distancias recorridas para concurrir a un CAPS (en km)	111
Tabla 3.14. Estadística del modelo según cada región de análisis	112
Tabla 3.15. Tiempo de CPU para cada escenario propuesto (segundos)	112
Tabla 3.16. Bahía Blanca. Población atendida por CAPS ajustada por necesidad y real	113
Tabla 3.17. Bahía Blanca. Distancias recorridas para concurrir a un CAPS (en km)	113
Tabla 4.1. Estimación de la oferta anual de órganos de cada hospital donante h	144
Tabla 4.2. Cálculo de los flujos entre los HD y los CT	144
Tabla 4.3. Cálculo de los flujos entre HD y CT cuando la demanda del CT 2 se traslada al CT 1	145
Tabla 4.4. Cálculo de los flujos entre HD y CT cuando el tiempo de viaje entre el	146

HD 1 y el CT 1 supera al de isquemia fría (se genera un flujo extra al CT más cercano)	
Tabla 4.5. Caso Base y Escenarios propuestos	153
Tabla 4.6. Cantidad de CT instalados y tiempo total de procuración en el caso base y escenarios propuestos	155
<b>ANEXO</b>	
Tabla A2.1. Resultados indicadores de accesibilidad para cada centro de población	59
Tabla A3.1. Variables Seleccionadas. Estadística descriptiva	123
Tabla A3.2. Análisis Factorial. Autovalores, porcentaje de la varianza total explicada por cada componente y porcentaje acumulado de la varianza explicada	123
Tabla A3.3. Estructura Factorial. Matriz de componentes rotados	124
Tabla A3.4. Cuartiles Índice de Necesidad Sanitaria. Estadística descriptiva	124
Tabla A3.5. Resumen soluciones Caso 1. CAPS instaladas, Población atendida por CAPS ajustada por necesidad y total	125
Tabla A3.6. Resumen soluciones Caso 2. CAPS instaladas, Población atendida por CAPS ajustada por necesidad y total	128
Tabla A 4.1. Conjunto H y C. Hospitales seleccionados	162
Tabla A 4.2. Conjunto m. localidades consideradas	164
Tabla A 4.3. Tiempo de CPU	165
Tabla A 4.4. Centros de trasplantes instalados según cada escenario propuesto.	166

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de salud en todos los países enfrentan una serie de demandas y presiones que compiten entre sí, planteando muchas veces disyuntivas de difícil resolución. La necesidad de incrementar la cobertura del sistema, por ejemplo, puede ir en contra de los objetivos de contención de costos. Por otra parte, los fondos destinados a las actividades de atención primaria pueden competir con los destinados a actividades curativas. Se plantean también desafíos, como asegurar el acceso a las prestaciones de salud de poblaciones rurales o de difícil atención (como algunas zonas marginales). En todo caso, si bien estas disyuntivas han de resolverse mediante procesos políticos, requieren de un cuidadoso análisis de la información disponible y la aplicación de técnicas adecuadas para tomar decisiones con menores niveles de incertidumbre.

Hoy en día, el estatus de salud de gran parte de la población de los países en desarrollo dista de alcanzar los estándares deseables. La persistencia de grandes desigualdades en el acceso a la salud por parte de distintos grupos de la población es un problema del cual no está exento ningún país del mundo, ni aún aquellos que realizan grandes erogaciones de recursos en este sentido. Esta situación resulta inaceptable si se considera que gran parte de la carga que representan las enfermedades (*burden of disease*) podría ser aliviada mediante tecnologías (tanto curativas como de prevención) sencillas y asequibles. En el centro de esta crisis humanitaria se encuentra el fracaso de los sistemas nacionales de salud, que no han logrado hacer un uso eficiente de los recursos físicos y humanos disponibles. El gran desafío pendiente consiste entonces en poner, en tiempo y forma, las tecnologías adecuadas a disposición de quienes las necesitan.

Las iniciativas tendientes a mejorar los sistemas de salud requieren de indicadores de desempeño confiables. Al respecto varias iniciativas están siendo desarrolladas (Hurst y Jee-Hughes, 2001). Generalmente los indicadores utilizados evalúan resultados, y menos frecuentemente constituyen medidas de proceso (Arah, 2003). Cualquier iniciativa de análisis de proceso de un sistema de salud deberá considerar los siguientes atributos:

- a) La *efectividad* de los sistemas, que puede interpretarse como el grado en el cual las intervenciones en salud permiten alcanzar los resultados deseados.

- b) La *eficiencia*, que intenta cuantificar en qué medida los sistemas de salud alcanzan los máximos resultados posibles dados los recursos disponibles:
- c) La *calidad* de los cuidados de salud, que puede ser definida como el grado en el cual los servicios de salud recibidos por la población incrementa la probabilidad de obtener los resultados deseados en salud, al mismo tiempo que son consistentes con el conocimiento profesional disponible (OCDE, 2004).
- d) La *equidad*, que requiere asegurar el acceso a igual tratamiento ante igual necesidad.

Según Tobar (2001) las dimensiones estructurantes de un sistema de salud están constituidas por un lado, por la oferta, es decir las organizaciones que proveen bienes y servicios de salud y, por otro, por la demanda, esto es la población que los requiere. En el sistema de salud argentino, la oferta de cuidados médicos es provista por tres subsectores los cuales se diferencian fundamentalmente en la modalidad del financiamiento de los servicios de salud: un subsector público, que atiende a toda la población de forma gratuita; un subsector de seguro social obligatorio organizado en torno a las obras sociales y un subsector privado con modalidades de seguro voluntario prepago.

En el subsector de la seguridad social se encuentran las Obras Sociales que están organizadas como un sistema de seguro social obligatorio. Se financian con aportes de los trabajadores y de los empleadores. Muchas de ellas no proveen servicios directamente pero subcontratan en el subsector privado. Las obras sociales están altamente concentradas en relación a su número de beneficiarios, sobre un total de 300 entidades, excluyendo al Instituto Nacional de Servicios Sociales de Jubilados y Pensionados (INSSJyP), las primeras 20 obras sociales del ranking acumulan en el año 2011 el 59% de la cantidad total de beneficiarios, y a su vez de ellas, las 10 primeras entidades absorben el 45% de la población total de beneficiarios (Arnaudo et al, 2016).

El subsector privado está compuesto por los profesionales y los establecimientos asistenciales privados que prestan servicios independientes a pacientes particulares con capacidad de pago, a asociados a las Obras Sociales y a usuarios de las Empresas de Medicina Prepaga. Se calcula que hay más de 200 empresas de medicina prepaga, fundamentalmente concentradas en las grandes

ciudades (el 58% tiene sede en Capital Federal, 19% en el resto del Gran Buenos Aires y 23% en el interior).

El subsector público provee los servicios a través de la red pública de establecimientos de salud. En la actualidad son los servicios provinciales y municipales los que poseen la infraestructura más extendida en el territorio nacional, atendiendo a: i) los grupos de menores ingresos sin cobertura de la seguridad social y a quienes tienen limitaciones de acceso o geográficas; ii) los beneficiarios de las Obras Sociales; iii) los sectores sociales con mayor capacidad de pago atraídos por el prestigio institucional, y iv) las emergencias y accidentes. Los servicios públicos gratuitos han debido afrontar la mayor demanda derivada del deterioro de la cobertura de muchas de las obras sociales, generando un mecanismo implícito de subsidio público a la seguridad social. Actualmente, este sector propone un nuevo modelo de atención médica basando su acción en la estrategia de la Atención Primaria de la Salud (APS), las tareas asistenciales, las acciones de prevención de la enfermedad y promoción de la salud.

En nuestro país, a pesar que los recursos destinados al financiamiento de la salud son cuantiosos (el 10% del PIB en el año 2008), los niveles de gasto no se encuentran reflejados en la calidad de la salud de la población. Hacia el año 2000, la OMS ubicó a Argentina en el puesto 16 entre los países con mayor gasto en salud como porcentaje del PBI, pero en el lugar 49 en el ranking de logros en el sector salud, en el puesto 71 en el de nivel de salud de la población y en el puesto 75 en el ranking del funcionamiento del sistema de salud. Más recientemente, Maceira et al (2010) señalan que la performance de la Argentina en términos de resultados en salud es baja en comparación con los restantes países de la región, considerando el esfuerzo que realiza en términos de gasto. Por ejemplo, registra una mortalidad al quinto año que llega a duplicar la de países que tienen un gasto en salud per cápita considerablemente menor al argentino. Concluyen que estos resultados desmitifican la siempre mencionada falta de recursos en el sector de la salud y sugieren una falla en su estructura organizativa, que excede a la capacidad de gasto, y se vincula con la utilización, financiamiento y gestión de esos recursos.

Asimismo, tendencias mundiales, como el incremento en los precios del sector salud originada por la incorporación de innovaciones biomédicas y tecnológicas desarrolladas a nivel mundial,

incorporan una presión adicional sobre los presupuestos de las instituciones de salud. Si bien esta presión se hace sentir tanto en las instituciones del sector público como en las privadas, las primeras poseen restricciones adicionales asociadas al tipo de mecanismo de pago utilizado (presupuestos fijos y prospectivos, generalmente anuales) que en un contexto de incrementos de precios del sector ponen en riesgo su capacidad de financiamiento.

En vista de lo expuesto, surge la necesidad de implementar acciones destinadas a mejorar la eficiencia local y global del/los sistema/s de salud en nuestro país en los niveles de: i) unidad de cuidado de la salud; ii) municipal o regional, y iii) provincial o nacional. Es decir, surge la necesidad de tomar decisiones, las cuales deben fundamentarse en un análisis riguroso y sistemático.

La ingeniería de sistemas puede proveer herramientas útiles para una gran variedad de aplicaciones relevantes en los sistemas de salud. En este sentido, en el año 2005, en una importante iniciativa conjunta, las academias de Ingeniería y de Medicina de EEUU elaboraron un documento donde se proveen una serie de recomendaciones para avanzar en la mejora de la efectividad de los sistemas de salud. La principal conclusión del trabajo fue la necesidad de aplicar enfoques y metodologías de ingeniería de sistemas para optimizar el proceso de toma de decisiones en los diferentes niveles del sistema de salud, haciendo uso de modelos matemáticos (Reid et al, 2005). Por otro lado, Rais y Viana realizaron en el año 2010 una revisión exhaustiva de la literatura reciente acerca de las aplicaciones del modelamiento matemático en el sector salud, destacando sus potenciales usos en la Optimización terapéutica, Gestión y logística del cuidado de la salud y Planeamiento del sector salud. En este contexto, la determinación de la localización óptima de los centros y recursos de salud constituye uno de los problemas más estudiados por la literatura especializada, siendo su uso prioritario en la planificación de la atención de la salud (Berg y Bjorn, 2013).

En nuestro país no existen antecedentes de desarrollos de herramienta sistemáticas de toma de decisión de la Ingeniería de Sistemas aplicados al sector salud. De modo que resulta de gran relevancia plantear la aplicación sistemática de enfoques de Ingeniería de Sistemas en el servicio de cuidado de salud de nuestro país.

La presente Tesis Doctoral es el resultado de aplicar herramientas de modelado matemático típicas de la Ingeniería de Sistemas a problemas de localización de centros de salud, en el subsistema de provisión pública de bienes y servicios médicos con el objetivo de lograr mejoras en términos de eficiencia y equidad en el uso de los recursos disponibles, metas que son propias de la Economía de la Salud. En particular, se estudia la localización del sistema de atención primaria de la salud, servicio brindado a través de los Centros de Atención Primaria (CAPS) de la localidad de Bahía Blanca y de los centros de trasplantes renales de la Provincia de Buenos Aires. Se espera que modelos como los expuestos en esta tesis constituyan herramientas útiles al momento de asistir a los tomadores de decisión en situaciones reales.

La tesis se divide en cinco capítulos. En el primero se reseña el campo de acción de la Economía de la Salud como disciplina científica, focalizando en algunos conceptos claves para evaluar la asignación de recursos en el sector salud, como los de eficiencia, equidad y acceso. Luego se presenta a la Ingeniería de Sistemas de Procesos y su alcance como disciplina, destacando el rol de la modelización matemática como instrumento básico de análisis. Por último se revisan algunas aplicaciones potenciales de este enfoque para la mejora de la asignación de los recursos en el sector salud.

En el capítulo dos se describen los objetivos y se presenta la formulación matemática de los principales modelos de localización desarrollados por la Ingeniería de Sistemas de Procesos, luego se aplican a un caso hipotético con el fin de comparar los resultados desde las perspectivas de la eficiencia, equidad y acceso reseñadas anteriormente.

En el capítulo tres desarrollan distintas variantes de un modelo de localización diseñado para optimizar planificación de la ubicación de los centros de atención primaria en la localidad de Bahía Blanca, considerando explícitamente las necesidades de cuidados medico sanitarios de los habitantes de la ciudad.

Luego, en el capítulo cuatro se analiza la localización de centros de trasplantes renales de la provincia de Buenos Aires con el objetivo de que el proceso sea eficiente, en términos de los

costos de mantenimiento de los centros de trasplante y de los tiempos insumidos en el proceso de procuración.

Por último, en el capítulo cinco se presentan las reflexiones finales de este trabajo de tesis.

### **Referencias Bibliográficas**

- Arah, O., Klazinga, N., Delnoij, D., Ten Asbroek, A. & Custers, T. (2003). Conceptual frameworks for health systems performance: a quest for effectiveness, quality, and improvement. *International Journal for Quality in Health Care*, 15(5), 377-398.
- Arnaudo, M., Lago, F., Moscoso, N., Báscolo, E. & Yavich, N. (2016). Concentración y desigualdades en el financiamiento de las obras sociales posdesregulación: un análisis comparativo de los años 2004 y 2011. *Salud Colectiva*, 12(1), 125-137.
- Berg, B., & Bjorn, P. (2013). Location Models in Healthcare. En Denton, Brian (Ed.) *Handbook of Healthcare Operations Management* (pp.387-402). Estados Unidos: Springer.
- Hurst, J. & Jee-Hughes, M. (2001). *Performance measurement and performance management*, OECD Health systems, Labour market and social policy, Occasional papers N° 47.
- Maceira D., Cejas C. & Olaviaga S. (2010). *Coordinación e integración: el desafío del sistema de salud argentino*. Centro de Implementación de Políticas Públicas para la Equidad y el Crecimiento, Documento de Trabajo N°49.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (2004). *Towards High-performing health systems*. Francia: OECD.
- Rais, A. & Viana, A. (2011). Operations research in healthcare: a survey. *International Transactions in Operational Research*, 18(1), 1-31.
- Reid P. Compton W., Grossman J. & Fanjiang G, editores (2005). *Building a Better Delivery System: A New Engineering/Health Care Partnership*. Committee on Engineering and the Health Care System, National Academy of Engineering and Institute of Medicine. Estados Unidos: National Academies Press
- Tobar, F. (2001). Economía de la Reforma de los Seguros de Salud en Argentina. Recuperado de <http://ebookbrowse.com/11-economia-reforma-sistemas-salud-tobar-pdf-d124735730>.

## **CAPÍTULO I. Aportes potenciales de la Economía de la Salud y la Ingeniería de Sistemas de Procesos para la toma de decisiones en el sector salud**

### **1. Introducción**

La investigación interdisciplinaria es cualquier estudio o grupo de estudios llevados a cabo por representantes de dos o más disciplinas científicas, y se fundamenta en un modelo conceptual que une o integra los marcos teóricos de tales disciplinas, utilizando metodologías que no se limitan a un solo ámbito, y requiere el uso de perspectivas y habilidades de los distintos campos del conocimiento que intervienen en las distintas fases de la investigación (Aboelela et al, 2007).

La riqueza del trabajo interdisciplinario consiste en la complementariedad de miradas respecto del mismo objeto de estudio, permitiendo un abordaje más integral de la problemática a investigar. En este sentido, los distintos trabajos que componen esta Tesis Doctoral surgen de una visión interdisciplinaria que combina metodologías e instrumentos de análisis de la *Economía de la Salud* y la *Ingeniería de Sistemas de Procesos* que pretenden ser aplicados para mejorar la toma de decisiones en el sector salud. En particular, se postula que la visión del sector salud como un *sistema complejo* permite la aplicación de las herramientas provistas por la Ingeniería de Sistemas de Procesos para mejorar su performance, la cual puede ser evaluada tanto desde el punto de vista de la eficiencia como de la equidad, metas propias de la Economía de la Salud.

El objetivo de este capítulo es, a partir de una revisión bibliográfica, resumir las bases conceptuales bajo las cuales se desarrolla la presente tesis. En pos de este objetivo, el capítulo se divide en tres partes. En la primera se caracteriza al sector salud como un sistema complejo, con una estructura multinivel. Luego se exponen los principales tópicos y campos de aplicación abordados desde la Economía de la Salud como disciplina científica, así como los objetivos de esta subdisciplina de la economía que procuran que la asignación de recursos en el sector salud satisfaga no sólo criterios de eficiencia, sino también que se promuevan condiciones de equidad en el acceso. En la tercera parte se presenta a la Ingeniería de Sistemas de Procesos y su alcance como disciplina, destacando el rol de la modelización matemática como instrumento básico de análisis. Posteriormente se revisan algunas aplicaciones potenciales de este enfoque que permiten

el diseño de herramientas que colaboren en la asistencia a la toma de decisiones eficientes para la asignación de los recursos en el sector salud. Por último, se exponen las conclusiones.

## **2. El sector salud como sistema**

Un sistema puede definirse como una serie de componentes actuando conjuntamente para la consecución de un objetivo, esto es, un conjunto de partes interactuando para la realización de una determinada función que individualmente no podrían lograrla. Estos elementos pueden incluir recursos humanos, *hardware*, *software*, instalaciones, políticas gubernamentales, entre otros (INCOSE, 2016; Kossiakoff et al, 2011). Los sistemas complejos, en particular, son aquellos compuestos por distintas partes interconectadas que generan nuevas propiedades que no pueden ser explicadas a partir de las características de cada elemento aislado (Tobar, Olaviaga y Solano, 2011; Kossiakoff et al, 2011; Clancy, Effken y Pesut, 2008). De esta manera, para describirlo hace falta conocer al mismo tiempo tanto el funcionamiento de cada parte como sus interrelaciones (Tobar et al, 2011).

Siguiendo a Khasawneh, Wang y Srihari (2009), el sector salud puede ser interpretado como un sistema complejo compuesto por los oferentes de bienes y servicios (centros de atención y diagnóstico, compañías farmacéuticas, entre otros), los demandantes (pacientes con y sin cobertura de salud), los reguladores (sean niveles de gobierno o asociaciones intermedias) y los financiadores (instituciones de la seguridad social, agencias gubernamentales, empresas de medicina prepaga), entre otros. Asimismo, Reid et al (2005) plantean que el sistema de salud está integrado por cuatro niveles anidados.

El primer nivel está formado por el paciente, cuyas preferencias y necesidades deben ser tenidas en cuenta ya que él mismo en búsqueda de lograr una mejor calidad asistencial, efectividad y eficacia del tratamiento médico, se ha convertido en un participante activo de dicho tratamiento, es decir, dejó de ser un receptor pasivo de cuidados. Para que este proceso sea posible es necesario que el paciente pueda tener un intercambio de información y comunicación tanto con el equipo profesional como las organizaciones que brindan la infraestructura necesaria al mismo.

El segundo nivel está compuesto por el equipo de cuidados médicos integrado tanto por profesionales de la salud como por familiares del paciente encargados del cuidado informal. En los últimos años, debido al aumento exponencial de los conocimientos médicos, la proliferación de especialidades médicas y la creciente necesidad de brindar cuidados a enfermos crónicos, el accionar del profesional médico se ha desplazado desde el trabajo individual al trabajo en equipo. Para que el trabajo en equipo sea exitoso es necesario que los médicos tengan acceso tanto a la información clínica y administrativa como a herramientas de gestión, comunicación, toma de decisiones, entre otros, que le permitan sintetizar, analizar y hacer el mejor uso de esa información.

El tercer nivel está integrado por la organización que brinda infraestructura y otros recursos complementarios para apoyar el trabajo y el desarrollo de los equipos de atención. La organización abarca los sistemas de toma de decisiones, de información, operativos y de procesos (recursos humanos, administrativos, financieros y clínicos) requeridos para coordinar las actividades de diversos equipos de atención y de apoyo y gestionar la asignación y el flujo de recursos humanos, materiales, financieros y de información necesarios para que los equipos de atención puedan funcionar. La organización es el nivel del sistema donde comienzan los cambios en el sistema de atención de la salud, ya que en ella se genera la cultura del cambio a través de sus diversos sistemas de toma de decisiones y los sistemas operativos y, además, es el nivel en el que se realizan la mayoría de las inversiones en dichos sistemas e infraestructura.

El último nivel del sistema de atención de la salud es el contexto político y económico que incluye las condiciones de mercado, los regímenes regulatorios, financieros y de pago y las entidades que influyen directamente en la estructura y funcionamiento de los centros de atención y, a través de ellos, en todos los demás los niveles del sistema.

En este mismo sentido, Tobar (2001) y Frenk (1994) sostienen que el análisis del sistema de salud, entendido como el conjunto de acciones que la sociedad y el sector público despliegan en torno a la salud, debe realizarse teniendo en cuenta la organización del mismo y las funciones de sus componentes. La organización se refiere al conjunto de elementos que lo integran y a las relaciones que se establecen tanto entre sus miembros como entre el propio sistema y su

entorno. Las funciones que tienen lugar dentro de los sistemas de salud pueden representarse dentro de un marco relacional que especifique los principales actores involucrados, sus intercambios y las bases de su interrelación (Figura 1.1).

El sistema de salud, es un sistema complejo compuesto por diversos actores y agentes: *la población, los proveedores de servicios, los intermediarios*. Cada grupo presenta características y objetivos diferentes que en ocasiones colisionan entre ellos. Así la población se constituye por un lado, en el usuario o beneficiario del sistema, persiguiendo aumentar su bienestar y por otro con su aporte, es quién financia el sistema. Para los proveedores de servicios de salud -conjunto de profesionales e instituciones que se especializan en el cuidado de la salud, como por ejemplo médicos, enfermeras, técnicos, hospitales, clínicas, centros de salud, farmacias, laboratorios clínicos, entre otros- la prestación de servicios es una actividad productiva. Los intermediarios en general desempeñan acciones regulatorias.

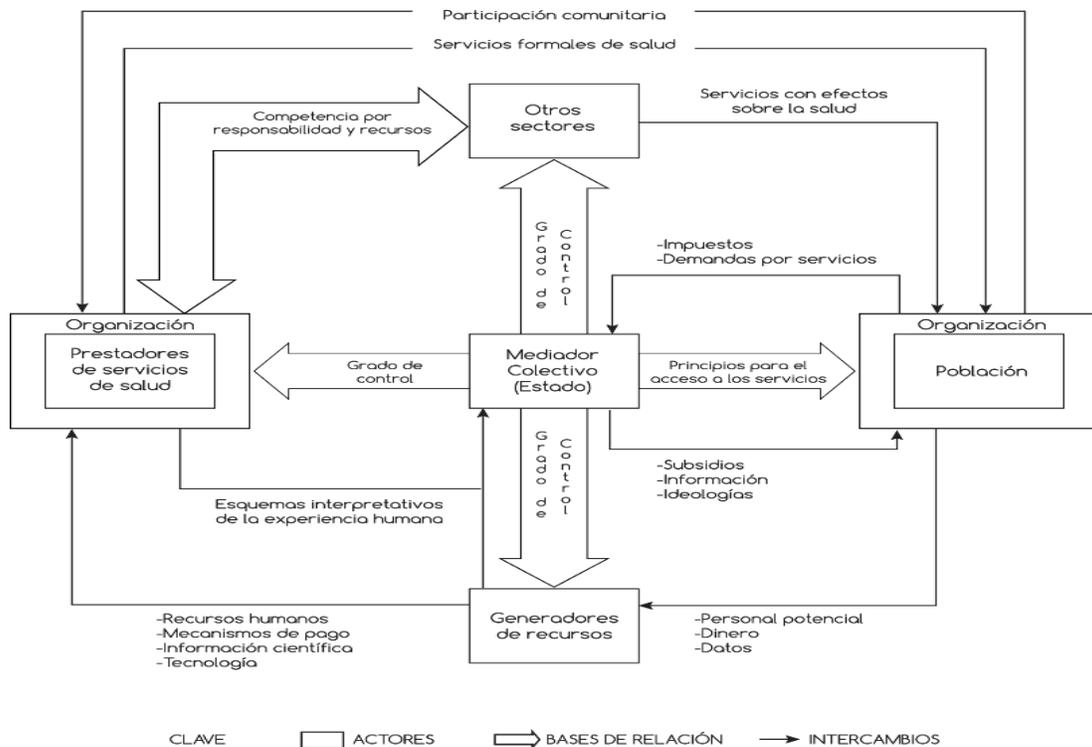
Tanto los proveedores como la población conforman grupos heterogéneos, pudiéndose distinguir en ambos diferentes categorías con intereses específicos y por ende modos de actuar distintos, acordes a sus fines. Las organizaciones de atención a la salud abarcan una gran variedad de grupos profesionales y ocupacionales, cada uno con diferente grado de control dentro de la división del trabajo. Incluso pueden darse divisiones dentro de un mismo grupo, como sucede con los médicos. Por lo tanto, no todos los prestadores comparten necesariamente los mismos intereses. A su vez, la población se encuentra estratificada a lo largo de diversas líneas, entre las cuales la ocupación, el ingreso, la educación, el género, la etnicidad y la ubicación geográfica tienen importantes efectos sobre la distribución de las condiciones de salud y el acceso a los prestadores.

Además los miembros de cada uno de los grupos no operan de manera aislada sino que lo hacen en el marco de organizaciones formales que condicionan y orientan sus acciones. Los ambientes laborales, los colegios y asociaciones de profesionales, entre otras, constituyen las organizaciones que representan a los prestadores de servicios. En tanto que la población se organiza en distintos niveles de organización como puede ser el hogar, la comunidad, las empresas, los sindicatos, los partidos políticos, los grupos de interés, entre otros.

Por otro lado, la relación entre los prestadores y la población no es directa, sino que es mediada por un actor colectivo. Si bien en el pasado diversas instituciones sociales, como la Iglesia, pudieron haber desempeñado tal papel de intermediación, en la mayoría de los países contemporáneos el Estado se ha convertido en el mediador colectivo fundamental.

Estas acciones generan flujos entre los diversos componentes del sistema, compuestos por servicios de salud y por recursos ya sea financieros, físicos y/o humanos (Figura 1.1).

Figura 1.1. Componentes y relaciones de los sistemas de salud.



Fuente: Elaboración propia en base a Frenk (1994)

## 2.1 El sistema de salud argentino: una breve descripción

La demanda del sistema de salud argentino está compuesta por dos grandes grupos: el grupo de pacientes que solo recurre a los servicios públicos y, el que incluye a los pacientes que poseen cobertura de seguros de salud, grupo que nuclea al 70% de la población que cuenta con obras sociales nacionales, provinciales o de empresas de medicina (Arnaudo et al, 2016).

La oferta está integrada por tres sectores: el sector público, el sector de seguro social obligatorio y el sector privado. A su vez, cada uno de estos sectores se encuentra conformado por diversos proveedores de bienes y servicios sanitarios y cuentan con fuentes diversas de financiamiento constituyendo cada una de ellos un subsistema (Maceira y Reynoso 2010; Belmartino y Bloch, 2004; Arce, 2003).

El sector público, presenta una distribución geográfica de sus servicios amplia cubriendo aquellas zonas consideradas no rentables por el sector privado, y está integrado por los organismos dependientes del gobierno Nacional, Provincial y Municipal que incluyen las estructuras administrativas, hospitales, centros de diagnóstico y tratamiento y consultorios encargados de llevar a cabo acciones de prevención y atención (incluida la provisión de equipamiento y medicamentos) (Morgenstern, 2013; Bello y Becerril-Montekio, 2011; Acuña y Chudnosky, 2002). También se incluye en este sector la estructura desarrollada por cada una de las Fuerzas Armadas. El financiamiento de los servicios de salud brindados por el este sector proviene de rentas generales (Morgenstern, 2013; Tobar et al, 2012).

El subsistema de las obras sociales (OS) se consolidó como tal en el año 1970, cuando por medio de la ley N° 18.610 se estableció un seguro social obligatorio para todos los asalariados organizado por ramas de actividad, dirigido a cubrir al trabajador formal ante distintas contingencias relacionadas con la salud propia y de sus familiares directos. Este sector incluye también a las entidades provinciales que cubren a los empleados públicos y al Instituto Nacional de Servicios Sociales para Jubilados y Pensionados/Programa de Asistencia Médica Integral (INSSJyP – PAMI) cuya población asegurada son los jubilados del sistema nacional de previsión y sus familias. Este subsector brinda cobertura a aproximadamente 13 millones de beneficiarios, siendo las OS con mayor cantidad de beneficiarios las sindicales y las de la administración pública (Arnaudo et al, 2016, Morgenstern, 2013).

El financiamiento de las OS proviene de los aportes que realizan tanto sus afiliados como los empleadores de los mismos. Una proporción de los fondos que perciben las OS se destina a la conformación del Fondo Solidario de Redistribución, cuya finalidad es cubrir la diferencia entre la cotización del trabajador y la cápita asociada al Programa Médico Obligatorio (PMO), con el

objetivo de contribuir a una distribución más igualitaria de los recursos que reciben las distintas entidades. Los recursos excedentes luego de realizados los giros correspondientes a cada entidad para igualar los aportes de cada grupo familiar con el costo del PMO se destinan a la Administración de Programas Especiales y se utilizan para apoyar financieramente a las OS en la cobertura de padecimientos de alto costo y baja frecuencia (Arnaudo et al, 2016; Tobar et al, 2012). Por su parte, el INSSJP-PAMI obtiene su financiamiento de los trabajadores (activos y pasivos) y de recursos fiscales de la Nación (Morgensten, 2013).

El sector privado incluye a las Empresas de Medicina Prepaga (EMP) y a proveedores privados de servicios sanitarios (Belló y Becerril-Montekio, 2011). Según el Censo 2010, el 10,6% de la población posee cobertura de una EMP a través de una obra social nacional y el 5,1% contrata voluntariamente la cobertura de estas empresas (INDEC, 2016). Para acceder a este tipo de cobertura la población abona una prima mensual a las EMP que o mediante el pago de bolsillo por cada acto médico (Morgensten, 2013; Tobar et al, 2012).

La fragmentación que se observa en el sistema en su conjunto también genera una fragmentación en cada uno de los subsistemas que lo conforman. En efecto: i) los servicios públicos de atención médica responden jerárquicamente a diferentes autoridades (nacionales, provinciales y municipales); ii) las Obras Sociales están reguladas por diversos organismos, algunas responden al órgano de contralor de la Superintendencia de Seguros de Salud, algunas dependen de cada fuerza de seguridad; otras, en cambio, de estructuras independientes y en el caso de las provinciales, del gobierno de cada provincia, y iii) los prestadores privados pueden estar regidos por las normas de la jurisdicción en la que se asientan (Morgenstern, 2013).

Como resultado de esta fragmentación la cobertura de servicios sanitarios que recibe cada individuo dependerá del subsistema en que resulte incluido. Así, las OS nacionales y las EMP quedan obligadas a atender el PMO. Las obras sociales provinciales tienen la posibilidad de decidir los beneficios que brindarán como así también de establecer las condiciones de acceso a las mismas. Los individuos que reciben asistencia desde el sector público, no cuentan con la garantía de mínima de cobertura de PMO (Morgenstern, 2013; Bello y Becerril-Montekio, 2011).

En la explicación anterior puede apreciarse que tanto el sistema de salud en general y como el argentino en particular constituyen un sistema complejo en el que tienen lugar múltiples interrelaciones entre sus actores a partir de las cuales se obtienen distintos productos. Como todo sistema se enfrenta a la necesidad de realizar un proceso de toma de decisiones referidas entre otras al diseño del mismo, su planificación, la gestión, el control y la evaluación de las operaciones (Sainfort et al, 2005). Estas decisiones deben apuntar a lograr mejoras en la eficiencia y la equidad tanto en resultados como en el acceso

### **3. Economía de la Salud**

La economía es la ciencia que estudia la conducta humana en cuanto a la asignación de recursos limitados y de usos alternativos, aptos para producir bienes que satisfacen necesidades ilimitadas y jerarquizadas (Robbins, 1932). Esta definición no se restringe a una actividad humana en particular sino que es aplicable a todas aquellas actividades en las cuales la escasez está presente y, por lo tanto es necesario realizar elecciones (Mills y Gilson, 1988).

En este marco, la Economía de la Salud se define como una disciplina que integra las teorías económicas, sociales, clínicas y epidemiológicas para abordar como objeto de estudio el análisis de la producción, financiamiento, distribución y consumo de los servicios de salud (Collazo Herrera et al, 2002; Arredondo, 1999). La Economía de la Salud se ocupa de cuestiones tales como la asignación de recursos entre diversas actividades tendientes a la promoción y atención de la salud, la organización y financiamiento de las instituciones del sector salud, y los efectos de los servicios de salud, tanto preventivos como curativos, sobre los individuos y la sociedad, entre otros (Mills y Gilson, 1988).

Los orígenes de la Economía de la Salud como disciplina científica datan de mediados del siglo pasado cuando en Estados Unidos e Inglaterra comenzaron a delinearse su objeto y método de estudio. Como antecedentes de esta disciplina relativamente joven pueden citarse los estudios económicos aplicados a la salud realizados por Sir W. Petty a finales del siglo XVII, para estimar el valor de una vida humana, y los trabajos que en la época victoriana elaboró W. Farr quien desarrolló, entre otros estudios, una versión temprana de lo que luego sería la teoría del capital humano. Desde finales del siglo XVII y hasta la primera mitad del siglo XX no se encuentran

investigaciones en el campo de la economía relacionadas con la salud. Hacia los años cincuenta, K. Arrow y M. Friedman aplicaron los principios de la economía neoclásica en investigaciones relacionadas con la atención de la salud, para analizar la toma de decisiones y la asignación de recursos. Una década después mediante la aplicación de métodos descriptivos se abordaron temáticas relacionadas con los costos derivados de enfermedades en general y de enfermedades infecciosas en particular, como así también el peso económico de fenómenos como los accidentes de tránsito. Años más tarde comenzó a aplicarse el enfoque de costo-beneficio en salud, a partir del desarrollo de las metodologías para estimar los costos de la enfermedad, las técnicas de costo-efectividad y se dieron los primeros pasos en los estudios de costo utilidad. A partir de los años noventa las técnicas aplicadas a las temáticas de la economía, se han complejizado, incrementado su enfoque multidisciplinario (Gálvez González, 2003).

### 3.1 Economía de la Salud: campos de aplicación

Si bien el ámbito de aplicación de la perspectiva económica en general, y de la Economía de la Salud en particular, es amplio, existe un modelo de análisis sistemático que permite apreciar de manera integral sus potenciales aportes (Arredondo, 1999). En este sentido, la Economía de la Salud estudia *qué es y cuál es el valor de la salud*, para luego reconocer los *determinantes del estado de salud individual y colectivo*, considerando tanto los aspectos genéticos y ambientales como las condiciones socioeconómicas y los estilos de vida. Otro de los campos de aplicación de esta subdisciplina está compuesto por el análisis del *mercado de servicios médicos-sanitarios*, estudio que debe estar precedido por el análisis de, por un lado, los *factores que determinan la demanda de servicios médico-sanitarios*, y por otro, las *cuestiones relacionadas con la oferta de servicios sanitarios*.

Además, desde el enfoque de la economía normativa se estudia la *evaluación económica de la producción de servicios de salud*. Esta evaluación se realiza mediante diversas técnicas que permiten al tomador de decisiones comparar los costos y beneficios de distintos cursos de acción de manera de seleccionar aquel que resulte eficiente. De esta manera, la evaluación económica constituye una herramienta para la toma de decisiones (Gálvez González, 2003).

Por último, la economía de la salud también analiza los instrumentos de *política sanitaria* que puede implementar el Estado, como subsidios, impuestos, controles y regulaciones y su impacto sobre los factores determinantes de la salud y la prestación de servicios. Por otro lado, se estudia la *planeación, regulación y supervisión de programas y políticas de salud* (Gálvez González, 2003; Arredondo, 1999). Según Gálvez González (2003) algunos problemas prácticos que se encuadran dentro del campo de la política sanitaria corresponden a la optimización de la cobertura de las necesidades sanitarias, los efectos de los distintos sistemas de provisión sanitaria, la identificación de barreras de acceso y utilización de los servicios sanitarios, entre otros. Por lo tanto, en este campo de aplicación se incorporan los estudios relativos a los criterios de optimización del bienestar social, análisis de las desigualdades sociales y desigualdades en salud, modelización de variables sociales y económicas, patrones de accesibilidad en salud y otros. El planeamiento se refiere a instrumentar un sistema de salud que pueda dar respuesta a los cambios en la demanda de atención originados por la evolución demográfica y el perfil epidemiológico. La regulación se relaciona con la elaboración de normas que garanticen la provisión de bienes y servicios sujetos a los estándares de calidad y seguridad del paciente (Arredondo, 1999).

La incorporación del análisis económico en la resolución de las problemáticas del sector de la salud permitió el estudio de los procesos y los costos de producción así como la evaluación y el monitoreo de las diversas acciones y programas mediante la elaboración de indicadores que permiten comparar los resultados obtenidos con los costos incurridos para lograrlos. De este modo, desde la Economía de la Salud surgen múltiples herramientas que asisten a la toma de decisión (Gálvez González, 2003; Collazo Herrera et al, 2002).

### 3.2 Economía de la Salud: principales objetivos

Los sistemas sanitarios tienen como objetivo principal maximizar el estado de salud de la población promoviendo la equidad en el acceso para la mayor población posible, utilizando la menor cantidad de recursos tanto físicos como monetarios, procurando la eficiencia en el gasto. Así, los objetivos habitualmente observados en las investigaciones de economía de la salud tienen como objetivo garantizar la equidad en el acceso a la atención de la salud y/o la eficiencia en el gasto.

La *eficiencia económica* está compuesta de dos conceptos: *eficiencia técnica* y *eficiencia asignativa* (Farrell, 1957). En general, un proceso de producción es técnicamente eficiente si, dada una cierta cantidad de insumos el nivel de producción alcanzado es el máximo posible (Koopmans, 1951). La eficiencia en el sector salud se alcanza cuando se obtiene el máximo estado de salud posible a partir de los recursos disponibles. Además, un proceso de producción es eficiente si, al compararlo con otras opciones que producen el mismo resultado, resulta el menos costoso (Sacristán et al, 2004). La eficiencia asignativa consiste en la capacidad de utilizar los recursos de acuerdo a las proporciones óptimas, teniendo en cuenta sus respectivos precios. Es decir, dadas las combinaciones de insumos y productos obtenidos que resulta, se elegirá la menos costosa según los precios de los insumos (Puig-Junoy, 2000; Ligarda y Ñaccha, 2006).

Dado que los recursos suelen no ser suficientes para atender las necesidades crecientes de la población, los tomadores de decisión deben establecer un orden de prioridades en las acciones que se llevarán a cabo (Prieto et al, 2006). La Evaluación Económica de Tecnologías Sanitarias<sup>1</sup> (EETS), disciplina que forma parte de la Economía de la Salud, constituye un aporte a la toma de decisión y comprende un conjunto de herramientas o técnicas que aplican métodos y teorías de las ciencias de la salud y de la economía para valorar los aspectos económicos de la asistencia sanitaria, es decir, los costos y los beneficios o consecuencias de diferentes intervenciones con el objetivo de asignar los recursos eficientemente (Oliva, Antoñanzas y Rivero-Arias, 2008; Rubio Terrés et al, 2004). De esta manera, la utilización de la EETS, implica añadir al proceso de decisión clásico del sector sanitario basado en la eficacia y la seguridad nuevos requerimientos (Oliva Moreno et al, 2001).

Sin embargo, para algunos autores una EETS no está completa si no se incorporan consideraciones referidas a la *equidad* (Puig Junoy y Oliva, 2009; García-Altés, 2004) el otro

---

<sup>1</sup> El término *tecnología sanitaria* comenzó a utilizarse para hacer referencia a los medicamentos, equipos y dispositivos médicos, procedimientos médicos y quirúrgicos, y modelos de organización y sistemas de apoyo requeridos para el cuidado de la salud. Con el paso del tiempo esta definición se amplió para contemplar todos los métodos técnicos que se aplican en la atención de las personas (sanas o enfermas) y también para resaltar la importancia de los conocimientos asociados con su uso (OPS, 1999). Es decir, que tecnología sanitaria debe entenderse en un sentido amplio, como método utilizado para promocionar la salud, prevenir y tratar enfermedades y mejorar la rehabilitación o los cuidados sanitarios a largo plazo (Oliva, Antoñanzas y Rivero-Arias, 2008).

objetivo perseguido por la Economía de la Salud. Para definir en qué consiste abordar las cuestiones de equidad es necesario distinguir entre *variaciones en salud e inequidades en salud*, siendo estas últimas aquellas que es necesario erradicar (Whitehead y Dahlgren, 2006). Si bien, existen diversas definiciones del concepto de equidad en salud, la más utilizada y aceptada es la realizada por M. Whitehead en el año 1990 (Braverman, 2006). La misma sostiene que las variaciones en salud implican variaciones en el estado de salud de la población debidas tanto a causas genéticas y biológicas, tales como el sexo y la edad, como a cuestiones relativas a la adopción de estilos de vida saludables. Estas variaciones pueden convertirse en inequidades sociales de salud si presentan tres características básicas: ser sistemáticas, evitables e injustas (Whitehead y Dahlgren, 2006; Whitehead, 1990).

La primera característica se relaciona con el hecho de que las diferencias en salud presentan un patrón que se repite en toda la población de una determinada región, país o grupo socioeconómico, es decir no se distribuyen aleatoriamente. El segundo rasgo “es la existencia de procesos sociales que dan lugar a diferencias en salud no determinadas por factores biológicos”. En este sentido, no existe una ley natural que establezca que la probabilidad de morir de los niños de familias de bajos recursos es mayor que la de los infantes de familias de altos ingresos, por eso se puede afirmar que esa desigualdad en salud es evitable (Whitehead y Dahlgren, 2006; Whitehead, 1990). La tercera cualidad se origina porque estas diferencias en salud son consideradas injustas. Los juicios de valor acerca de cuándo una situación es calificada como injusta varían a lo largo del tiempo y dependiendo de la sociedad que se analice. Sin embargo, un criterio generalmente aceptado es la posibilidad de elección de una determinada persona o grupo de población: si la población tiene pocas o ninguna chance de elegir sus condiciones de vida y de trabajo, entonces las diferencias de salud resultantes son consideradas injustas a diferencia de aquellas que son consecuencias de la adopción voluntaria de distintos estilos de vida (Whitehead y Dahlgren, 2006; Braverman y Gruskin, 2003; Whitehead, 1990).

Es necesario destacar que el análisis de las inequidades en salud y su forma de corrección es importante debido a que las mismas exponen a la población que ya se encuentra socialmente en desventaja, por ejemplo, por pertenecer a hogares pobres, cuestiones de género o raciales, entre otras, a una situación aún peor en relación a su salud (Braverman y Gruskin, 2003).

La equidad en salud puede abordarse desde dos puntos de vista, por un lado *equidad en los resultados de salud* y, por otro lado, *equidad en los cuidados* (Whitehead, 1990). El primer enfoque busca que cada individuo posea idénticas posibilidades de alcanzar su máximo potencial de salud y reducir al máximo los diferenciales de salud entre los distintos grupos de población, eliminando aquellos factores considerados evitables e injustos. La equidad en los resultados de salud implica que los recursos (tanto físicos como monetarios) debe ser distribuidos focalizando en la mejora del estado de salud de los grupos de población más vulnerables (Braveman y Gruskin, 2003).

Por otra parte, la equidad en los cuidados de salud se fundamenta en el principio de que toda la población tenga asegurada las mismas posibilidades de i) acceder a bienes y servicios sanitarios de calidad y según su necesidad y ii) de utilizar los servicios sanitarios para igual necesidad (Whitehead y Dahlgren, 2006; Whitehead, 1990).

Además, cada una de estas dimensiones del concepto de equidad puede ser analizada en términos de *equidad horizontal o vertical* (Starfield, 2011; Porto, 2002). La equidad horizontal considera, por un lado que, debe darse igual tratamiento a necesidades de salud iguales, teniendo en cuenta que las necesidades pueden diferir según el género, edad o condiciones sociales de las personas y por otro, que ante igual necesidad de salud las personas tengan acceso a los mismos servicios médico sanitarios. Mientras que si se pretende lograr la equidad vertical se debe brindar un tratamiento “apropiadamente desigual” a necesidades de salud distintas, incorporando la cuestión de las prioridades a diversas patologías y cuidados médicos o asegurando mayores posibilidades de acceso a servicios médicos a aquellas personas con mayor necesidad (Starfield, 2011; Porto, 2002).

El concepto de equidad en los cuidados de salud, aplicado específicamente al análisis de la distribución de los recursos para la atención de la salud entre poblaciones o regiones ha sido operacionalizado por diversos autores, pudiéndose encontrar una tipología amplia del concepto que contempla las siguientes dimensiones (Porto, 2002):

- a. *Igualdad de gastos per cápita.*

- b. *Igualdad de recursos per cápita*: que considera que en caso de ser necesario se debe corregir la distribución de recursos, realizada en base poblacional, teniendo en cuenta las diferencias de precio observadas en cada región.
- c. *Igualdad de recursos para necesidades iguales*: que establece que, una distribución es justa si al momento de realizarla se consideran las necesidades sanitarias de la población, prestando especial atención tanto al perfil demográfico como epidemiológico.
- d. *Igualdad de oportunidad de acceso para necesidades iguales*: que reconoce, además de las diferentes necesidades determinadas por el perfil demográfico y epidemiológico, la existencia de desigualdades en el costo social del acceso (por ejemplo, la distancia a los servicios).
- e. *Igualdad de utilización para iguales necesidades*: que considera no sólo la distribución de la oferta y los costos sociales, como otros factores condicionantes de la demanda.
- f. *Igualdad de satisfacción de necesidades marginales*: esta dimensión considera que las necesidades de la población se pueden jerarquizar según un determinado orden que es igual para diferentes regiones o sociedades, de manera que la equidad se logra cuando antes una variación en los recursos destinados a los cuidados de salud el cambio en la cobertura de las necesidades es el mismo en todas las regiones.
- g. *Igualdad en las condiciones de salud*: que tiene por objetivo la igualdad en los indicadores de salud. Uno de los principales factores que origina desigualdades en salud y sobre el que el sector sanitario puede actuar directamente para corregirlo, es el *acceso* inadecuado y/o insuficiente a los servicios sanitarios básicos (Whitehead y Dahlgren, 2006).

Además, es preciso señalar que las deficiencias en dicho acceso redundan en gastos de bolsillos que para la población de bajos recursos implican empeorar aún más su situación financiera, dando lugar a la denominada trampa médica de la pobreza (Whitehead, Dahlgren y Evans, 2001).

Desde un punto de vista económico, el objetivo de garantizar el acceso a la atención de la salud se justifica porque las mejoras en la salud de la población favorecen el crecimiento económico del país. Este enfoque utilitarista y basado en la eficiencia resulta insuficiente para propiciar el acceso a la salud de los grupos de población vulnerables o excluidos, tales como los adultos mayores o aquellos con capacidades diferentes (Gulliford, Figueroa-Muñoz, y Morgan, 2003).

Por esta razón, el acceso a la atención de la salud es considerado un derecho humano, según el cual “toda persona tiene el derecho muy básico a acceder a una asistencia sanitaria eficaz que alivie su sufrimiento cuando caiga enferma, que le proteja y evite la aparición de enfermedades, y que le ayude a mantener la salud cuando se encuentre bien” (Whitehead y Dahlgren, 2006, p. 18).

Según Gulliford et al (2001) el concepto de acceso a los servicios y cuidados sanitarios puede ser analizado desde diversas perspectivas y tiene que ver con la relación entre la necesidad, la provisión y la utilización de los servicios de salud. En efecto, sostienen que el término acceso generalmente se utiliza en dos sentidos distintos. Por un lado, se hace referencia a *tener acceso* que indica la posibilidad de utilizar un determinado servicio en caso de ser necesario, lo cual implica que el servicio requerido se encuentra disponible y que existen mecanismos y protocolos de acción que aseguran la continuidad del servicio en el tiempo. Por otro lado, se alude a *lograr el acceso* que denota la utilización efectiva de los servicios de salud.

Asimismo, Penchansky y Thomas (1981) argumentan que en el concepto de acceso se conjugan varias dimensiones que describen el “grado de ajuste” de la relación entre los usuarios y el sistema de salud, identificando las siguientes dimensiones:

- a. *Aceptabilidad y respeto*, también llamado acceso cultural por Whitehead y Dahlgren (2006). Esta dimensión se refiere a la aceptabilidad de determinadas características del personal sanitario (edad, sexo, etnia, entre otras) y prácticas en la atención por parte de los usuarios, así como las actitudes de los proveedores hacia las características de los pacientes.
- b. *Asequibilidad* referido a los costos directos e indirectos de la atención sanitaria. Los costos directos incluyen, por un lado, los referidos a la atención en sí misma, como por ejemplo, el pago de la consulta profesional y los estudios diagnósticos requeridos, lo cuales pueden ser un componente clave cuando la atención no es provista por el sector público, y por otro lado, los relacionados con los costos materiales de asistir a una visita a un profesional médico, esto es, los costos de transporte, entre otros (Campbell, Roland, y Buetow, 2000).

- c. *Disponibilidad* en el sentido de que el sistema de salud ofrezca los servicios requeridos por la población.
- d. *Accesibilidad geográfica o física* se define por la idoneidad de la ubicación del servicio en relación con la localización y la movilidad del paciente.
- e. *Accesibilidad organizacional* esta dimensión se refiere a la manera en que los servicios de salud están organizados y la percepción de los individuos respecto de dicha organización en relación a los horarios disponibles para la atención y los tiempos de espera para obtener una cita médica.

Cada una de estas dimensiones de la definición esbozada por Penchansky y Thomas (1981) da lugar a lo que se conoce como *barreras al acceso*, es decir a limitaciones a la accesibilidad de los servicios de salud. Así se pueden diferenciar las siguientes barreras al acceso:

- a. *Barreras geográficas* determinadas por la distancia, el tiempo y los accidentes geográficos que dificultan la llegada de los pacientes a los centros de salud.
- b. *Barreras económicas* derivadas del pago directo en el momento de la atención, ya sea en forma de coseguros, honorarios profesionales, gastos sanatoriales, medicamentos e incluso los gastos derivados del transporte necesario para llegar hasta el centro de salud.
- c. *Barreras legales* constituidas por los diversos sistemas de seguridad social que cubren diferentes grupos de población, y por lo tanto condicionan el uso de los servicios, según exista o no relación contractual con los mismos, o de acuerdo al tipo y grado de cobertura prestacional acordada.
- d. *Barreras administrativas* condicionadas por la multiplicidad de requisitos y trámites administrativos que establecen los sistemas de atención de salud para acceder al uso de los servicios.
- e. *Barreras culturales* determinadas por las diferencias entre la cultura de la población y las formas habituales de prestación de los servicios profesionales. En general estas formas se basan en un modelo de atención propio de la subcultura médico-científica y la pertenencia cultural del profesional actuante, lo que muchas veces crea una distancia insalvable con los códigos y para las personas y comunidades receptoras de la atención.

La accesibilidad se refiere entonces, a la facilidad con que la población puede lograr atención sanitaria en forma equitativa, en relación a las diversas barreras que influyen en los resultados sanitarios (Lago y Moscoso, 2013).

Dado los objetivos y los campos de aplicación de la economía de la salud que incluyen diversos aspectos del sistema de salud, entre los que se encuentran la gestión y el planeamiento de los sistemas de salud y considerando que el mismo debe fundamentarse en un análisis riguroso y sistemático que permita tomar decisiones que impliquen lograr mejoras continuas en el sistema, en el sentido de alcanzar la eficiencia y mayor equidad, la ingeniería de sistemas se presenta como una metodología útil para abordar la problemática del apoyo para la toma de decisiones (Tunc, Alagoz y Burnside, 2014; Khasawneh et al, 2009; Kopach-Konrad et al, 2007; Reid et al, 2005; Sainfort et al, 2005).

#### **4. Ingeniería de Sistemas de Procesos. Definición y campo de acción**

La Ingeniería de Sistemas, o su rama más específica, la Ingeniería de Sistemas de Procesos, tiene como principal función guiar la ingeniería de sistemas complejos orientando o dirigiendo sus acciones hacia la búsqueda de un determinado resultado. Esta disciplina se centra en el estudio del sistema como un todo, analizando tanto su interior, a partir de la consideración de sus componentes, como su exterior, contemplando la relación con otros sistemas y el medio en el que se inserta (Kossiakoff et al, 2011). Para lograr sus objetivos, la Ingeniería de Sistemas procura descomponer los fenómenos complejos en subsistemas más pequeños y fácilmente entendibles, para luego analizar las interacciones entre los subsistemas y con su entorno (McKinney y Savitsky, 2006; Reid et al, 2005).

La Ingeniería de Sistemas ha desarrollado diversas herramientas que permiten sistematizar el estudio del funcionamiento de los sistemas, logrando así una mejor gestión de los mismos. Estas herramientas suelen clasificarse en tres grupos conexos: para el diseño, el análisis y control (Reid et al, 2005).

Las herramientas para el *diseño de los sistemas* se utilizan principalmente para la creación de nuevos sistemas o procesos. Generalmente se traducen en prescripciones acerca de cómo debería

llevarse a cabo la producción o la distribución geográfica del sistema. En este proceso se deben tener en cuenta las necesidades y deseos de todos los integrantes del sistema, así como también las limitaciones impuestas por el contexto del mismo.

Por otro lado, las herramientas para el *análisis de los sistemas* permiten comprender cómo los sistemas complejos operan, determinando si cumplen con sus objetivos y metas y, en caso de que sea necesario, sugieren cómo mejorar su rendimiento.

Por último, las herramientas para el *control de los sistemas* se utilizan para asegurar que el sistema esté funcionando dentro de los límites prescritos, de manera de reducir al mínimo posible los errores y optimizar el uso de los recursos. Para que el proceso de control sea eficaz es necesaria una clara comprensión de las expectativas de desempeño y los parámetros de funcionamiento del sistema en su conjunto.

Para la consecución de sus objetivos, generalmente la Ingeniería de Sistemas recurre al desarrollo de modelos matemáticos, cuyas características pueden variar según los objetivos del modelamiento y el problema específico analizado.

Los componentes de un modelo matemático pueden clasificarse en cuatro categorías: 1) variables de decisión, que representan aquellos aspectos del sistema que deben ser respondidos a partir de la resolución del modelo; 2) parámetros o datos, que son los insumos del proceso de toma de decisiones; 3) la función objetivo, y 4) las restricciones, que son las condiciones que rigen el funcionamiento del sistema (Ryan, 2005).

Para la elaboración del modelo es necesario identificar las características relevantes del sistema, ya que este modelo será utilizado para analizar el funcionamiento del sistema real y estudiar las opciones para mejorar su desempeño en caso de ser necesario (Kopach-Konrad et al, 2007). Una representación matemática adecuada del sistema que refleje las distintas alternativas de decisión y sus consecuencias permite al tomador de decisión investigar una enorme cantidad de opciones en período de tiempo breve y evaluar sus consecuencias, de manera de elegir la opción preferida

(Ryan, 2005). Como consecuencia de esto, el proceso de toma de decisiones será más rápido y de bajo costo (Sainfort et al, 2005).

El modelamiento de un problema de la realidad requiere el seguimiento de un proceso compuesto por cinco fases o etapas (Winston, 2005; Taha, 2004). Estas etapas no son secuenciales, sino que se trata de un proceso iterativo e incluso algunas etapas pueden solaparse a lo largo del proceso.

1. *Definición del problema*, esto implica definir el alcance del problema bajo estudio requiriendo una descripción detallada del objetivo del mismo, de las alternativas de decisión del sistema y de las restricciones o limitaciones que puedan existir. En esta etapa también se debe realizar una observación del sistema prestando atención a las relaciones dentro del mismo y las relaciones que pueda tener con su contexto, recabando la mayor cantidad de información posible.
2. *Construcción del modelo*, en esta etapa se diseñan las relaciones y expresiones matemáticas que definen el objetivo y restricciones del modelo.
3. *Solución del modelo*, en esta etapa se resuelve el problema matemático arribando a una solución que indique la mejor alternativa de funcionamiento posible. Esto implica especificar los requerimientos de recursos tanto de capital como humanos, así como la programación (o scheduling) de las tareas del proceso, entre otros (Kopach-Konrad, 2007). Además de la solución del modelo, siempre que sea posible, puede resultar útil proporcionar información adicional sobre el comportamiento de la solución ante cambios en los parámetros del sistema. Este proceso se denomina Análisis de Sensibilidad.
4. *Validación del modelo*, se considera que un modelo es válido cuando a pesar de la incertidumbre que rodea al sistema, brinda una predicción confiable sobre su desempeño. La validez del modelo suele probarse a partir de la comparación de su funcionamiento con información real generada en el pasado por el propio sistema. En caso de que el sistema bajo estudio aún no se encuentre operativo, la falta de información sobre su comportamiento se puede suplir recurriendo a un modelo de simulación.
5. *Conclusión del modelo*, en esta etapa se realizan las recomendaciones para la acción a los tomadores de decisiones para lograr la solución óptima.

#### 4.1 Aplicaciones de la Ingeniería de Sistemas al Sistema de Salud

La ingeniería de sistemas puede proveer herramientas útiles para una gran variedad de aplicaciones relevantes en los sistemas de salud. En este sentido, Rais y Viana realizaron en el año 2010 una revisión exhaustiva de la literatura reciente acerca de las aplicaciones del modelamiento matemático en el sector salud, destacando sus potenciales usos en las siguientes áreas.

- i) *Optimización terapéutica:* Los modelos de optimización terapéutica tienen como finalidad personalizar el tratamiento de un paciente a partir de la consideración de los aspectos sociales y clínicos de una persona, tales como su edad, la movilidad física, las comorbilidades<sup>2</sup> y nivel socioeconómico, entre otros (Kopach-Konrad et al, 2007). En efecto, existe literatura relativa a la asignación óptima de órganos para trasplantes, la prevención y el control de enfermedades infecciosas y la respuesta de emergencia óptima ante una pandemia. A su vez, Kopach-Konrad et al (2007) señalan que este tipo de modelos se están utilizando en el tratamiento del HIV y los ataques de epilepsia, protocolos de vacunación y la determinación de la radiación óptima en el tratamiento del cáncer.
- ii) *Gestión y logística del cuidado de la salud:* Los problemas de gestión más ampliamente estudiados se refieren a problemas de programación de turnos de pacientes y de recursos, tanto físicos como humanos.
- iii) *Planeamiento del sector salud:* Dado que la prestación de un servicio de calidad y adecuado a las necesidades de la población constituye una de las principales preocupaciones para la mayoría de los gobiernos actuales, la correcta planificación en el sector salud cobra cada vez mayor importancia. En los últimos años, debido a la declinación en la tasa de natalidad y el envejecimiento de la población, la mayoría de los países experimenta una mayor presión presupuestaria para la atención sanitaria. En este contexto, el modelamiento matemático y los modelos de simulación constituyen una herramienta de ayuda para la toma de decisiones en el sector. Estos modelos han tenido como objetivo la estimación de la demanda futura de servicios sanitarios para determinar la oferta necesaria, la optimización y el control de los costos del sistema de salud, y la

---

<sup>2</sup> La comorbilidad implica la coexistencia de dos o más patologías médicas no relacionadas, al mismo tiempo o en forma sucesiva, en un mismo paciente.

localización de centros de salud y de los servicios de emergencia con el objetivo de cubrir una determinada población o grupo de personas.

## **5. Reflexiones finales**

La aplicación del enfoque de Ingeniería de Sistemas al análisis y resolución de problemas de asignación de recursos del sector salud se presenta como una alternativa capaz de generar ganancias sustantivas en términos de eficiencia y equidad. En particular, el modelamiento matemático (que se encuentra en el centro de este enfoque) puede ser utilizado para asesorar a los tomadores de decisiones de los sistemas de salud, proporcionando información útil sobre las estrategias óptimas, teniendo en cuenta las limitaciones políticas, presupuestarias, técnicas y otras pertinentes que enfrentan en el proceso de toma de decisiones. Sin embargo, una formulación no adecuada del modelo a la realidad que intenta representar (en forma simplificada) así como una interpretación errónea de las prioridades de los tomadores de decisión pueden conducir a conclusiones equivocadas.

Para ser útiles, los modelos deben demostrar su capacidad de producir resultados y predicciones respecto del sistema modelado de forma tal que sean lo suficientemente confiables para ser implementados en operaciones reales. Al mismo tiempo, los datos provistos y utilizados por los modelos deben tener alta maleabilidad o conveniencia para el análisis; de lo contrario no producirán conclusiones útiles dentro del tiempo disponible para la toma de decisiones. El reto del investigador es equilibrar estas consideraciones para desarrollar y difundir herramientas que realmente puedan informar el diseño y operación del sistema de salud (Sainfort et al, 2005).

Los siguientes capítulos se enmarcan dentro de las aplicaciones de Ingeniería de Sistemas relacionadas al planeamiento del sector salud, en particular en las relacionadas con la localización de los centros de salud.

## Referencias Bibliográficas

- Aboeela, S., Larson, E., Bakken, S., Carrasquillo, O., Formicola, A., Glied, S., ... & Gebbie, K. (2007). Defining interdisciplinary research: Conclusions from a critical review of the literatura, *Health services research*, 42(1p1), 329-346.
- Acuña, C. & Chudnovsky, M. (2002). *El sistema de salud en Argentina*. UDESA, Documento 60.
- Arce H. (2003). *Diagnóstico sintético y líneas de acción política sobre el sistema de salud argentino*. Buenos Aires: Centro de Estudios de Estado y Sociedad. Serie Seminarios Salud y Política Pública.
- Arnaudo, M., Lago, F., Moscoso, N., Báscolo, E. & Yavich, N. (2016). Concentración y desigualdades en el financiamiento de las obras sociales posdesregulación: un análisis comparativo de los años 2004 y 2011, *Salud Colectiva*, 12(1), 125-137.
- Arredondo, A. (1999). ¿Qué es y que está haciendo la economía de la salud? *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas*, IV (13), 143-158.
- Belló, M. & Becerril-Montekio, V. (2011). Sistema de salud de Argentina, *Salud pública de México*, 53, s96-s109.
- Belmartino S. & Bloch C. (2004). El sistema de servicios de salud en Argentina. En: González-Pérez GJ, Vega-López MG, Romero-Valle S, coord. *Los sistemas de salud en Iberoamérica de cara al siglo XXI* (pp 11-32). México: Universidad de Guadalajara.
- Braveman, P. & Gruskin, S. (2003) Defining equity in health, *Journal of Epidemiology and Community Health*, 57(4), 254–258.
- Braveman, P. (2006). Health disparities and health equity: concepts and measurement, *Annual Review of Public Health*, 27, 167-194.
- Campbell, S., Roland, M. & Buetow, S. (2000). Defining quality of care, *Social Science & Medicine*, 51 (11), 1611-1625.
- Clancy, T., Effken, J. & Pesut, D. (2008). Applications of complex systems theory in nursing education, research, and practice, *Nursing outlook*, 56 (5), 248-256.
- Collazo Herrera, M., Cárdenas Rodríguez, J., Gonzalez López, R. Miyar Abreu, R., Gálvez González, A. & Casulo, J. (2002). La economía de la salud: ¿debe ser de interés para el campo sanitario? *Revista Panamericana de Salud Pública/Pan American Journal of Public Health*, 12(5), 359-365.

- Culyer, A. & Newhouse, J. (2000). Introduction: the state and scope of Health Economics. En A. Culyer & J. Newhouse (Eds.). *Handbook of Health Economics volumen 1A*, (pp. 1-7). Alemania: Elsevier.
- Farrell M (1957). The measurement of productive efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society*, 120(part 3), 253-90.
- Frenk, J. (1994). La salud de la población. Hacia una nueva salud pública. México: Fondo de Cultura Económica.
- Gálvez González, A. (2003). Economía de la salud en el contexto de la salud pública cubana, *Revista Cubana de Salud Pública*, 29(4). Recuperado de <http://goo.gl/RbZm6d>
- García-Altés, A. (2004). La introducción de tecnologías en los sistemas sanitarios: del dicho al hecho, *Gaceta Sanitaria*, 18(5), 398-405.
- Gulliford, M., Figueroa-Muñoz, J. & Morgan, M. (2003) Introduction: meaning of 'access' in health care. En M. Gulliford & M. Morgan (Eds.). *Access to Health Care* (pp. 1-12). Inglaterra y Estados Unidos: Routledge.
- Gulliford, M., Hughes, D., Figueroa-Muñoz, J., Hudson, J., Connel, P., Morgan, M., ... & Sedgwick, J. (2001). *Access to Health Care. Report of a Scoping Exercise for the National Co-ordinating Centre for NHS Service Delivery and Organisation R & D (NCCSDO)*, Recuperado de <http://goo.gl/D5DZKg>
- INCOSE: International Council on Systems Engineering (2016). *About Systems Engineering*. Recuperado de <http://www.incose.org/AboutSE>
- INDEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2016). [www.indec.gov.ar](http://www.indec.gov.ar)
- Khasawneh, M., Wang, S. & Srihari, K. (2009). *Development of a Health Systems Curriculum in Industrial and Systems Engineering*. Paper presented at 2009 Annual Conference & Exposition, Austin, Texas. Recuperado de <https://peer.asee.org/>
- Koopmans, T. (1951). An Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities. En T. Koopmans (ed). *Activity Analysis of Production and Allocation. Cowles Commission for Research in Economics Monograph No. 13*. Estados Unidos: John Wiley & Sons.
- Kopach-Konrad, R., Lawley, M., Criswell, M., Hasan, I., Chakraborty, S., Pekny, J. & Doebbeling, B. N. (2007). Applying systems engineering principles in improving health care delivery, *Journal of general internal medicine*, 22(3), 431-437.

- Kossiakoff A., Sweet, W., Seymour, S. & Biemer, S. Systems engineering principles and practice. (2a. ed.). Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
- Lago, F. & Moscoso, N. (2013). La atención primaria de la salud en la provincia de Buenos Aires. Diagnóstico de situación y herramientas sistemáticas para el análisis [Mimeo]. Informe presentado en la Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires.
- Ligarda, J. & Ñaccha, M. (2006). La eficiencia de las organizaciones de salud a través del análisis envolvente de datos: Microrredes de la Dirección de Salud IV Lima Este 2003, *Anales de la Facultad de Medicina*, 67(2), 142-151
- Maceira D. & Reynoso A. (2010). *Gasto financieramente catastrófico y empobrecedor en salud en Argentina 1997-2005*. México: Fundación Mexicana para la Salud
- McKinney, D. & Savitsky, A. (2006). *Basic Optimization Models for Water and Energy*. Recuperado de <http://goo.gl/mxPvrt>
- Mills, A. & Gilson, L. (1988). *Health economics for developing countries: a survival kit*. London, LSHTM (EPC Publication 17) London School of Hygiene & Tropical Medicine, HEFP working paper 01/88 – Recuperado de: [http://medolympiad.behdasht.gov.ir/uploads/280\\_954\\_First\\_Modiriat2.pdf](http://medolympiad.behdasht.gov.ir/uploads/280_954_First_Modiriat2.pdf)
- Morgenstern, M. (2013). Perfil descriptivo del Sistema de Salud de la República Argentina, 2012 Uruguay: Observatorio Mercosur de Sistemas de Salud. Perfiles descriptivos de los Sistemas de Salud de los Estados Partes del Mercosur.
- Oliva Moreno, J., del Llano, J., Antoñanzas, F., Juárez, C., Rovira, C., Figuera, M. & Gervas, J. (2001). Impacto de los estudios de evaluación económica en la toma de decisiones sanitarias en atención primaria, *Cuadernos de Gestión*, 7(4), 192-202
- Oliva, J., Antoñanzas, F. & Rivero-Arias, O. (2008). Evaluación económica y toma de decisiones en salud. El papel de la evaluación económica en la adopción y la difusión de tecnologías sanitarias. Informe SESPAS 2008, *Gaceta Sanitaria*, 22(Supl 1), 137-142.
- OPS: Organización Panamericana de la Salud (1999). *La evaluación de Tecnologías en salud en América Latina y el Caribe: Colección de casos*. Estados Unidos: PAHO. Recuperado de <http://apps.who.int/medicinedocs/documents/s16583s/s16583s.pdf>
- Penchansky, R. & Thomas, J. (1981). The concept of access: definition and relationship to consumer satisfaction, *Medical care*, 19(2), 127-140.

- Porto, S. (2002). Equidad y distribución geográfica de recursos financieros en los sistemas de salud, *Cadernos de Saúde Pública*, 18(4), 939-957.
- Prieto, L., Sacristán, J., Pinto, J., Badia, X., Antoñanzas, F. & del Llano, J. (2006). Análisis de costes y resultados en la evaluación económica de las intervenciones sanitarias, en T. Dilla y J. Sacristán (Coord) *Evaluación Económica de Intervenciones Sanitarias* (pp. 53-59). España: Ediciones Doyma, S.L.
- Puig Junoy, J. & Oliva, J. (2009). Evaluación económica de intervenciones sanitarias: el coste de oportunidad de no evaluar, *Reumatología clínica*, 5(6), 241-243.
- Puig-Junoy, J. (2000). Eficiencia en la atención primaria de salud: una revisión crítica de las medidas de frontera, *Revista española de salud pública*, 74(5-6), 483-495
- Rais, A. & Viana, A. (2011). Operations research in healthcare: a survey, *International Transactions in Operational Research*, 18(1), 1-31.
- Reid, P., Fanjiang, G., Grossman, J. & Compton, W. (Eds.). (2005). *Building a Better Delivery System: A New Engineering/Health Care Partnership*. Estados Unidos: National Academies Press.
- Repetto, G. & Alonso, G. (2004). *La economía política de la política social argentina: una mirada desde la desregulación y la descentralización*. Chile: CEPAL. División de Desarrollo Social.
- Robbins, L. (1932). *Essay on the nature and significance of economic science*. Inglaterra: Macmillan and Co.
- Rubio Terrés, C. Sacristán, J., Badiac, X., Cobo, E. & García Alonso, F. (2004). Métodos utilizados para realizar evaluaciones económicas de intervenciones sanitarias, *Medicina Clínica*, 122(15), 578-583
- Ryan, J. (2005). Systems Engineering Opportunities for Health Care. Reid, P., Fanjiang, G., Grossman, J., & Compton, W. (Eds.). (2005). *Building a Better Delivery System: A New Engineering/Health Care Partnership* (pp 141-143). Estados Unidos: National Academies Press.
- Sacristán, J., Rovira, J., Ortún, V., García Alonso, F., Prieto, L. & Antoñanzas, F. (2004). Utilización de las evaluaciones económicas de intervenciones sanitarias, *Medicina Clínica*, 122(20), 789-95

- Sainfort, F., Blake, J., Gupta, D. & Rardin, R. L. (2005). Operations research for health care delivery systems. *WTEC Panel Report*. Recuperado de <http://www.wtec.org/or/hosts/PDF/OR-Report.pdf>
- Starfield, B. (2011). The hidden inequity in health care, *International journal for equity in health*, 10(1), 1
- Taha, H. (2004). *Investigación de operaciones*. (7a. ed). México: Pearson Educación de México.
- Tobar, F. (2001). Economía de la Reforma de los Seguros de Salud en Argentina. Disponible en <http://ebookbrowse.com/11-economia-reforma-sistemas-salud-tobar-pdf-d124735730>.
- Tobar, F., Olaviaga, S. & Solano, R. (2011). Retos postergados y nuevos desafíos del sistema de salud argentino, CIPPEC. Documento de Políticas Públicas/Análisis N° 99. Recuperado de <https://goo.gl/SUSLuW>
- Tunc, S., Alagoz, O. & Burnside, E. (2014). Opportunities for Operations Research in Medical Decision Making, *IEEE intelligent systems*, 29(3), 59-62.
- Whitehead M., Dahlgren G. & Evans T. (2001). Equity and health sector reforms: can low income countries escape the medical poverty trap? *Lancet*, 358(9284), 833–836.
- Whitehead, M. & Dahlgren, G. (2006). *Concepts and principles for tackling social inequities in health: Levelling up Part 1*. Dinamarca: World Health Organization Recuperado de [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0010/74737/E89383.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0010/74737/E89383.pdf)
- Whitehead, M. (1990). The concepts and principles of equity and health. Dinamarca: WHO Regional Office for Europe. Recuperado de: [http://salud.ciee.flacso.org.ar/flacso/optativas/equity\\_and\\_health.pdf](http://salud.ciee.flacso.org.ar/flacso/optativas/equity_and_health.pdf)
- Winston, W. (2005). *Investigación de operaciones: aplicaciones y algoritmos* (4a. ed). México: Thomson Learning.

## **CAPÍTULO II. Modelos matemáticos de localización óptima: implicancias para la accesibilidad a los servicios de salud**

### **1. Introducción**

El concepto de acceso a los servicios de salud es multifacético y complejo, ya que en él se conjugan varias dimensiones relacionadas tanto con las características de la población como con las propias del sistema de salud (Aday y Andersen, 1974). Khan (1992) clasifica las dimensiones que condicionan el acceso propuestas por Penchansky y Thomas (1981) en *factores espaciales* y *factores no espaciales*. Estos últimos incluyen a la aceptabilidad, asequibilidad y accesibilidad organizacional, y están relacionados con las características socioeconómicas de la población y la burocracia que enfrentan los usuarios al momento de utilizar los servicios médicos.

La accesibilidad espacial combina dos factores: la disponibilidad de los centros de atención y su accesibilidad propiamente dicha. La disponibilidad se refiere a la cantidad de centros de salud entre los cuales un potencial usuario puede elegir, mientras que la accesibilidad se refiere a la facilidad con la que los residentes de un área determinada pueden llegar a los servicios (Luo y Wang, 2003). Ambos factores deben tenerse en cuenta, en forma conjunta ya que mayor disponibilidad de centros de salud no garantiza mayor acceso debido a que el mismo depende de la distancia que un potencial usuario debe recorrer para llegar a dicho centro. Asimismo, la proximidad entre los centros de salud y la población no asegura un mayor acceso ya que el mismo depende del grado de congestión de los servicios disponibles (McGrail y Humphreys, 2009). La accesibilidad a este tipo de recursos es especialmente importante para las poblaciones de bajo nivel socioeconómico, para quienes los costos financieros de desplazamiento o los tiempos involucrados pueden redundar en la no atención.

La preocupación por garantizar la accesibilidad de la población a los servicios de salud motivó el desarrollo de numerosos trabajos empíricos destinados a evaluar la situación de poblaciones específicas. Tal literatura se benefició especialmente de desarrollos provenientes del campo de las Ciencias Geográficas, donde siempre existió interés por el acceso espacial de la población a instalaciones de muy diverso tipo que, además de las relacionadas con el sector salud, incluyen parques, escuelas y medios de transporte, entre otras (Pooler, 1987). Esto motivó el desarrollo de

indicadores destinados a operacionalizar y computar el concepto de accesibilidad, que posteriormente fueron adaptados y aplicados al caso específico del sector salud (Apparicio et al, 2008).

Asimismo, en muchas industrias se presentan problemas similares a los existentes en los sistemas sanitarios, donde instalaciones mal ubicadas, o un número excesivo (o deficiente) de ellas dará lugar a un aumento innecesario de los gastos y/o una baja calidad de atención al cliente o usuario (Daskin y Dean, 2005). Estos problemas han incentivado una amplia literatura referida a modelos de localización óptima de instalaciones, aplicables en un gran número de sectores de la actividad económica, incluyendo el de la salud (Berg y Bjorn, 2013).

Rahman y Smith (2000) realizaron una revisión del uso de modelos de localización en el sector salud en países en desarrollo. Encontraron que dichos modelos han sido utilizados con cuatro propósitos: i) determinar un conjunto de localizaciones óptimas para diversos tipos de instalaciones; ii) determinar la localización óptima de los centros de oferta en una urbanización; iii) evaluar la efectividad de decisiones de localización tomadas en el pasado y iv) mejorar los patrones de localización existentes.

Los modelos discretos<sup>3</sup> de localización asumen que hay un conjunto de sitios alternativos donde se pueden ubicar las instalaciones, llamados *nodos de oferta*, y un conjunto finito de localizaciones para los usuarios (o clientes) de las instalaciones, denominados *nodos de demanda*. Estos nodos de demanda pueden representar una localidad, una manzana de una ciudad o radios censales. Un dato básico requerido por el modelo son las distancias o tiempos de viaje entre los nodos de oferta y demanda. Sin embargo, una caracterización completa de los nodos de demanda ha de requerir de información adicional, tales como el número de demandantes, o variables referidas al grado de necesidad (o intensidad de la demanda) de los mismos. En ocasiones, la aplicabilidad de estos modelos se encuentra limitada debido a la gran cantidad de información que debe recogerse (Plastria, 2001; ReVelle y Eiselt, 2005; Daskin, 2008).

---

<sup>3</sup> Además de los modelos discretos, existen modelos analíticos, modelos continuos y modelos en red (Plastria, 2001; Daskin, 2008).

Respondiendo a algún criterio establecido por el planificador, plasmados en la función objetivo, los modelos de localización deben seleccionar un conjunto de posibles emplazamientos de las instalaciones, y dependiendo del problema, también su dimensión y la población objetivo a la que atenderá (Rahman y Smith, 2000; Daskin, 1995).

Dentro de los modelos discretos de localización se reconocen tres grandes familias: *los modelos basados en la media*, *los modelos de cobertura* y *otros modelos*. Todos ellos se diferencian entre sí por la naturaleza de la función objetivo que se desea optimizar, así como en las restricciones que incorporan.

Dadas las diferencias existentes entre los modelos alternativos de localización, las recomendaciones en términos de emplazamientos óptimos de los centros de salud muy probablemente difieran ante un mismo caso de estudio. Si se considera que los modelos básicos de localización se encuentran en la base de muchos desarrollos más sofisticados, adaptados a un problema concreto de planeamiento en el sector salud, resulta relevante comparar los resultados de dichos modelos y las localizaciones óptimas propuestas en cada caso.

En este sentido, en el presente capítulo se analiza la performance de diferentes modelos de localización en términos del acceso potencial a los servicios de salud. Con este fin, en primer lugar se determinan los resultados óptimos de distintos modelos en términos de localización, resueltos en todos los casos para un mismo set de datos (correspondiente a un sector de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina) y luego se calculan diferentes medidas de accesibilidad a los servicios sanitarios para cada caso.

El capítulo se divide en tres partes. En la primera se realiza una revisión de los principales modelos de localización, diferenciando entre modelos basados en la media y modelos de cobertura, desarrollando el planteo formal de cada uno de ellos. Posteriormente, se analizan las principales medidas alternativas al momento de cuantificar la accesibilidad de los servicios de salud. En la siguiente parte se presentan los datos del caso de estudio y los resultados que arroja

el caso de estudio utilizado para comparar el desempeño de cada uno de los modelos reseñados. Por último, se exponen las conclusiones.

## 2. Los modelos de localización

Dentro de las familias de modelos discretos de localización, los que ofrecen mayor interés para su aplicación al sector salud son los modelos de cobertura y los basados en la media<sup>4</sup>.

### 2.1. Modelos basados en la media

Esta familia incluye los modelos *P-Medio* y *de localización de instalaciones con capacidad ilimitada*<sup>5</sup>. Parten del supuesto que los servicios de un determinado nodo de oferta son más accesibles cuanto menor es la distancia (o el tiempo de viaje) que deben recorrer los usuarios para acceder a los mismos, por lo que la eficacia de una red de localizaciones puede evaluarse a partir de la consideración de la distancia media que deben recorrer los usuarios, o alternativamente por el tiempo de viaje empleado por los usuarios para acceder a la instalación (Church y Ravelle, 1976). En particular, cuando la demanda no es sensible a la magnitud o calidad de los servicios suministrados en cada centro de oferta (con lo cual puede asumirse que los demandantes concurrirán al centro más cercano) la eficacia de su ubicación puede medirse a partir de la suma de las distancias de viaje ponderada entre todos los nodos de demanda y de oferta. Siendo la distancia ponderada igual al producto entre la cantidad de usuarios presentes en un nodo de demanda y la distancia entre cada nodo de demanda  $i$  y cada nodo de oferta  $j$  (Daskin y Maass, 2015). Los modelos P-Medio utilizan esta medida de eficacia para determinar la localización de un número finito  $P$  (estipulado por el tomador de decisión) de instalaciones con el fin de minimizar dicha distancia ponderada.

---

<sup>4</sup> Hay modelos que no se encuadran en ninguna de las categorías más importantes presentadas. Por ejemplo, el modelo de P-dispersión que tiene como objetivo maximizar la distancia mínima entre cualquier par de instalaciones. Este modelo es útil en la localización de puntos de venta de franquicias, donde es deseable minimizar la pérdida de mercado por la cercanía de dos nodos de oferta. También puede utilizarse para establecer la localización óptima de los depósitos de armas en las que es deseable reducir al mínimo la probabilidad de que la destrucción de un depósito afecte a otros o destruya todo el arsenal. Dado el escaso interés que representan estos modelos en relación al sector salud, no serán considerados en el análisis posterior.

<sup>5</sup> En inglés *P-median* y *uncapacited fixed charge facility location problems* respectivamente.

Los problemas denominados *localización de instalaciones con capacidad ilimitada* (en adelante C-Ilimitada) determinan el número óptimo de instalaciones a partir de minimizar la suma de los costos fijos totales de radicación de los centros de oferta (que aumenta a medida que lo hace el número de centros abiertos) y el costo de traslado de la población hacia el centro de oferta, considerando la distancia total recorrida por los usuarios estimada en el problema P-Media (valor que disminuye a medida que se acrecienta la cantidad de centros). Una característica de este tipo de problema (que lo diferencia del anterior) es que se endogeneiza la decisión respecto a cuántos centros localizar (Daskin et al, 2005).

Esta familia de modelos privilegia la *eficiencia* al momento de localizar las instalaciones, en el sentido que la ubicación de los nodos de demanda con mayor cantidad de agentes tendrá un peso mayor en la decisión que otros centros de demanda con menor población. En otras palabras, en la decisión de ubicación se trata de beneficiar a la mayor cantidad de usuarios posibles. La crítica (o problema) que se desprende es la posibilidad que algunos nodos de demanda (los más pequeños) queden a una distancia relativa muy grande de la instalación más cercana.

Esta familia de modelos al mismo tiempo que determina la ubicación óptima de los centros de oferta establece cuál será la población atendida en cada uno de ellos.

## 2.2. Modelos de cobertura

La determinación de la red de localizaciones según el promedio de la distancia recorrida o el tiempo de viaje no se considera apropiada para algunos servicios, tales como los de emergencia o la ubicación de las ambulancias, en los cuales puede resultar inadmisibles que poblaciones más pequeñas se encuentren en una situación desfavorable (en términos de acceso) en relación a otras más numerosas. En estos casos, es necesaria una medida de la eficacia de la localización relacionada con la cobertura de la demanda. En efecto, se considera que un determinado nodo de demanda  $i$  está cubierto por un posible sitio de oferta  $j$  si la distancia entre ellos es menor a un cierto umbral crítico, llamado distancia de cobertura,  $S$ . Puede considerarse que esta familia de modelos integra el objetivo de *eficiencia* ya que intenta conseguir la mayor cobertura de la población con los recursos disponibles con el objetivo de *equidad*, al poner un límite máximo a la distancia (o tiempo) que debe recorrer cualquier agente para acceder a los servicios de salud

independientemente de su localización. Dentro de esta categoría se puede englobar a los llamados *modelos de cobertura total, el modelo de cobertura máxima y el modelo P-Centro*<sup>6</sup>.

Los modelos de localización de *cobertura total* (en adelante C-Total) tienen como objetivo minimizar el costo de la localización de los centros de oferta, garantizando una cobertura del 100% de la demanda. Generalmente se supone que el costo de las posibles instalaciones es el mismo para cualquier posible localización de los centros de oferta, por lo cual el objetivo puede reexpresarse como la minimización de la cantidad de centros de oferta que es necesario ubicar para cubrir la totalidad de la demanda. Este tipo de modelos presenta algunas debilidades. Por un lado, si la distancia máxima aceptable  $S$  es muy pequeña, la cantidad de centros de ofertas requeridos para cubrir todos los nodos de demanda puede resultar elevada, para lo cual resulta necesario una gran inversión que lo torna inviable. Por otro lado, el modelo no diferencia el tamaño de los nodos de demanda, esto es, todos los nodos deben ser cubiertos sin importar el número de potenciales usuarios que contenga cada uno de ellos.

Los modelos de localización de *cobertura máxima* (en adelante C-Máxima) maximizan la cantidad de potenciales usuarios cubiertos dentro de la distancia máxima aceptable  $S$ , a partir de la instalación de un número finito de centros de oferta que no podrá ser mayor a  $P$ . A diferencia de los modelos anteriores, esta formulación permite diferenciar el tamaño de los nodos de demanda, pero presenta como debilidad el hecho de que la localización óptima podría dejar algunos nodos de demanda sin atender si el número necesario de centros de oferta es mayor que la restricción impuesta por  $P$ .

Por último, los modelos *P-Centro*, también denominados *Problemas Minimax*, minimizan la máxima distancia entre cualquier centro de demanda  $i$  y el centro de oferta  $j$  más cercano. En este modelo, a diferencia de los de C-Máxima y C-Total, la cantidad de centros de oferta a instalar es determinada por el hacedor de política. Además, este es el único modelo de los modelos de cobertura que también determina cuál es la población atendida por cada centro de oferta.

---

<sup>6</sup> En inglés *location set covering model, maximal covering model y P-center model* respectivamente.

## 2.3 Formulación matemática de los modelos basados en la media y de cobertura<sup>7</sup>

Para desarrollar la formulación matemática de los modelos basados en la media y de cobertura descriptos, se introduce la siguiente notación:

### *Conjuntos*

- $I$  conjunto de centros de demanda  $i$
- $J$  conjunto de posibles localizaciones de los centros de oferta  $j$
- $N_i$  conjunto de los posibles nodos de oferta  $j$  que se encuentran dentro del máximo de distancia aceptable  $S$  del nodo  $i$

### *Parámetros*

- $d_{ij}$  distancia entre el nodo de demanda  $i$  y el potencial nodo de oferta  $j$
- $h_i$  demanda en el nodo  $i$
- $P$  número de instalaciones a ubicar
- $f_j$  costo fijo de ubicar la instalación en el potencial nodo de oferta  $j$
- $c$  costo de traslado desde cada nodo de demanda  $i$  a cada posible nodo de oferta  $j$
- $S$  distancia o tiempo máximo aceptable de cobertura

### *Variables de decisión*

- $X_j$  que toma valor 1 si el nodo de oferta  $j$  se abre y 0 si el centro  $j$  no se abre.
- $Y_{ij}$  que toma valor 1 si el nodo de demanda  $i$  es asignado al centro de oferta  $j$  y 0 en caso contrario.
- $Z_i$ , que toma valor 1 si el nodo de demanda  $i$  está cubierto y 0 en caso contrario.

### *2.3.1 Modelo P-Medio*

El problema P-Medio queda determinado por las siguientes ecuaciones:

$$\text{Min } \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_j X_j = P \quad (2)$$

---

<sup>7</sup> La formulación matemática se realiza siguiendo a Daskin (2008) y Daskin y Dean (2005).

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (3)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall i \quad (5)$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \quad (6)$$

La función objetivo, descrita por la Ec. (1), establece que la distancia total (ponderada por la población) entre los nodos de demanda y oferta sea mínima. La restricción definida por la Ec. (2) determina que solo se ubiquen  $P$  centros de oferta. La Ec. (3) asegura que cada centro de demanda  $i$  se asigna a un único centro de oferta  $j$ , mientras que la Ec. (4) establece que un nodo de demanda  $i$  será atendido por un centro de oferta  $j$  sólo si se ubica una instalación en el nodo  $j$ . Las Ec. (5) y (6) establecen que las variables referidas a la apertura o cierre de los centros de salud así como las referidas a la asignación de los nodos de demanda a los de oferta solo pueden tomar valores binarios.

### 2.3.2 Modelo C-Ilimitada

El modelo de localización de instalaciones con capacidad ilimitada es descrito por la siguiente formulación:

$$\text{Min } \sum_j f_j X_j + c \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (7)$$

s.t.

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (8)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i, j \quad (9)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall i \quad (10)$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \quad (11)$$

La función objetivo Ec. (7) minimiza los costos totales definidos como la suma de dos términos, el primero tiene en cuenta los costos de instalación de cada centro y el segundo los costos de traslado (en términos monetarios) de la población al nodo de oferta que le es asignado. Las restricciones delineadas por las Ec. (8) a (11) son equivalentes a las restricciones planteadas en las Ec (3) a (6).

### 2.3.3 Modelo C-Total

El modelo de localización de C-Total se formula de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$\text{Min } \sum_j c_j X_j \quad (12)$$

s.t.

$$\sum_{j \in N_i} X_j \geq 1 \quad \forall i \quad (13)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (14)$$

La función objetivo delineada en la Ec. (12) asegura que el costo de la localización sea mínimo. La restricción definida por la Ec. (13) asegura que cada nodo de demanda debe ser atendido (en el sentido que cada uno tendrá a su disposición al menos un centro de oferta situado a una distancia menor que la crítica), mientras que la restricción recogida por la Ec. (14) impone que la solución debe ser entera.

En caso de suponer que el costo de instalación es el mismo para todos los centros de oferta, la función objetivo se reescribe de manera que minimice la cantidad de centros a atender (Ec. (15)).

$$\text{Min } \sum_j X_j \quad (15)$$

### 2.3.4 Modelo C-Máxima

Los modelos de localización con C-máxima están determinados por la siguiente formulación:

$$\text{Max } \sum_i h_i Z_i \quad (16)$$

s.t.

$$Z_i \leq \sum_{j \in N_i} X_j \quad \forall i \quad (17)$$

$$\sum_j X_j \leq P \quad (18)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (19)$$

$$Z_i \in \{0,1\} \quad \forall i \quad (20)$$

La función objetivo descrita por la Ec. (16) maximiza la demanda cubierta por las instalaciones. La restricción definida por la Ec. (17) determina que un nodo de demanda sólo puede considerarse cubierto ( $Z_i=1$ ) cuando existe al menos un nodo de oferta a una distancia inferior a la crítica (con lo cual  $\sum_{j \in N_i} X_j \geq 1$ ). De la misma forma, si un nodo de demanda no es atendido ( $Z_i=0$ ) es porque no existe ningún centro de oferta dentro de la distancia crítica (y por lo tanto

$\sum_{j \in N_i} X_j = 0$ ). La restricción delineada por la Ec. (18) establece que como máximo se abrirán  $P$  centros de oferta. Las Ecs. (19) y (20) aseguran que la solución sea entera.

### 2.3.5 Modelo P-Centro

Por último, los modelos P-Centro se formulan de acuerdo a la siguiente formulación:

$$\text{Min } D \quad (21)$$

s.t.

$$\sum_j X_j = P \quad (22)$$

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (23)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i, j \quad (24)$$

$$D \geq \sum_j d_{ij} Y_{ij} \quad \forall i \quad (25)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (26)$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \quad (27)$$

La función objetivo, Ec. (21), minimiza  $D$ , es decir la máxima distancia entre un nodo de demanda y la instalación más cercana. Las restricciones impuestas en las Ecs. (22) a (24) son equivalentes a las Ecs. (2) a (4) del problema P-Medio. La Ec. (25) es la que da sustento al modelo, al establecer que el valor de  $D$  debe ser mayor o igual que la distancia recorrida por los habitantes de *cada uno* de los nodos de demanda  $i$ , con lo cual se asegura que  $D$  tomara el mayor valor de todas esas distancias. Por último, las Ecs. (26) y (27) aseguran que la solución sea entera.

### 3. Medidas de accesibilidad espacial o geográfica

Las medidas más utilizadas de accesibilidad espacial a la asistencia sanitaria pueden clasificarse en cuatro categorías: relaciones proveedor-población, distancia al proveedor más cercano, distancia media a un conjunto de proveedores y modelos gravitacionales de influencia de los proveedores (Guagliardo, 2004).

Los *ratios proveedor – población* se calculan para áreas delimitadas (unidades geográficas de análisis) tales como estados, municipios o radios censales. El numerador es algún indicador de la

capacidad de servicio de la salud, como el número de médicos, clínicas o camas de hospital, mientras que el denominador es el tamaño de la población que habita el área (McGrail y Humphreys, 2009; Guagliardo, 2004). Aunque fáciles de calcular, ya que los datos de población y dotación de servicios suelen estar disponibles y ser de interpretación intuitiva, las relaciones de suministro tienen algunas limitaciones graves. En primer lugar, estos índices consideran que la población solo concurrirá a los centros de salud de su región; esto es, no tienen en cuenta la posibilidad del cruce de fronteras por parte de los pacientes que comúnmente se presenta en áreas geográficas pequeñas, como los radios censales urbanos o localidades vecinas. En segundo lugar, las relaciones de suministro no pueden captar las variaciones en la accesibilidad dentro del área de análisis generadas por la proximidad de la población al centro de salud, por lo tanto consideran que toda la población de una determinada región tiene igual acceso al servicio de salud bajo estudio (Higgs, 2005). Por último, no incorporan explícitamente las distancias o los tiempos de viaje sino que se caracterizan por una categorización de las poblaciones y los servicios de salud que se encuentran dentro de un límite común (Delamater, 2013; McGrail y Humphreys, 2009).

La *distancia al proveedor más cercano* o impedancia de viaje constituye otra medida muy intuitiva y de uso generalizado para evaluar la accesibilidad espacial. Se mide desde la residencia de un paciente o de un centro de población, dependiendo de los datos disponibles. La impedancia de viaje a veces se denomina costo de viaje, y puede ser aproximada por medidas de distancia o tiempos de viaje.

La *impedancia de viaje con el proveedor más cercano* es una buena medida de acceso espacial para las zonas rurales, donde las opciones son muy limitadas y generalmente se busca al proveedor más cercano. Sin embargo, esta medida puede no resultar adecuada para entornos urbanos, ya que es insensible al hecho de que en las zonas más densamente pobladas por lo general hay más de un proveedor a la misma distancia de cualquier punto de referencia, lo que implica que en ocasiones la población no concurra al proveedor más cercano. Asimismo, esta medida de accesibilidad solo considera la proximidad entre la población (accesibilidad) y el centro de salud sin tener en cuenta la disponibilidad. Idealmente, todas las opciones razonables de proveedor para el paciente potencial deberían ser consideradas. Las medidas combinadas de

impedancia de los viajes (accesibilidad) y la oferta (disponibilidad) son necesarias para comprender adecuadamente la accesibilidad espacial (Fryer et al, 1999).

La *impedancia promedio de viaje* a todos los proveedores es una medida combinada de la accesibilidad y disponibilidad, y se calcula como el promedio de la impedancia de viaje desde una ubicación dada a cada uno de los proveedores existentes en el sistema (ciudad o región) (Guagliardo, 2004; Talen y Anselin, 1998). Cuando este tipo de medida se utiliza en un área de estudio amplia puede sobreestimar la influencia de los proveedores situados en la periferia de la zona de estudio por ejemplo, los proveedores en la periferia norte de una gran ciudad pueden no ser una opción práctica para los residentes de la periferia sur. La inclusión de estos proveedores sobrestima la distancia media recorrida, afectando los valores estimados de accesibilidad. Una variante de este indicador, que supera la crítica efectuada, es la impedancia promedio de viaje a un número determinado de proveedores más cercanos. La cantidad de centros de oferta a tener en cuenta es elegida por el hacedor de políticas.

El último grupo de indicadores de acceso espacial son los denominados modelos gravitacionales o gravitatorios. Este tipo de índices constituye una medida global que incorpora simultáneamente la oferta, la demanda y la distancia entre ambas, proporcionando una medida que da cuenta de la proximidad y la disponibilidad del servicio (Joseph y Phillips, 1984; Weibull, 1976). Estos modelos suponen que el atractivo de un determinado centro de oferta disminuye a medida que aumenta la distancia que un potencial usuario debe recorrer para acceder al servicio, es decir, cuando aumenta la impedancia de viaje. Una de las formulaciones más sencillas para medir accesibilidad según los modelos gravitacionales es la indicada a continuación.

$$A_i = \sum_j \frac{S_j}{d_{ij}^{\hat{\alpha}}}$$

Donde  $A_i$  representa la accesibilidad espacial de la población ubicada en  $i$ ,  $S_j$  es la capacidad de atención de un centro de salud ubicado en  $j$ ,  $d_{ij}$  es la distancia de viaje entre la localización de la demanda  $i$  y la de la oferta  $j$ ,  $\hat{\alpha}$  representa el coeficiente de decaimiento gravitacional que puede interpretarse de dos formas: i) indicando cómo disminuye el atractivo de un determinado centro

de oferta cuando aumenta la impedancia de viaje o ii) como un coeficiente de fricción causado por la distancia. Cuanto mayor es el valor de  $A_i$  mayor es la accesibilidad a los servicios de la población del área geográfica bajo estudio (Talen y Anselin, 1998). La accesibilidad espacial mejora cuando aumenta la capacidad de oferta (numerador) o cuando la impedancia de viaje disminuye (denominador) (Guagliardo, 2004).

A pesar de su potencialidad, este indicador presenta distintos aspectos débiles. En primer lugar, resulta difícil estimar empíricamente la función de decaimiento del atractivo de un centro de salud en función de la distancia que debe recorrer un potencial usuario para llegar a dicho centro (McGrail y Humphreys, 2009; Luo y Wang, 2003). En general, este parámetro suele calibrarse para cada aplicación particular, considerando el patrón de comportamiento específico de la población bajo estudio (Talen y Anselin, 1998). En segundo lugar, no resulta una medida de accesibilidad intuitiva y de fácil interpretación para los tomadores de decisión y hacedores de políticas sanitarias (Joseph and Phillips, 1984). Por último, este tipo de indicadores no se ajustan por la demanda del servicio. Así, dos proveedores con igual valor de  $A_i$ , pueden estar atendiendo a una cantidad de personas muy distintas pero tal situación no es reflejada en los cálculos. Para salvar esta crítica Joseph y Bantock (1982) proponen modificar el índice de accesibilidad gravitacional, agregando en el denominador el factor  $V_j$  de ajuste por demanda, así el índice se calcula según la siguiente fórmula:

$$A_i = \sum_j \frac{S_j}{V_j d_{ij}^{\hat{\alpha}}}$$

Siendo,

$$V_j = \sum_k \frac{P_k}{d_{kj}^{\hat{\alpha}}}$$

Donde  $P_k$  indica la demanda potencial de un proveedor ubicado en la localización  $j$ , obtenida agregando todas aquellas poblaciones que pueden acceder a él dentro de una distancia considerada crítica (Guagliardo, 2004). La inclusión del factor  $V_j$  en el cálculo de accesibilidad incorpora la distribución de la población de la misma manera que la medida original considera la distribución espacial de la oferta (Luo y Wang, 2003).

Otra falencia metodológica del indicador de gravedad es la imposibilidad de calcularlo cuando la distancia entre la población y el centro de oferta es nula (Talen y Anselin, 1998). Si bien diversos autores han planteado soluciones a este problema, no se reseñan en este trabajo dado que exceden los objetivos propuestos<sup>8</sup>.

Los indicadores descriptos suponen que todos los habitantes de una comunidad constituyen un potencial usuario de los servicios de salud bajo estudio, por lo que la accesibilidad espacial dependerá de la localización relativa de la oferta y la demanda de servicios de salud (Apparicio et al, 2008). Por este motivo, cobra relevancia la forma, por un lado de definir la localización de la población en el área de residencia y, por otro lado de medir la distancia entre la población y los centros de salud.

En cuanto a la manera de definir la localización de la población, se puede optar por definir el centroide geográfico o el centroide ponderado por población. El primero de ellos, supone que toda la población de una determinada región se localiza en el centro de gravedad del polígono correspondiente a la unidad territorial considerada como unidad de análisis, ignorando la distribución espacial de las personas dentro de la misma. Mientras que el centroide ponderado por población contempla la distribución de la población en el área bajo estudio. La utilización de esta forma de calcular el centroide es aconsejable cuando las divisiones territoriales del área bajo estudio son grandes y no existen una amplia red de vías de comunicación (Hay et al, 2009).

Las medidas de distancia pueden obtenerse a partir de la utilización de cuatro métodos alternativos: la *distancia euclidiana*, la *distancia Manhattan*, *distancia mínima por red medida en unidades métricas* y *distancia mínima por red medida en tiempo de viaje* (Figura 2.1) (Masoodi y Rahimzade, 2015; Ramírez, 2012; Buzai, 2011).

La distancia euclidiana o rectilínea es la distancia más corta entre dos nodos. Se obtiene a partir de la consideración de un espacio ideal en el cual no existen limitaciones para transitar en cualquier sentido. Puede ser calculada aplicando la siguiente fórmula:

---

<sup>8</sup> Para mayor detalle ver Pooler (1987); Frost y Spence (1995); Geertman y Ritsema Van Eck (1995).

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

Donde  $(x_i, y_i)$  y  $(x_j, y_j)$  corresponden a las coordenadas del punto de partida y de llegada respectivamente.

Figura 2.1. Medidas alternativas de distancia



Fuente: elaboración propia en base a Apparicio et al (2008)

La distancia Manhattan, definida como la distancia a lo largo de los dos lados opuestos a la hipotenusa de un triángulo recto, se calcula como se indica:

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$$

Donde  $(x_i, y_i)$  y  $(x_j, y_j)$  corresponden a las coordenadas del punto de partida y de llegada respectivamente.

Debido a que en ocasiones resulta necesario el cálculo de distancia considerando el recorrido que realizan los usuarios, teniendo en cuenta explícitamente la disponibilidad de caminos, se recurre

a la denominada distancia por red, ya sea medida en unidades métricas o tiempo de recorrido entre el punto de origen y de llegada.

#### **4. Aplicación de los modelos: un caso hipotético**

En esta sección se aplicarán los modelos de localización descritos anteriormente a un caso hipotético con el objetivo de comparar los resultados que arrojan cada uno de ellos, los cuales serán evaluados utilizando distintas medidas de accesibilidad. Este ejercicio de aplicación se llevó a cabo utilizando el *software* GAMS (*General Algebraic Modeling System*) con el *solver* CPLEX. El mismo fue ejecutado en una computadora portátil con procesador core i5 (4<sup>o</sup> generación) de 1.2 GHz y 6 GB de memoria DDR3.

Como caso de estudio se considera el problema de localización de los denominados Centros de Atención Primaria (CAPS) de una porción de la ciudad de Bahía Blanca (Figura 2.2) en la que la unidad de análisis corresponde a los radios censales delimitados para la realización del Censo Nacional de Personas, Hogares y Viviendas 2010. La porción de la ciudad seleccionada como caso de estudio está compuesta por 51 radios censales. Actualmente funcionan en el sector 10 salas médicas, 9 de las cuales cuentan con atención de al menos un médico clínico y pediatra o un médico de familia.

##### 4.1 Datos

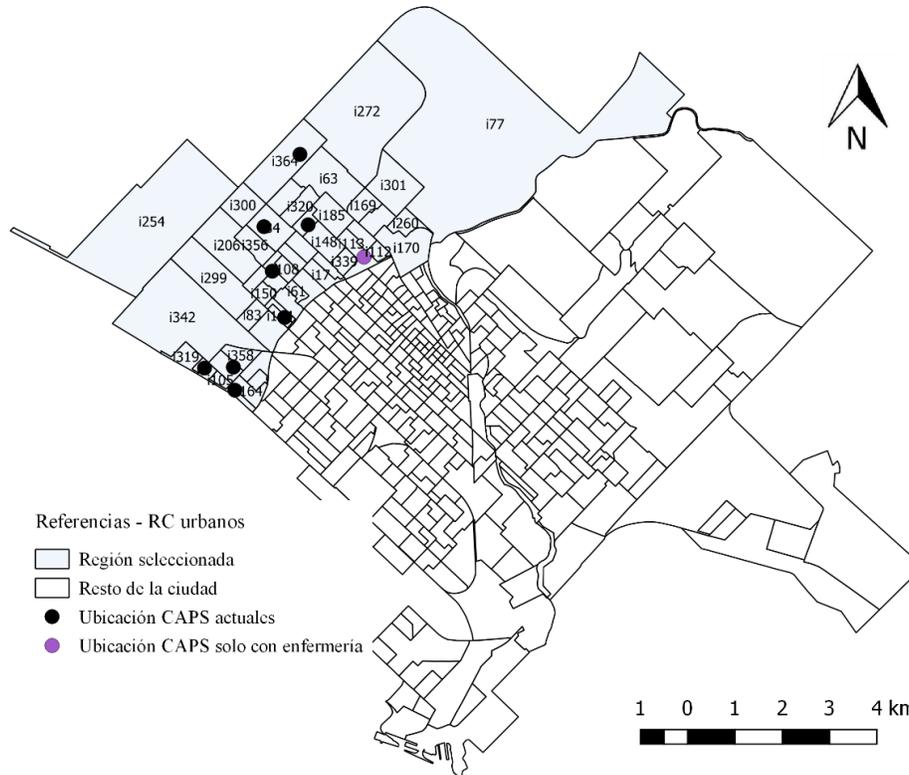
En este apartado se explica cómo se elaboraron los datos utilizados para la implementación de los modelos. A tal fin, se sigue la estructura de los índices, conjuntos y parámetros detallado en la sección anterior.

##### *Conjuntos*

Tanto el conjunto  $I$  correspondiente a los centros de demanda como el conjunto  $J$  de posibles localizaciones de los centros de oferta, está compuesto por los 51 radios censales que conforman la región considerada para el análisis. Además, se supone que toda la población está ubicada en el centroide geográfico del radio censal. En el caso de la ubicación de los centros de salud se adoptaron dos criterios: si en el radio censal está funcionando un CAPS se respeta la ubicación actual, mientras que en aquellas unidades de análisis que se plantean como una potencial

ubicación de un centro de salud se considera que el mismo se emplazará en el centroide geográfico.

Figura 2.2. Bahía Blanca. Región seleccionada como caso de estudio



Fuente: Elaboración propia en el *software* QSIG

### Parámetros

- $d_{ij}$ , la distancia entre cada nodo de demanda  $i$  y cada potencial sitio de radicación de un centro de oferta  $j$  se estimó utilizando google maps, considerando que la población se moviliza en automóvil o moto y que recorre el trayecto más corto expresado en km.
- $h_i$  la demanda en cada nodo está compuesta por la población de cada radio censal.
- $P$  con el objetivo de poder comparar la localización óptima que resulta de cada uno de los modelos con la situación actual se considera que se instalarán 9 centros de oferta<sup>9</sup>.
- $f_j$  se adopta un costo fijo de instalación de 100.000 u.m.
- $c$  se considera un costo de traslado de 10 u.m.

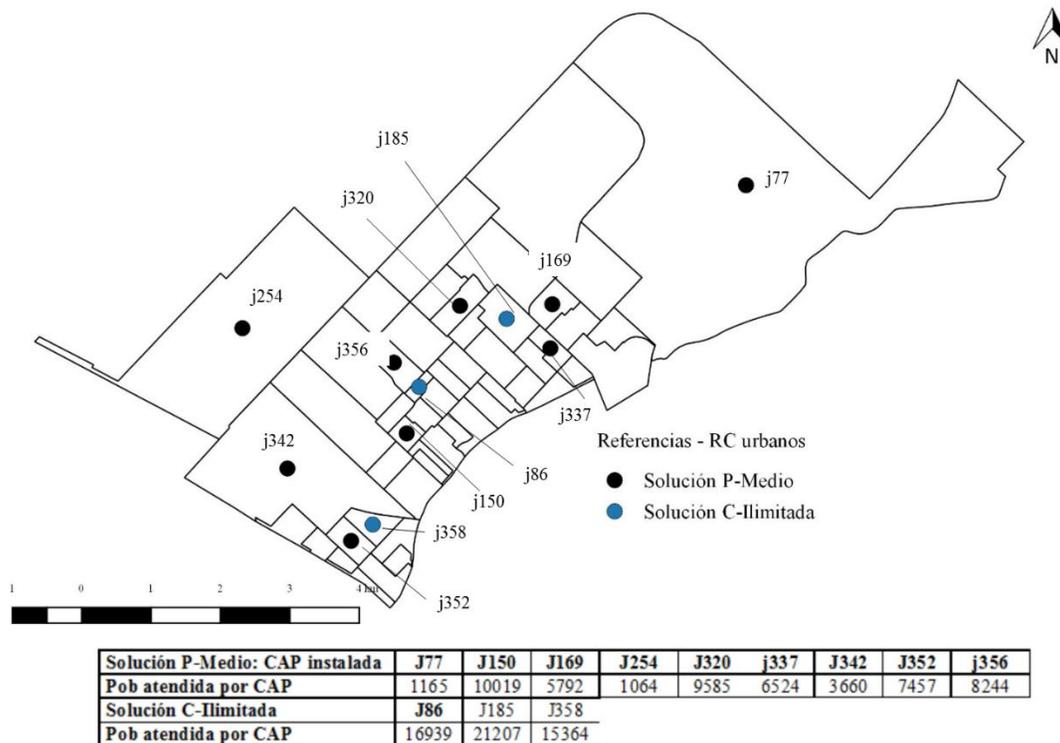
<sup>9</sup> Se excluye del análisis el CAPS que no cuenta con profesionales médicos.

- $S$ , la distancia máxima aceptable para considerar que un centro de población está cubierto se estimó en 3 km.

#### 4.2 Resultados

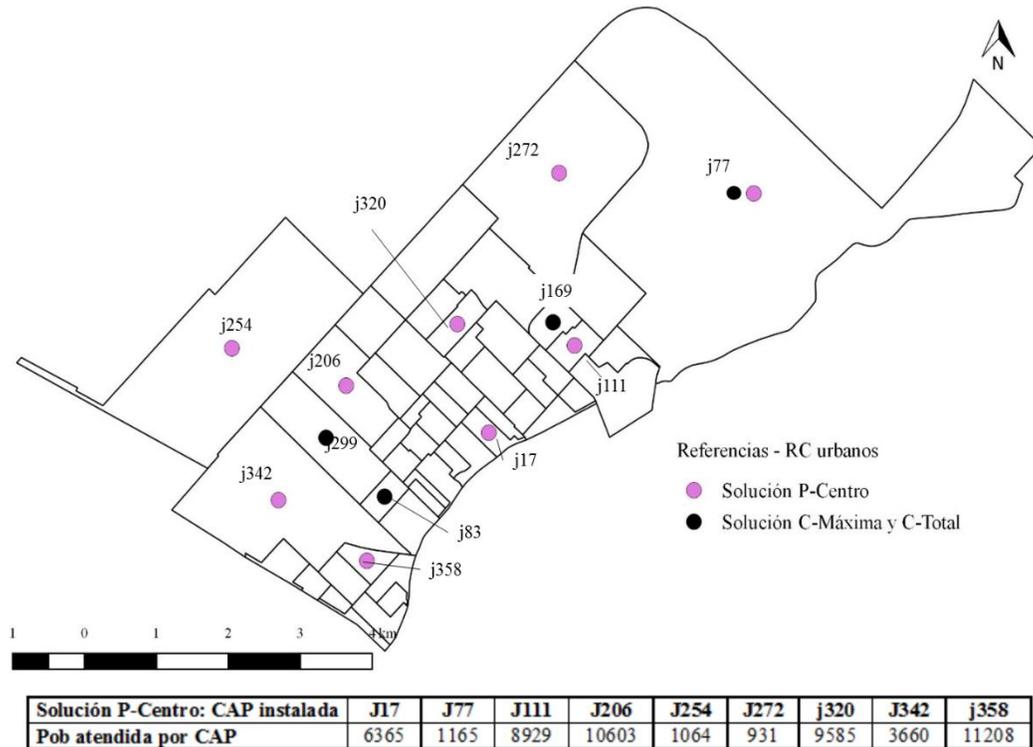
Los modelos P-Medio y P-Centro son los que mayor cantidad de CAPS instalan ya que se impone como una restricción respetar el número actual de centros de atención. El resto de los modelos determina que con una menor cantidad de centros de oferta se podría atender a la población, arrojando exactamente igual solución el modelo C-Máxima y C-Total. Asimismo, solo en uno de los centros de salud instalados según la solución del modelo P-Medio coincide la localización óptima con la actual ( $j352$ ). Por último se observa que algunas localizaciones se repiten en las soluciones de los distintos modelos (Tabla A2.1, Figura 2.3 y Figura 2.4).

Figura 2.3. Localización óptima de CAPS según modelos basados en la media



Fuente: Elaboración propia en el *software* QSIG

Figura 2.4. Localización óptima de CAPS según modelos de cobertura



Fuente: Elaboración propia en el *software* QSIG

Dado que el área bajo estudio es relativamente pequeña y que la distancia máxima entre los nodos de demanda y oferta del sistema es de 14 km la impedancia promedio a todos los proveedores es una buena medida, no siendo necesario calcular la versión mejorada considerando solo un número determinado de proveedores. Los modelos de la familia de cobertura son los que brindan peores indicadores promedio tanto cuando se impone que se respete el número actual de centros de salud (P-Centro) como cuando los modelos determinan la cantidad de CAPS a instalar (C-Máxima y C-Total). El modelo P-Medio, a pesar de establecer que se localizan la misma cantidad de centros de salud que la situación actual, arroja, en promedio, peores resultados. Sin embargo, hay que destacar que este modelo pondera la distancia entre los centros de población y de oferta por la cantidad de personas que residen en cada centro de población, situación que no necesariamente se presenta en la actualidad. Por último, el modelo C-Ilimitada es el que brinda la solución con mejor indicador promedio de accesibilidad a pesar de ser el modelo que determina que se deben abrir la menor cantidad de CAPS. Este resultado puede explicarse por el hecho de que su función objetivo busca minimizar el costo de

traslado que se estima a partir de la distancia entre todos los centros de demanda y de oferta (Tabla 2.1)

Tabla 2.1. Impedancia promedio a todos los proveedores, relación entre impedancia promedio máxima y mínima según cada modelo analizado y número de CAPS instalados

	Promedio	Desvío Standard	Valor Máximo	Valor Mínimo	Relación entre máx. y mín.	CAPS instalados
<b>Situación Actual</b>	3,64	1,05	8,75	2,53	3,46	9
<b>P-Medio</b>	4,23	0,88	7,61	3,14	2,42	9
<b>C-Ilimitada</b>	3,17	0,43	9,54	1,69	5,64	3
<b>C-Total</b>	4,53	0,94	7,22	3,41	2,12	4
<b>C-Máxima</b>	4,53	0,94	7,22	3,41	2,12	4
<b>P-Centro</b>	4,54	0,83	7,67	3,62	2,12	9

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, si se analiza la relación entre el valor máximo y el valor mínimo de este indicador para cada uno de los modelos, relación que se interpreta como una medida de desigualdad en el acceso se observa que los modelos de cobertura son los que obtienen mejores resultados incluso si se compara con la situación actual. Es decir que a pesar de empeorar la accesibilidad en términos promedio la brecha de accesibilidad entre el grupo de población peor y mejor situados es menor en este tipo de modelos.

Por último, la aplicación de los modelos gravitacionales supone la definición de tres parámetros clave: el coeficiente de fricción  $\hat{\alpha}$ , la distancia considerada crítica para el cálculo de la demanda potencial de un centro de salud determinado y qué distancia considerar cuando  $d_{ij}$  es nula. Como se mencionó anteriormente estos parámetros se podrían estimar teniendo en cuenta el comportamiento de los usuarios de la red actual de centros de salud. Sin embargo, Luo y Wang (2003) desestiman esta posibilidad debido a que consideran que este procedimiento puede no representar los verdaderos valores de fricción debido a que están influenciados por la red actual de prestadores. En primer lugar, siguiendo a Talen y Anselin (1998) se utilizó un factor de decaimiento igual a 2. Luego, para superar la falencia metodológica del cálculo cuando  $d_{ij}$  es a cero se adoptó el criterio propuesto por Czyż (2002), quien reemplaza dicha distancia por

0,01km. Por último, como distancia crítica para calcular el factor  $V_j$  en el modelo gravitacional modificado se consideró 3 km.

La accesibilidad promedio de cada centro de población mejora en todos los casos respecto a la situación actual, obteniéndose los mejores resultados en los modelos P-Medio y P-Centro. Este resultado se debe al hecho de que estos dos modelos son los que determinan que debe abrirse una mayor cantidad de CAPS. Cabe resaltar que el cálculo del índice referido a la situación actual se encuentra en cierta manera sesgado respecto al índice estimado para cada situación óptima ya que se considera la distancia real del centroide de población a los CAPS y la misma en ningún caso es nula. Para superar este sesgo, se reemplazó en la situación actual cada  $d_{ii}$  por 0,01km y se obtuvo la medida de accesibilidad recogida en la columna “Situación Actual Modificada”. En este caso se observa que la accesibilidad promedio actual de los distintos centros de población resulta similar, tanto si se analiza el promedio como el desvío estándar, a la obtenida con las localizaciones óptimas propuestas por los modelos P-Medio y P-Centro, los dos modelos que establecen que se instala la misma cantidad de CAPS que existe en la realidad. En cambio los modelos que determinan que se abren menos salas médicas obtienen peores indicadores de accesibilidad promedio pero con una menor dispersión (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Índice gravitacional según cada modelo analizado

	<b>Promedio</b>	<b>Desvío Standard</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>
<b>Situación Actual</b>	5,58	6,53	48,83	1,12
<b>Situación Actual Modificada</b>	1.769	3.811	10.006	0,15
<b>P-Medio</b>	1.768	3.811	10.001	0,42
<b>C-Ilimitada</b>	590	2.353	10.000	0,05
<b>C-Total</b>	785	2.688	10.001	0,22
<b>C-Máxima</b>	785	2.688	10.001	0,22
<b>P-Centro</b>	1.767	3.811	10.001	0,91

Fuente: Elaboración propia

Cuando se analiza la accesibilidad a partir del cálculo del modelo gravitacional modificado se aprecia que la solución propuesta por modelo P-Medio mejora significativamente la accesibilidad promedio de la población a los centros de salud respecto a la “situación actual modificada”. En tanto, los modelos C-Ilimitada, C-Total y C-Máxima que implican la apertura

de una menor cantidad centros de salud reducen considerablemente la accesibilidad promedio del sistema aunque con una dispersión significativamente menor (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Índice gravitacional modificado según cada modelo analizado

	<b>Promedio</b>	<b>Desvío Standard</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>
<b>Situación Actual Modificada</b>	18,04	43,28	182,21	0,0014
<b>P-Medio</b>	589,83	4.066	29.342	0,3709
<b>C-Ilimitada</b>	4,83	19,30	88,53	0,0004
<b>C-Total</b>	0,0008	0,0025	0,0096	0,00004
<b>C-Máxima</b>	0,0008	0,0025	0,0096	0,00004
<b>P-Centro</b>	15,22	34,04	118,88	0,0069

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: los valores calculados fueron multiplicados por 100.000 para obtener valores de fácil comprensión.

Del análisis anterior se desprende que para el tomador de decisiones existe un *trade off* entre los costos de instalar salas médicas y la accesibilidad por parte de la población.

## 5. Reflexiones finales

La evaluación de la accesibilidad ha sido una preocupación constante por parte de la literatura especializada y de los hacedores de políticas sanitarias, ya que la misma permite identificar áreas que presentan dificultades de acceso. En particular si el interés radica en la accesibilidad espacial, la literatura ha desarrollado diversos indicadores que, conjuntamente con los modelos de localización analizados, podrían ser utilizados para la simulación de distintos escenarios proveyendo información útil para la toma de decisiones a los hacedores de política.

A su vez, estos modelos e indicadores pueden contemplar en cierta manera la accesibilidad no espacial si se puede diferenciar a los potenciales usuarios del sistema según sus necesidades sanitarias, nivel socioeconómico, particularidades culturales entre otros factores. Esta dimensión se incorporará en el próximo capítulo.

El análisis de los diferentes modelos de localización, aplicados a un mismo conjunto de datos, revela grandes diferencias en términos de ubicaciones recomendadas y número de centros a

instalar. Tal situación se origina principalmente por las diferencias en los objetivos planteados por cada uno. En consecuencia, la elección del modelo a aplicar debe tener en cuenta los objetivos perseguidos por los decisores políticos.

En el próximo capítulo se analizan dos situaciones relativas al diseño de la red de CAPS de la ciudad de Bahía Blanca. En primer lugar, se aplicará un modelo de C-Total para diseñar la red asumiendo que todos los centros existentes pueden ser relocalizados. Si bien, este modelo es el que presenta los peores guarismos promedio en cuestión de accesibilidad espacial, debe considerarse que: i) es junto con el resto de los modelos de cobertura el que presenta la menor desigualdad entre los radios censales con mejores y peores condiciones de acceso, y ii) su objetivo es minimizar el número de centros a instalar, lo cual puede entenderse como un objetivo de eficiencia. Por otro lado, no se implementó un modelo C-Máxima ya que el mismo no asegura que toda la población resulta cubierta con los centros de oferta instalados.

En segundo lugar, se utiliza una variante de un modelo P-Centro para analizar el caso de ampliación de la red actual de CAPS existentes, con el objetivo de determinar donde deberían ser instalados un número de centros adicionales de forma de mejorar la accesibilidad de la población a la red de CAPS. La elección del modelo P-Centro para este caso se justifica en que en este caso es el hacedor de política quien determina el número de centros a instalar.

## **Referencias Bibliográficas**

- Aday, L. & Andersen, R. (1974). A Framework for the Study of Access to Medical Care, *Health Services Research*, 9(3), 208–220.
- Apparicio, P., Abdelmajid, M., Riva, M. & Shearmur, R. (2008). Comparing alternative approaches to measuring the geographical accessibility of urban health services: Distance types and aggregation-error issues, *International journal of health geographics*, 7(1), 7.
- Berg, B. & Bjorn, P. (2013). Location Models in Healthcare. En B. Denton (Ed) *Handbook of Healthcare Operations Management*, (pp 387-402). Estados Unidos: Springer.

- Buzai, G. (2011). Modelos de localización-asignación aplicados a servicios públicos urbanos: análisis espacial de Centros de Atención Primaria de Salud (CAPS) en la ciudad de Luján, Argentina, *Cuadernos de Geografía-Revista Colombiana de Geografía*, 20(2), 111-123.
- Church, R. & ReVelle, C. (1976). Theoretical and computational links between the p-median location set-covering and the maximal covering location problem, *Geographical Analysis* 8(4), 406-415.
- Daskin, M. (1995). *Network and Discrete Location: models, algorithms and applications*. Estados Unidos: Wiley.
- Daskin, M. (2008). What you should know about location modeling, *Naval Research Logistics*, 55(4), 283-294.
- Daskin, M. & Maass, K. (2015). The P-Median Problem. En: Gilbert Laporte, Stefan Nickel y Francisco Saldanha da Gama, *Location Science* (1st ed., p. 21). Ginebra, Springer International Publishing. Recuperado de <http://www.springer.com/cda/content/.../9783319131108-c1.pdf>
- Daskin, M., & Dean, L. (2005). Location of health care facilities. En M. Brandeau, F. Sainfort & W. Pierskalla (Eds). *Operations research in healthcare: a handbook of methods and applications*, (pp 43-76). Estados Unidos: Kluwer Academic Publisher.
- Delamater, P. (2013). Spatial accessibility in suboptimally configured health care systems: A modified two-step floating catchment area (M2SFCA) metric, *Health & place*, 24, 30-43.
- Frost, M. & Spence, N. (1995). The rediscovery of accessibility and economic potential: the critical issue of self-potential, *Environment and Planning A*, 27(11), 1833-1848.
- Fryer, G., Drisko, J., Krugman, R., Vojir, C., Prochazka, A., Miyoshi, T. & Miller, M. (1999). Multi-method Assessment of Access to Primary Medical Care in Rural Colorado, *The Journal of Rural Health*, 15(1), 113-121.
- Geertman, S. & Ritsema Van Eck, J. (1995). GIS and models of accessibility potential: an application in planning, *International journal of geographical information systems*, 9(1), 67-80.
- Guagliardo, M. (2004). Spatial accessibility of primary care: concepts, methods and challenges, *International Journal of Health Geographics*, 3(1), 3.

- Hay, G., Whigham, P., Kypri, K. & Langley, J. (2009). Neighbourhood deprivation and access to alcohol outlets: a national study, *Health & place*, 15(4), 1086-1093.
- Czyż, T. (2002). Application of the potential model to the analysis of regional differences in Poland, *Geographia Polonica*, 75(1), 13-24.
- Higgs, G. (2005). A literature review of the use of GIS-based measures of access to health care services, *Health Services and Outcomes Research Methodology*, 5(2), 119-139.
- Joseph, A. & Phillips, D. (1984). *Accessibility and utilization: geographical perspectives on health care delivery*. Harper & Row: Estados Unidos.
- Joseph, A. & Bantock, P. (1982). Measuring potential physical accessibility to general practitioners in rural areas: a method and case study, *Social science & medicine*, 16(1), 85-90.
- Khan, A. (1992). An integrated approach to measuring potential spatial access to health care services, *Socio-Economic Planning Sciences*, 26(4), 275–287.
- Luo, W. & Wang, F. (2003). Measures of spatial accessibility to health care in a GIS environment: synthesis and a case study in the Chicago region, *Environment and Planning B*, 30(6), 865–884.
- Masoodi, M. & Rahimzadeh, M. (2015). Measuring access to urban health services using Geographical Information System (GIS): a case study of health service management in Bandar Abbas, Iran, *International Journal of Health Policy and Management*, 4(7), 439–445
- McGrail, M. & Humphreys, J. (2009). Measuring spatial accessibility to primary care in rural areas: improving the effectiveness of the two-step floating catchment area method, *Applied Geography*, 29(4), 533-541.
- Penchansky, R. & Thomas, J. (1981). The concept of access: definition and relationship to consumer satisfaction, *Medical care*, 19(2), 127-140.
- Plastria, F. (2001). Static competitive facility location: An overview of optimization approaches, *European Journal of Operational Research* 129(3), 461-470.
- Pooler, J. (1987). Measuring geographical accessibility: a review of current approaches and problems in the use of population potentials, *Geoforum*, 18(3), 269-289.

- Rahman, S. & Smith, D. (2000). Use of location-allocation models in health service development planning in developing nations, *European Journal of Operational Research*, 123(3), 437-452.
- Ramírez, L. (2012). Sitios óptimos destinados a la expansión de los equipamientos de atención primaria de la salud en el Área Metropolitana del Gran Resistencia Chaco (Argentina). En J. Bosque & A. Moreno (Coords.), *Sistemas de Información Geográfica y localización óptima de instalaciones y equipamientos*. España: RA-MA.
- ReVelle, C. & Eiselt, A. (2005). Location analysis: A synthesis and survey, *European Journal of Operational Research*, 165(1) 1–19.
- Talen, E. & Anselin, L. (1998). Assessing spatial equity: an evaluation of measures of accessibility to public playgrounds, *Environment and planning A*, 30(4), 595-613.
- Weibull, J. (1976). An axiomatic approach to the measurement of accessibility, *Regional Science and Urban Economics*, 6(4), 357–379

## Anexo

Tabla A2.1. Resultados indicadores de accesibilidad para cada centro de población

	Población de cada nodo de demanda	Situación Actual			Modelo P-Medio			Modelo C-Ilimitada		
		Impedancia Promedio a todos los proveedores	Resultado Modelo Gravitacional	Resultado Modelo Gravitacional modificado	Impedancia Promedio a todos los proveedores	Resultado Modelo Gravitacional	Resultado Modelo Gravitacional modificado	Impedancia Promedio a todos los proveedores	Resultado Modelo Gravitacional	Resultado Modelo Gravitacional modificado
i14	554	4,02	29,59	0,25	5,21	1,75	3,97	3,66	0,77	0,01
i16	719	2,72	12,75	0,21	3,24	9,45	0,36	1,76	3,41	0,03
i17	839	2,89	1,71	0,02	3,49	1,43	0,27	2,20	0,78	0,01
i21	725	3,12	4,72	0,04	4,11	2,34	5,15	2,73	3,62	0,03
i24	568	2,72	4,97	0,08	3,47	4,20	0,54	2,04	0,94	0,01
i61	695	2,79	2,58	0,04	3,34	1,89	0,32	1,92	1,51	0,01
i63	1299	4,75	1,48	0,01	4,76	1,57	0,06	4,61	0,61	0,01
i74	615	2,80	2,15	0,03	3,38	1,61	0,33	2,05	1,07	0,01
i77	1165	8,75	0,15	0,00	7,61	10000,15	85,87	9,54	0,05	0,00
i83	1371	2,75	2,89	0,04	3,33	3,71	1,28	2,07	1,10	0,01
i84	1605	3,40	10001,63	62,26	3,81	4,78	0,15	2,99	1,18	0,01
i86	1227	3,07	11,43	0,18	3,69	5,84	0,25	1,72	10000,39	81,32
i105	550	3,79	14,37	0,13	5,20	5,30	14,18	3,56	1,72	0,01
i108	568	2,70	10001,70	174,79	3,48	4,89	0,28	1,69	10,45	0,09
i109	859	2,74	5,95	0,08	3,39	2,68	0,21	1,75	3,81	0,03
i110	960	3,20	10001,58	103,90	3,44	5,83	0,16	2,24	2,20	0,02
i111	1021	3,96	2,75	0,02	4,69	3,65	0,13	3,52	0,50	0,00
i112	665	3,55	1,06	0,01	4,27	2,80	0,15	3,00	0,57	0,00
i113	942	3,20	1,45	0,01	4,12	9,98	0,25	2,70	0,72	0,01
i114	547	2,97	10001,21	182,21	3,62	2,08	0,61	2,21	0,86	0,01
i143	1020	3,17	4,63	0,05	3,52	2,19	0,18	1,89	2,25	0,02
i148	1252	2,85	5,42	0,06	3,61	2,50	0,17	2,21	2,17	0,02
i149	1132	2,95	4,67	0,07	3,47	5,69	0,27	1,84	1,83	0,01

i150	1367	2,53	4,37	0,07	3,14	10001,25	73,63	1,74	1,60	0,01
i163	1265	2,94	5,13	0,08	3,59	1,67	0,96	2,21	1,37	0,01
i164	1186	3,62	10002,87	84,15	4,79	2,35	5,68	3,52	0,97	0,01
i169	1112	3,83	1,41	0,01	4,30	10001,06	89,94	3,08	0,94	0,01
i170	745	4,08	0,66	0,01	4,84	1,09	0,12	3,50	0,33	0,00
i171	675	2,84	1,98	0,02	3,70	1,77	0,22	2,18	0,83	0,01
i185	1128	3,45	3,34	0,03	3,73	3,35	0,14	2,15	10000,34	88,53
i206	1201	3,80	1,89	0,02	4,57	2,71	0,11	3,88	0,73	0,01
i240	789	3,56	3,97	0,04	4,62	1,79	3,97	3,22	1,77	0,01
i254	1064	5,27	0,36	0,00	5,31	10000,32	94,13	5,11	0,13	0,00
i260	721	4,22	1,30	0,01	4,77	1,42	0,10	3,81	0,30	0,00
i272	931	6,28	0,51	0,00	5,80	0,42	0,04	6,25	0,12	0,00
i273	1226	3,79	3,72	0,03	3,86	6,74	0,12	3,25	0,85	0,01
i299	1142	3,78	1,20	0,01	4,46	1,54	0,32	3,42	0,50	0,00
i300	1229	3,74	2,73	0,02	4,04	1,46	0,11	3,52	0,45	0,00
i301	2007	4,33	10000,44	49,82	5,09	1,66	0,09	4,00	0,35	0,00
i319	1218	4,90	4,86	0,05	6,02	1,19	1,40	5,42	0,43	0,00
i320	1392	3,41	5,00	0,05	3,65	10001,16	71,83	3,15	1,58	0,01
i337	940	3,31	1,42	0,01	3,96	10001,35	106,30	2,70	1,12	0,01
i338	790	3,24	1,16	0,01	3,70	1,72	0,18	2,78	0,48	0,00
i339	928	2,97	1,59	0,02	3,56	2,90	0,21	2,44	0,78	0,01
i340	1172	2,70	3,96	0,06	3,41	3,02	0,49	1,99	0,99	0,01
i342	2442	4,95	0,94	0,01	5,72	10000,47	41,47	5,19	0,41	0,00
i352	1485	3,63	10005,60	67,29	4,78	10000,58	29341,56	3,33	5,26	0,04
i356	981	3,58	5,31	0,05	3,99	10001,24	101,80	3,61	4,00	0,03
i357	851	3,95	10002,69	117,31	5,46	1,86	3,57	5,47	1,00	0,01
i358	1317	3,21	12,10	0,10	4,39	10,25	27,61	2,81	10000,12	75,81
i364	1308	4,53	10000,61	76,44	4,36	1,08	0,07	4,02	0,43	0,00

Tabla A2.1. Resultados indicadores de accesibilidad para cada centro de población. Continuación

	Modelo C-Máxima y C-Total			Modelo P-Centro		
	Impedancia Promedio a todos los proveedores	Resultado Modelo Gravitacional	Resultado Modelo Gravitacional modificado	Impedancia Promedio a todos los proveedores	Resultado Modelo Gravitacional	Resultado Modelo Gravitacional modificado
i14	5,77	0,23	0,00	5,80	1,03	0,01
i16	3,61	1,33	0,01	3,79	1,49	0,01
i17	3,84	0,47	0,01	3,62	10000,79	118,89
i21	4,71	0,52	0,00	4,81	3,92	0,03
i24	3,73	1,83	0,01	3,86	1,25	0,01
i61	3,62	0,69	0,01	3,64	1,75	0,02
i63	5,12	0,36	0,00	4,73	1,39	0,01
i74	3,72	0,56	0,01	3,63	2,52	0,03
i77	6,95	10000,06	0,43	7,67	10000,18	85,84
i83	3,55	10000,77	0,37	4,01	1,52	0,01
i84	4,18	0,58	0,01	4,19	2,25	0,02
i86	4,17	0,85	0,01	4,16	1,67	0,01
i105	5,83	0,22	0,00	5,69	2,07	0,02
i108	3,65	0,77	0,01	4,02	1,46	0,01
i109	3,41	0,64	0,01	3,86	1,97	0,02
i110	3,94	0,49	0,01	3,87	5,28	0,04
i111	4,26	2,81	0,01	4,56	10000,57	97,84
i112	4,30	0,50	0,01	4,44	1,19	0,01
i113	4,39	0,59	0,01	4,35	1,45	0,01
i114	3,83	1,85	0,01	3,96	1,26	0,01
i143	3,46	0,56	0,01	3,93	2,52	0,03
i148	3,87	0,58	0,01	3,79	2,53	0,02
i149	3,73	1,43	0,01	3,91	1,57	0,01
i150	3,60	2,64	0,01	3,76	1,51	0,01

i163	4,05	4,10	0,01	4,16	1,80	0,01
i164	5,63	0,25	0,00	5,57	1,22	0,01
i169	3,73	10000,14	0,45	4,35	3,93	0,04
i170	4,85	0,31	0,00	4,96	0,91	0,01
i171	4,12	0,43	0,00	3,84	13,56	0,16
i185	3,86	1,28	0,01	4,08	2,28	0,02
i206	4,42	1,74	0,01	4,69	10000,40	83,19
i240	5,33	0,31	0,00	5,35	2,01	0,02
i254	6,18	0,25	0,00	5,50	10000,32	93,99
i260	4,43	0,72	0,01	5,01	1,22	0,01
i272	5,42	0,23	0,00	5,26	10000,33	107,41
i273	4,27	0,34	0,00	4,04	6,50	0,05
i299	4,44	10000,74	0,44	4,87	1,91	0,02
i300	4,95	0,25	0,00	4,08	1,41	0,01
i301	4,63	1,17	0,01	4,95	1,21	0,01
i319	7,22	0,24	0,00	6,26	1,11	0,01
i320	4,21	0,37	0,00	4,25	10000,61	71,73
i337	4,15	0,90	0,01	4,31	2,26	0,02
i338	4,21	0,39	0,00	3,84	1,62	0,02
i339	4,29	0,45	0,01	3,70	2,33	0,02
i340	3,72	1,06	0,01	3,74	1,36	0,01
i342	6,83	0,33	0,00	5,85	10000,56	40,95
i352	5,21	0,48	0,00	5,36	5,62	0,04
i356	4,60	0,92	0,01	4,44	2,75	0,02
i357	6,67	0,36	0,00	5,99	1,49	0,01
i358	4,73	0,77	0,01	4,85	10000,65	75,82
i364	4,81	0,30	0,00	4,40	0,98	0,01

Fuente: elaboración propia

## **CAPÍTULO III. Planificación de un sistema de CAPS para la ciudad de Bahía Blanca, Argentina**

### **1. Introducción**

En el año 1978 en el marco de la Conferencia Internacional sobre Atención Primaria organizada conjuntamente por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) se definió la Atención Primaria de la Salud (APS) como:

“... la asistencia sanitaria esencial basada en métodos y tecnologías prácticos, científicamente fundados y socialmente aceptables, puesta al alcance de todos los individuos y familias de la comunidad mediante su plena participación y a un costo que la comunidad y el país puedan soportar, en todas y cada una de las etapas de su desarrollo con un espíritu de autorresponsabilidad y autodeterminación. La atención primaria forma parte integrante tanto del sistema nacional de salud, del que constituye la función central y el núcleo principal, como del desarrollo social y económico global de la comunidad. Representa el primer nivel de contacto de los individuos, la familia y la comunidad con el sistema nacional de salud, llevando lo más cerca posible la atención de salud al lugar donde residen y trabajan las personas, y constituye el primer elemento de un proceso permanente de asistencia sanitaria” (OMS, p. 3, 1978).

Generalmente la APS se organiza como un nivel de baja complejidad y amplia cobertura encargado de asistir a la población en las consultas médicas, controles, visitas domiciliarias, educación sanitaria y alimentaria y prevención.

La APS se presentó como una política capaz de mejorar la equidad en el acceso a la atención de salud y la eficiencia con que se utilizan los recursos (Lago y Moscoso, 2013). En Argentina, la APS, implementada en los denominados Centros de Atención Primaria (CAPS) se posicionó como una estrategia sanitaria capaz de mejorar el estado de salud de la población más vulnerable, bajo la idea de que “revertir las inequidades en salud equivale a brindar acceso” (Presidencia de la Nación. Ministerio de Salud de la Nación, 2004).

Como se mencionó en el capítulo anterior, la localización de los centros de atención médica ha sido reconocida en los últimos años como un atributo fundamental al momento de

garantizar un acceso adecuado de la población a los servicios sanitarios básicos. Dado que los CAPS se encuentran situados en localizaciones específicas, las distancias por recorrer y los tiempos de espera pueden ser cruciales<sup>10</sup>.

Cualquier asignación espacial de los CAPS que intente facilitar el acceso a sus servicios debe considerar las distintas necesidades de cuidados médicos sanitarios existentes en la población. En efecto, actualmente se reconoce que el status de salud individual se ve afectado por factores socioeconómicos, tales como nivel de ingreso, nivel educativo, calidad de la vivienda y disponibilidad de infraestructura urbana, entre otros.

En particular, en la localidad de Bahía Blanca, la Secretaría de Salud, entiende que su misión es lograr que todos los habitantes de la ciudad alcancen “niveles de cantidad y calidad de vida homogéneos y aceptables”, considerando que esto implica

“igualdad de salud, igualdad en el tratamiento para iguales necesidades, e igualdad de acceso. Es por esto que pretendemos EQUIDAD en la asignación de los recursos financieros, haciendo que cada área o barrio reciba el volumen de recursos necesarios para satisfacer sus demandas: EQUIDAD en el acceso a tales recursos, siendo la posibilidad de recibir atención en cualquier episodio de enfermedad, similar y equivalente a todos los ciudadanos de Bahía Blanca. Y EQUIDAD en los resultados medidos con indicadores básicos como lo son tasa de morbilidad y de esperanzas de vida” (Secretaría de Salud Bahía Blanca, Gobierno de Bahía Blanca, p.15, s/f)

El presente capítulo tiene como objetivo desarrollar un modelo matemático de localización que permita analizar la ubicación óptima de los distintos CAPS del sistema de salud de la Ciudad de Bahía Blanca, considerando explícitamente las necesidades de cuidados médico-sanitarios de los habitantes de la ciudad. Para ello, tomando como base el modelo de localización de centros de salud preventivos elaborado por Verter y Lapierre (2002) se elabora un nuevo modelo ajustado a la realidad de la localidad. A su vez, se plantean dos casos alternativos. En el primero de ellos se supone que es posible rediseñar la red actual de

---

<sup>10</sup> Sin embargo, mejorar la accesibilidad geográfica es una condición necesaria, más no suficiente, para mejorar la accesibilidad al cuidado de la salud. El término *accesibilidad* tiene más que una interpretación geográfica; la accesibilidad implica más que solo estar cerca del centro de salud. Para ser accesible, el centro debe ser capaz de proveer el servicio para el cual se pensó, debe estar equipado tanto de recursos humanos como físicos (Hodgson, Laporte, y Semet, 1998)

centros de salud, aun cuando esto implique la relocalización, apertura y/o cierre de centros de salud. Mientras que en el segundo caso se utiliza una variante del modelo matemático para establecer, dada la red actual de CAPS, dónde se deberían ubicar nuevos centros de salud si se quisiera ampliar dicha red de forma de reducir el tiempo insumido en los desplazamientos.

Si bien existe una vasta literatura acerca de aplicaciones de modelos de localización a centros de salud, el modelo presentado en este capítulo se constituye en un aporte novedoso debido a que para Argentina sólo existen aplicaciones desde el campo de la geografía y en particular para Bahía Blanca no se ha diseñado ningún modelo de este tipo. Además, en las aplicaciones mencionadas pocos autores han estimado la demanda de los servicios de salud a partir de la necesidad sanitaria de la población, y aquellos que lo han hecho han recurrido a indicadores de menor complejidad que el elaborado en esta tesis.

El capítulo se divide en cinco secciones. En primer lugar, se realiza una revisión exhaustiva de la literatura referida a la localización de centros de salud que brindan APS haciendo uso de modelos matemáticos. A continuación se realiza una breve descripción de la provisión actual de servicios de salud del primer nivel de atención y del perfil demográfico y epidemiológico de la población de la ciudad de Bahía Blanca. Dado que el objetivo es localizar las CAPS de manera de atender a la población de acuerdo a su necesidad, luego se explicita el concepto de necesidad sanitaria, reseñando distintos métodos e índices utilizados para su conceptualización y medición, para luego desarrollar una metodología propia y estimar la necesidad sanitaria de la población de la localidad de Bahía Blanca desagregada por radio censal (de acuerdo a la división establecida en el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010). Posteriormente, se presenta el modelo elaborado para determinar la localización óptima de los centros de salud de la localidad de Bahía Blanca y los escenarios utilizados en las corridas del modelo y los resultados obtenidos, tanto del índice de necesidad sanitaria como del modelo en sí. Por último, se exponen las conclusiones.

## **2. Antecedentes en la literatura**

A continuación se presenta una revisión bibliográfica exhaustiva relativa a la localización de centros de atención primaria. Los trabajos se presentan siguiendo la clasificación de los modelos expuesta en el segundo capítulo (basados en la media y modelos de cobertura). Se incluyen también investigaciones que han comparado los resultados obtenidos por distintos modelos. Asimismo, se reseñan una serie de modelos de localización que han sido diseñados

especialmente para analizar la localización de centros de salud de atención primaria y que no se pueden englobar en las familias de modelos descriptas.

### 2.1 Modelos basados en la media

Rahman y Smith (1996, citado por Rahman y Smith, 2000), a partir de un modelo P-Medio demostraron que si la ubicación de los siete centros de atención primaria en Tangail Thana (Bangladesh) fuera óptima, los pacientes deberían recorrer, en promedio, una distancia 65% menor a la que transitan actualmente para acceder a los servicios de salud. Además, dado que el gobierno planeaba la instalación de tres nuevos centros de salud, también compararon la eficiencia de la distribución propuesta por las autoridades para los diez centros con un sistema de salud compuesto por los siete centros actuales y los nuevos centros de atención médica ubicados de manera óptima. En este caso la disminución en la distancia recorrida es de 26%.

### 2.2 Modelos de cobertura

En su investigación, Berghmans, Schoovaerts y Teghem (1984) utilizan un modelo P-Centro para estimar la cantidad, el tamaño y la localización de los centros de atención primaria que deberían emplazarse en una ciudad a diseñar desde cero en Arabia Saudita. Para esto suponen cuál será el número de habitantes de la localidad y dividen a la nueva ciudad en módulos que contienen igual cantidad de población. Además, determinan que todos los centros de salud deben brindar la misma calidad de atención, lo que implica que todos los centros de salud deben estar equipados con una cantidad y calidad similar de recursos tanto físicos como humanos. En particular respecto a los profesionales de la salud establecen que la proporción de habitantes por personal médico será fija, de acuerdo con los criterios de política sanitaria. Por último, establecen que cualquier habitante de la localidad deberá recorrer como máximo 750 m para acceder a los servicios de salud. Los autores sostienen que los encargados del diseño de la ciudad deberán tener en cuenta que la solución al problema depende de dos fuerzas opuestas: i) el costo total de la construcción, que crece a medida que aumenta la cantidad de centros a instalar y; ii) la distancia entre el centro y los potenciales pacientes, que disminuye cuando aumenta la cantidad de centros de salud abiertos.

Mehretu (1985) empleó el modelo C-Máxima para determinar la localización óptima de nuevos centros de atención primaria en el sistema de salud del área rural del este de Burkina

Faso, teniendo en cuenta que el gobierno del país dispuso que: i) todas las localidades con más de 730 habitantes debían contar con un establecimiento; ii) la distancia que cualquier persona debe recorrer para acceder a un centro de salud no puede ser mayor de 5 km y; iii) las instalaciones existentes debían mantenerse.

### 2.3 Comparación de modelos de cobertura y modelos basados en la media

En el año 2012, Vallim Fo y Mota aplicaron los modelos P-Media y los modelos de cobertura en una ciudad mediana de la Región Metropolitana de San Pablo (Brasil) con el objetivo de comparar la actual ubicación de los CAPS con el diseño óptimo propuesto por cada uno de ellos. Para esto, dividieron la ciudad en ocho distritos realizando un estudio de localización para cada uno de ellos. Además, para cada uno de los distritos estimaron la cantidad necesaria de centros de atención suponiendo que debería existir un centro de salud cada 12.000 habitantes. De esta manera, demuestran que bajo cualquiera de las disposiciones óptimas se reducen las distancias que separan a la población del centro de atención más cercano. El problema fue resuelto utilizando el *software* LINGO<sup>11</sup>.

Ramírez (2012), a partir del uso del *software* FlowMap<sup>12</sup>, utilizó los modelos C-Máxima y P-Medio para determinar cuál sería la localización óptima de tres nuevos CAPS en el Área Metropolitana del Gran Resistencia Chaco (Argentina) comparando los resultados en términos de la distancia que debería recorrer la población. Para la elaboración de su modelo tuvo en cuenta la actual distribución de dichos centros y hospitales públicos y que los nuevos centros deberían beneficiar a los grupos de población menos favorecidos en términos de la distancia, medida en metros o tiempo, que deben recorrer para acceder a los servicios de salud. La demanda potencial la estimó considerando que la población que recurre al sector público para la atención médico-sanitaria es la población sin obra social, plan médico o mutual.

### 2.4 Otros modelos

Parker y Srinivasan (1976) intentan determinar, dado el sistema actual de atención primaria, cuál debería ser la expansión que maximice el incremento del beneficio social sujeto a la restricción presupuestaria y considerando las preferencias de los usuarios del sistema. En este

---

<sup>11</sup> *Software* desarrollado para la resolución de diversos problemas matemáticos.

<sup>12</sup> *Software* perteneciente a la familia del *software* denominado Sistema de Información Geográfica descripto más adelante.

sentido deben establecer cuál debe ser el número de instalaciones a ubicar, dónde deben emplazarse y las características tanto físicas como operacionales de las mismas. Para el desarrollo del modelo matemático y su posterior resolución delimitan un procedimiento de cinco fases. En la primera, identifican las principales características de las instalaciones relevantes para los usuarios, como por ejemplo, tiempo de viaje hasta el centro de atención, tamaño del centro, tiempo de demora en la obtención de un turno para la atención, horario de atención, entre otros. Luego, en función de las características se diseña un conjunto de posibles localizaciones de las instalaciones con el objetivo de medir las preferencias de los individuos y calcular el peso relativo de cada una de los atributos, para ello se selecciona una muestra de la población que debe ordenar según su preferencia las posibles localizaciones. Esos pesos relativos son utilizados para la estimación de una función de beneficio para cada individuo, medido en unidades monetarias por año para cada centro médico a instalar. Posteriormente se calcula el beneficio extra producto de la ampliación del sistema de atención sanitaria de toda la comunidad considerando que este es igual a la suma del beneficio individual definido anteriormente. Por último, se lleva a cabo un procedimiento heurístico para establecer cuáles serán las instalaciones de ese conjunto propuesto que efectivamente se abrirán.

Mulvihill (1979) propone utilizar el *software* de localización-asignación (LAP) desarrollado por la Universidad de IOWA para identificar posibles cambios en la localización y capacidad de la red de CAPS de la ciudad de Guatemala con el fin de minimizar los costos de viaje. Su motivación surge de la observación que la distribución actual de los centros de salud no resulta óptima, ya que algunos pacientes deben recorrer largas distancias para acceder al CAPS más cercano e incluso algunos de ellos prefieren realizar un trayecto aún mayor para acceder a otro centro de salud donde perciben que sus necesidades son completamente satisfechas. Para el desarrollo del modelo el autor considera: i) las barreras geográficas que impone la presencia de barrancos que dificultan el traslado desde los centros de demanda hacia los centros de oferta; ii) que debido a las restricciones presupuestarias solo algunos centros de salud (los más pequeños medidos en cantidad de médicos) podrán ser relocalizados y; iii) utiliza como medida de distancia entre los centros de salud y los nodos de demanda la distancia que recorrería un avión que los conecte.

Ndiaye y Alfares (2008) desarrollaron un modelo para establecer la localización de centros de atención primaria destinados a atender a la población beduina nómada del desierto árabe. Este

grupo cambia su lugar de residencia según las estaciones climáticas del año. El modelo supone, por un lado, que la localización de los centros es fija, pero solo un número finito de ellas estarán operativas en cada estación climática y, por otro, que la ubicación, tamaño y distribución de los grupos de población en cada estación climática son conocidas. Además, los autores impusieron como restricción que cada centro de atención abierto deberá atender un mínimo de pacientes. En función de estos supuestos, el modelo predice, para cada época del año, cuáles deben ser los centros que deben estar abiertos con el objetivo de minimizar el costo de atención de la población. Dicho costo está conformado por la suma del costo de viaje de la población hacia el centro de salud en todas las estaciones, el costo fijo de la apertura de todas las unidades de salud, y los costos de operación de cada uno de los centros abiertos. En el desarrollo de la modelización utilizan la distancia euclidiana como medida métrica y suponen que los costos de apertura dependen de la localización específica de cada centro de salud mientras que los operativos dependen también de la estación climática.

### 2.5 Problemas resueltos mediante la utilización de *software* SIG

Los sistemas de información geográfica (SIG) constituyen sistemas compuestos de *hardware*, *software*, datos y usuarios diseñados para brindar ayuda en la toma de decisiones. Estos permiten trabajar con información organizada en bases de datos y georreferenciada a una unidad de análisis espacial a partir de la representación geográfica de dicha información (Luzanía Valerio, 2005; Bosque Sendra, 1997).

La investigación realizada por Tanser (2006) utiliza un *software* perteneciente a la familia de los sistemas de información geográfico (SIG) para determinar la localización óptima de un centro de salud desde el punto de vista de la eficiencia definida en términos de la distancia recorrida por el total de la población a los centros de salud en KwaZulu-Natal (Sudáfrica). Para tal fin tuvo en cuenta la distribución de los servicios de salud, la calidad y la distribución de la red de caminos, las barreras naturales, y la proporción (y distribución) de la población que utiliza el transporte público como medio de movilidad. Su trabajo concluye que si el último centro de salud se hubiera ubicado óptimamente, se podría reducir 3,6 veces la distancia media recorrida por la población para llegar a un centro de salud y la población que debe viajar menos de una hora para llegar a un centro asistencial aumentaría 4,7 veces.

Utilizando un modelo de C-Máxima, Fuenzalida Díaz y Moreno Jiménez (2010) determinan la localización óptima de dos nuevos CAPS en el sistema de salud de Viña del Mar-Quillota (Chile) considerando el principio de justicia social. Para ello, realizan una discriminación de los potenciales pacientes de cada centro de salud en función de su nivel socioeconómico. A tal fin, en un primer momento, dado que la demanda (y uso) de servicios de salud depende en gran medida del estatus socioeconómico de la población, construyen un indicador sintético de dicho estatus para las distintas zonas espaciales en las que dividen el territorio. Para la construcción del indicador incorporan variables relativas a la posesión de bienes, nivel educacional, actividad laboral e instalaciones de la vivienda. Luego, a partir del conocimiento de las diferencias en la morbilidad<sup>13</sup> según el estatus socioeconómico de la población, realizan una ponderación de la población según dicho estatus para cada una de las zonas delimitadas. Por otro lado, imponen como restricción que una persona debe viajar cómo máximo 20 minutos en el sistema de transporte público para acceder al centro más cercano.

Buzai (2011) implementó un modelo de C-máxima de la demanda para determinar cuál es el grado de correspondencia entre la ubicación actual de los doce CAPS de la ciudad de Luján y la localización óptima. Para esto dividen la ciudad en radios censales suponiendo que: i) ningún habitante del área de estudio puede estar a más de 1.500 metros del CAPS más cercano; ii) la población usuaria de los CAPS son personas entre 6 y 14 años de edad con necesidades básicas insatisfechas; iii) el centro de cada uno de dichos radios es un sitio candidato para la ubicación de un centro de salud. De esta forma concluyen que solo el 33% de dichos centros se encuentran en la localización que resultaría óptima. También estima de qué manera se modificaría la eficiencia y la equidad del sistema si los centros fueran reubicados y, por último, en caso de que se decidiera ampliar la cantidad de centros de salud dónde deberían emplazarse, evidenciando en ambos casos mejoras significativas respecto a la situación actual. El problema es resuelto mediante el empleo de *software* FlowMap desarrollado por Utrecht University (Holanda).

## 2.6 Localización de Centros de Prevención

Los servicios de salud preventiva presentan ciertas características que los diferencian del resto de los servicios de salud. En primer lugar, dado que los servicios de prevención se administran a personas sin síntomas claros de la enfermedad, las personas que demandan

---

<sup>13</sup> Se entiende por morbilidad la cantidad de individuos considerados enfermos o que son víctimas de enfermedad en un espacio y tiempo determinado.

dichos servicios tienen más flexibilidad en cuanto a cuándo y dónde recibir servicios de salud preventivos, lo cual puede significar que las personas no recurran al centro de salud más próximo a su domicilio. Además, la cantidad de personas que acuden a estos servicios no es controlada por el responsable de la política. Estas características de los servicios de salud preventivos hacen que su localización deba ser planificada teniendo en cuenta que, por un lado, si los servicios no se ofrecen en lugares apropiados las personas no estarán dispuestas a acudir a ellos. Y por otro, que la demanda de programas de prevención disminuye a medida que aumenta el tiempo necesario para acceder al estudio médico (Gu et al, 2010; Zhang, Berman y Verter 2009).

Otro aspecto a considerar es el hecho que en cada centro de atención debe asegurarse un número mínimo de casos por año para posibilitar que los profesionales involucrados mantengan el entrenamiento suficiente en la actividad que desarrollan. Esto es particularmente válido para tareas altamente especializadas como lo son, por ejemplo, la realización e interpretación de mamografías. Este objetivo se encuentra a menudo en conflicto con el correspondiente a la accesibilidad geográfica.

La Organización Mundial de la Salud (citado en Gu et al, 2010) sostiene que los sistemas de salud actuales no utilizan los recursos disponibles eficientemente ya que la localización de los centros de salud preventiva no considera las características intrínsecas de este tipo de servicio. Si bien la localización óptima de centros de salud, ya sea hospitales o CAPS, ha sido ampliamente estudiada, las características distintivas de los servicios de salud preventivos no han sido incorporadas. En efecto, sostienen que solo existen tres trabajos que utilizan herramientas de la ingeniería de sistemas y programación matemática para determinar la ubicación de una red óptima de este tipo de unidades sanitarias (Zhang et al, 2009).

Verter y Lapierre (2002) plantean un modelo C-Máxima que, dada la distribución de la población y un conjunto de alternativas para la localización para los centros de prevención, determina el número óptimo y la ubicación de las instalaciones que maximicen la participación de la población en los programas de prevención. Para el diseño del modelo los autores suponen que: i) dado que todos los centros ofrecen servicios de la misma calidad cada individuo recurre al centro de salud más cercano; ii) que la probabilidad de que una persona se realice los estudios de tamizaje brindados por un centro de salud determinado disminuyen a medida que aumenta la distancia que debe recorrer para asistir a dicho centro; iii) para

garantizar la calidad de la atención y justificar la asignación de fondos públicos a determinado centro, el mismo debe tener un número mínimo de potenciales pacientes. Esta última restricción puede significar que un centro de población quede sin atender. Para evitar este problema los autores sugieren imponer una restricción adicional que establezca que un porcentaje mínimo de la población de cada centro debe realizarse el estudio de tamizaje.

Zhang et al (2009), modifican el modelo anterior considerando la posibilidad de que se produzca congestión en la atención de los centros de salud. En este sentido, a diferencia de Verter y Lapierre suponen: i) que cada individuo concurrirá al establecimiento de salud que implique el menor tiempo de espera, el cual comprende el tiempo de viaje al centro de salud y tiempo que debe esperar para ser atendido, y; ii) que la probabilidad de participar en el programa de prevención disminuye a medida que aumenta el tiempo de espera. De esta manera, dado que el nivel de participación es función del tiempo de espera y que, a su vez, este tiempo depende de la cantidad de personas que visitan el centro de atención, el modelo se vuelve no lineal.

Por último, Gu et al (2010), consideran que para determinar la localización óptima de los centros de salud preventiva se deben considerar dos objetivos: eficiencia y cobertura. Para esto, plantearon un modelo bi-objetivo, que por un lado intenta maximizar el bienestar social mediante la ubicación de dichos centros, mientras que, por el otro, pretende que la mayor cantidad de personas tengan acceso a un centro determinado, lo que depende de la distancia de deban recorrer para llegar al mismo.

### **3. Descripción del área de estudio**

#### **3.1 Perfil demográfico<sup>14</sup>**

El partido de Bahía Blanca ubicado al sur de la provincia de Buenos Aires tiene una superficie de 2.300 km<sup>2</sup> y, según el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010, cuenta con una población de 301.572 habitantes, un 5,89% mayor que la registrada en el 2001. De esta manera, la densidad poblacional es de 131,1 habitantes por km<sup>2</sup>.

Una primera visión, si bien simplificada, de la distribución de la población por edades considera solo tres categorías: jóvenes (aquellos comprendidos entre 0 y 14 años), adultos

---

<sup>14</sup> Realizado en base a los resultados del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010 (INDEC, 2016).

(los que tienen entre 15 y 64 años) y ancianos (los individuos mayores de 65 años). De esta forma la estructura etaria de la población del partido se componía en 2010 de 21% de jóvenes, los adultos representaban el 65,9%, y los ancianos el 13,1%. La estructura por edades apenas ha variado en el período intercensal, si bien se atisba cierto envejecimiento.

En relación a la composición de la población por género puede ser analizada mediante la tasa de masculinidad. En 2001 por cada 100 hombres había en Bahía Blanca 108 mujeres, esta relación disminuyó 17% en el año 2010, es decir se evidencia una participación de la mujer en el total de la población menor.

Los índices de vejez y de dependencia son útiles para completar el análisis precedente. Al comparar la población de 65 y más años con los grupos de menor edad, hasta los 14 años, se obtiene para 2010, un índice de vejez de 62,6%, lo que implica un envejecimiento poblacional respecto del 2001.

La relación o índice de dependencia indica la proporción de las personas consideradas inactivas -jóvenes y ancianos- respecto del total de adultos. Es un indicador de naturaleza esencialmente económico que evalúa la carga que representa para la población productiva el mantenimiento de los jóvenes y los ancianos. Este índice calculado según la información correspondiente al Censo 2010 asciende a 51,8%, seis puntos porcentuales más bajo que en el año 2001.

### 3.2. Situación de cobertura de salud

En la localidad se replica la estructura del sistema de salud nacional en cuanto a la cobertura de la población, es decir, coexisten el subsector de la seguridad social que brinda protección al 60% de la población, el sector público que cubre al 27% de las personas y por último, el sector privado que ofrece cobertura al 13% restante, de los cuales solo el 5% aproximadamente es afiliado por contratación voluntaria y el resto recibe atención a través de una obra social (INDEC, 2016).

Por otro lado, desde el estado municipal se considera como una problemática del sistema actual de salud la desigual cobertura de la población, en particular en la Provincia de Buenos Aires se observa que la probabilidad que un individuo posea obra social o empresa de

medicina prepaga es mayor cuanto: i) mayor es su ingreso; ii) mayor el nivel de estudios alcanzado; y iii) mayor es su edad (Secretaría de Salud, Municipalidad de Bahía Blanca).

Asimismo, la Secretaría de Salud municipal reconoce que si bien existen diversos elementos que inciden en el acceso de la población a los servicios de salud, los principales factores corresponden a las asimetrías de ingresos, la ubicación geográfica del paciente y nivel socio-cultural (Secretaría de Salud, Municipalidad de Bahía Blanca).

### 3.3 Oferta actual: descripción de la situación actual de la ciudad y los CAPS<sup>15</sup>

En el año 1993, bajo la estrategia de la Atención Primaria de la Salud y motivado en el fomento al primer nivel de atención, el municipio de Bahía Blanca implementó un proceso de descentralización hospitalaria. Para esto se crearon Áreas Programáticas de Salud (AP) que constituyen “áreas delimitadas por circunstancias geográficas, demográficas, sanitarias y técnico administrativas, donde mediante un proceso de programación y conducción unificada de todos los recursos disponibles en la misma, se trata de satisfacer las necesidades de salud de la población que la habita” (Secretaría de Salud, Municipalidad Bahía Blanca, s/f, p.6). Las Áreas son coordinadas por un Equipo de Gestión responsable de ordenar el funcionamiento de su sector, realizar el diagnóstico de la situación sanitaria junto a la comunidad, priorizar las problemáticas y proyectar en consecuencia.

Cada Área Programática cuenta con un plantel de profesionales de la salud compuesto por las siguientes especialidades enfermería, medicina familiar, clínica, pediatría, psicología, odontología, obstetricia, ginecología, trabajo social, promoción de la salud y fonoaudiología.

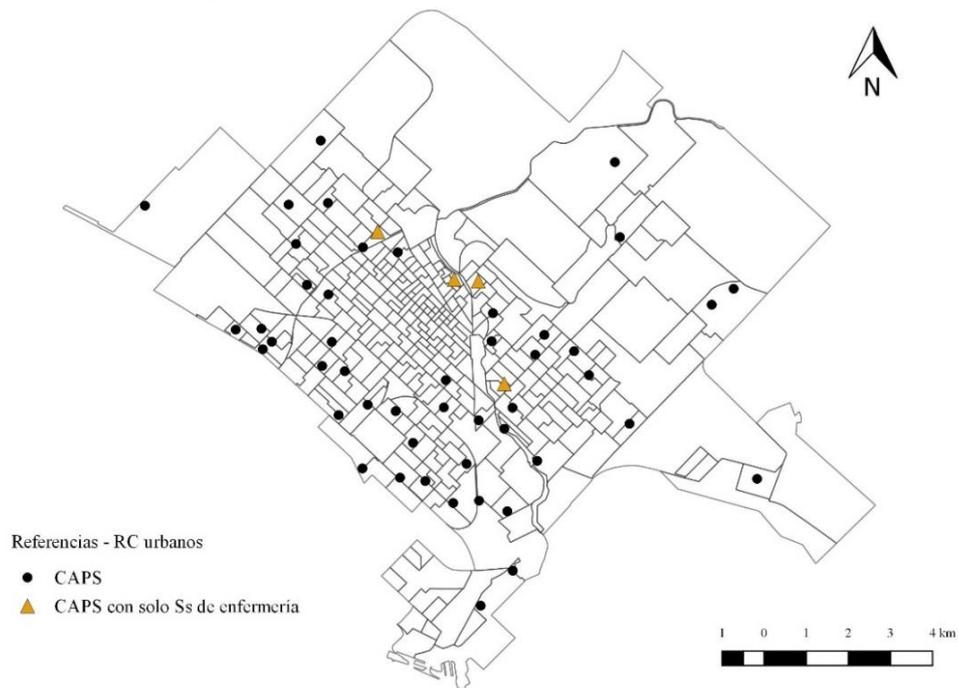
Actualmente, en el partido de Bahía Blanca funcionan 56 centros de salud distribuidos en las aéreas programáticas, cuatro de los cuales cuentan con guardia médica y de enfermería las 24 horas. Dichos centros se encuentran estratégicamente situados (Cabildo, Ing. White, Gral. Cerri y límite de los Barrios Maldonado y Vista Alegre) y poseen una ambulancia de traslado que permite resolver situaciones de baja complejidad. Además, cuatro CAPS cuentan únicamente con servicio de enfermería. La figura 3.1 ilustra la división de la ciudad de Bahía

---

<sup>15</sup> Esta sección se realizó en base a la información provista por la Secretaría de Salud de la localidad de Bahía Blanca en su sitio de internet, [www.bahia blanca.gov.ar](http://www.bahia blanca.gov.ar).

Blanca en radios censales urbanos, indicando también la localización actual de los CAPS<sup>16</sup>. Como puede observarse, existe una mayor concentración de CAPS en la periferia de la ciudad, los cuales cuentan con el servicio de al menos un médico generalista o de familia<sup>17</sup> o la combinación de un médico clínico y un médico pediatra. Los cuatro centros que solo ofrecen servicios de enfermería en términos relativos están más próximos al centro de la ciudad.

Figura 3.1. Bahía Blanca. Distribución CAPS



Fuente: Elaboración propia en el *software* QSIG

## 4. Supuestos y planteo general del modelo

### 4.1 Estimación de necesidades de servicios médico sanitarios

La estimación de la necesidad por servicios médicos sanitarios hacia los CAPS se realizará considerando como unidad de análisis los radios censales urbanos definidos en Censo 2010. La población comprendida en cada radio censal constituye un centro de población o de

<sup>16</sup> En la figura solo se muestran 51 CAPS que son los que funcionan en los radios censales urbanos. Los restantes se encuentran en la localidad de Gral D. Cerri, Cabildo y en radios censales rurales o mixtos.

<sup>17</sup> El médico de familia es responsable de prestar una atención integral y permanente a todos los individuos que solicitan atención médica, independientemente de su edad, sexo o enfermedad. Atienden a los individuos en el contexto de su familia, su comunidad y su cultura, respetando siempre la autonomía de los pacientes. Asimismo es un profesional orientado a la atención primaria de la salud (Sociedad Española de Medicina de Familia y Comunitaria, 2007).

demanda. Dado que el objetivo del estado municipal es garantizar el acceso de la población según su necesidad, es necesario recurrir a una metodología que permita lograr una estimación de la misma. Por tal motivo, en un primer momento es necesario definir qué se entiende por *necesidad en salud*, y su relación con la demanda de servicios sanitarios y la oferta disponible. Luego se realiza una breve reseña acerca de los distintos métodos que se pueden utilizar para estimar la necesidad de servicios sanitarios y, por último se describe el procedimiento realizado para el caso de Bahía Blanca.

#### 4.1.1 Concepto de necesidades en salud

Debido a que no hay consenso acerca de la definición de las necesidades en salud, las mismas pueden ser abordadas desde diversas ópticas.

Desde un punto de vista social, Bradshaw (1972) distingue cuatro categorías de necesidades. La *necesidad normativa* que surge cuando el estado de salud de una persona o un grupo de personas es inferior al considerado deseable por un grupo de expertos o hacedores de política. La definición de este tipo de necesidad no es absoluta y puede variar a lo largo del tiempo acorde a los cambios en los valores de la sociedad y el desarrollo del conocimiento y la tecnología. La *necesidad percibida* se relaciona con lo que un individuo o sociedad desea, por tanto, es subjetiva, es decir que puede ser distinta para cada persona o grupo de personas. Esta definición de necesidad, por su origen, resulta inadecuada para medir la “necesidad real” ya que está limitada por las percepciones individuales, que están influenciadas, por un lado, por el conocimiento previo que tiene el individuo acerca de la prestación del servicio y, por otro, por la reticencia a manifestar diversas necesidades que pueden redundar en una pérdida de independencia para el individuo. La *necesidad expresada* surge cuando los individuos transforman la necesidad percibida en demanda de atención médico sanitaria (Lázaro et al, 1999). Esta definición está fundamentada en el hecho de que una persona no demanda un servicio si no lo necesita. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que no todas las necesidades se traducen en demanda. La *necesidad comparada* es determinada por un observador o hacedor de política a partir de la comparación de dos o más grupos de personas que a pesar de tener similares características (poblacionales, epidemiológicas, socioeconómicas, entre otras) reciben distinta atención médica sanitaria.

Siguiendo una acepción práctica del término, Green y Kreuter (citado por Asadi-Lari, Packham y Gray, 2003) sostienen que necesidad en salud es todo aquello requerido por un individuo o comunidad para su salud o confort, incluyendo condiciones personales, sociales y ambientales como por ejemplo, información relativa a la planificación familiar, zonas libres de humo, las normas que obligan al uso del cinturón de seguridad, entre otros.

Desde la óptica médica, Lázaro et al (1999) argumentan que los individuos si bien son capaces de percibir que su salud se deterioró, no tienen información sobre su problema de salud y el procedimiento y protocolo a seguir, siendo un profesional médico el que decide la cantidad y tipo de tratamiento que restaure su estado de salud. Entonces definen la necesidad como “la evaluación médica del tratamiento necesario para llevar al paciente a un estándar de salud médicamente evaluado”.

Desde la óptica económica, la necesidad en salud se define como la capacidad de las personas de beneficiarse de la atención médica. En este sentido, la necesidad existe solo si se encuentra disponible algún tratamiento efectivo o ganancia en salud (Culyer, 2001).

#### *4.1.2 Conceptos relacionados con la necesidad en salud*

Para completar la discusión del concepto de la *necesidad en salud* es necesario distinguir éste de otros conceptos relacionados. La *necesidad de atención médica* se refiere a la habilidad de la población de beneficiarse de los cuidados o tratamientos médicos recibidos o prescritos, tales como cuidados preventivos, educación para la salud, rehabilitación, entre otros (Stevens, Raftery y Mant, 2007; Wright, Williams y Wilkinson, 1998). De esta forma, los profesionales de la salud consideraran las necesidades en salud en términos de los cuidados que ellos puedan brindar a los individuos mientras que los pacientes tendrán en cuenta otros factores al momento de determinar qué los vuelve más saludables (Stevens et al, 2007). Este concepto es más específico que el de necesidades en salud, dado que la necesidad en salud incorpora los determinantes socioeconómicos y ambientales de la salud, tales como privaciones del hogar y la vivienda, empleo, educación, hábitos alimentarios, entre otros.

Asimismo, es necesario diferenciar el concepto de *necesidad en salud* de los conceptos de *demanda y oferta de cuidados médicos*. La importancia de esta distinción radica en que, ante la dificultad de medir la necesidad en salud, muchos estudios utilizan la demanda u oferta de

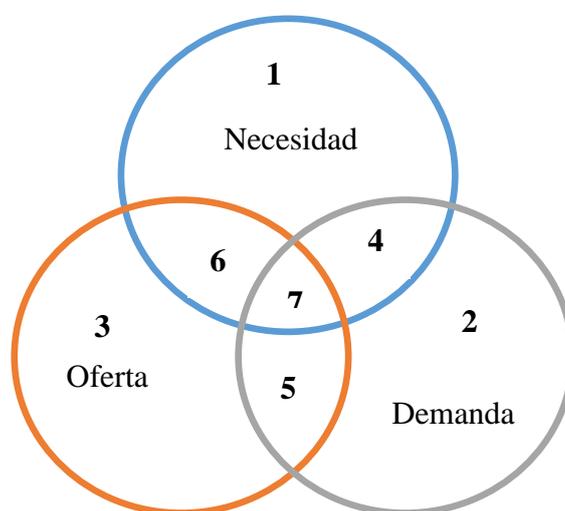
cuidados médicos como sustituto. La *demanda* se define como la cantidad de bienes o servicios que un individuo está dispuesto y puede adquirir a cada nivel de precios. Se encuentra determinada por las preferencias del consumidor, el nivel educativo de los individuos, el precio del bien o servicio (que a su vez depende del tipo de cobertura del cual dispone el individuo) y el nivel de ingresos, entre otros. Mientras que la oferta está compuesta por la provisión de atención médica y está determinada, entre otros factores, por los intereses de los profesionales de la salud, las prioridades de los hacedores de políticas sanitarias y la restricción presupuestaria que enfrentan (Asadi-Lari et al, 2003; Wright et al, 1998).

La necesidad en salud, la demanda y la oferta de cuidados médicos pueden coincidir o no, dando lugar a 7 posibles situaciones. El *área 1* representa aquellas personas que presentan alguna necesidad que no se convierte en demanda y, por lo tanto, no busca ni encuentra oferta. La atención de estas personas debería convertirse en el objetivo de las políticas públicas. El *área 2* incluye personas con demanda innecesaria insatisfecha, es decir personas que demandan servicios de salud pero no tienen necesidad y tampoco encuentran oferta. El *área 3* contempla la oferta de cuidados médicos que no refleja ninguna necesidad de salud ni satisface una demanda de la población. Si bien es deseable que dichos recursos dejen de estar ociosos, es decir sean utilizados, lo ideal es que esto suceda solo en caso de ser necesarios. El *área 4* contiene a aquellas personas que pueden expresar sus necesidades de salud en demanda pero queda insatisfecha por la inexistencia de disponibilidad de oferta de cuidados médicos adecuada. El *área 5* representa una situación de demanda innecesaria satisfecha. El *área 6* caracteriza una situación en la cual existe oferta de cuidados de salud que puede cubrir una necesidad que aún no se ha materializado en demanda por parte de la población. Por último, el *área 7* es la situación óptima en la cual ante la necesidad de salud, la población demanda y encuentra oferta de cuidados médicos. Las áreas de intersección 4, 5 y 6 representan situaciones ineficientes (Figura 3.2).

Idealmente, la demanda de cuidados de salud debería equivaler a las necesidad en salud y ser satisfecha completamente por la oferta de servicios médicos disponible. El análisis de la figura anterior indica aquellas áreas dónde el Sector Público puede intervenir para lograr dicha coincidencia, ya sea gestionando la demanda y la oferta o logrando una mejor definición de la necesidad. La gestión de la demanda puede implicar acciones tendientes a reducirla cuando sea inapropiada (áreas 2 y 5) o estimularla de manera de que la necesidad se

transforme en demanda (áreas 1, 4 y 6). Entre los diversos mecanismos que poder utilizarse para incentivar la demanda se puede citar, mejorar la accesibilidad y organización de la oferta de cuidados médicos, campañas informativas destinadas a la prevención y la educación, entre otros. Los cambios en la oferta pueden requerir mecanismos sutiles que no se implementan fácilmente, especialmente cuando la causa del desajuste entre la oferta y la necesidad es la práctica clínica; en tal caso, se requieren estrategias eficaces para promover el cambio de comportamiento entre los profesionales. Estos pueden incluir visitas educativas, recordatorios, auditoría y retroalimentación, consultas con líderes de opinión locales y procesos de consulta a la comunidad local, entre otros.

Figura 3.2. Relación entre necesidad, oferta y demanda



Fuente: elaboración propia en base a Stevens et al (2007)

Por último, dados los avances tecnológicos y las investigaciones constantes acerca de nuevos protocolos de acción, las necesidades de salud son cambiantes en el tiempo, por lo tanto es imprescindible contar con algún método que permita estimar las mismas (Stevens et al, 2007).

#### 4.1.3 Técnicas de estimación de las necesidades en salud

La *necesidad estimada de atención de la salud* no es una medición del estado de salud actual de la población sino una medición de la necesidad basada en las características de la población (Australian Institute of Health and Welfare, 2014).

La estimación de las necesidades en salud constituye un proceso sistemático mediante el cual se intenta determinar y valorar el tipo, profundidad y alcance de los problemas y necesidades de salud de un individuo o grupo de población (Wright et al, 1998; Perkins et al, 1995). Este procedimiento permite:

- Describir el perfil epidemiológico<sup>18</sup> de un grupo de población a nivel local, regional y/o nacional.
- Identificar las necesidades insatisfechas y proporcionar información acerca del tipo de intervención que podría ser desarrollada e implementada.
- Establecer un orden de prioridades para la intervención que permita satisfacer la demanda insatisfecha de manera costo efectiva.
- Evaluar la equidad en la distribución geográfica de los servicios de salud identificando zonas prioritarias de atención.

Si bien existe consenso en la literatura económica acerca de la importancia de la medición y valuación de las necesidades en salud, no existe consenso respecto de qué metodología es la más adecuada para implementarla. En este sentido, Perkins et al (1995) sostienen que la necesidad puede ser valorada a partir de tres enfoques alternativos: i) enfoques basados en la opinión de expertos; ii) enfoques basados en la necesidad autopercebida; y iii) enfoques cuantitativos.

Los enfoques basados en la opinión de expertos consideran que para estimar las necesidades de un grupo poblacional, se puede consultar a individuos representativos de dicho grupo que por su posición y relación con el resto de los integrantes del grupo se transforman en informantes claves. Los métodos basados en la necesidad autopercebida consisten en realizar una encuesta o entrevista al grupo de población en la cual es el mismo grupo el que manifiesta cuáles son sus carencias o necesidades. Por último, los enfoques cuantitativos estiman las necesidades de un grupo poblacional a partir de información estadística referida a al status de salud y socioeconómico de la población.

Los enfoques cuantitativos utilizan información provista por diversos índices o fuentes estadísticas (Perkins et al, 1995). La estimación de las necesidades a partir de este enfoque es

---

<sup>18</sup> El perfil epidemiológico es la expresión de la carga de enfermedad (estado de salud) que sufre la población, y cuya descripción requiere de la identificación de las características que la definen. Entre estas características están la mortalidad, la morbilidad y la calidad de vida.

ampliamente utilizada debido a que permite la comparación objetiva de grupos de personas, y la información estadística requerida para su cálculo generalmente es pública y de relativamente fácil acceso. Los índices que se utilizan para este fin se pueden clasificar en tres grupos: i) indicadores basados en la utilización del servicio; ii) indicadores basados en la mortalidad; y iii) indicadores basados en la condición socioeconómica (Field, 2000).

Los primeros suponen que la utilización de los servicios médico sanitario es un reflejo de las necesidades en salud de la población. Estos indicadores son criticados debido a que no contemplan los factores que pueden afectar el uso de los servicios, tales como la accesibilidad y por lo tanto, no resultan apropiados para detectar inequidades en la provisión de servicios sanitarios. Por otra parte, existe una amplia tradición de uso de las tasas de mortalidad para cuantificar las necesidades de salud de la población<sup>19</sup>. Sin embargo, su uso no permite captar las necesidades de la población en forma temprana, antes que los problemas de salud deriven en la muerte (Field, 2000).

Por último, los índices socioeconómicos implican un método de valuación indirecto calculado a partir de variables demográficas y socioeconómicas que están correlacionadas con los resultados en salud (Australian Institute of Health and Welfare, 2014; Field, 2000). La mayoría de estos índices se basan en el supuesto de que existen fuertes correlaciones entre los niveles de privación o carencia al cual están sujetos los individuos y la morbilidad. De esta forma, la población que habita en aquellas áreas geográficas con mayores niveles de desventaja presentan mayores necesidades de atención de la salud (Field, 2000).

A continuación se presentan algunos de los índices socioeconómicos diseñados para estimar la necesidad sanitaria. Las principales diferencias entre los mismos radica en las variables específicas incluidas y su ponderación.

Field (2000) desarrolla el Índice de Desventaja Relativa (Index of Relative Disadvantage, IRD) integrado por dos dimensiones, una que intenta captar la necesidad de atención médico sanitaria de la población y otra que procura medir el acceso de la población a los servicios de salud disponibles. Para estimar la necesidad de atención y cuidado de la salud recurre a un

---

<sup>19</sup> La fórmula RAWP (Resource Allocation Working Party) desarrollada a mediados de los 70' en Gran Bretaña para asignar fondos a los distintos servicios de salud del segundo nivel es un caso paradigmático de necesidades en salud cuantificadas a través de tasas de mortalidad estandarizadas por edad y sexo.

indicador sintético que tiene en cuenta el estado de salud de la población, el nivel socioeconómico y las características habitacionales de la población. Para incluir el estado de salud considera la población menor de 4 años y mayor de 65 años y la cantidad de mujeres de entre 16 y 44 años de edad. El nivel socioeconómico lo estima contemplando la cantidad de hogares monoparentales, la población desempleada y la población perteneciente a la clase obrera<sup>20</sup>. Por último, como variables indicadoras de las características habitacionales incorpora la proporción de viviendas que no son de propiedad pública, el porcentaje de viviendas que carecen o comparten el baño o ducha y el número de hogares en los cuales en promedio habita más de una persona por habitación.

La capacidad de las personas para acceder a los servicios de salud disponibles depende principalmente de la facilidad con que pueden llegar hasta el centro de salud, lo que a su vez está influenciado por la distancia del paciente al centro de salud; la movilidad personal de los pacientes y su acceso a las formas adecuadas de transporte; y el conocimiento de la disponibilidad del servicio.

Para valorar la disponibilidad de transporte considera como variables relevantes el acceso al transporte público de la población, la posibilidad de transporte privado medido a partir de la tenencia de auto de la población, la cantidad de personas menores a 15 años y mayor a 80 años. La movilidad personal la estima a partir de la cantidad de hogares monoparentales y población no obrera<sup>21</sup>. Respecto del conocimiento referido a la disponibilidad del servicio considera como variables indicativas la cantidad de población perteneciente a minorías étnicas y la población con educación superior.

Para el cálculo del IRD, en primer lugar estandariza los valores de las variables en cada fracción territorial utilizando la distribución  $\chi$ -cuadrado. Luego, cada estadístico es normalizado utilizando una transformación logarítmica y por último, todos estos estadísticos se adicionan, estimando para cada área bajo estudio un valor correspondiente al IRD, esto implica que otorga igual peso a cada una de las variables (Wang y Luo, 2005). Las fracciones territoriales que obtengan los mayores valores del IRD son aquellas fracciones en las que habita la población con mayores necesidades en salud.

---

<sup>20</sup> En el texto original se utiliza el término *manual social class*, indicando que está compuesta por obreros calificados, cuasi-calificados y no calificados (White y Edgar, 2010).

<sup>21</sup> La clase social denominada *non manual social class* está compuesta por profesionales, personal gerencial y ocupaciones que requieren habilidades intelectuales (White y Edgar, 2010).

McGrail y Humphreys (2009) estiman las necesidades en salud de la población de Victoria (Australia) agrupada en pequeñas unidades censales a partir del siguiente procedimiento. En un primer momento realizan un análisis de regresión múltiple en el cual la variable dependiente es “años de vida ajustados por discapacidad” (AVAD) y como variables explicativas utilizan 16 indicadores de cada unidad censal relacionados con el tipo de familia, el ingreso, nivel educativo, nivel de empleo y condiciones habitacionales, la edad de la población y el idioma. Luego, mediante el método backward logran descartar 10 de dichas variables que no resultan significativas, seleccionando las siguientes seis que explican el 72% de la variación de los AVAD:

- Porcentaje de personas de 15 años o más que concurren a una institución de educación terciaria y obtuvieron un *advanced diploma* o un *qualification diploma*<sup>22</sup>.
- Porcentaje de personas de 15 años o más que está cursando estudios en el nivel terciario.
- Porcentaje de mujeres empleadas en los sectores productivos de *Producción media o Transporte*<sup>23</sup>.
- Porcentaje de mujeres correspondiente a la PEA desempleadas.
- Porcentaje de hogares monoparentales con hijos a cargo.
- Porcentaje de población indígena.

Luego, a estas variables le incorporan una variable adicional que refleje los rangos etarios de mayores necesidades en salud, esto es el porcentaje que representan de la población los niños de entre 0 y 4 años, las mujeres entre 15 y 44 años y los mayores a 65 años respectivamente. Por último, aplican a este conjunto de variables la técnica componentes principales para determinar las ponderaciones apropiadas y construyen el índice a partir de la sumatoria ponderada de los mismos.

---

<sup>22</sup> Los graduados de este nivel tendrán un amplio conocimiento teórico y técnico de un área de estudio específica y habilidades cognitivas, técnicas y de comunicación para seleccionar y aplicar métodos y tecnologías para analizar la información, completar una serie de actividades, interpretar y transmitir soluciones a problemas complejos y transmitir información y conocimientos a los demás (Australian Qualifications Framework, 2015).

<sup>23</sup> Las personas ocupadas en este sector tienen una calificación mínima denominada *AQF Certificate II* o al menos un año de experiencia relevante en tareas similares que acrediten que tendrán las habilidades cognitivas, técnicas y de comunicación básica que les permitan aplicar fácilmente los métodos, herramientas, materiales e información disponibles para emprender actividades definidas y proporcionar soluciones a una gama limitada de problemas predecibles (Australian Qualifications Framework, 2015).

El índice Jarman o UPA (por su nombre en inglés, *Underprivileged Areas*) fue diseñado a partir de una encuesta realizada a una muestra de médicos generalistas de Londres en la cual debían, en base a su experiencia personal, otorgar una ponderación a un conjunto de factores relacionados al nivel socioeconómico de la población y a la provisión de servicios que la literatura especializada suponía eran los responsables del aumento de la demanda sanitaria en el primer nivel de atención. Dicha ponderación podía adoptar valores entre 0 y 9, según los profesionales lo consideraran no problemático o muy problemático respectivamente (Jarman, 1983).

Los factores relativos al nivel socioeconómico incluidos son

- Población adulta (65 años o más)
- Población menor a 5 años
- Desempleo
- Hogares de bajos recursos
- Minorías étnicas (extranjeros)
- Hogares monoparentales
- Personas mayores que viven solas
- Hacinamiento del hogar
- Clases sociales bajas
- Personas que se habían mudado el año anterior
- Parejas no casadas (grupos familiares menos estables)
- Crimen y vandalismo
- Dificultades en el acceso al servicio de salud (distancia, tráfico, entre otros)

Mientras que los factores relativos a la provisión del servicio son

- Tiempo de espera prolongados
- Bajo gasto público local destinado al primer nivel de atención en relación al gasto hospitalario
- Bajo gasto público local destinado a asistencia social
- Bajo número de enfermeros por médico generalista
- Alto número de médicos con una cápita menor a 1000 personas

Una vez que se recibieron las respuestas, se dejaron de lado los factores relativos a la provisión del servicio, debido a que estos pueden ser influenciados por los responsables de brindarlos. Además, la información estadística relativa a la oferta de servicios sanitarios no se relevaba para fracciones territoriales pequeñas. Asimismo, también se desecharon los siguientes factores sociales a) proporción de población mayor a 65 años, porque se incluye la proporción de personas mayores viviendo solas, y en la remuneración de los profesionales médicos se incluye una suma extra por este concepto; b) tasa de delitos, ya que la misma no se registraba para pequeñas unidades territoriales y a su vez se encuentra fuertemente relacionada con la densidad poblacional (que se considera como factor explicativo); c) parejas no casadas, ya que a partir de la información censal no era posible distinguirlas. Tampoco se tuvo en cuenta el indicador de características habitacionales (definido como porcentaje de personas viviendo en hogares con baño compartido o sin inodoro) debido a que la comisión de viviendas (*Council Housing*) establece que si dichas comodidades no están presentes la vivienda no resultaría apta para habitar. Por esta razón se consideró que dicha característica no podía ser un indicador de hogares de bajos recursos. Por último, se extrajeron ponderadores para cada uno de los factores considerados relevantes.

Entonces, para calcular el índice para un área geográfica en particular se debe conocer las siguientes variables

- Tasa de desempleo.
- Proporción de personas que habitan en hogares en los cuales conviven más de una personas por habitación calculada sobre el total de residentes en hogares.
- Porcentaje de hogares monoparentales respecto del total hogares.
- Porcentaje de niños menores a cinco años estimado sobre el total de residentes en hogares.
- Proporción de jubilados viviendo solos en relación al total de residentes en hogares.
- Porcentaje de residentes nacidos en el New Commonwealth
- Porcentaje de residentes en hogares cuyo jefe de hogar está empleado como obrero no calificado
- Porcentaje de residentes que se han mudado en el último año.

El cálculo del índice involucra tres etapas: transformación, estandarización y ponderación. Las proporciones son transformadas mediante una transformación angular<sup>24</sup>, luego se aplica una estandarización normal. La suma de las ocho variables normalizadas y ponderadas constituye el Índice Jarman (Universidad de Manchester, 2013; Jarman, 1994).

Wang y Luo (2005) determinan la necesidad en salud de pequeñas unidades censales considerando cinco dimensiones: i) demográfica, capturada a través de la población con mayores necesidades en salud, esto es la proporción de personas mayores de 65 años, los niños de menores a 5 años y las mujeres de entre 15 y 44 años; ii) socioeconómica, estudiada a partir del porcentaje de población en situación de pobreza, la proporción de hogares cuyo jefe es mujer, el porcentaje de hogares que es propietario de su vivienda y el ingreso medio del hogar; iii) características habitacionales, analizada según el porcentaje de hogares en los que viven más de una persona por habitación y la proporción de hogares que carecen de instalaciones sanitarias o cocina; iv) cultural, para la cual se tiene en cuenta el porcentaje de población perteneciente a minorías étnicas, la proporción de la población sin estudios secundarios completos y el porcentaje de hogares en los que no se habla el idioma local y; v) movilidad, evaluada a través porcentaje de hogares sin vehículo. Luego calculan el índice a partir de la suma de cada uno de las variables ponderada por el valor obtenido en el factor.

El Australian Bureau of Statistics calcula periódicamente el índice de ventaja-desventaja socioeconómica relativa (IRSAD) que ha sido utilizado para medir la necesidad en salud (McGrail y Humphreys, 2009; Morgan y Baker, 2006). Para su estimación considera las siguientes variables relevadas para pequeñas zonas censales (Australian Bureau of Statistics (2013).

#### VARIABLES RELACIONADAS CON LA DESVENTAJA

- Porcentaje de personas con ingresos familiares anuales entre \$ 1 y \$ 20.799 (aproximadamente 1° y 2° decil)
- Porcentaje de viviendas ocupadas sin conexión a internet

---

<sup>24</sup> Este tipo de transformación se utiliza para analizar datos estimados como porcentaje, en los cuales la varianza no es homogénea. Para ellos, es necesario calcular la raíz cuadrada de la proporción y luego el seno inverso del resultado.

- Porcentaje de personas de 15 años o más que cursó como máximo estudios hasta el año 11, incluyendo *Certificate I*<sup>25</sup> o *II*<sup>26</sup>
- Porcentaje de familias con hijos menores de 15 años y padres desempleados
- Porcentaje de personas empleadas en la categoría “obreros”
- Porcentaje de hogares monoparentales con todos sus hijos a cargo
- Porcentaje de personas correspondientes a la PEA desempleadas
- Porcentaje de personas menores a 70 años con una enfermedad crónica o discapacidad que necesitan asistencia para realizar las actividades básicas
- Porcentaje de viviendas privadas ocupadas alquiladas por un pago semanal inferior a los \$166 (excluyendo \$0 por semana)
- Porcentaje de personas de 15 años o más separada o divorciada
- Porcentaje de personas empleadas en la categoría “operador de maquinarias o chofer”
- Porcentaje de personas empleadas en la categoría “trabajadores de servicios personales y comunitarios de baja calificación”<sup>27</sup>
- Porcentaje de hogares que no poseen automóvil
- Proporción de viviendas privadas ocupadas que requieren uno o más dormitorios adicionales (basado en *Canadian National Occupancy Standard*)
- Porcentaje de personas de 15 años o más que no asistió a ningún establecimiento educativo.

Las variables relacionadas con la ventaja incluida son

- Porcentaje de hogares que poseen 3 o más automóviles
- Porcentaje de personas de 15 años o más que concurren a una Universidad o a otra institución de Educación Superior
- Porcentaje de viviendas privadas ocupadas con uno o más dormitorios
- Porcentaje de viviendas privadas alquiladas por un pago semanal superior a \$370
- Porcentaje de personas empleadas en categorías gerenciales
- Porcentaje de viviendas privadas ocupadas con cuatro o más dormitorios

---

<sup>25</sup> Los graduados de este nivel tendrán habilidades cognitivas, técnicas y de comunicación para realizar actividades de rutina definidas; identificar y reportar problemas y problemas simples (Australian Qualifications Framework, 2015).

<sup>26</sup> Las personas que acrediten este nivel de enseñanza tendrán habilidades cognitivas, técnicas y de comunicación básicas para aplicar fácilmente métodos apropiados, herramientas, materiales e información disponibles para emprender actividades definidas y proporcionar soluciones a una gama limitada de problemas predecibles (Australian Qualifications Framework, 2015).

<sup>27</sup> Traducción del original en inglés *Low Skill Community and Personal Service Workers*

- Porcentaje de personas empleadas en la categoría “profesionales”
- Porcentaje de personas de 15 años o más cuyo máximo nivel de instrucción es *el diploma qualification*.
- Porcentaje de viviendas privadas que realizan pagos por hipotecas superiores a \$2.800 mensuales.
- Porcentaje de personas con ingresos familiares anuales mayor a \$52.000 (aproximadamente 9° y 10° decil).

El IRSAD se calcula a partir de la suma ponderada de cada uno de estos factores. Los ponderadores se estiman a partir de la técnica de componentes principales. Por último, aquellas áreas cuyo IRSAD sea bajo pueden ser consideradas relativamente desventajadas respecto a zonas con mayor índice (Australian Bureau of Statistics, 2006).

En 1980, Carstais y Morris desarrollaron un método para ser utilizado en el análisis de la salud que mide la privación en pequeñas áreas geográficas. Los valores del índice se construyen a partir de la suma de cuatro variables censales previamente estandarizadas aplicando una transformación normal: la proporción de hombres de 16 años o más desempleados, la proporción de personas que habitan en una vivienda con una o más personas por cuarto, el porcentaje de población sin automóvil, la proporción de la población cuyo jefe de hogar que se incluye en la clase social IV o V<sup>28</sup>.

#### 4.2. Estimación de las necesidades en salud por radio censal en Bahía Blanca

A continuación se describe la metodología adoptada para la estimación de las necesidades en salud por radio censal en la ciudad de Bahía Blanca, desarrollando con este fin un índice cuantitativo basado en datos socioeconómicos.

##### *4.2.1 Variables y fuentes de datos*

Las variables incluidas en el análisis se relacionan con las características habitacionales, del hogar y la población

---

<sup>28</sup> Esta clase social está compuesta por obreros cuasicalificados y no calificados.

Entre las variables relativas a las características habitacionales se incluye el porcentaje de viviendas que poseen calidad de los materiales de construcción III y IV<sup>29</sup> y la proporción de viviendas que presentan una calidad de conexión a servicios básicos insuficiente<sup>30</sup>. Las variables referidas a las características del hogar contemplan la proporción de hogares que comparte el baño con otros hogares, el porcentaje de hogares que presenta al menos un indicador de NBI<sup>31</sup> y el porcentaje de hogares que habita una vivienda propia. Por último, entre las variables relativas a la población se tienen en cuenta el porcentaje de personas mayores a 6 años que no saben leer ni escribir, la proporción de personas que no utiliza computadora, el porcentaje de personas que no asistieron nunca a un establecimiento educativo y el porcentaje de personas desempleadas.

Todas las proporciones fueron calculadas respecto al total de viviendas, hogares y población de cada radio censal respectivamente. En la tabla A3.1 se encuentra la estadística descriptiva de cada una de las variables.

La mayoría de las variables incluidas refieren a situaciones de privación, que afectan en forma negativa la morbilidad de cada población. Asimismo, en la medida que estas variables están negativamente correlacionadas con los ingresos familiares, también permiten capturar el mayor uso esperado de los servicios públicos de salud que resulta de la ausencia de cobertura de obra social o medicina prepaga<sup>32</sup>. Así los radios censales con mayor índice son aquellos cuyos habitantes presentan mayores necesidades sanitarias.

En todos los casos los datos fueron obtenidos Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010 (INDEC, 2016).

---

<sup>29</sup> Se refiere a la calidad de los materiales con que están construidas las viviendas (material predominante de los pisos y techos), teniendo en cuenta la solidez, resistencia y capacidad de aislamiento, así como también su terminación. Las categorías III y IV contienen viviendas que presentan tanto materiales poco resistentes y sólidos como de baja calidad en techos y en pisos.

<sup>30</sup> Esto implica que la vivienda no dispone de agua de red pública ni el desagüe a pozo con cámara séptica.

<sup>31</sup> Se considera que un hogar tiene NBI si presenta al menos uno de los siguientes indicadores de privación: hacinamiento crítico (más de 3 personas por cuarto), vivienda de tipo inconveniente (pieza de inquilinato, vivienda precaria u otro tipo), hogares que habitan en viviendas que no tienen retrete o tienen retrete sin descarga de agua, hogares que tienen algún niño en edad escolar que no asiste a la escuela, hogares que tienen 4 ó más personas por miembro ocupado y en los cuales el jefe tiene bajo nivel de educación (sólo asistió dos años o menos al nivel primario).

<sup>32</sup> Según Fuenzalida (2010) a medida que aumenta el nivel socioeconómico de la población, las necesidades en salud tienden a satisfacerse mayoritariamente en el sector privado de prestación de servicios médicos.

#### 4.2.2 Cálculo de los ponderadores

Los ponderadores se estimaron aplicando la técnica análisis factorial al conjunto de variables consideradas, luego se seleccionaron los primeros tres factores ya que son aquellos que presentan autovalores superiores a la unidad y a su vez en conjunto explican aproximadamente el 75% de la varianza de los datos (ver tabla A3.2).

Con el fin de poder interpretar cada uno de los tres factores aislados, se aplicó la técnica de rotación Varimax<sup>33</sup> (Tabla 3.1).

El primer factor que contiene todas las variables relativas a la vivienda consideradas, la variable porcentaje de hogares que presenta al menos un indicador de NBI y porcentaje de hogares que no cuenta con baño o letrina de uso exclusivo se relaciona con las condiciones de pobreza estructural. Todos los coeficientes de las variables son positivos ya que a medida que aumentan los valores de cada una de estas variables puede pensarse que las privaciones de la población crecen y también lo hacen sus necesidades en salud.

Tabla 3.1. Matriz de componentes rotados

<b>Variable</b>	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>	<b>Factor 3</b>
% hogares con al menos un indicador de NBI	0,848		
% viviendas con calidad de Conexiones a Ss insuficiente	0,724		
% viviendas con calidad de los materiales III y IV	0,795		
% hogares con baño o letrina compartido	0,726		
% hogares que es propietario de la vivienda		0,799	
% personas > 6 años que no sabe leer ni escribir		0,790	
% personas que no utiliza computadora		0,691	
% personas que no asistieron nunca a establ. escolar		0,667	
% de personas desempleadas			0,952

Fuente: elaboración propia usando el *software* SPSS

El segundo factor engloba cuatro variables: i) porcentaje de hogares que habita una vivienda propia; ii) porcentaje de personas mayores a 6 años que no saben leer ni escribir; iii) proporción de personas que no utiliza computadora; y iv) porcentaje de personas que no

<sup>33</sup> Esta técnica de rotación minimiza el número de variables con cargas altas en un factor, lo que permite aislar algunas de las variables y así interpretar cada uno de los factores.

asistieron nunca a un establecimiento educativo. En este factor también todas las variables presentan coeficientes positivos.

El tercer factor contempla una sola variable que se relaciona con la condición de actividad de las personas que habitan el radio censal (desempleado o empleado) interpretándose como una proxy de la cobertura de salud. El coeficiente es también positivo ya que puede pensarse que las personas desempleadas son más vulnerables y por lo tanto presentan mayores necesidades sanitarias.

Por último, el peso otorgado a cada una de las variables se estimó como un promedio ponderado entre el valor otorgado a cada variable en el factor y la proporción de varianza explicada por cada uno de los factores.

## **5. Modelo matemático para la planificación del sistema de CAPS en la ciudad de Bahía Blanca**

En esta sección se desarrolla un modelo para la planificación del sistema de CAPS en la ciudad de Bahía Blanca inspirado en Verter y Lapierre (2002). Cabe mencionar que si bien ese modelo fue desarrollado pensando únicamente en la localización de centros de salud destinados a realizar actividades de prevención, donde la probabilidad de que una persona concurra a un centro de salud disminuye a medida que aumenta la distancia que debe recorrer, el mismo supuesto es apropiado para la localización de CAPS, que además de cuidados preventivos ofrecen servicios curativos, de rehabilitación y paliativos (McGrail y Humphreys, 2015). El modelo será adaptado al estudio de dos situaciones puntuales. En primer lugar, para el diseño integral de una nueva red de CAPS para la ciudad, sin ninguna consideración por los centros actualmente en funcionamiento. En segundo lugar, se estudia donde deberían abrirse nuevos CAPS (considerando la red existente en la actualidad) si se desea incrementar el acceso de la población a los servicios del primer nivel de atención.

### 5.1 Formulación del modelo

Las variantes a estudiar del modelo de localización se apartan de la formulación original de Verter y Lapierre ya que suponen que: i) cada centro de oferta tiene una capacidad máxima de atención; ii) no es necesario asegurarle un umbral mínimo de trabajo para justificar la

apertura de un centro de salud, y iii) una función de probabilidad que decrece a tramos a medida que aumenta la distancia que el centro de población debe recorrer para acceder a un CAPS.

La nomenclatura a utilizar en el planteo de los modelos es la siguiente:

#### *Conjuntos*

- $I$  : conjunto de centros de demanda (CD)  $i$
- $J$  : conjunto de posibles localizaciones de los centros de oferta (CO)  $j$
- $S_{ij}$  : conjunto de los posibles nodos de oferta  $l$ , que son más cercanos al centro de población  $i$  que el centro de oferta  $j$ , es decir,  $S_{ij} = \{l | d_{il} < d_{ij}\}$

#### *Parámetros*

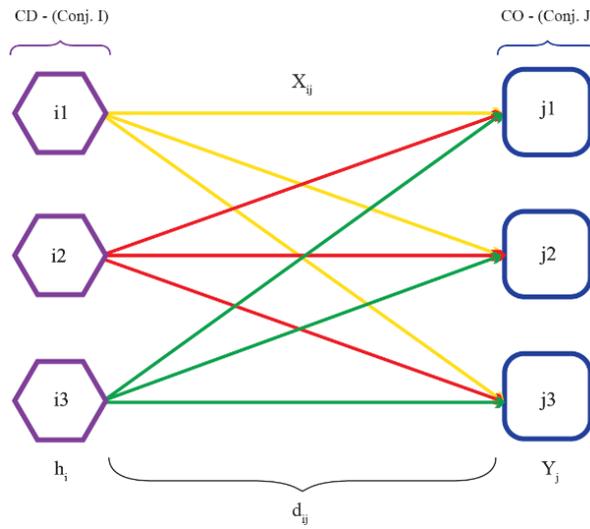
- $d_{ij}$ : distancia entre el nodo de demanda  $i$  y el nodo de oferta  $j$ , medida en km.
- $h_i$ : número de residentes en el nodo de demanda  $i$ .
- $P$ : probabilidad de concurrencia a un centro de salud.
- $c_{ij}$ : número esperado de residentes del centro de demanda  $i$  que concurrirán al centro de salud  $j$ .
- $D$ : Distancia máxima que un individuo está dispuesto a recorrer para recibir asistencia médica, medida en km.
- $W_{max}$ : número máximo de personas que pueden ser atendidas en un CAPS.

#### *Variables de decisión*

- $N$ : número de centros de oferta a instalar
- $Y_j$ : toma valor 1 si el centro de oferta  $j$  se abre, y 0 si el centro  $j$  no se abre.
- $X_{ij}$ : toma valor 1 si el nodo de demanda  $i$  es asignado al centro de oferta  $j$ , y 0 en caso contrario.

La figura 3.3 representa en forma esquemática el problema de localización.

Figura 3.3. Localización de CAPS. Representación gráfica del problema



Fuente: elaboración propia

Para el caso 1, que supone que es posible rediseñar la red actual de CAPS, el modelo desarrollado se encuentra dentro de la órbita de los modelos de cobertura total presentados en el capítulo 2, suponiendo que el costo de instalación de cada centro de oferta es igual para todos los centros. El planteo formal es el siguiente:

*Función Objetivo*

$$\text{Min } N \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad i \in I \quad (2)$$

$$\sum_j c_{ij} x_{ij} \leq W_{\max} y_j \quad j \in J \quad (3)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad i \in I, j \in J \quad (4)$$

$$x_{ij} \leq 1 - y_l \quad l \in S_{ij}, i \in I, j \in J \quad (5)$$

$$\sum_j y_j = N \quad j \in J \quad (6)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ o } 1 \quad i \in I, j \in J \quad (7)$$

$$y_j = 0 \text{ o } 1 \quad j \in J \quad (8)$$

La función objetivo (Ec. 1) minimiza el número de centros de salud a instalar. La Ec. (2) estipula que, en caso de ser cubierto, cada centro de población  $i$  es atendido por un único CO  $j$ . Dado que la capacidad de brindar asistencia médica a la población se encuentra limitada

por la cantidad de horas de atención y la dotación de recursos humanos de los centros de salud, la Ec. (3) determina que un centro de salud  $j$  si es abierto puede atender como máximo  $W_{max}$  personas. La Ec. (4) establece que un nodo de demanda  $i$  es asignado a un centro de oferta  $j$  solo si está abierto. La Ec. (5) asegura que la población de un centro de demanda  $i$  será atendida por el centro de oferta  $j$  abierto más cercano. La Ec. (6) establece que la variable  $N$  es la suma de los centros de oferta abiertos. Por último, las Ecs (7) y (8) definen a  $x_{ij}$  e  $y_j$  como variables binarias.

El número de personas de cada CD  $i$  que se espera concurren a un CO  $j$ ,  $c_{ij}$ , se calcula ponderando la población del CD por la probabilidad de concurrencia, teniendo en cuenta que esta última es una función decreciente de la distancia que deben recorrer las personas para acceder a los servicios sanitarios. En particular, se considera que la función de probabilidad está definida en dos tramos, suponiendo que si  $d_{ij} \leq D$  la probabilidad es igual a 1 y si  $d_{ij} > D$  dicha probabilidad es nula.

Para el caso 2 en el que se supone que se desea ampliar la red actual de atención, cambia la función objetivo del modelo convirtiéndose en un modelo P-Centro. Para ello en primer lugar, es necesario agregar una variable de decisión ( $D_{max}$ ) que indica la máxima distancia entre un CD  $i$  y un CO  $j$  instalado, y el problema se reformula para minimizar dicha distancia máxima. De esta manera la función objetivo (que reemplaza a la ec. 1) ahora es

$$\text{Min } D_{max} \quad (9)$$

A su vez también es necesario incorporar una nueva restricción que establece el valor de  $D_{max}$  es mayor o igual que las distancias que debe recorrer la población asignada a cada nodo de oferta abierto:

$$D_{m\acute{a}x} \geq d_{ij} * x_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (10)$$

Por otro lado,  $N$  se convierte en un parámetro, es decir que ahora es definido por el hacedor de política.

De esta manera el modelo queda determinado por las Ecs (2) a (8), a las cuales se agregan las Ecs. (9) y (10).

## 5.2 Definición de los conjuntos y valores de los parámetros

En este apartado se explica cómo se obtuvieron y procesaron los datos utilizados para la implementación del modelo. A tal fin, se respeta la estructura de los índices, conjuntos y parámetros detallado en la sección anterior.

El conjunto de centros de demanda (Conjunto  $I$ ) está compuesto por los 354 radios censales de la ciudad de Bahía Blanca considerados urbanos por el CENSO 2010. Asimismo, en todos los cálculos se asume que la población se ubica en el centroide geográfico del radio censal.

El conjunto de potenciales localizaciones de los centros de oferta (Conjunto  $J$ ) está compuesto por los mismos radios censales que el conjunto  $I$ . En el caso de la ubicación de los centros de salud se adoptaron dos criterios: si en el radio censal está funcionando un CAPS se respeta la ubicación actual mientras que en aquellas unidades de análisis que se plantean como una potencial ubicación de un centro de salud se considera que el mismo se emplazará en el centroide geográfico.

Al momento de determinar la demanda de servicios de cada radio censal (parámetro  $h_i$ ) que se utilizará en los cálculos, se toma como base el número de residentes real de cada radio, al cual posteriormente se le aplican dos ajustes. En primer lugar se pondera la población de cada radio utilizando el índice de necesidad sanitaria calculado en el apartado anterior. El objetivo de este ajuste es introducir en el análisis un criterio de equidad en el acceso a la atención médica, el cual requiere priorizar (en términos de facilidad en el acceso a los CAPS) a la población que potencialmente requerirá más de sus servicios. En segundo lugar, se considera que cada habitante concurre dos veces al año a un CAPS, con lo cual en los cálculos la población de cada radio censal (ajustada por necesidad) se duplica.

La distancia entre los nodos de demanda  $i$  y las potenciales localizaciones de los centros de oferta  $j$  (parámetro  $d_{ij}$ , medida en km) se calcularon utilizando la herramienta *Google Maps* suponiendo que la población recorre las distancias en auto, lo cual implica que se respeta la dirección de las calles.

### 5.3 Caso Base, Escenarios y situación actual

Para la definición del caso base del modelo y los distintos escenarios a analizar, se asumirán valores alternativos respecto de dos parámetros: la distancia que la población está dispuesta a recorrer para acceder a un centro de salud (parámetro  $D$ ) y la capacidad máxima de atención de los CAPS (Parámetro  $W_{max}$ ).

La probabilidad de concurrencia a un centro de salud toma dos valores: si la distancia que debe recorrer una persona para acceder a un centro de salud es inferior a  $D$  km entonces la probabilidad es igual a 1, mientras que si dicha distancia es mayor a  $D$  km la probabilidad es 0. En el caso base, se considera que  $D$  es igual a 2 km. Se adoptó este valor ya que, por un lado, dado las dimensiones de la localidad no resulta un valor muy elevado y, por otro lado, actualmente si el personal de un determinado CAPS detecta que alguna persona con necesidades sanitarias no logra acceder a los servicios médicos sanitarios por las distancias que debe recorrer el gobierno local se hace responsable del traslado del paciente.

La capacidad máxima de atención de los CAPS (parámetro  $W_{max}$ ) se fija en el caso base en 11.000 consultas por año, considerando un horario de atención de 8 horas semanales durante cinco días por semana y una duración promedio de la visita de 10 minutos.

A partir de este escenario base descrito, se construyen algunos escenarios alternativos, los cuales se resumen en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Escenarios Propuestos. Valores de la capacidad máxima de atención de cada CAPS (Parámetro  $W_{max}$ ) y distancia máxima que una persona está dispuesta a recorrer para llegar a un CAPS (Parámetro  $D$ )

	$W_{max}$ (cantidad de Personas)	$D$ (km)
<b>Situación Actual</b>	sin límites	sin límites
<b>Caso Base</b>	11.000 personas	2 Km
<b>Escenario 1</b>	16.500 personas	2 Km
<b>Escenario 2</b>	22.000 personas	2 Km
<b>Escenario 3</b>	11.000 personas	3 Km
<b>Escenario 4</b>	11.000 personas	4 Km

Fuente: Elaboración propia

Los escenarios 1 y 2 suponen que en cada centro de salud existen recursos humanos adicionales que cumplen media jornada o una jornada completa de trabajo respectivamente,

incrementando la capacidad máxima de atención. Mientras que los escenarios 3 y 4, contemplan la misma capacidad máxima de atención que el caso base, pero suponen que la población está dispuesta a recorrer una distancia mayor (3 y 4 km respectivamente). Estos escenarios se fundamentan en diversas manifestaciones públicas por parte de representantes del gobierno local, en las cuales sostuvo que durante la actual gestión se intentará dotar de mayores recursos humanos a algunos centros de salud estratégicamente ubicados, lo que implicará un aumento de la cantidad de personas que se podrá atender en cada CAPS y que las distancias a los centros de salud aumenten.

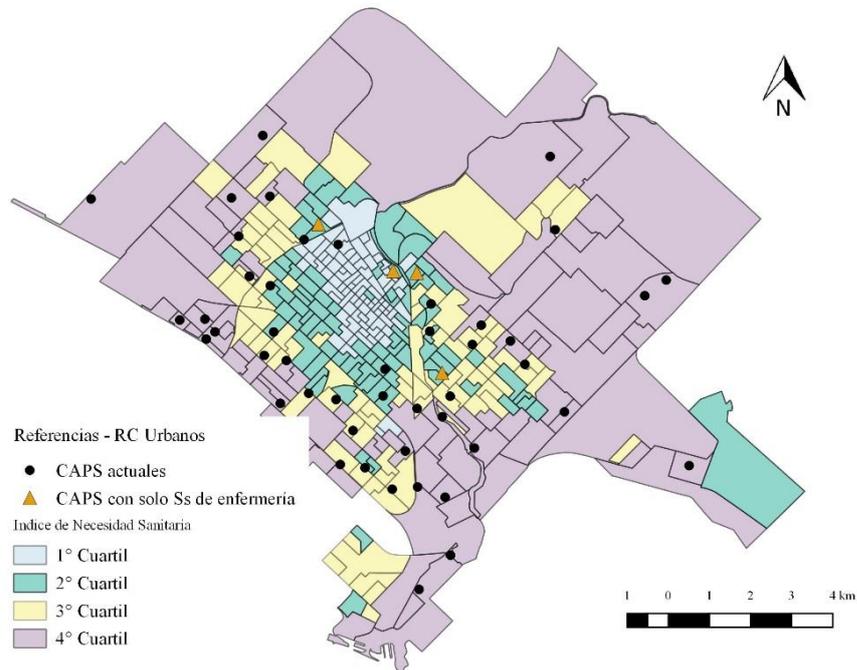
En la actualidad no existen datos respecto de las distancias efectivamente recorridas por los residentes de cada radio censal de la ciudad de Bahía Blanca para recibir atención en un CAPS. Dado que tal información resulta necesaria para comparar la performance de la red actual de CAPS en relación a las soluciones óptimas propuestas por el modelo, la misma se estimó asumiendo que: i) cada centro de población concurre al centro de salud más cercano a su domicilio y ii) que cada centro de salud es capaz de atender la totalidad del volumen de consultas que eso implique.

#### 5.4 Resultados

Para la implementación y resolución del modelo de localización óptima se utilizó el *software* GAMS (*General Algebraic Modeling System*) con el *solver* CPLEX. El mismo fue ejecutado en una computadora con procesador core i5 (4° generación) de 3,1 GHz y 16 GB de memoria DDR3.

En la figura 3.4 se representan los resultados del cálculo del índice de necesidad sanitaria por radio censal y la distribución actual de los CAPS.

Figura 3.4. Bahía Blanca. Radios Censales agrupados por cuartiles del índice de necesidad sanitaria y distribución actual de CAPS



Fuente: Elaboración propia en el *software* QSIG

Para facilitar la exposición de los resultados, se dividió a los radios censales en cuartiles, donde el primer cuartil comprende al 25% de los radios censales analizados con menor necesidad sanitaria en términos relativos y el cuarto cuartil incluye al 25% de los radios censales con mayor necesidad. En la misma se aprecia que los radios censales con mayores valores del índice de necesidad sanitaria son justamente los situados en la periferia de la ciudad, lo cual parece corresponderse con la mayor oferta de CAPS existentes en los mismos. Sin embargo, esta correspondencia que a simple vista pareciera presentarse entre la ubicación actual de los CAPS y las necesidades de atención sanitaria no necesariamente implica que la distribución actual de la red de centros de atención primaria resulte óptima. En la tabla A3.4 del Anexo se encuentra la estadística descriptiva de cada uno de los cuartiles del índice de necesidad sanitaria.

#### 5.4.1 Caso 1: Diseño de red óptima de CAPS

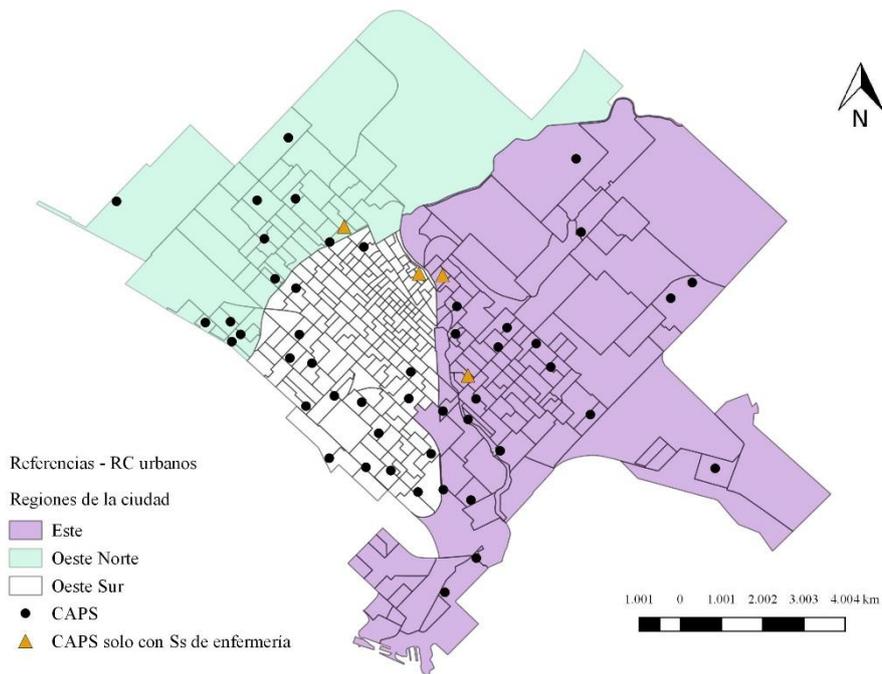
La complejidad del problema, sumada a la limitada capacidad de cómputo disponible, requirió que para su resolución fuese necesario dividir la ciudad en tres partes o regiones<sup>34</sup>:

<sup>34</sup> Al intentar resolver el problema con la ciudad entera, después de más de 24 hs en corriendo GAMS no pudo hallar una solución.

Este, Oeste-Norte y Oeste-Sur (Figura 3.5). La presentación y discusión de los resultados se realizará para cada una de estas regiones. Cabe aclarar que esto no quita validez al modelo en su conjunto, ya que con el adecuado poder de cómputo el problema podría resolverse en una sola instancia.

La región Este está compuesta por 115 radios censales mientras que la región Oeste Norte y Oeste sur contienen 51 y 188 radios censales respectivamente.

Figura 3.5. Bahía Blanca. Radios censales urbanos. División de la ciudad y Distribución de CAPS



Fuente: Elaboración propia en el *software* QSIG

Para cada región la estadística del modelo es la que se indica en la siguiente tabla:

Tabla 3.3. Estadística del modelo según cada región de análisis

		<b>Región Este</b>	<b>Región Oeste Norte</b>	<b>Región Oeste Sur</b>
<b>Ecuaciones</b>	<b>De igualdad</b>	117	53	190
	<b>De menor o igual</b>	115	51	188
	<b>De mayor o igual</b>	767.095	67.669	3.339.563
	<b>Total</b>	767.327	67.773	3.339.941
<b>Variabes</b>	<b>Continuas</b>	1	1	1
	<b>Binarias</b>	13.340	2.652	35.532
	<b>Enteras</b>	1	1	1
	<b>Total</b>	13.342	2.654	35.532

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, los tiempos de resolución y los GAPS relativos obtenidos fueron muy disimiles, tal como se aprecia en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Tiempo de CPU (segundos) y GAP relativo (%) para cada escenario y región

		<b>Región Este</b>	<b>Región Oeste Norte</b>	<b>Región Oeste Sur</b>
<b>Caso Base</b>	Tiempo CPU	12	7	4018
	GAP	6	0	9
<b>Escenario 1</b>	Tiempo CPU	10	1	1121
	GAP	6	0	0
<b>Escenario 2</b>	Tiempo CPU	8	0,5	213
	GAP	0	0	0
<b>Escenario 3</b>	Tiempo CPU	32	6	3923
	GAP	7	0	9
<b>Escenario 4</b>	Tiempo CPU	40000	11	40000
	GAP	8	0	9

Fuente: Elaboración propia

### Región Este

En todos los escenarios considerados, el modelo determina que el número de CAPS que deberían instalarse es inferior al que funciona actualmente en esta región de la ciudad (23 salas médicas que cuentan con el servicio de algún médico de las especialidades mencionadas anteriormente y dos que solo cuentan con el servicio de enfermería). En particular, el caso

base indica que el mismo volumen de población podría atenderse con 5 CAPS menos de los actualmente existentes (Tabla 3.5).

Comparando el caso base con los escenarios 1 y 2, se concluye que un aumento de la capacidad de los CAPS implica que es necesario un menor número de centros necesarios para atender a toda la población. De igual manera, un aumento de las distancias recorridas en relación al caso base (escenarios 3 y 4) también redundan en un menor número de CAPS requeridos para atender a la población (Tabla 3.5).

En las figuras 3.6 a 3.10 se indica la localización geográfica de los CAPS abiertos en cada escenario. Si se compara las ubicaciones óptimas de cada uno de ellos con la localización actual, se encuentran algunas coincidencias, es decir que algunos de los CAPS que están funcionando continuarían en el lugar en que se encuentran (Tabla A3.5 del anexo).

Tabla 3.5. Bahía Blanca. Región Este. Número óptimo de CAPS según modelo propuesto

<b>Escenario</b>	<b>Número óptimo de Salas Médicas</b>
<b>Situación Actual</b>	23
<b>Caso Base</b>	18
<b>Escenario 1</b>	16
<b>Escenario 2</b>	15
<b>Escenario 3</b>	15
<b>Escenario 4</b>	13

Fuente: elaboración propia

En cuanto a la cantidad de habitantes por CAPS, se observa que en la situación actual, el promedio de habitantes ajustados por necesidad atendidos por cada CAPS asciende a 5.705, valor inferior al encontrado en la situación óptima considerando cualquiera de los escenarios propuestos (Tabla 3.6). Igual situación se presenta si se considera la población real (sin ajustar). Esto puede explicarse por el menor número de salas instaladas respecto a la situación actual en todos los escenarios analizados.

Tabla 3.6. Bahía Blanca. Región Este. Población atendida por CAPS ajustada por necesidad y real

<b>Población ajustada por necesidad</b>						
	<b>Promedio</b>	<b>Coef. de variación</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Rango</b>	
<b>Situación Actual</b>	5.705	54,37%	14.377	943	13.434	
<b>Situación óptima</b>	<b>Caso Base</b>	6.973	47,50%	10.903	1.348	9.555
	<b>Escenario 1</b>	7.845	55,64%	15.202	1.348	13.854
	<b>Escenario 2</b>	8.368	66,03%	19.569	827	18.742
	<b>Escenario 3</b>	8.360	25,20%	10.860	2.897	7.963
	<b>Escenario 4</b>	9.655	10,89%	10.757	7.369	3.388
<b>Población Real (sin ajustar)</b>						
	<b>Promedio</b>	<b>Coef. de variación</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Rango</b>	
<b>Situación Actual</b>	4.833	59,3%	12.299	985	11.314	
<b>Situación óptima</b>	<b>Caso Base</b>	5.907	55,3%	10.672	1.018	9.654
	<b>Escenario 1</b>	6.645	63,8%	14.632	1.018	13.614
	<b>Escenario 2</b>	7.088	74,0%	19.531	572	18.959
	<b>Escenario 3</b>	7.080	29,4%	11.049	1.938	9.111
	<b>Escenario 4</b>	8.179	16,3%	10.828	5.157	5.671

Fuente: elaboración propia

Los valores del coeficiente de variación de los habitantes por CAPS y el rango de dicha serie de datos (la diferencia entre el valor máximo y mínimo) pueden utilizarse para analizar la dispersión de los valores de habitantes por CAPS en relación al promedio. Tal dispersión es mayor en los escenarios que contemplan mayor capacidad para los CAPS (1 y 2) tanto considerando la población ajustada por necesidad como la población real. Asimismo, la menor dispersión de la cantidad de habitantes por CAPS se encuentra en los escenarios donde la población está dispuesta a recorrer una mayor distancia y la capacidad de los CAPS es baja (escenarios 3 y 4). Las estimaciones de la situación actual y los cálculos del caso base también indican una alta dispersión de la cantidad de habitantes por CAPS (ajustados y reales) en relación al promedio (Tabla 3.6).

Por último, el valor máximo de personas atendidas en la situación actual resulta inferior sólo en el caso de los escenarios que suponen incrementos en la capacidad de atención de cada centro (Escenarios 1 y 2, Tabla 3.6).

En relación a las distancias recorridas por la población (ajustada por necesidad y reales), variable de gran interés para evaluar el desempeño global del sistema, se evidencia un comportamiento similar: en todos los escenarios óptimos la distancia total<sup>35</sup> recorrida resulta mayor a la distancia simulada que recorren actualmente los usuarios del sistema. Más aun, la distancia total recorrida aumenta a medida que se reduce el número de CAPS abiertos. Este resultado parece indicar la presencia de un compromiso (*trade-off*) entre la reducción de costos fijos que implica la apertura de menor cantidad de CAPS y las mayores distancias que deben recorrer los habitantes de la ciudad para acceder a un centro de salud. Sin embargo, debe considerarse que en todas las situaciones óptimas la distancia máxima desde los centros de población a un CAPS es menor que en la situación actual. La mayor diferencia se presenta comparando el caso base con los escenarios 1 y 2, donde se logra una reducción de aproximadamente el 60% de la distancia máxima recorrida (Tabla 3.7).

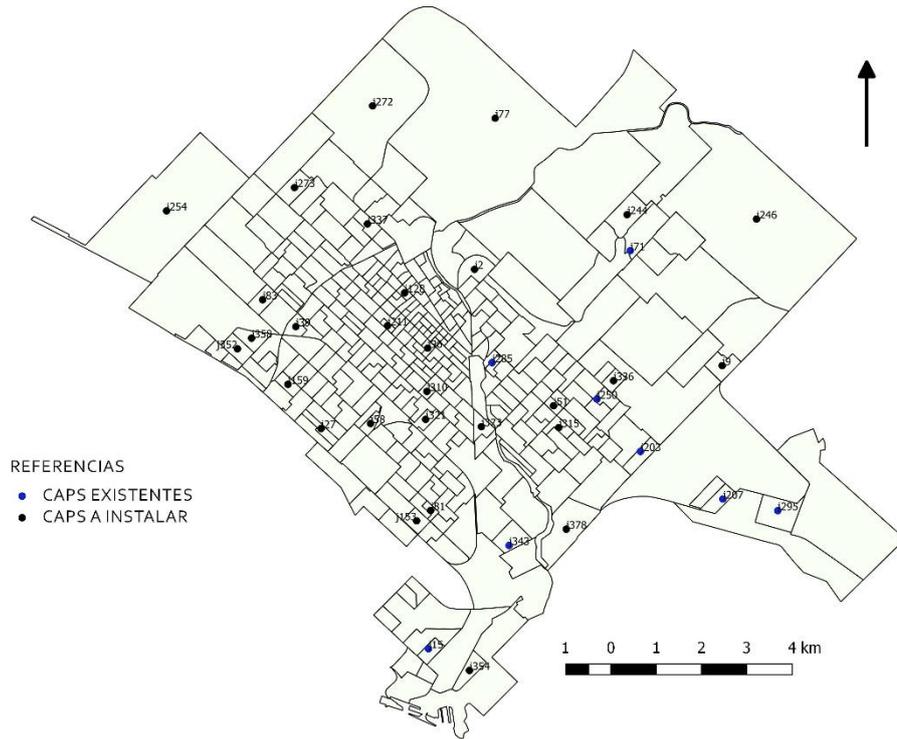
Tabla 3.7. Bahía Blanca. Región Este. Distancias recorridas para concurrir a un CAPS (en km)

		<b>Total sistema</b>	<b>Promedio</b>	<b>Coef. De variación</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Rango</b>
<b>Situación Actual</b>		50,63	0,99	91,9%	4,81	0,02	4,79
<b>Situación óptima</b>	Caso Base	109,29	0,94	57,4%	1,95	0,10	1,85
	Escenario 1	117,08	1,01	49,5%	1,95	0,10	1,85
	Escenario 2	122,64	1,06	50,9%	1,99	0,10	1,89
	Escenario 3	135,47	1,17	64,1%	2,93	0,10	2,83
	Escenario 4	158,67	1,38	70,3%	3,99	0,25	3,74

Fuente: elaboración propia

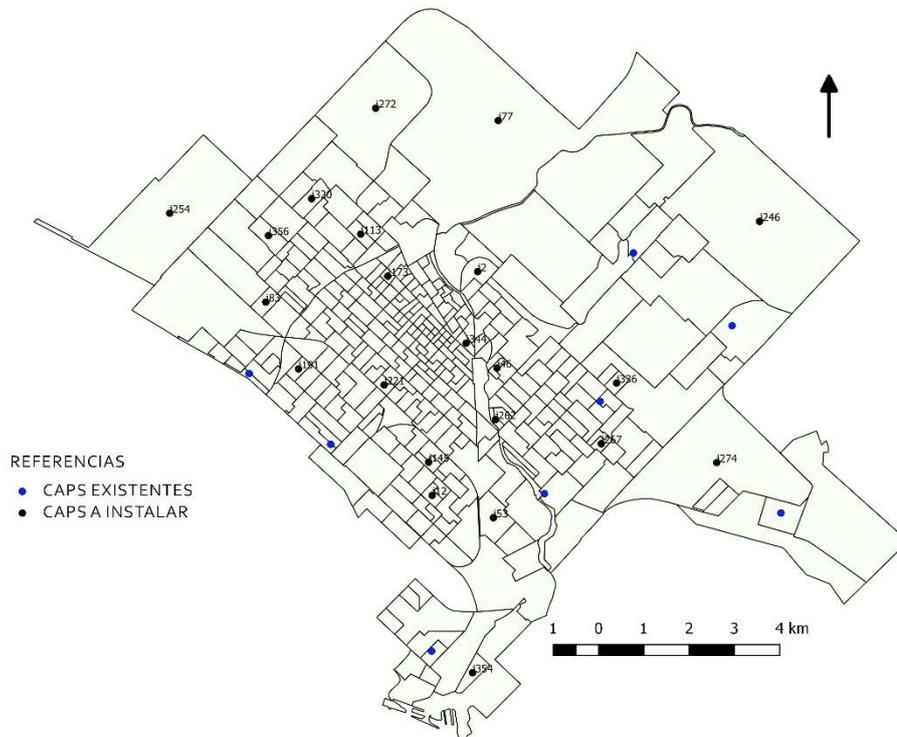
<sup>35</sup> Medida como la suma de las distancias que debe transitar cada centro de población para acceder a un CAPS.

Figura 3.6. Bahía Blanca. Ubicación óptima de CAPS según modelo propuesto. Caso Base



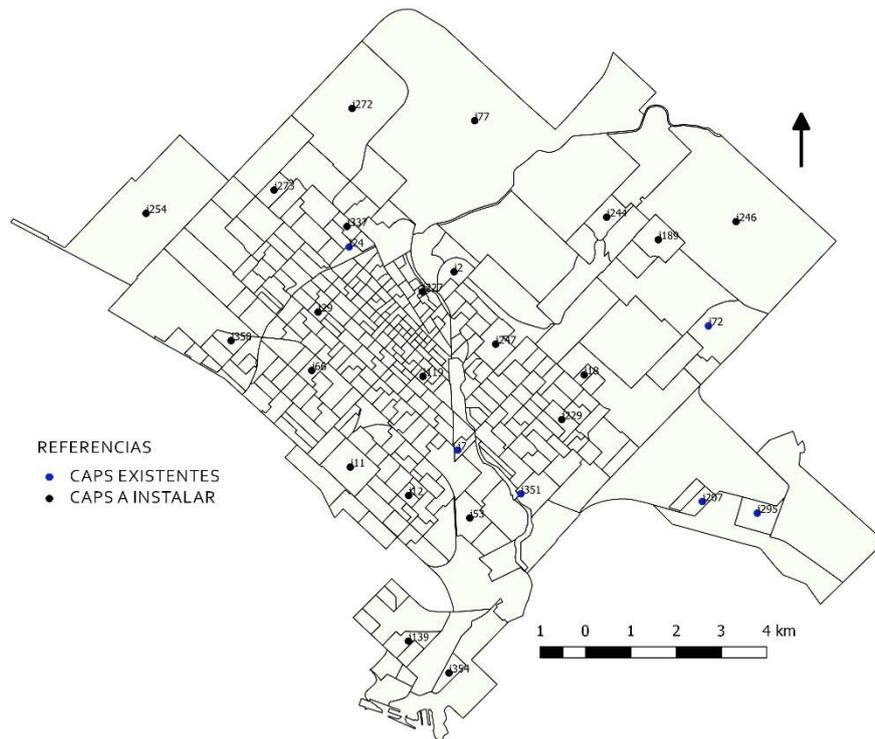
Fuente: Elaboración propia en el *software* QSIG

Figura 3.7. Bahía Blanca. Ubicación óptima de CAPS según modelo propuesto. Escenario 1



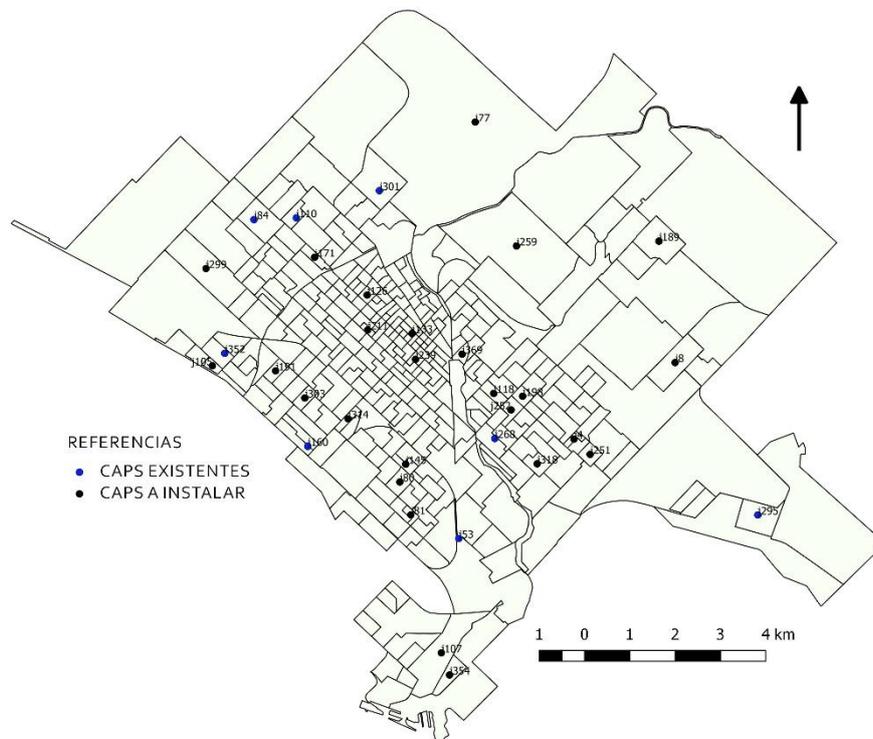
Fuente: Elaboración propia en el *software* QSIG

Figura 3.8. Bahía Blanca. Ubicación óptima de CAPS según modelo propuesto. Escenario 2



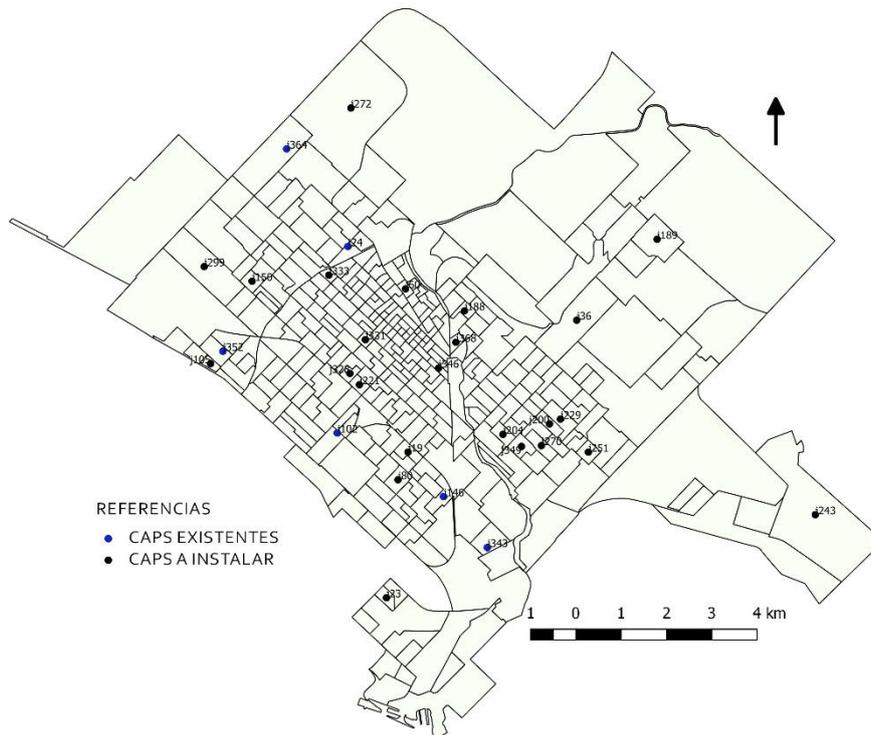
Fuente: Elaboración propia en el *software* QSIG

Figura 3.9. Bahía Blanca. Ubicación óptima de CAPS según modelo propuesto. Escenario 3



Fuente: Elaboración propia en el *software* QSIG

Figura 3.10. Bahía Blanca. Ubicación óptima de CAPS según modelo propuesto. Escenario 4



Fuente: Elaboración propia en el *software* QSIG

### Región Oeste-Sur

En todos los escenarios considerados, el modelo determina que el número de CAPS que deberían instalarse es inferior al que funciona actualmente en esta región de la ciudad (15 centros que cuentan con el servicio de algún médico de las especialidades mencionadas anteriormente y 1 que solo cuenta con el servicio de enfermería) (Tabla 3.8).

Tabla 3.8. Bahía Blanca. Región Oeste-Sur. Número óptimo de CAPS según modelo propuesto

Escenario	Número óptimo de Salas Médicas
Situación Actual <sup>23</sup>	15
Caso Base	11
Escenario 1	7
Escenario 2	6
Escenario 3	11
Escenario 4	11

Fuente: elaboración propia

En relación al caso base, relajar la restricción de capacidad máxima de los CAPS (escenarios 1 y 2) implica que es necesario instalar un menor número de centros para atender a la

población. Sin embargo, no sucede lo mismo si se relaja la restricción de distancia recorrida (escenarios 3 y 4) donde en todos los casos se abren 11 CAPS.

En la tabla A3.5 se encuentra un detalle de la localización en cada uno de los escenarios y las coincidencias respecto de la situación actual. En las figuras 3.6 a 3.10 se ilustra la solución de cada escenario.

La población promedio atendida por cada CAPS en todos los escenarios considerados resulta mayor que el promedio estimado de la situación actual, tanto si se considera la población ajustada por necesidad como si se observa la población total (Tabla 3.9). Nuevamente, esto es consistente con el número más bajo de centros en funcionamiento. En relación a la variabilidad de la población (ajustada y real) atendida por CAPS, resulta más reducida que en la región anterior, si bien puede observarse mayores valores del coeficiente de variación en los escenarios 3 y 4 (que consideran aumentos de la distancia a recorrer en relación al caso base).

Tabla 3.9. Bahía Blanca. Región Oeste-Sur. Población atendida por CAPS ajustada por necesidad y real

<b>Población ajustada por necesidad</b>						
		<b>Promedio</b>	<b>Coef. de variación</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Rango</b>
<b>Situación Actual</b>		7.266	79,4%	24.800	1.509	23.291
<b>Situación óptima</b>	<b>Caso Base</b>	9.908	8,0%	10.917	8.120	2.797
	<b>Escenario 1</b>	15.570	5,4%	16.422	14.121	2.301
	<b>Escenario 2</b>	18.165	12,7%	20.826	14.835	5.991
	<b>Escenario 3</b>	9.908	8,2%	10.892	8.294	2.598
	<b>Escenario 4</b>	9.908	11,8%	10.895	6.432	4.463
<b>Población Real (sin ajustar)</b>						
		<b>Promedio</b>	<b>Coef. de variación</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Rango</b>
<b>Situación Actual</b>		7.266	59,3%	24.800	1.509	23.291
<b>Situación óptima</b>	<b>Caso Base</b>	11.563	29,6%	17.825	7.277	10.548
	<b>Escenario 1</b>	18.170	5,4%	24.619	10.726	13.893
	<b>Escenario 2</b>	21.199	17,4%	26.285	15.964	10.321
	<b>Escenario 3</b>	11.563	26,9%	17.395	6.287	11.108
	<b>Escenario 4</b>	11.563	26,3%	16.546	7.380	9.166

Fuente: elaboración propia

Al estudiar las distancias (Tabla 3.10) se observa que la situación actual exhibe una distancia total recorrida mayor que el caso base y todos los escenarios analizados. Más aún, en comparación con la situación actual, la distancia máxima a recorrer desde un nodo de demanda para acceder a un CAPS es también menor en todas las soluciones del modelo. Estas mejoras se logran en todos los casos con un menor número de CAPS abiertos en relación a la red actual.

La comparación del caso base con los escenarios 1 y 2 sugieren que un aumento de la capacidad de atención de los CAPS se traduce en un incremento en las distancia total recorrida. No se obtiene el mismo patrón al considerar incrementos en el parámetro  $D$  (máxima distancia que está dispuesto a transitar un individuo para acceder a un CAPS) dado que la distancia total recorrida cae cuando  $D$  crece de 2 km (caso base) a 3 km (escenario 3), para nuevamente aumentar cuando  $D$  se incrementa a 4 km.

Tabla 3.10. Bahía Blanca. Región Oeste –Sur. Distancias recorridas para concurrir a un CAPS (en km)

	<b>Total del sistema</b>	<b>Promedio</b>	<b>Coef. De variación</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Rango</b>
<b>Situación Actual</b>	270,99	1,44	54%	3,39	0,11	3,28
<b>Situación óptima</b>						
<b>Caso Base</b>	184,09	0,97	49%	1,98	0,21	1,77
<b>Escenario 1</b>	213,53	1,14	40%	1,98	0,29	1,69
<b>Escenario 2</b>	236,05	1,26	37%	1,99	0,30	1,69
<b>Escenario 3</b>	177,98	0,95	51%	1,96	0,15	1,81
<b>Escenario 4</b>	201,90	1,08	44%	2,71	0,11	1,71

Fuente: elaboración propia

### Región Oeste-Norte

En esta región de la ciudad funcionan actualmente 9 CAPS (más uno que solo cuenta con servicio de enfermería). En el caso base, el modelo determina que deberían instalarse exactamente 10 CAPS, un número mayor que el existente en la situación actual (Tabla 3.11). En las figuras 3.6 a 3.10 se ilustra la solución de cada escenario.

Al comparar el caso base con: i) los escenarios 1 y 2, y ii) los escenarios 3 y 4, se concluye que incrementos en la capacidad máxima de atención o de máxima distancia que un individuo está dispuesto a recorrer para asistir a un CAPS reducen el número óptimo de centros de salud a abrir por el modelo.

Tabla 3.11. Bahía Blanca. Región Oeste-Norte. Número óptimo de CAPS según modelo propuesto

<b>Escenario</b>	<b>Número óptimo de Salas Médicas</b>
<b>Situación Actual<sup>23</sup></b>	9
<b>Caso Base</b>	10
<b>Escenario 1</b>	8
<b>Escenario 2</b>	7
<b>Escenario 3</b>	8
<b>Escenario 4</b>	7

Fuente: elaboración propia

En esta región cuando se compara la localización de los CAPS óptima con la actual se encuentran algunos resultados interesantes. En primer lugar, en el escenario 2 y 4 el modelo exige que se instale un CAP donde actualmente existe una sala médica que solo cuenta con el servicio de enfermería. Por otro lado, la solución que indica que se debe establecer un CAPS en *j77* es común a los primeros 4 escenarios. Un situación similar se presenta con el CAPS ubicado en *j254* en los primeros 3 escenarios (ver Tabla A3.5 en el Anexo).

La población promedio atendida por cada CAPS en las soluciones óptimas resulta superior a la atendida en la situación actual en aquellos casos en que el modelo determina que se deben instalar menos salas médicas que las que funcionan actualmente, tanto para la población ajustada por necesidad como la población real (Tabla 3.12).

Del análisis de los escenarios se desprende que, en relación al caso base, un aumento en la capacidad de los CAPS incrementa la variabilidad de la cantidad de habitantes (ajustados y reales) por CAPS, mientras que un incremento en el parámetro  $D$  parece tener el efecto contrario (Tabla 3.12).

En estos cuatro escenarios el comportamiento de la variable distancia es disímil: por un lado se obtienen valores inferiores al registrado en la situación actual para la distancia promedio recorrida en el sistema en el caso de los primeros escenarios y valores superiores en el escenario 3 y 4. Este comportamiento obedece al supuesto realizado en relación a la distancia que la población está dispuesta a transitar para acceder a un centro de salud (Tabla 3.13).

Tabla 3.12. Bahía Blanca. Región Oeste-Norte. Población atendida por CAPS ajustada por necesidad y real

<b>Población ajustada por necesidad</b>						
	<b>Promedio</b>	<b>Coef. de variación</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Rango</b>	
<b>Situación Actual</b>	7.620	31,5%	12.094	3896	8.198	
<b>Situación óptima</b>	<b>Caso Base</b>	6.858	51,7%	10.677	1.435	9.242
	<b>Escenario 1</b>	8.573	63,7%	14.960	1.435	13.525
	<b>Escenario 2</b>	9.798	74,6%	19.897	1435	18.462
	<b>Escenario 3</b>	8.573	35,4%	10.850	1.435	9.415
	<b>Escenario 4</b>	9.798	11,0%	10.850	7.863	2.987
<b>Población Real (sin ajustar)</b>						
	<b>Promedio</b>	<b>Coef. de variación</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Rango</b>	
<b>Situación Actual</b>	6.258	38,9%	9.499	2.954	6.545	
<b>Situación óptima</b>	<b>Caso Base</b>	5.632	59,8%	11.081	1.003	10.078
	<b>Escenario 1</b>	7.041	67,3%	13.085	1.003	12.082
	<b>Escenario 2</b>	8.046	75,2%	14.763	1003	13.760
	<b>Escenario 3</b>	7.041	39,6%	11.271	1.228	10.043
	<b>Escenario 4</b>	8.046	26,7%	10.759	4.315	6.444

Fuente: elaboración propia

Tabla 3.13 Bahía Blanca. Región Oeste –Norte. Distancias recorridas para concurrir a un CAPS (en km)

	<b>Total del sistema</b>	<b>Promedio</b>	<b>Coef. De variación</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Rango</b>	
<b>Situación Actual</b>	50,63	0,99	91,9%	4,81	0,02	4,79	
<b>Situación óptima</b>	<b>Caso Base</b>	41,95	0,82	63,4%	1,83	0,08	1,75
	<b>Escenario 1</b>	44,70	0,88	61,4%	1,99	0,19	1,8
	<b>Escenario 2</b>	47,87	0,94	57,4%	1,89	0,26	1,63
	<b>Escenario 3</b>	52,06	1,02	63,7%	2,91	0,08	2,83
	<b>Escenario 4</b>	70,91	1,39	73,4%	3,78	0,26	3,52

Fuente: elaboración propia

El caso base es el que mejor resultado arroja en términos de: i) la distancia total recorrida en el sistema y ii) la máxima distancia entre un radio censal y el CAPS asignado, siendo ambos valores inferiores al de la situación actual (Tabla 3.13). Por otro lado, el análisis de los distintos escenarios planteados (y su comparación con el caso base) sugiere que relajar las restricciones respecto de los parámetros  $W_{max}$  y  $D$ , si bien se traduce en una reducción de los CAPS a abrir, también tiene como contrapartida el incremento en la distancia total recorrida en el sistema.

#### 5.4.2. Caso 2: Ampliación de la red actual de CAPS

Este caso asume un objetivo más realista, que implica ya no el diseño de una red de CAPS planteada desde cero, sino determinar la localización óptima de un conjunto de nuevos centros que serán instalados para ampliar dicha red. Las localizaciones óptimas de las nuevas salas médicas en este caso serán las que permitan minimizar la máxima distancia entre un nodo de demanda y un CAPS, dada la disposición de la red existente.

Para analizar el problema de ampliación de la red se impone al modelo una restricción adicional, que demanda respetar la ubicación de los CAPS que están funcionando o cuya construcción se encuentre decidida. En el caso de la Ciudad de Bahía Blanca, esto requiere considerar como dada la localización de 50 CAPS, valor que incluye tres centros (dos en construcción y uno en etapa de licitación) que aún no están operativos. La simulación de los resultados referidos a la situación actual se realizó considerando los 50 CAPS.

Se asume que los nuevos CAPS se pueden ubicar en cualquier radio censal de la región, siempre que actualmente no funcione ningún centro de salud (Conjunto  $J$ ). De esta manera el modelo indica cuál es la localización óptima de los nuevos centros de salud, y a partir de este resultado el decisor debe buscar el terreno o inmueble donde emplazar dicho centro.

Por último, se plantearon cuatro escenarios alternativos suponiendo que el número final de CAPS de la red será, alternativamente, 57, 58, 59 y 60 centros, lo que requerirá de la instalación de 7, 8, 9 y 10 nuevos centros, respectivamente. En cada escenario se supone que los individuos están dispuestos a recorrer 2 km para acceder a un centro de salud (Parámetro  $D$ )

En este caso dado que el problema resulta más pequeño en términos de ecuaciones y variables fue posible obtener resultados para la ciudad completa, siendo la estadística del modelo la que se presenta en la tabla 3.14). Por otro lado, el gap relativo en todos los escenarios fue nulo mientras que los tiempos de resolución son los que se ilustran en la tabla 3.15.

Tabla 3.14. Estadística del modelo

<b>Ecuaciones</b>	<b>De igualdad</b>	356
	<b>De menor o igual</b>	22.241.459
	<b>De mayor o igual</b>	125.670
	<b>Total</b>	22.367.485
<b>Variables</b>	<b>Continuas</b>	2
	<b>Binarias</b>	125.670
	<b>Enteras</b>	0
	<b>Total</b>	125.672

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.15. Tiempo de CPU para cada escenario propuesto (segundos)

<b>Escenario</b>	<b>N=57</b>	<b>N=58</b>	<b>N=59</b>	<b>N=60</b>
<b>Tiempo CPU</b>	278	932	669	1970

Fuente: Elaboración propia

Del análisis de la ubicación de los nuevos centros de atención instalados surgen algunos resultados que merecen atención. En primer lugar el modelo en ninguno de los escenarios propuestos asigna población al CAPS que actualmente funciona en *j160* que según el modelo permanece abierto ya que es una restricción. Por otro lado, de los CAPS que solo prestan el servicio de enfermería, el *j3* recibe población en todos los escenarios planteados lo que implica que actualmente debería estar dotado de un médico según el modelo. Por último, la solución de instalar un centro de oferta en los radios censales *j77*, *j112*, *j254*, *j272*, *j331* es una solución común a todos los escenarios presentados (Tabla A3.6 del anexo). En las figuras 3.11 a 3.14 se ilustra la distribución de los centros de salud correspondiente a cada solución.

La población promedio por CAPS (tanto ajustada por necesidad como real) en cada escenario disminuye conforme aumenta el número de centros de oferta. Los valores máximos y mínimos de personas atendidas por CAPS no se alteran en los escenarios considerados es decir que lo que se altera en cada caso es la distribución de la población entre los centros de oferta (Tabla 3.16).

A medida que aumenta el número de CAPS disminuye significativamente tanto la distancia máxima que debe recorrer un centro de población para acceder al CAPS más cercano como la distancia total recorrida en el sistema de atención primaria. La reducción de mayor importancia se presenta cuando se amplía la red de 50 a 57 centros de atención: la distancia total del sistema cae un 23% mientras que la distancia máxima disminuye un 56%. Luego,

entre los cuatros escenarios de ampliación propuestos no se observan diferencias significativas entre la distancia promedio que debe recorrer un centro de demanda para obtener servicios médicos ni en la variabilidad de las distancias medida a partir del desvío estándar. Este resultado indica que para el municipio existe un *trade off* entre los costos de instalación y mantenimiento de nuevos CAPS y la accesibilidad de la población a los servicios de salud medida por la distancias a dichas salas (Tabla 3.17).

Tabla 3.16. Bahía Blanca. Población atendida por CAPS ajustada por necesidad y real

<b>Población ajustada por necesidad</b>						
	<b>Promedio</b>	<b>Coef. de variación</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Rango</b>	
<b>Situación Actual</b>	6.314	56,84%	21.563	943	13.434	
<b>Situación óptima</b>	<b>Escenario 1</b>	5.412	46,75%	10.327	943	9.555
	<b>Escenario 2</b>	5.317	54,30%	10.327	943	9.555
	<b>Escenario 3</b>	5.226	49,37%	10.327	943	9.555
	<b>Escenario 4</b>	5.137	48,69%	10.327	943	9.555
<b>Población Real (sin ajustar)</b>						
	<b>Promedio</b>	<b>Coef. de variación</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Rango</b>	
<b>Situación Actual</b>	12.651	86,98%	34.863	985	33.878	
<b>Situación óptima</b>	<b>Escenario 1</b>	5.176	74,54%	16.626	985	9.654
	<b>Escenario 2</b>	5.085	70,89%	16.626	985	9.654
	<b>Escenario 3</b>	4.997	71,40%	16.626	985	9.654
	<b>Escenario 4</b>	4.913	72,71%	16.626	985	9.654

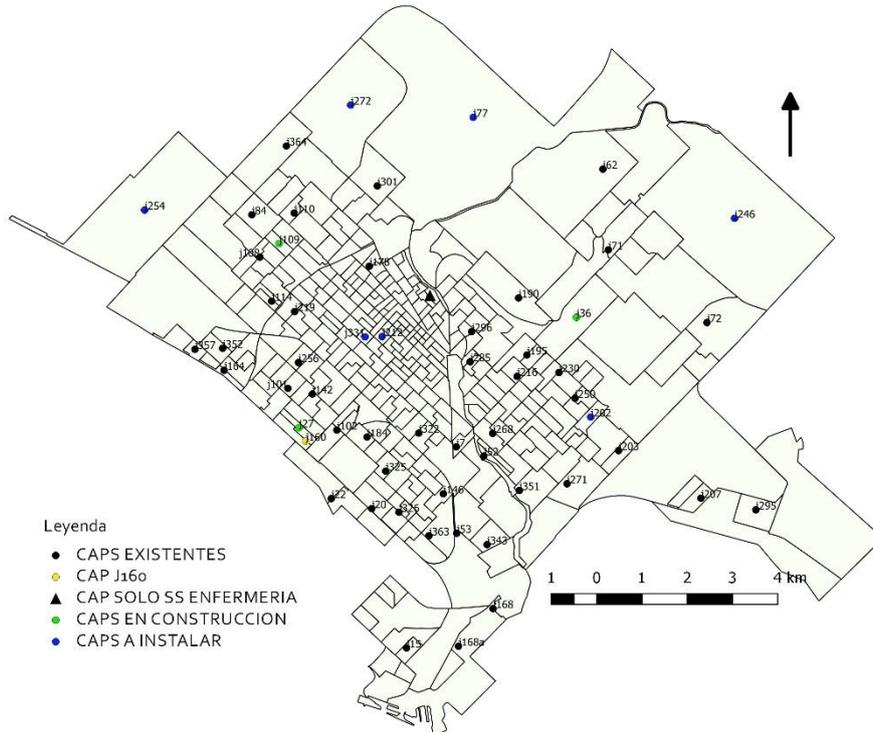
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.17. Bahía Blanca. Distancias recorridas para concurrir a un CAPS (en km)

	<b>Total del sistema</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desvío Standard</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Rango</b>	
<b>Situación Actual</b>	400,06	1,13	0,69	4,18	0,02	4,16	
<b>Situación óptima</b>	<b>Escenario 1</b>	306,65	0,87	0,44	1,82	1,8	0,02
	<b>Escenario 2</b>	305,44	0,86	0,44	1,80	1,78	0,02
	<b>Escenario 3</b>	302,03	0,85	0,44	1,71	1,69	0,02
	<b>Escenario 4</b>	302,53	0,85	0,44	1,71	1,69	0,02

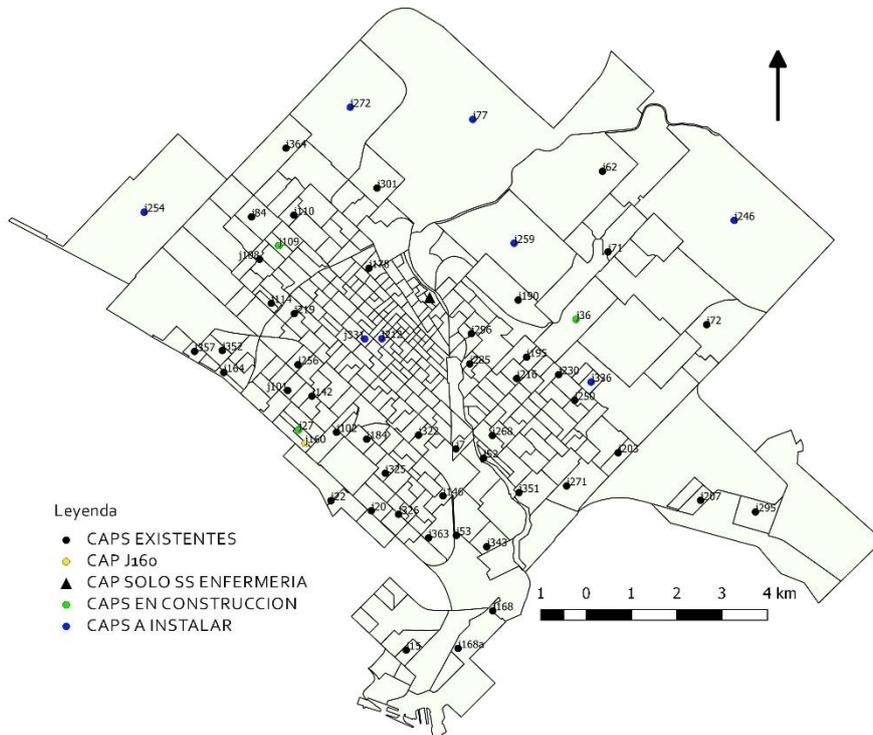
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11. Bahía Blanca. Expansión red actual de CAPS. Ubicación óptima de nuevos centros de salud. N=57.



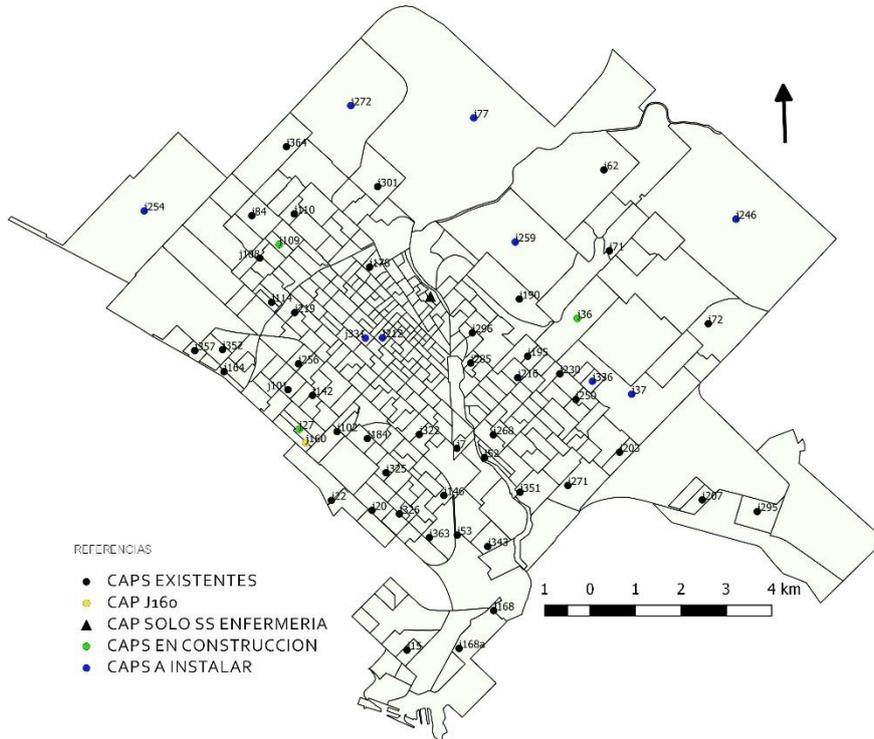
Fuente: Elaboración propia en el software QSIG

Figura 3.12. Bahía Blanca. Expansión red actual de CAPS. Ubicación óptima de nuevos centros de salud. N=58.



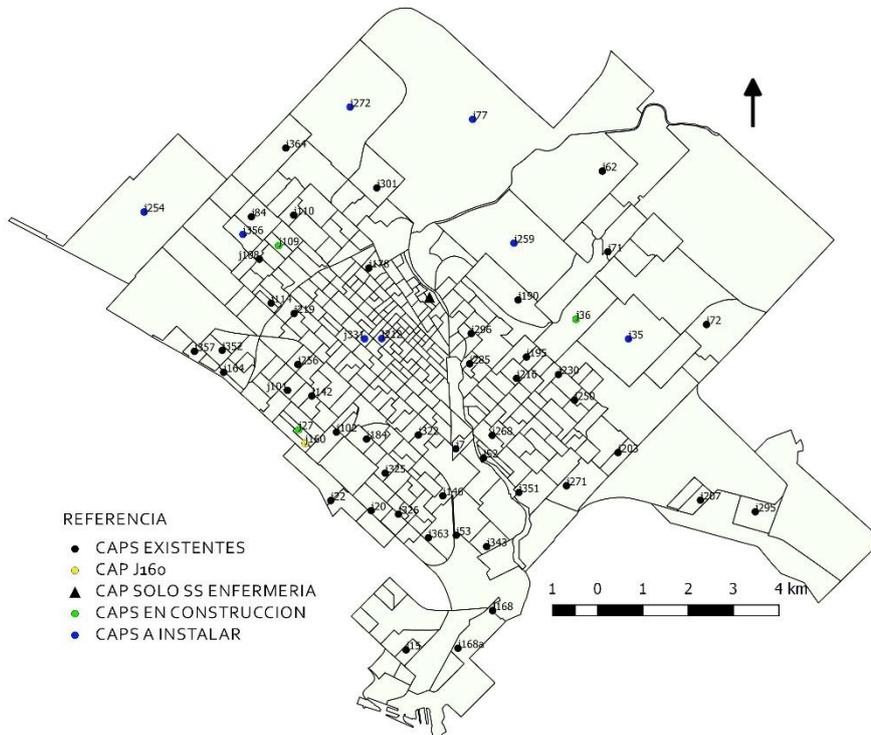
Fuente: Elaboración propia en el software QSIG

Figura 3.13. Bahía Blanca. Expansión red actual de CAPS. Ubicación óptima de nuevos centros de salud. N=59.



Fuente: Elaboración propia en el *software* QSIG

Figura 3.14. Bahía Blanca. Expansión red actual de CAPS. Ubicación óptima de nuevos centros de salud. N=60.



Fuente: Elaboración propia en el *software* QSIG

## 6. Reflexiones finales

El concepto de accesibilidad puede ser abordado desde diversas dimensiones que se agrupan en factores espaciales y no espaciales. En este capítulo se planteó integrar ambas dimensiones a la red de CAPS de la localidad de Bahía Blanca. Para ello se consideró como unidad de análisis cada uno de los radios censales urbanos de la localidad, que actúan al mismo tiempo como un centro de demanda y un potencial centro de oferta. Luego se diseñó un modelo matemático que establece cuál es la localización óptima de este tipo de centros. Los factores no espaciales se introducen en el modelo al momento de calcular la demanda de cada centro de salud ponderando, la población de cada radio censal por un índice de necesidades sanitarias estimado a partir de las características socioeconómicas de la población.

El modelo se aplicó al análisis de dos situaciones. En primer lugar, para el diseño de una nueva red de CAPS para la ciudad de Bahía Blanca, considerando que es posible relocalizar o cerrar los CAPS existentes. En esta situación se requirió al modelo que determine la mínima cantidad de CAPS necesarios para atender las necesidades de la población, asegurando que la misma no deberá recorrer más de una cierta distancia para acceder a un centro de salud. En segundo lugar, también se lo utilizó para determinar la estrategia de ampliación óptima de la red de CAPS existente. En este caso el modelo define la localización de un cantidad dada de nuevos centros (definida por el hacedor de política) de forma tal de minimizar la máxima distancia que deben recorrer los habitantes de un radio censal para solicitar atención.

En el caso del diseño de una nueva red de CAPS, en 2 de las 3 regiones analizadas, el número de CAPS existente en la situación actual es mayor a la solución óptima del caso base del modelo, y en la región restante el número óptimo supera en solo una unidad la oferta actual. También en 2 de las 3 regiones la distancia total recorrida por los usuarios para acceder a un CAPS resulta mayor a la del caso base, y en un caso esta reducción se logra con una reducción en el número de centro de salud en relación al existente. Desde una perspectiva de minimización de costos, y asumiendo que los supuestos realizados y los valores de los parámetros empleados en los cálculos resultan razonables, los hallazgos mencionados señalarían la existencia de un excedente de salas médicas en nuestra ciudad.

El análisis de escenarios confirma que un incremento en el valor del parámetro  $W_{max}$  y en el parámetro  $D$  permite reducir el número de CAPS abiertos que son necesarios para atender las

necesidades de la población, si bien a costa de incrementar las distancias totales recorridas en el sistema.

Al estudiar la segunda situación planteada (la expansión de la red de CAPS existente) la aplicación del modelo a la totalidad de la ciudad permite concluir que aumentar el número de salas de 47 a 57 permitiría reducir la distancia total recorrida en el sistema en un 23% y un 56% la distancia máxima.

Los resultados de las dos situaciones analizadas confirman la existencia de un compromiso (*trade off*) entre accesibilidad (medida en distancia) y los costos de instalación y mantenimiento de los CAPS para el gobierno local. A medida que se reduce la distancia que los individuos deben recorrer para recibir atención médica, aumenta la cantidad óptima de CAPS que es necesario instalar para atender todos los nodos de demanda.

Los resultados de este capítulo deben evaluados teniendo en cuenta las siguientes limitaciones del análisis detallado.

En primer lugar, las distancias recorridas por la población para acceder a los centros de salud en funcionamiento tuvieron que ser simuladas, bajo el supuesto de que siempre se acude al CAPS más cercano. Más aun, para la determinación de las soluciones óptimas el modelo incorpora el mismo criterio básico. Evidentemente esto no necesariamente es un fiel reflejo de la realidad, en la medida que los habitantes tengan la posibilidad de elegir libremente el centro donde se desean atender, lo cual afectaría el computo de las localizaciones óptimas. Sin embargo, existen situaciones donde esta crítica no resulta aplicable. Este sería el caso si el objetivo de los hacedores de políticas es crear un sistema de salud nominalizado, donde la población este nominalizada (las autoridades conocen a cada uno de los beneficiarios del sistema de salud) y georreferenciada (se designa para cada usuario su lugar de atención). En esta situación, la aplicación del modelo asegura que las distancias a recorrer no superarán el máximo establecido por la función de probabilidad de concurrencia.

En segundo lugar, debe considerarse que implícitamente se asumió que la calidad de atención ofrecida por cada CAPS así como los horarios de atención es idéntica, de forma tal que la elección del centro de oferta por parte de los usuarios solo dependerá de la distancia a recorrer.

En tercer lugar, solo se considera que la población se traslada en un vehículo particular siendo deseable incorporar la posibilidad de que se desplace en transporte público o a pie. Por otro lado, en el caso de una posible ampliación los potenciales sitios de radicación no se corresponden necesariamente con la oferta real de terrenos. En este sentido los resultados podrían ser perfeccionados obteniendo datos de la disponibilidad real de solares y/o inmuebles para el municipio.

Un aspecto a profundizar es la forma de introducir juicios de equidad en el modelo matemático. En este trabajo se optó por ponderar la población real de cada radio censal por el valor calculado para ese mismo radio de un índice socioeconómico de necesidad sanitaria, calculado a partir del método de componentes principales. Este proceder guarda relación con métodos utilizados en la evaluación social de proyectos con el mismo fin (introducir cuestiones distributivos) y también fue utilizada en trabajos previos de localización óptima de centros de salud existentes en la literatura. Sin embargo, sería deseable estudiar mecanismos alternativos de introducción de juicios distributivos basados en los desarrollos de la Economía del Bienestar.

Por último, la probabilidad de concurrencia de la población a un centro de salud en el modelo implementado puede tomar únicamente valor 0 o 1, siendo deseable ampliar el número de tramos de probabilidad en función de las distancias recorridas.

Como futuras líneas de acción se plantea superar estas limitaciones. Asimismo, se prevé estudiar la viabilidad de desarrollar estrategias de descomposición para el problema planteado, de modo que se pueda resolver con menor potencia de cómputo, y de esa manera transformarse en una herramienta de eventual uso práctico por los decisores del sistema de salud de la ciudad. Por otro lado, en el marco del Proyecto Unidad Ejecutora “Inclusión Social Sostenible: Innovaciones y Políticas Públicas en Perspectiva Regional” del IIESS se realizará un relevamiento de las condiciones de acceso al primer nivel de atención de Bahía Blanca y de los determinantes sociales de la salud de la población lo que permitirá mejorar la estimación de la necesidad sanitaria y calibrar el modelo con datos reales de las distancias recorridas por la población.

## Referencias Bibliográficas

- Asadi-Lari, M., Packham, C. & Gray, D. (2003). Need for redefining needs, *Health Qual Life Outcomes* 2003, 1(34).
- Australian Bureau of Statistics. (2006). *Socio-Economic Indexes for Areas: introduction, use and future directions*. Recuperado de <https://goo.gl/4qumdN>
- Australian Bureau of Statistics. (2013). *Socio-Economic Indexes for Areas (SEIFA)*. Recuperado de <https://goo.gl/qZqa61>
- Australian Institute of Health and Welfare. (2014). *Access to primary health care relative to need for Indigenous Australians. Cat. no. IHW 128*. Canberra: AIHW. Recuperado <http://www.aihw.gov.au/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=60129547982>
- Australian Qualifications Framework. (2015). <http://www.aqf.edu.au/>
- Baron, R. C., Rimer, B. K., Breslow, R. A., Coates, R. J., Kerner, J., Melillo, S., ... & Lee, N. C. (2008). Client-directed interventions to increase community demand for breast, cervical, and colorectal cancer screening: a systematic review, *American Journal of Preventive Medicine*, 35(1 Suppl):S34-55.
- Berghmans, L., Schoovaerts, P. & Teghem, J. (1984). Implementation of health facilities in a new city, *Journal of the Operational Research Society*, 35(12), 1047-1054.
- Bosque Sendra, J. (1997). *Sistemas de información geográfica* (2ª ed corregida). España: Ediciones Rialp.
- Bradshaw, J. (1972). The taxonomy of social need. En R. Cookson, R. Sainsbury, & C. Glendinning (eds). *Jonathan Bradshaw on Social Policy Selected Writings 1972–2011*, (pp. 1-11). Estados Unidos: York Publishing Services Ltd.
- Buzai, G. (2011). Modelos de localización-asignación aplicados a servicios públicos urbanos: análisis espacial de Centros de Atención Primaria de Salud (CAPS) en la ciudad de Luján, Argentina, *Cuadernos de Geografía-Revista Colombiana de Geografía*, 20(2), 111-123.
- Culyer A. (2001). Equity - some theory and its policy implications, *Journal of Medical Ethics*, 27(4), 275-283.
- Facione, N. (1999). Breast cancer screening in relation to access to health services, *Oncology Nursing Forum* 1999, 26(4), 689-696.
- Field, K. (2000). Measuring the need for primary health care: an index of relative disadvantage, *Applied Geography*, 20(4), 305-332.

- Fuenzalida Díaz, M. & Moreno Jiménez, A. (2010). Diseño con SIG de la localización óptima de centros de atención primaria de salud, discriminando según estatus socioeconómico. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. España: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
- Gu, W., Wang, X. & McGregor, S. (2010). Optimization of preventive health care facility locations, *International Journal of Health Geographics*, 9(1), 17-35.
- Hodgson, M., Laporte, G. & Semet, F. (1998). A Covering Tour Model for Planning Mobile Health Care Facilities in Suhum District, Ghana, *Journal of Regional Science*, 38(4), 621-638. Recuperado de <http://www.healthknowledge.org.uk/public-health-textbook/health-information/3c-applications/indices-need>.
- INDEC. (2016). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010, Recuperado de: [www.censo2010.indec.gov.ar/](http://www.censo2010.indec.gov.ar/)
- Jarman B. (1983). Identification of underprivileged areas, *British Medical Journal (Clinical Research Ed.)*, 286(6379), 1705-1709.
- Jarman, B. (1994). The Jarman UPA score, *Royal College of General Practitioners*, (66), 43.
- Lázaro, P., Fitch, K., Luengo, S. & Aguilar, M. (1999). Algunos problemas metodológicos en la estimación de la necesidad sanitaria. En *Necesidad sanitaria, demanda y utilización: XIX Jornadas de Economía de la Salud*. Zaragoza: Asociación de Economía de la Salud.
- Luzanía Valerio M. (2005) ¿Qué son los sistemas de información geográfica?, *Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana*, XVIII (3), Recuperado de <http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol18num3/articulos/informacion%20geografica/index.htm>
- McGrail, M. & Humphreys, J. (2009). The index of rural access: an innovative integrated approach for measuring primary care Access, *BMC Health Services Research*, 9(1).
- McGrail, M. & Humphreys, J. (2015). Spatial access disparities to primary health care in rural and remote Australia, *Geospatial health*, 10(2). Recuperado de <https://goo.gl/ESDDYa>
- Mehretu, A. (1985). A spatial Framework for redressing disparities in rural service delivery systems, *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 76(5), 363-373.
- Morgan, O. & Baker, A. (2006). Measuring deprivation in England and Wales using 2001 Carstairs scores, *Health Statistics Quarterly*, 31, 28-33.

- Mulvihill, J. (1979). A locational study of primary health services in Guatemala City, *The Professional Geographer*, 31(3), 299-305.
- Ndiaye, M. & Alfares, H. (2008). Modeling health care facility location for moving population groups, *Computers & Operations Research*, 35(7), 2154-2161.
- OMS (1978). International Conference on Primary Health Care. Declaration of Alma-Ata, WHO Chronicle 1978, 32(11):428-430
- Parker, B. & Srinivasan, V. (1976). A consumer preference approach to the planning of rural primary health-care facilities, *Operations Research*, 24(5), 991-1025.
- Perkins, J., Sanson-Fisher, R., Girgis, A., Blunden, S. & Lunnay, D. (1995). The development of a new methodology to assess perceived needs among indigenous Australians, *Social Science & Medicine*, 41(2), 267-275.
- Presidencia de la Nación. Ministerio de Salud de la Nación. Consejo Federal de Salud (2004): "Bases del Plan federal de Salud 2004-2007", marzo, recuperado de [www.remediar.gov.ar](http://www.remediar.gov.ar)
- Rahman, S. & Smith, D. (2000). Use of location-allocation models in health service development planning in developing nations, *European Journal of Operational Research*, 123(3), 437-452.
- Ramírez, L. (2012). Sitios óptimos destinados a la expansión de los equipamientos de atención primaria de la salud en el Área Metropolitana del Gran Resistencia Chaco (Argentina). En: J. Bosque & A. Moreno (Coords.), *Sistemas de Información Geográfica y localización óptima de instalaciones y equipamientos*, España: RA-MA.
- Secretaría de Salud, Municipalidad Bahía Blanca. (2016). <http://www.bahiablanca.gob.ar/portfolio/salud/>
- Secretaría de Salud, Municipalidad Bahía Blanca. (s.f.). Recuperado de <http://bahiablanca.gob.ar/subidos/salud/Secretaria-de-Salud-HCD-2015.pdf>
- Sociedad Española de Medicina de Familia y Comunitaria. (2007). La definición europea de Medicina General/Medicina de Familia. Recuperado de: <http://www.woncaeurope.org/sites/default/files/documents/Wonca%20definition%20spanish%20version.pdf>
- Stevens A., Raftery, J. & Mant J. (2007). *An Introduction to HCNA. The epidemiological approach to health care needs assessment*. Recuperado de: <http://www.birmingham.ac.uk/Documents/college-social-sciences/social-policy/HSMC/publications/2008/Health-care-needs-assessment.pdf>

- Tanser, F. (2006). Methodology for optimising location of new primary health care facilities in rural communities: a case study in KwaZulu-Natal, South Africa, *Journal of Epidemiology and Community health*, *60*(10), 846-850.
- University of Manchester. Cathie Marsh Centre for Census and Survey Research, University of East Anglia. School of Environmental Sciences and University of Manchester. Mimas. Census Dissemination Unit (CDU). (2013). *Deprivation Scores Based on 1991 and 2001 Census Area Statistics*. Recuperado de: <https://discover.ukdataservice.ac.uk/Catalogue/?sn=5850&type=Census>
- Vallim Fo, A. & Mota, I. S. (2012). Optimization Models in the Location of Healthcare Facilities: A Real Case in Brazil, *Journal of Applied Operational Research*, (4)1, 37-50.
- Verter, V. & Lapierre, S. D. (2002). Location of preventive health care facilities, *Annals of Operations Research*, *110*(1-4), 123-132.
- Wang, F. & Luo, W. (2005). Assessing spatial and nonspatial factors for healthcare access: towards an integrated approach to defining health professional shortage areas, *Health & place*, *11*(2), 131-146.
- White, C. & Edgar, G. (2010). Inequalities in healthy life expectancy by social class and area type: England, 2001-03, *Health Statistics Quarterly*, (45):28-56
- Wright, J., Williams, R. & Wilkinson, J. (1998). Health needs assessment. Development and importance of health needs assessment, *British Medical Journal* *316* (1740), 1310–1313
- Zhang, Y., Berman, O. & Verter, V. (2009). Incorporating congestion in preventive healthcare facility network design, *European Journal of Operational Research*, *198*(3), 922-935.
- Zimmerman, S. (1997). Factors influencing Hispanic participation in prostate cancer screening, *Oncology Nursing Forum*, *24*(3), 499-504.

## Anexo

Tabla A3.1. Variables Seleccionadas. Estadística descriptiva

Variable	Media	Desvío Standard	Valor Máximo	Valor Mínimo (excluyendo valor 0%)	Valor Mínimo
% hogares con al menos un indicador de NBI	9,0%	17,5%	100,0%	0,2%	0,0%
% viviendas con calidad de Conexiones a Ss insuficiente	4,9%	7,5%	67,4%	0,3%	0,0%
% viviendas con calidad de los materiales III y IV	1,5%	2,0%	12,2%	0,2%	0,0%
% hogares con baño o letrina compartido	66,2%	14,0%	91,7%	18,0%	18,0%
% hogares que es propietario de la vivienda	3,4%	4,8%	30,5%	0,2%	0,0%
% personas > 6 años que no sabe leer ni escribir	4,2%	2,1%	12,3%	0,3%	0,3%
% personas que no utiliza computadora	31,4%	10,9%	72,7%	8,4%	8,4%
% personas que no asistieron nunca a establ. escolar	1,1%	0,9%	6,3%	0,1%	0,0%
% de personas desempleadas	3,2%	1,1%	7,5%	0,6%	0,6%

Fuente: elaboración propia en base a INDEC (2016)

Tabla A3.2. Análisis Factorial. Autovalores, porcentaje de la varianza total explicada por cada componente y porcentaje acumulado de la varianza explicada

Componente	Autovalor	% de la varianza explicada por cada componente	% acumulado de la varianza explicada
1	4,367	48,526	48,526
2	1,265	14,051	62,577
3	1,062	11,801	74,377
4	0,705	7,830	82,207
5	0,550	6,115	88,322
6	0,355	3,949	92,271
7	0,268	2,981	95,252
8	0,250	2,779	98,031
9	0,177	1,969	100,000

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

Fuente: elaboración propia en SPSS

Tabla A3.3. Estructura Factorial. Matriz de componentes rotados

<b>Variable</b>	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>	<b>Factor 3</b>
% hogares con al menos un indicador de NBI	,724	,425	-,093
% viviendas con calidad de Conexiones a Ss insuficiente	,795	,314	,024
% viviendas con calidad de los materiales III y IV	,726	-,045	,295
% hogares con baño o letrina compartido	-,159	,799	-,156
% hogares que es propietario de la vivienda	,848	,123	-,061
% personas > 6 años que no sabe leer ni escribir	,457	,790	,118
% personas que no utiliza computadora	,481	,691	,227
% personas que no asistieron nunca a establ. escolar	,438	,667	,233
% de personas desempleadas	,012	,069	,952

Fuente: elaboración propia en SPSS

Tabla A3.4. Cuartiles Índice de Necesidad Sanitaria. Estadística descriptiva

	<b>Valor Promedio</b>	<b>Desvío Standard</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>
<b>Cuartil I</b>	0,30	0,04	0,35	0,14
<b>Cuartil II</b>	0,41	0,03	0,46	0,35
<b>Cuartil III</b>	0,50	0,02	0,54	0,46
<b>Cuartil IV</b>	0,71	0,15	1,25	0,54

Fuente: elaboración propia



j242

j196

## Región Oeste Norte

Sit Actual			Caso Base			Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3			Escenario 4		
CAPS	Pob ajustada por necesidad	Pob total	CAPS	Pob ajustada por necesidad	Pob total	CAPS	Pob ajustada por necesidad	Pob total	CAPS	Pob ajustada por necesidad	Pob total	CAPS	Pob ajustada por necesidad	Pob total	CAPS	Pob ajustada por necesidad	Pob total
j84	12.094	8.948	j77	1.435	1.228	j77	1.435	1.228	j24	15.623	14.763	j77	1.435	1.228	j24	10.362	10.755
j108	8.647	8.405	j83	10.223	9.900	j83	14.960	11.248	j77	1.435	1.228	j84	8.608	6.649	j105	10.850	6.057
j110	9.356	9.499	j110	7.119	6.783	j113	11.632	13.085	j254	2.013	1.138	j105	10.850	6.057	j150	10.804	10.422
j114	5.532	5.157	j206	6.998	6.077	j164	13.976	9.203	j272	1.719	1.003	j110	10.750	9.681	j272	7.863	7.268
j164	6.795	4.056	j254	2.013	1.138	j254	2.013	1.138	j273	15.883	12.897	j171	10.494	11.271	j299	8.990	6.347
j301	7.918	8.675	j272	1.719	1.003	j272	1.719	1.003	j337	12.014	13.405	j299	9.628	8.245	j352	9.047	5.833
j352	3.896	2.954	j273	9.522	7.224	j320	10.339	8.803	j358	19.897	11.890	j301	6.429	6.040	j364	10.667	9.642
j357	9.206	4.880	j337	9.657	11.081	j356	12.510	10.616				j352	10.390	7.153			
j364	5.139	3.750	j352	9.220	6.196												
j24			j358	10.677	5.694												

## Región Oeste Sur

Sit Actual			Caso Base			Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3			Escenario 4		
CAPS	Pob ajustada por necesidad	Pob total	CAPS	Pob ajustada por necesidad	Pob total	CAPS	Pob ajustada por necesidad	Pob total	CAPS	Pob ajustada por necesidad	Pob total	CAPS	Pob ajustada por necesidad	Pob total	CAPS	Pob ajustada por necesidad	Pob total
20	3.019	2.708	j27	10.917	7.875	j12	16.135	14.591	j11	18.951	15.964	j80	9.627	8.630	j19	9.767	11.147
22	1.509	1.173	j39	9.683	10.545	j145	14.629	15.495	j12	20.215	19.141	j81	10.067	9.602	j60	9.599	16.546
101	2.867	2.665	j58	9.780	10.055	j160	14.121	10.726	j29	14.835	19.232	j126	10.711	17.395	j80	10.225	9.313
102	2.388	2.210	j81	9.615	8.934	j173	15.558	24.619	j66	20.826	20.882	j133	8.294	13.267	j102	10.140	8.992
142	10.007	11.137	j96	10.851	16.969	j191	16.363	16.204	j119	18.887	26.285	j145	10.892	11.892	j146	10.594	9.664
146	4.477	3.888	j128	10.197	17.825	j221	16.422	21.505	j227	15.276	25.688	j160	9.162	6.287	j160	10.307	7.380
160	24.800	40.011	j153	8.120	7.277	j344	15.762	24.052				j191	10.864	10.287	j221	6.423	8.509
178	10.147	12.400	j159	10.396	9.492							j211	10.238	14.163	j328	10.691	11.505

184	7.301	7.767	j211	10.712	14.880
219	9.718	10.514	j310	9.423	12.885
256	11.791	14.814	j321	9.296	10.455
322	5.424	5.586			
325	5.397	5.092			
326	2.296	2.196			
363	7.850	5.031			
3					

j239	10.548	15.544	j331	10.500	15.211
j303	9.616	9.790	j333	9.849	12.956
j314	8.972	10.335	j346	10.895	15.969

Nota: en todas las regiones las celdas sombreadas en gris indican aquellas soluciones que se ubican en un CAPS que actualmente se encuentra funcionando.

Las celdas sombreadas en amarillo indican los CAPS que solo cuentan con servicio de enfermería

Tabla A3.6. Resumen soluciones Caso 2. CAPS instaladas, Población atendida por CAPS ajustada por necesidad y total

N= 57		N= 58				N= 59			N= 60		
CAPS	Pob ajustada por necesidad	Pob Total	CAPS	Pob ajustada por necesidad	Pob Total	CAPS	Pob ajustada por necesidad	Pob Total	CAPS	Pob ajustada por necesidad	Pob Total
j3	10.024	14.552									
j7	3.703	3.304									
j15	8.637	8.460									
j20	3.019	2.708									
j22	1.509	1.173									
j27	7.850	5.031									
j36	4.659	3.339	j36	4.659	3.339	j36	4.659	3.339	j36	3.097	2.060
j52	7.882	5.491									
j53	3.712	2.710									
j62	3.418	2.910									
j71	4.301	4.047									
j72	5.521	3.452	j72	5.521	3.452	j72	3.679	2.483	j72	3.679	2.483
j84	10.081	7.810	j84	10.081	7.810	j84	10.081	7.810	j84	5.854	4.310
j101	2.867	2.665									
j102	2.388	2.210									
j108	6.173	6.000									
j109	4.790	4.749									
j110	6.917	6.909									
j114	6.002	5.726									
j142	7.968	8.195									
j146	4.477	3.888									
j160	0	0									
j164	6.795	4.056									
j168	1.797	1.000									
j168a	1.100	938									

j178	10.036	16.626	j178	10.036	16.626	j178	10.036	16.626	j178	10.036	16.626
j184	6.289	6.365	j184	6.289	6.365	j184	6.289	6.365	j184	6.289	6.365
j190	5.625	3.770	j190	4.235	2.356	j190	4.235	2.356	j190	4.235	2.356
j195	943	985	j195	943	985	j195	943	985	j195	943	985
j203	2.734	2.333	j203	2.734	2.333	j203	2.734	2.333	j203	2.734	2.333
j207	2.374	1.747	j207	2.374	1.747	j207	2.374	1.747	j207	2.374	1.747
j216	6.826	7.159	j216	6.826	7.159	j216	4.856	5.061	j216	6.826	7.159
j219	6.080	6.310	j219	6.080	6.310	j219	6.080	6.310	j219	6.080	6.310
j230	7.202	5.945	j230	5.759	5.215	j230	6.557	5.317	j230	5.759	5.215
j250	8.018	7.289	j250	9.668	9.859	j250	9.923	9.431	j250	9.668	9.859
j256	7.745	8.012	j256	7.745	8.012	j256	7.745	8.012	j256	7.745	8.012
j268	7.054	7.423	j268	7.054	7.423	j268	3.895	4.126	j268	7.054	7.423
j271	5.554	4.648	j271	6.707	5.893	j271	6.707	5.893	j271	6.707	5.893
j285	5.974	7.354	j285	5.974	7.354	j285	5.974	7.354	j285	5.974	7.354
j295	4.254	3.129	j295	4.254	3.129	j295	4.254	3.129	j295	4.254	3.129
j296	6.018	6.491	j296	6.018	6.491	j296	6.018	6.491	j296	6.018	6.491
j301	4.710	5.037	j301	4.710	5.037	j301	4.710	5.037	j301	4.710	5.037
j322	7.421	8.910	j322	7.421	8.910	j322	7.421	8.910	j322	7.421	8.910
j325	5.424	5.586	j325	5.424	5.586	j325	5.424	5.586	j325	5.424	5.586
j326	5.397	5.092	j326	5.397	5.092	j326	5.397	5.092	j326	5.397	5.092
j343	5.497	3.023	j343	5.497	3.023	j343	5.497	3.023	j343	5.497	3.023
j351	5.226	3.607	j351	5.226	3.607	j351	5.226	3.607	j351	5.226	3.607
j352	3.896	2.954	j352	3.896	2.954	j352	3.896	2.954	j352	3.896	2.954
j357	9.206	4.880	j357	9.206	4.880	j357	9.206	4.880	j357	9.206	4.880
j363	1.069	1.026	j363	1.069	1.026	j363	1.069	1.026	j363	1.069	1.026
j364	3.420	2.747	j364	3.420	2.747	j364	3.420	2.747	j364	3.420	2.747
<b>CAPS A INSTALAR</b>											
j77	1.435	1.228	j77	1.435	1.228	j77	1.435	1.228	j77	1.435	1.228
j202	7.513	6.255	j212	6.826	16.107	j212	10.327	16.107	j212	10.327	16.107
j212	10.327	16.107	j246	1.348	1.018	j246	1.347	1.018	j254	2.013	1.138

j246	1.348	1.018	j254	2.013	1.138	j254	2.013	1.138	j272	1.718	1.003
j254	2.013	1.138	j272	1.719	1.003	j272	1.719	1.003	j331	9.154	13.318
j272	1.719	1.003	j331	9.154	13.318	j331	9.154	13.318	j336	6.152	3.170
j331	9.154	13.318	j336	6.152	3.170	j259	1.390	1.414	j259	1.390	1.414
			j259	1.390	1.414	j37	5.110	2.656	j35	3.404	2.248
						j336	6.960	7.204	j356	4.227	3.500

Nota: las CAPS resaltadas en gris corresponden a las coincidencias en cada uno de los escenarios analizados

## **CAPITULO IV. Localización óptima de centros de trasplantes renales en la Provincia de Buenos Aires**

### **1. Introducción**

En las últimas décadas, los trasplantes de órganos, es decir, el reemplazo de un órgano vital enfermo, sin posibilidad de recuperación, por otro sano, se han convertido en un tratamiento exitoso para muchas enfermedades que de otra forma resultarían fatales. En el proceso de trasplante se distinguen tres etapas: la procuración, ablación y posterior implante del órgano.

El operativo de procuración es el proceso desplegado con el fin de obtener órganos y tejidos para trasplante. Este proceso comienza cuando por la gravedad de la lesión un paciente neurológico crítico fallece en situación de muerte encefálica, y consta de varios pasos logísticos de diversa índole, con un ordenamiento sistematizado.

Un elemento clave del proceso de procuración está dado por el tiempo que transcurre desde la notificación de la existencia de un donante hasta el momento de la intervención de trasplante. Cuando sobreviene la muerte encefálica en un paciente, sus funciones vitales se deterioran en forma acelerada. Una demora en el operativo de ablación incrementa las posibilidades que el donante potencial entre en paro cardio-respiratorio, lo cual inhabilitaría el uso de los órganos procurados por la falta de oxigenación. Asimismo, el período de isquemia fría<sup>36</sup> resulta vital para el éxito del trasplante: cuanto mayor es el tiempo en que un órgano permanece fuera del cuerpo, menor será la calidad del órgano trasplantado (Cobo y del Río Gallegos, 2009).

El operativo de procuración generalmente involucra traslados entre distintas localidades, sea de personal médico, pacientes, órganos o muestras de laboratorio. Es por este motivo que uno de los factores determinantes del tiempo que insume su realización es la localización de los centros de trasplante en relación a los hospitales donantes y el lugar de residencia de los pacientes en lista de espera. En la medida que las distancias a recorrer sean más grandes, mayor será el tiempo requerido.

---

<sup>36</sup> Se denomina isquemia al sufrimiento celular causado por la disminución transitoria o permanente del riego sanguíneo, y la consecuente disminución en el volumen de oxígeno. El periodo de isquemia fría se inicia con la ablación del órgano del cuerpo del donante y finaliza con la restauración del flujo sanguíneo una vez implantado en el receptor.

En un documento del Instituto Nacional Central Único Coordinador de Ablación e Implante (INCUCAI) de la República Argentina, publicado en el año 2003 se reconoce como una falencia del sistema de procuración argentino la desigual distribución geográfica de los centros de trasplante. Según sus autores,

“... el desarrollo de centros de trasplantes se ha producido principalmente en el área metropolitana, en detrimento del interior del país, con escasa intervención reguladora del estado. Ello genera una distorsión con consecuencias negativas tanto para la accesibilidad, tiempos de distribución y asignación de órganos, tiempos operativos en general, así como costos elevados por la necesidad de desplazamientos aéreos de los equipos y de muestras para realización de estudios en centros de la ciudad de Buenos Aires (Instituto Nacional Central Único Coordinador de Ablación e Implante - INCUCAI, p. 9, 2003)”.

La temática anterior se inscribe dentro de una problemática similar a la discutida en los capítulos previos, sobre la localización óptima de centros de salud. Por lo tanto también se podría usar para su abordaje una metodología similar, basadas en el desarrollo de modelos matemáticos. El tema no ha pasado desapercibido a nivel mundial, como se pone de manifiesto en un trabajo reciente de Bélien et al (2013) quienes desarrollan un modelo de optimización que tiene como objetivo minimizar el tiempo insumido en el proceso de donación de órganos, a partir de la elección de la localización de los centros de trasplante, considerando una lista de posibles ubicaciones.

Tomando como base el modelo desarrollado por Bélien et al (2013) el objetivo del presente capítulo es desarrollar un modelo de localización óptima de centros de trasplante renales susceptible de ser aplicado al caso de la Provincia de Buenos Aires (Argentina). El modelo considera únicamente donantes cadavéricos, dado que en el caso de los donantes vivos no se presentan los problemas de la logística de traslado de órganos debido a que la ablación y trasplante se realiza en un mismo centro de salud.

El capítulo está estructurado en seis secciones. En la primera sección se realiza una breve revisión de la literatura de modelos de localización óptima de los centros de trasplantes. En la segunda sección se reseña la historia de los trasplantes en Argentina. A continuación, se describe el proceso de procuración de órganos de Argentina, destacando especialmente las características distintivas de la procuración de riñones y aquellas fases que involucran

traslados (de médicos, muestras de laboratorios, pacientes y órganos) entre distintas localidades. En la cuarta sección se exponen los lineamientos generales del modelo de localización de centros de trasplante desarrollado, exponiendo en la próxima sección los resultados obtenidos. Por último, se exponen las conclusiones y líneas futuras de investigación.

## **2. Antecedentes en la literatura**

La mayoría de las investigaciones realizadas por la literatura especializada en investigación operativa y modelización matemática acerca de trasplantes de órganos se refieren a la asignación de órganos a los pacientes en lista de espera, especialmente para el caso de hígado y riñón (Rais y Viana, 2010), mientras que la existencia de investigaciones respecto a la localización óptima de los centros de salud especializados en trasplantes es acotada. A continuación se reseñan las principales contribuciones al tema.

En lo que constituye el primer estudio relativo a la logística de trasplante de órganos, Stahl et al (2005) analizan el proceso de procuración y trasplantes de hígado de Estados Unidos de América (EUA). Dicho proceso se encuentra regionalizado y jerarquizado, siendo el nivel más bajo de dicha estructura los denominados organismos de procuración de órganos (OPOs), luego el nivel regional que incluye varios OPOs y por último el nivel nacional. Ante la aparición de un posible donante, el OPO al cual pertenece el hospital busca posibles receptores entre las personas que figuran en lista de espera en dicho OPO y luego a nivel regional en situación de emergencia. En caso de no encontrar una persona compatible, se repite el proceso siguiendo el orden de la lista de espera. Si en esta situación no se encuentra un posible receptor entonces se procede a continuar la búsqueda en la lista de espera regional y nacional. En este marco, el objetivo del trabajo es determinar la configuración óptima de regiones de trasplante de manera de alcanzar la eficiencia y la equidad geográfica del proceso. Para el primer objetivo maximizan el número total de trasplantes intrarregionales, mientras que en el caso del segundo propósito maximizan la mínima tasa de trasplantes intrarregional calculada para todas las OPOs, esto es la proporción de trasplantes intrarregionales de una OPO respecto de la lista de espera del mismo organismo.

Luego en el año 2010, Kong et al retoman este estudio determinando la dimensión de las regiones y cuáles OPOs pertenecen a cada región y, al mismo tiempo, establecen como serían

los flujos de órganos en el nivel nacional, es decir, cuando no se encuentra compatibilidad entre donantes y posibles receptores a nivel regional. Asimismo, mejoran los resultados originales proponiendo una manera alternativa de solución que permite ahorrar tiempo de CPU y memoria.

Por otro lado, Bruni et al (2006) analizan el sistema de trasplantes italiano, el cual está formado por centros regionales (similares a las OPOs) que son los encargados de organizar el proceso de procuración y ablación de los órganos disponibles para trasplantes. Con este fin, desarrollaron un modelo matemático cuyo objetivo es determinar la localización óptima de los centros de procuración, hospitales donantes y centros de trasplantes que permita lograr la equidad en la atención de la salud, considerando el rol crítico del tiempo involucrado en el proceso de trasplante. Según los autores la equidad en el sistema se logra cuando minimizan el tamaño de la lista de espera máxima. Para esto intentan minimizar el tiempo de viaje total del proceso de procuración y trasplante a partir de implementación de un modelo P-Media y teniendo en cuenta como restricción la equidad.

Por último, Çay (2012) analiza el sistema de trasplantes de Turquía teniendo en cuenta donantes cadavéricos y vivos sin distinguir el tipo de órgano trasplantado. El sistema de trasplantes turco está dirigido por un Centro Nacional de Coordinación, que reúne distintos Centros Regionales. El autor desarrolla un modelo cuyo objetivo es determinar al mismo tiempo la configuración de las regiones y la localización de los hospitales donantes y receptores dentro de cada región, de manera de maximizar el flujo intraregional de órganos. Para esto desarrollan un modelo matemático de Programación Mixto Entera (*Mixed Integer Programming*, en inglés MIP) considerando dos medios de transporte (terrestre y aéreo) y teniendo en cuenta como principal restricción el tiempo de isquemia fría.

### **3. La historia de los trasplantes en Argentina<sup>37</sup>**

La expansión de los trasplantes en Argentina fue más tardía que en los países desarrollados aunque prácticamente siempre se encontró a la vanguardia en Latinoamérica (principalmente, junto a Brasil y México) (Calabria, 2011).

---

<sup>37</sup> Esta sección se realizó en base a la Historia del Trasplante publicada en el sitio de internet del INCUCAI (2017a).

El primer trasplante realizado en nuestro país correspondió a córneas y fue realizado por el Dr. Manes en el Hospital Rawson en 1928. Debido al contexto internacional, las investigaciones relativas a trasplantes no registraron avances hasta 1948, momento en que el Dr. Otolengui practica el primer trasplante de hueso en las instalaciones del Hospital Italiano.

En el año 1951 se crea el primer Banco Nacional de Córneas y Vasos, institución precursora del actual INCUCAI (Adetra, 2017).

Posteriormente, en el año 1957 se llevó a cabo el primer trasplante renal, bajo la dirección del Dr. Lanari, aunque el mismo no fue exitoso y el paciente murió a los pocos días de la operación (Calabria, 2011). Ese mismo año, debido al éxito obtenido en los trasplantes óseos, mediante la Ley N° 17.041 se crea y regula el primer banco nacional de tejidos.

En 1968, a cargo del Dr. Belizzi se produjo el primer trasplante cardíaco en la Clínica Modelo de Lanús, siendo difícil controlar los problemas de rechazo. Además, en ese mismo año se aceptó científicamente la posibilidad de diagnosticar el fallecimiento de una persona utilizando criterios neurológicos -muerte encefálica- y definir el mantenimiento cadavérico para la correcta conservación de los órganos para trasplante. Este avance médico generó un incremento en la cantidad de posibles donantes, lo que sumado a los adelantos tecnológicos que permitían mejorar la calidad de vida de las personas en lista de espera, implicó un aumento en la demanda de trasplantes. En este contexto, surge la necesidad de regular la práctica, lo cual lleva a sancionar la Ley N° 21.541 que instaura el Centro Único Coordinador de Ablación e Implante (CUCAI) bajo la órbita del Ministerio de Salud Nacional, el cual comienza a funcionar en 1978, como el organismo de procuración nacional a cargo de la normatización de la actividad.

En sus orígenes la actividad del CUCAI se desarrolló principalmente en el área metropolitana de Buenos Aires focalizada en lo relativo en trasplantes renales. En la década del '80, comenzaron a formarse organismos de procuración provinciales en Córdoba, Santa Fe y Mendoza. “Luego, se desarrolló el criterio de organización del país en regiones, cada una con una jurisdicción cabecera que centralizaba las acciones locales, modelo que afirmó la tendencia de crecimiento” (INCUCAI, 2017a).

Además, en esa misma década comenzó a incrementarse la práctica de trasplantes cardíacos y hepáticos.

La consolidación de la práctica de trasplantes se logró en los años '90 como consecuencia de un conjunto de políticas sanitarias que impulsaron nuevas instancias de coordinación y el crecimiento de la tasa de donantes. En efecto, se logró la cobertura territorial de la mayor parte del país a partir de la creación de organismos jurisdiccionales de procuración en la mayoría de las provincias argentinas. Cabe mencionar, que los resultados en cuanto a la cantidad de órganos procurados en cada región fue diversa.

Por otro lado, la Ley N° 23.885 convirtió al CUCAI en el actual INCUCAI, el cual comenzó a funcionar como un organismo descentralizado autárquico pero continuo bajo la dependencia del Ministerio de Salud de la Nación, siendo su misión:

“...promover, regular y coordinar las actividades relacionadas con la procuración y el trasplante de órganos, tejidos y células en el ámbito nacional, garantizando transparencia, equidad y calidad. La visión apunta a construir un sistema inserto en la estructura sanitaria que sea capaz de generar respuestas a las múltiples demandas de trasplantes, sustentado por la confianza y la actitud positiva de la comunidad hacia la donación” (INCUCAI, 2017a).

En el año 1992, se pudo concretar el primer trasplante pulmonar. Luego, al año siguiente, se aprobó la Ley N° 24.193 de Trasplante de Órganos, legislación que rige en la actualidad con las modificaciones incorporadas por la Ley N° 26.066. También en esta década se llevaron a cabo los primeros trasplantes de páncreas e intestino. Paralelamente, la actividad de ablación e implante experimentó un crecimiento sostenido hasta 1995.

Con el fin de incrementar la procuración de órganos y la cantidad de trasplantes realizados, en 2003 el INCUCAI lanzó el Programa Federal de Procuración de Órganos y Tejidos. También en ese año, se sanciona la Ley N° 25.392 que crea el Registro Nacional de Donantes de Células Progenitoras Hematopoyéticas (CPH), como un intento de incrementar los trasplantes de dichas células.

En 2006, se incorpora por intermedio de la Ley N° 26.066 la figura del donante presunto para las donaciones de órganos, lo que implica que toda persona mayor de 18 años es considerada

donante con excepción de quienes manifiesten su voluntad en contrario. En este mismo sentido, a partir del año 2010 se implementó la Estrategia Hospital Donante, cuya finalidad es incrementar la disponibilidad de órganos y tejidos para trasplante a partir de lograr que los hospitales incorporen dentro de sus actividades diarias la procuración.

“En la actualidad el sistema de salud cuenta con miles de profesionales capacitados en la materia, 149 centros de trasplante de órganos y más de 600 de tejidos y células habilitados, coordinados y fiscalizados por el INCUCAI en todo el país” (INCUCAI, 2017a). Estos centros de salud realizan trasplantes de corazón, pulmón (uni y bilateral), bloque cardiopulmonar, hígado, riñón, páncreas, intestino y trasplantes combinados de más de un órgano, renopancreático, hepatorenal, cardiorrenal, hepatointestinal, cardiopulmonar y cardiohepático. Además, también es posible llevar a cabo trasplantes de los siguientes tejidos: huesos, válvulas cardíacas, córneas y células progenitoras hematopoyéticas.

En el período comprendido entre los años 2000 y 2016 la actividad de trasplante de órganos experimentó un incremento de 22 puntos porcentuales. En 2016 se realizaron 1.694 trasplantes, representado el trasplante renal el 44% de los mismos, guarismo que se observa en la última década. Alrededor, del 38% de los pacientes que recibieron un órgano residen en la provincia de Buenos Aires, en tanto que en las provincias de Córdoba, Santa Fe y CABA habita el 32% de los receptores de órganos. La evolución de la actividad de trasplante fue posible porque la tasa de donación de órganos creció año a año pasando de 6,99 PHM<sup>38</sup> en 2000 a 11,81 PHM en 2016. En ese mismo año la tasa de donación de órganos registrada en la Provincia de Buenos Aires fue levemente inferior (9,68 PHM). En lo que respecta a la distribución por edad de los donantes la misma no presenta modificaciones a lo largo del periodo analizado, siendo la mayoría de los donantes de género masculino (INCUCAI, 2017b).

#### **4. El proceso de procuración, ablación y trasplante<sup>39</sup>**

En esta sección se describen los pasos operativos del proceso de procuración de órganos vigentes en Argentina. Dado que el interés del modelo a desarrollar es la localización óptima de los centros de trasplante, se hace particular énfasis en aquellas fases del proceso que involucran flujos de personas, órganos y muestras de laboratorios entre distintas

---

<sup>38</sup> Por millón de habitantes.

<sup>39</sup> Esta sección se realizó en base a INCUCAI (2017a).

localizaciones. Asimismo, se destacan las particularidades del proceso de ablación y trasplante de riñones, que es el caso que será modelizado.

Los órganos para trasplante se obtienen de dos formas, por un lado existen donantes cadavéricos y, por otro donantes vivos. Esta última posibilidad, en la legislación argentina está contemplada solo entre familiares (hasta cuarto grado de consanguinidad) y para el caso de riñón e hígado. En el caso de los donantes cadavéricos, los potenciales donantes de órganos y tejidos son aquellos pacientes neurocríticos que fallecen en unidades de cuidados intensivos con ventilación mecánica, en situación de muerte encefálica. Los pacientes que fallecen fuera de terapia intensiva en situación de parada cardíaca son potenciales donantes de tejidos.

La Ley N° 26.066 establece que cuando el médico de una unidad de terapia intensiva de cualquier establecimiento de salud del país comprueba signos clínicos de muerte encefálica en un paciente, está obligado a comunicarlo al INCUCAI o a los Organismos Provinciales de Ablación e Implante. Luego, los equipos de procuración comienzan la evaluación clínica del posible donante, constatan nuevamente la muerte encefálica y evalúan la viabilidad de los órganos para trasplante. Al mismo tiempo, se mantiene una entrevista con los familiares para comunicar la situación y obtener su consentimiento respecto de la donación de órganos.

En este sentido pueden darse tres situaciones:

- a. Si la persona fallecida manifestó su voluntad de ser donante de órganos y tejidos, se solicita el último consentimiento a la familia antes de proceder a la ablación.
- b. Si la persona no expresó su deseo de ser donante, como se mencionó anteriormente, se presume que es donante pero se solicita testimonio a la familia sobre la última voluntad del fallecido.
- c. Si manifestó su voluntad de no ser donante de órganos y tejidos, se comunica a la familia quienes pueden oponerse a la voluntad de la decisión de la persona fallecida suspendiéndose el proceso.

En paralelo con la comunicación a la familia y la búsqueda del consentimiento para la donación, comienza el proceso de búsqueda de posibles receptores y distribución. El primer paso consiste en la realización de exámenes de laboratorio (en establecimientos habilitados por el INCUCAI) que incluyen la tipificación del donante a través del análisis de

histocompatibilidad (HLA) -estudio que determina las moléculas presentes en las células del organismo que intervienen en los procesos de rechazo de órganos trasplantados. En el caso de trasplantes de riñones en la Provincia de Buenos Aires, solo dos laboratorios públicos, ubicados en la ciudad de la Plata y en Gral San Martín, están habilitados para realizar estos estudios.

El objetivo de la distribución consiste en encontrar los receptores más adecuados inscriptos en lista de espera, para que sean trasplantados. Por este motivo, en cada operativo de procuración, el INCUCAI, a través de su sistema informático SINTRA (Sistema Nacional de Información de Procuración y Trasplante de la República Argentina), genera una lista de posibles receptores estableciendo un orden por sumatoria de puntos (score) para lo que se tienen en cuenta ciertos criterios de distribución. Estos criterios están regulados por resoluciones específicas para cada órgano y/o tejido. Existen *criterios Bioéticos*, que aseguran la accesibilidad y transparencia, garantizando la igualdad de oportunidades y la equidad distributiva entre todas las personas inscriptas en lista de espera. Los *criterios Médicos* contemplan la situación clínica del paciente y la compatibilidad entre donante y receptor. En el caso del riñón, uno de los elementos a considerar es la antigüedad en diálisis. Y el *criterio de Regionalidad*, tiene como objetivo acortar los tiempos de isquemia y establecer equilibrio distributivo entre los pacientes de todo el país. Sin embargo, en todos los casos, el grado de compatibilidad entre donante y receptor es el factor más importante al momento de establecer el orden.

El proceso de distribución se inicia buscando receptores compatibles en la provincia donde se lleva a cabo el operativo, de no hallarlos, se procede a distribuirlo en la región y si en esta instancia tampoco se encontraron receptores, el órgano se distribuye a nivel nacional.

En base a las listas de posibles receptores, se contacta a los equipos a cargo de los mismos y se informa las características del donante: edad, sexo, causa de muerte, grupo sanguíneo, antropometría<sup>40</sup>, antecedentes patológicos, estado hemodinámico y valores de laboratorio. Dada esta información, el equipo de trasplante de cada órgano evalúa si el donante es apto para el paciente que ha quedado primero en la lista y puede aceptarlo o rechazarlo. Si lo

---

<sup>40</sup> Talla, peso, perímetro abdominal a nivel umbilical, perímetro torácico, largo esternal, distancia entre las crestas iliacas, distancia xifopubiana y distancia abdominal anteroposterior.

rechaza, debe aclarar el alcance -para ese potencial receptor o para todos los receptores de la lista que se encuentren inscriptos por el equipo- y el motivo -si es a causa del receptor o del donante-. En caso de que sea rechazado para el primer paciente de la lista, el órgano se ofrece al equipo de trasplante del siguiente potencial receptor de acuerdo al orden de prioridades y así sucesivamente hasta que sea aceptado por alguno de ellos o hasta agotar la lista.

Una excepción a los criterios de asignación de órganos mencionados es la existencia de pacientes que, por la gravedad de su cuadro clínico, son incluidos en la lista de urgencia o emergencia nacional de trasplantes. En este caso, reciben prioridad en la asignación del órgano independientemente de su lugar de residencia. Cabe destacar la lista de espera para trasplante renal no contempla estas categorías.

En caso de aceptarlo, los centros de trasplante preparan a sus pacientes para la intervención quirúrgica y a su vez, se acuerda el momento de ablación de los órganos entre todos los equipos de trasplantes para todos los órganos, ya que según las técnicas quirúrgicas correspondientes se retiran en un orden determinado. La ablación es la intervención quirúrgica que permite la extracción de los órganos en el quirófano del hospital donde ocurrió el deceso. Para esto se tienen en cuenta los aspectos logísticos relativos a la disponibilidad de medios de transporte (ya sean regulares o *charters*) entre la localización del donante y el receptor.

En el caso de los riñones, al igual que para los otros órganos, los profesionales pueden aceptarlos o no. Si asienten, deben enviar a los potenciales receptores al laboratorio de histocompatibilidad a realizarse un “*cross match*” contra donante, estudio pre-trasplante que enfrenta linfocitos del donante con suero del potencial receptor y determina si el trasplante puede realizarse. Para esta prueba se cita a varios pacientes, debido a los posibles resultados que contraindiquen el trasplante. Los riñones se asignan a los dos primeros pacientes con resultado negativo. Un *cross-match* negativo indica que el receptor no posee anticuerpos contra los antígenos de histocompatibilidad del donante y que por lo tanto el trasplante puede ser efectuado.

Una vez que los riñones son aceptados por el equipo de trasplante, la ablación la practica el equipo encargado del proceso de procuración perteneciente al organismo jurisdiccional correspondiente, mientras que en el resto de los órganos la ablación la realiza el mismo

equipo que habrá de implantar el órgano, para lo cual deben trasladarse hasta la localidad donde surgió el donante.

Finalmente, los equipos médicos de los centros de trasplante implantan el órgano al receptor, en una intervención que puede durar entre 2 y 5 horas.

La duración completa del operativo de procuración de órganos es variable, extendiéndose por lo general entre 18 y 20 horas, aunque en ocasiones el proceso puede durar hasta 50 horas.

Las figuras 4.1 y 4.2 representan en forma gráfica y conceptual (en un caso simplificado con un número pequeño de centros involucrados) el proceso de procuración de órganos en Argentina para el caso del corazón, pulmón, hígado, intestino y páncreas (Figura 4.1) y el caso del riñón (Figura 4.2) respectivamente, cuyos pasos se resumen a continuación:

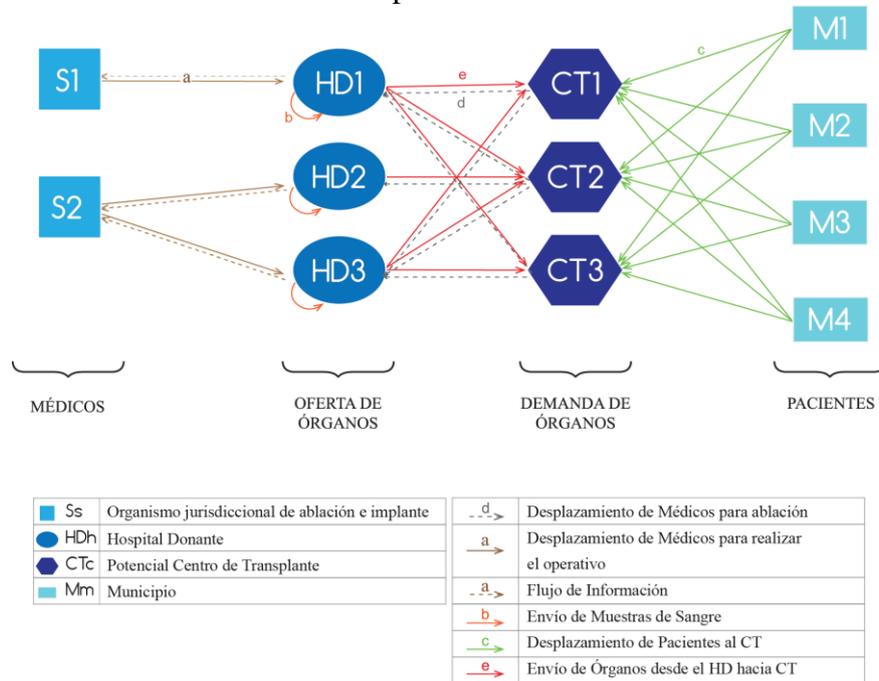
- a. El Hospital donante (HD) notifica la existencia de un donante potencial al Equipo de Procuración del organismo Jurisdiccional<sup>41</sup> de ablación e implante o al INCUCAI. El equipo de procuración se traslada con insumos y equipos desde la sede del organismo de procuración hasta el HD.
- b. En el mismo HD se realizan los estudios tendientes a determinar la viabilidad de los órganos y a identificar los potenciales receptores entre los inscriptos en la lista de espera, utilizando el sistema informático SINTRA del INCUCAI. En el caso del riñón, el procedimiento es diferente ya que se envía una muestra de sangre al laboratorio de análisis clínico indicado por el INCUCAI.
- c. Certificada la muerte del donante y con la conformidad de la familia, se contacta al centro de trasplante (CT) del potencial receptor seleccionado. Si el equipo médico acepta el órgano, el CT donde se realizará la intervención organiza el traslado del personal encargado de la ablación hacia el HD. Al mismo tiempo, se comunica al paciente seleccionado que debe emprender viaje hacia el CT.
- d. El equipo de ablación parte desde el CT y se traslada hacia el HD para efectuar la extracción del órgano. En el caso del riñón, la ablación del órgano la realiza el mismo equipo de procuración que ya se movilizó al HD en a).

---

<sup>41</sup> Como se mencionó anteriormente, cada provincia (jurisdicción) cuenta con un organismo responsable de las tareas de coordinación del proceso de procuración, ablación y trasplante dentro de sus respectivos territorios.

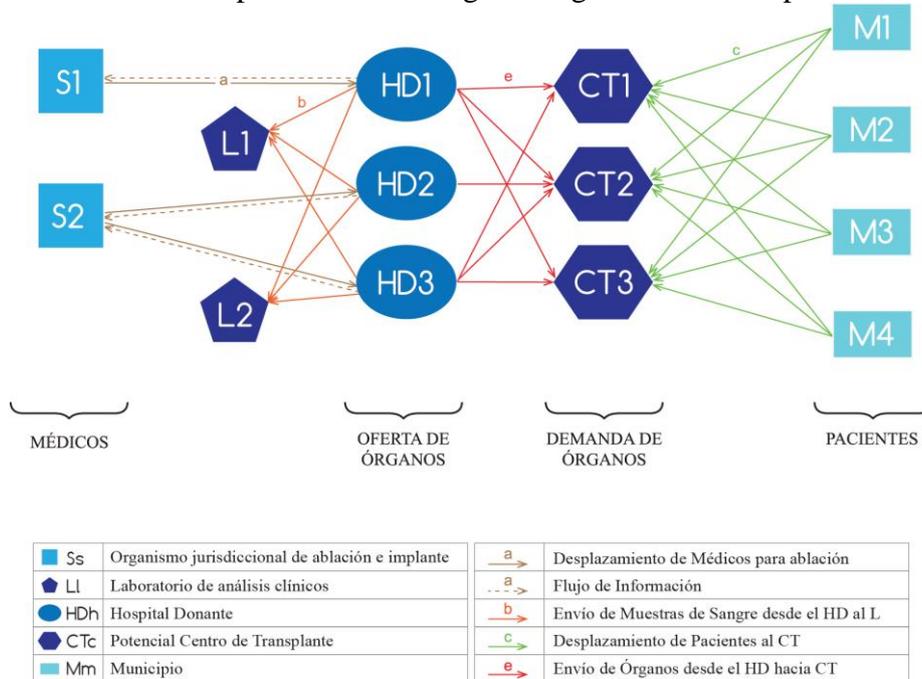
- e. Luego de la ablación, el equipo se dirige hacia el CT donde se llevará a cabo el implante.

Figura 4.1. Proceso de procuración argentino de corazón, pulmón, hígado, intestino y páncreas



Fuente: elaboración propia en base a INCUCAI (2016)

Figura 4.2. Proceso de procuración de órganos argentino. Caso específico de riñón



Fuente: elaboración propia en base a INCUCAI (2016)

## 5. Supuestos y planteo general del modelo

La elección del modelo desarrollado por Bèlien et al (2013) como base para el desarrollado en este capítulo estuvo motivada por su carácter pionero, dada la ausencia de trabajos anteriores que estudien exhaustivamente la ubicación óptima de centros de trasplantes<sup>42</sup>. El objetivo básico que se plantean Bèlien et al es determinar dicha ubicación de forma de minimizar los tiempos insumidos en el operativo de procuración. Su modelo determina la localización de los centros cuando, a partir de una lista de ubicaciones posibles, determina el estado de "abierto" o "cerrado" de cada uno.

A continuación se exponen el planteo general y los principales supuestos del modelo de Bèlien et al (2013), detallando también las modificaciones introducidas para adaptarlo al caso de los trasplantes renales en la Provincia de Buenos Aires.

Optimizar la localización de los centros de trasplantes requiere estimar los flujos i) de médicos, desde el organismo jurisdiccional al HD (para efectuar la ablación), ii) de muestras de sangre, desde el HD al laboratorio de análisis clínicos y iii) del órgano desde el HD al CT.

Todo trasplante involucra un donante (oferente de órganos) y un receptor (demandante de órganos). En el marco del modelo, la demanda de órganos de un país o región es la suma de todas las intervenciones realizadas en los centros de trasplante en un año. Asumiendo la ausencia de donantes o receptores situados en el extranjero, tal demanda necesariamente iguala a la oferta agregada de órganos, de los hospitales donantes.

El modelo asume que la oferta de órganos de cada HD así como la demanda de los CT es relativamente estable en el tiempo. De otra forma, las localizaciones óptimas de los centros de trasplantes cambiarían de año a año.

El modelo requiere como dato básico la demanda de órganos de cada centro de trasplante candidato. Sobre esta base, se estima la oferta anual de órganos de cada uno de los hospitales donantes. Dado que el número de camas de un hospital donante da cuenta de la población cubierta, se considera a este indicador como una variable correlacionada (*proxy*) con el

---

<sup>42</sup> Si bien existen trabajos previos en la literatura, estudian cuestiones relacionadas con la asignación de los órganos y la conformación de los organismos jurisdiccionales de procuración de órganos (OPOs), no abordando en forma prioritaria la localización de los centros de trasplantes.

número potencial de donantes que un HD  $h$  podría registrarse anualmente. Por lo tanto, la oferta de cada HD  $h$ , es calculada multiplicando la demanda anual de órganos por la participación de HD  $h$  en el total de camas de todos los posibles hospitales donantes. La tabla 4.1 ejemplifica el cálculo de la oferta de órganos cuando existen 3 HD y 2 CT, siendo la demanda de cada CT 40 y 60 órganos respectivamente y la demanda agregada igual a 100 órganos (Bélien et al, 2013).

Tabla 4.1. Estimación de la oferta anual de órganos de cada hospital donante  $h$

Hospital donante	Camas disponibles	Oferta de órganos
<b>Hospital Donante 1</b>	120	$(60 + 40) \frac{120}{120 + 60 + 20} = 60$
<b>Hospital Donante 2</b>	60	$(60 + 40) \frac{60}{120 + 60 + 20} = 30$
<b>Hospital Donante 3</b>	20	$(60 + 40) \frac{20}{120 + 60 + 20} = 10$

Fuente: Bélien et al (2013)

Tabla 4.2. Cálculo de los flujos entre los HD y los CT

Oferta de órganos	Demanda del Centro de trasplantes 1 = 40 órganos	Demanda del Centro de trasplantes 2 = 60 órganos
<b>Hospital Donante 1: 60 órganos</b>	$60 \frac{40}{100} = 24$	$60 \frac{60}{100} = 36$
<b>Hospital Donante 2: 30 órganos</b>	$30 \frac{40}{100} = 12$	$30 \frac{60}{100} = 18$
<b>Hospital Donante 3: 10 órganos</b>	$10 \frac{40}{100} = 4$	$10 \frac{60}{100} = 6$

Fuente: Bélien et al (2013)

Una vez conocidos el número de órganos ofrecidos por cada hospital donante y la demanda de los CT, el flujo de órganos entre cada HD y cada CT se estima aplicando la siguiente regla general: el flujo de órganos desde un HD  $h$  a un CT  $c$  será el producto entre el total de órganos del cual dispone el HD  $h$  y el porcentaje que representa la demanda del CT  $c$  en la demanda agregada. La tabla 4.2 ilustra el cálculo de los flujos de órganos cuando los tiempos de transporte entre los HD y los CT no superan los de isquemia fría.

Si el modelo decide cerrar un centro de trasplante, su demanda debe ser procesada por otro centro. El criterio básico implementado en el modelo es desplazar (reasignar) la demanda del

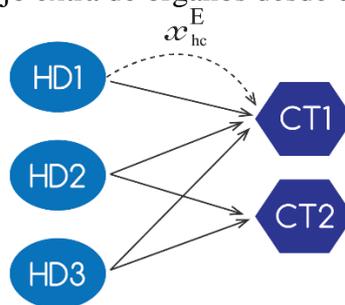
centro cerrado al centro abierto más cercano. Siguiendo con el ejemplo de la tabla anterior, la tabla 4.3 ilustra el caso en el cual se decide la no apertura del CT 2 y su demanda de órganos es desplazada al CT 1.

Tabla 4.3. Cálculo de los flujos entre HD y CT cuando la demanda del CT 2 se traslada al CT 1

Oferta de órganos	Demanda del Centro de Trasplantes 1 = 40 + 60 órganos	Demanda del Centro de trasplantes 2 = 60 órganos
Hospital Donante 1: 60 órganos	$60 \frac{(40 + 60)}{100} = 60$	0 ←
Hospital Donante 2: 30 órganos	$30 \frac{(40 + 60)}{100} = 30$	0
Hospital Donante 3: 10 órganos	$10 \frac{(40 + 60)}{100} = 10$	0

Fuente: Bélien et al (2013)

Figura 4.3. Flujo extra de órganos desde el HD 1 al CT 1.



Fuente: Bélien et al (2013)

Por último, si el tiempo de transporte del órgano entre un determinado HD y un CT supera el tiempo de isquemia fría, se exigirá al modelo que ese flujo específico de órganos sea reasignado al CT más cercano al HD, generando un flujo extra de órganos. En la figura 4.3 se ilustra este flujo extra, asumiendo que el HD 1 se encuentra a un tiempo de viaje del CT 2 que supera al tiempo de isquemia fría, por lo que el flujo de órganos desde el HD 1 que habría tenido como destino el CT 2 se reasigna al CT 1. Estos flujos extra afectan la demanda real de cada CT tal como se ejemplifica en la tabla 4.4, donde a la demanda del CT 1 (originalmente de 60 órganos) se suman los 24 órganos provenientes del HD 1 que no pueden ser destinados al CT 2.)

Tabla 4.4. Cálculo de los flujos entre HD y CT cuando el tiempo de viaje entre el HD 1 y el CT 1 supera al de isquemia fría (se genera un flujo extra al CT más cercano)

Oferta de órganos	Demanda del Centro de Trasplantes 1 = 60+24=86 órganos	Demanda del Centro de Trasplantes 2 = 40-24 =16 órganos
<b>Hospital Donante 1: 60 órganos</b>	36+24=60	24-24=0
<b>Hospital Donante 2: 30 órganos</b>	18	12
<b>Hospital Donante 3: 10 órganos</b>	6	4

Fuente: Bélien et al (2013)

Por último, también se produce el correspondiente flujo de pacientes desde su municipio de residencia al CT.

### 5.1 Descripción del modelo

#### *Definición de conjuntos e índices*

$c, c', r \in C$ : centros de trasplante.

$h, h' \in H$ : hospitales donantes.

$m \in M$ : municipalidades.

$s \in S$ : sedes administrativas de los organismos jurisdiccionales de procuración de órganos.

$l \in L$ : laboratorios de análisis clínicos.

#### *Variables de decisión*

$y_c \in \{0,1\}$ : variable binaria que toma valor 1 si el centro  $c$  está abierto y 0 si está cerrado.

$x_{hc}^R$ : flujo de órganos del hospital donante  $h$  al centro de trasplante receptor  $c$ .

$x_{hc}^E$ : flujo extra de órganos desde el hospital donante  $h$  al centro de trasplante receptor  $c$ . Toma valor positivo cuando el hospital donante  $h$  se encuentra situado a un tiempo de viaje mayor al de isquemia en relación a algún CRT abierto.

$d_{cc}$ : demanda de órganos desplazada desde  $c$  a  $c'$ . Toma valor positivo cuando el centro  $c$  no está abierto.

$x_{sh}^D$ : flujo de médicos para la coordinación del operativo de procuración desde el organismo jurisdiccional de ablación e implante  $s$  al hospital donante  $h$

$x_{hl}^D$ : flujo de muestras de sangre desde el hospital donante  $h$  al laboratorio de análisis clínico  $l$ .

### Parámetros

$d_{rc}$ : tiempo de viaje entre los centros de trasplante  $r$  y  $c$ .

$t_{mc}^M$ : tiempo de viaje desde la municipalidad  $m$  al centro  $c$ .

$t_{hc}^T$ : tiempo de traslado de las muestras de órganos desde el hospital donante  $h$  hasta el centro receptor  $c$ .

$D_c$ : Demanda de órganos del centro de trasplante  $c$ .

$S_h$ : Oferta de órganos del hospital donante  $h$ .

$I$ : Tiempo de isquemia fría del órgano.

$T$ : Máximo tiempo de viaje permitido entre cualquier municipio y un centro de trasplante abierto

$a_{hs}^S$ : toma valor 1 si el hospital donante  $h$  pertenece a la órbita administrativa del organismo de procuración y trasplante  $s$ ; y 0 si  $h$  pertenece a otra jurisdicción. Cada hospital donante reporta a un único organismo de procuración y trasplante.

$t_{sh}^S$ : tiempo de viaje entre el hospital donante  $h$  y el organismo jurisdiccional de ablación e implante  $s$ .

$t_{hl}^S$ : tiempo de viaje de las muestras de sangre desde el hospital donante  $h$  hasta el laboratorio de análisis clínico  $l$ .

$CMx_c^T$ : cantidad de trasplantes que puede realizar un centro de trasplantes  $c$  por año.

$B$ : Presupuesto disponible.

En base a la notación anterior, el problema se plantea como se indica:

$$\min \sum_{h \in H} \sum_{s \in S} (t_{sh}^S x_{sh}^D) + \sum_{h \in H} \sum_{l \in L} (t_{hl}^T x_{hl}^D) + \sum_{h \in H} \sum_{c \in C} (t_{hc}^T x_{hc}^R) \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{h \in H} \sum_{c \in C} x_{hc}^R = \sum_{c \in C} D_c \quad (2)$$

$$x_{hc}^R = \left( \frac{D_c y_c + \sum_{c' \in C} d_{c'c}}{\sum_{c' \in C} D_{c'}} \right) S_h + x_{hc}^E \quad \forall h \in H, c \in C \mid t_{hc}^T \leq I \quad (3)$$

$$x_{hc}^R = 0 \quad \forall h \in H, c \in C \mid t_{hc}^T > I \quad (4)$$

$$d_{c'c} \geq (y_c - y_{c'} - \sum_{r \in C \mid d_{rc} < d_{c'c}} y_r) D_{c'} \quad \forall c \in C, c' \in C \quad (5)$$

$$x_{hs}^D = a_{hs}^S S_h \quad \forall h \in H, s \in S \quad (6)$$

$$\sum_{l \in L} x_{hl}^D = S_h \forall h \in H \quad (7)$$

$$\sum_{c \in C} x_{hc}^R = S_h \forall h \in H \quad (8)$$

$$x_{hc}^R \leq S_h y_c \forall h \in H, c \in C \quad (9)$$

$$x_{hc}^E \leq S_h y_c \forall h \in H, c \in C \quad (10)$$

$$\sum_{c \in C | t_{mc}^M \leq T} y_c \geq 1 \forall m \in M \quad (11)$$

$$\sum_{h \in H} x_{hc}^R \leq CM x_c^T \forall c \in C \quad (12)$$

$$\sum_{c \in C} k y_c \leq B \quad (13)$$

$$y_c \in \{0,1\} \quad (14)$$

$$x_{hc}^R \geq 0; x_{hc}^E \geq 0; x_{hc}^D \geq 0; d_{c'c} \geq 0 \forall h \in H, c \in C, c' \in C \quad (15)$$

La función objetivo (1) es la minimización de la suma de tiempos involucrados en el proceso completo de procuración y trasplante, de modo que contabiliza los tiempos insumidos en trasladar: i) al coordinador de procuración trasplante y su equipo desde el organismo jurisdiccional de procuración hasta el hospital donante (primer término); ii) las muestras de sangre desde el HD  $h$  al laboratorio de análisis clínico  $l$  (segundo término) y iii) el tiempo requerido para trasladar los órganos desde los HD hasta los CT (tercer término).

La Ec. (2) asegura que la suma de todos los flujos de órganos desde los hospitales donantes a los centros de trasplante sea igual a la demanda agregada de los centros de trasplantes (no quedan órganos sin asignar).

La Ec. (3) regula el flujo de órganos entre un hospital donante  $h$  y un centro de trasplante  $c$  cuando el tiempo de viaje entre ambos es menor que el tiempo de isquemia. En tal situación, el valor de dicho flujo es igual a la suma de: i) el producto de la oferta de órganos del HD  $h$  y el porcentaje de la demanda total de órganos que representa la demanda del CT  $c$  (incluyendo la demanda desplazada a  $c$  desde algún centro cerrado, en caso que la hubiese), y ii) el flujo extra desde el (o los) hospital(es) donante(s)  $c'$  a  $c$  (en caso que el modelo decida cerrar  $c$ ).

La Ec. (4) impone que sea cero el flujo de órganos desde el hospital donante  $h$  al centro de trasplante receptor  $c$  si el tiempo de traslado entre ambos supera al de isquemia fría del órgano.

La Ec. (5) establece que la demanda del CT  $c'$  se desplaza al CT  $c$  si: i) El centro  $c$  está abierto y  $c'$  no lo está (con lo cual  $y_c - y_{c'} = 1$ ) y ii) no hay otro centro abierto  $r$  más cercano al centro  $c'$  que  $c$  (con lo cual  $\sum_{r \in C | d_{rc} < d_{c'c}} y_r = 0$ ).

Dado que cada órgano disponible genera un flujo de médicos entre los organismos jurisdiccionales de procuración y trasplante y los HD, la Ec. (6) requiere que para todo hospital donante, la suma de los flujos entre dicho hospital y los organismos jurisdiccionales  $s$  sea igual a la oferta de órganos en el hospital donante  $h$ . En forma análoga, debido a que todo donante genera un flujo de muestras de sangre entre el HD y el laboratorio de análisis clínicos  $l$ , la Ec. (7) impone que para cada HD la suma de dichos flujos debe ser igual a su oferta de órganos. Por último, dado que todo órgano disponible debe ser asignado a algún HD, la Ec. (8) asegura que la suma de los flujos de órganos entre cualquier hospital donante  $h$  y todos los centros receptores  $c$  sea igual a la oferta de órganos en el hospital donante  $h$ .

La Ec. (9) define que solo puede existir un flujo de órganos positivo entre un hospital donante  $h$  y un centro de trasplante receptor  $c$  si dicho centro está abierto.

La Ec. (10) asegura que solo puede existir un flujo extra positivo entre un HD y un CT si éste último está abierto.

La Ec. (11) asegura, para cada municipio  $m$ , la existencia de al menos un CT abierto situado a un tiempo de viaje desde  $m$  inferior al límite prefijado de  $T$  horas.

La Ec. (12) asegura que cada CT solo realiza una cantidad de trasplantes menor a su capacidad máxima operativa.

La Ec. (13) establece que el costo operativo anual de todos los centros de trasplante abiertos no puede superar el presupuesto anual asignado.

Por último la Ec. (14) define a  $y_c$  como variable binaria y la (15) impide que las variables de decisión tomen valores negativos.

## 5.2 Definición de conjuntos y valores de los parámetros en el caso base

En este apartado se explica cómo se elaboraron los datos utilizados para la implementación del modelo y los valores utilizados en el caso base. A tal fin, se sigue la estructura de los índices, conjuntos y parámetros detallado en la sección anterior.

Dado que en 2015 más del 80% de los órganos procurados procedieron de establecimientos sanitarios de dependencia pública<sup>43</sup>, se asume que el conjunto de hospitales donantes ( $H$ ) está compuesto por todos los hospitales de la Provincia de Buenos Aires de dependencia pública (tanto nacional<sup>44</sup>, provincial como municipal) con una unidad de cuidados críticos (condición indispensable para poder convertirse en un hospital donante). Estos mismos hospitales donantes se consideran a su vez como ubicaciones de potenciales centros de trasplante (conjunto  $C$ ). La información de los hospitales fue provista por la Dirección de Información Sistematizada del Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires y corresponden al año 2009. En el caso de que en una misma localidad existieran varios establecimientos que pudieran actuar como hospitales donantes, a los fines prácticos del cálculo de la oferta de cada HD se los incluyó como un único establecimiento con una cantidad de camas equivalente a la suma de todos ellos. De esta manera el conjunto de hospitales donantes  $h$  y potenciales centros de trasplantes  $c$  está compuesto por 71 establecimientos (Tabla A 4.2).

Para simplificar el análisis, se asume que el conjunto de los pacientes que se encuentran en lista de espera para recibir un riñón tienen como lugar de residencia los partidos de la Provincia de Buenos Aires que en el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas del año 2010 registraron una población superior a 25.000 personas (INDEC, 2016). Este listado incluye a 78 de los 135 distritos que conforman la provincia, y nuclea al 95% de la población de la misma (Tabla A4.2). A su vez, a los efectos de calcular el tiempo de viaje entre las municipalidades y los centros de trasplante se considera que los pacientes receptores residen en la localidad cabecera de cada partido, dada la inexistencia de información estadística relativa a la distribución de la población por localidades en algunos partidos.

En la Provincia de Buenos Aires existe una única sede jurisdiccional de Ablación e Implante, el CUCAIBA, localizada en de ciudad de La Plata. Adicionalmente, existen tres equipos de

---

<sup>43</sup> INCUCAI, 2017b

<sup>44</sup> Excluyendo los establecimientos dependientes de las Fuerzas Armadas, los materno-infantil, infantiles, especializados en alguna subdisciplina médica o ubicados en localidades pequeñas (menos de 25.000 habitantes)

Coordinación Regional del Proceso de Procuración, con sede en las ciudades de Bahía Blanca, Mar del Plata y Junín, los cuales actúan en el proceso de procuración y ablación como los equipos que se trasladan desde la sede administrativas hasta el HD. Sin embargo, los equipos regionales de procuración solo atienden los casos que se presentan en la Región Sanitaria<sup>45</sup> a la cual pertenecen, mientras que en el resto de los casos los equipos parten de la ciudad de La Plata.

La demanda de órganos (parámetro  $D_c$ ) se calculó a partir de multiplicar la tasa de prevalencia de personas en lista de espera de trasplante de riñón en el año 2016 (provista por el SINTRA) por la población del partido donde se encuentra ubicado el potencial centro de trasplante. Dicha tasa asciende a 244 pacientes PMH. En el caso de localidades que no cuenten con un potencial centro de trasplantes  $c$ , su demanda se asignó al potencial centro de trasplantes más cercano. Mientras que en el caso de localidades donde existe más de un potencial centro de trasplante, se supuso que la demanda se distribuye uniformemente entre los establecimientos disponibles.

La oferta de órganos (parámetro  $S_h$ ) fue estimada a partir de la información del número de camas provista por la Dirección de Información Sistemática del Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires, siguiendo los pasos detallados en la sección anterior. En el caso de que existiera más de un hospital donante por localidad, se agruparon todas las camas en un único establecimiento

Los tiempos de traslado ( $d_{rc}$ ,  $t_{mc}^M$ ,  $t_{hc}^T$ ,  $t_{hs}^S$ ,  $t_{hl}^S$ ) fueron calculados utilizando Google Maps, suponiendo que todos los traslados se realizan en automóvil y se encuentran expresados en minutos.

---

<sup>45</sup> Las regiones sanitarias son estructuras técnico-administrativas que dependen del Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires y actúan localmente en sus territorios. Su propósito fundamental es coordinar y articular los establecimientos asistenciales con todos sus recursos humanos y tecnológicos en una Red Asistencial. Entre otras actividades, sus funciones comprenden la difusión de las políticas y acciones del Ministerio de Salud y la recepción de los problemas e inquietudes de las comunidades a través de los Secretarios de Salud y sus organizaciones Sociales. Mar del Plata pertenece a la Región Sanitaria VIII junto con los partidos de Ayacucho, Balcarce, General Alvarado, General Guido, General Lavalle, General Madariaga, Lobería, Maipú, Mar Chiquita, Necochea, Pinamar, San Cayetano, Tandil, Villa Gesell y Partido de La Costa. Junín está incluida en la Región Sanitaria III junto con los partidos de Chacabuco, Florentino Ameghino, General Arenales, General Pinto, General Viamonte, Leandro N. Alem y Lincoln. Bahía Blanca pertenece a la Región Sanitaria I junto con los partidos Adolfo Alsina, Adolfo González Chávez, Coronel Rosales, Coronel Dorrego, Coronel Pringles, Coronel Suárez, Guaminí, Monte Hermoso, Patagones, Puán, Saavedra, Tornquist, Tres Arroyos y Villarino.

El parámetro  $T$ , máximo tiempo de viaje entre una localidad y un centro de trasplantes abierto para considerar que la localidad está cubierta, toma valor 176 minutos.

El costo operativo de un centro de trasplante (parámetro  $k$ ) se desconoce, por lo que se supuso igual para todos los centros de trasplantes (igual a 1 u.m.). En el escenario base el monto del presupuesto disponible es de 71 UM, con lo cual inicialmente sería factible abrir todos los potenciales centros de trasplante sin saturar la restricción presupuestaria establecida en la Ec. (11).

La cantidad de trasplantes que puede realizar un centro de trasplantes  $c$  por año (Parámetro  $CMx_c^T$ ) se estableció en el escenario base en 330 trasplantes, considerando que se realiza uno por día y que los profesionales cuentan con 35 días de vacaciones.

El tiempo de isquemia (Parámetro  $I$ ) para el caso del riñón asciende a 30hs, sin embargo, dado que menores tiempos redundan en mayor probabilidad de éxito del trasplante (entre otros factores) se adoptó un valor de 15hs. De todas maneras, dadas las distancias de la provincia de Buenos Aires, este parámetro no representa una limitante en el proceso.

### 5.3 Escenarios

Además del análisis de la solución en el caso base, se realizará un análisis de sensibilidad para estudiar el impacto sobre la solución de cambios en 3 parámetros del modelo: la restricción presupuestaria, la capacidad máxima de atención de cada centro y la demanda total de trasplantes. Con este fin se elaboran 8 escenarios alternativos (tabla 4.5) que se suman al caso base.

Tabla 4.5. Caso Base y Escenarios propuestos

	<b>Descripción</b>	<b>Restricción Presupuestaria (Parámetro <math>B</math>)</b>	<b>Capacidad Máxima de atención (Parámetro <math>CMx_c^T</math>)</b>	<b>Demanda total de trasplantes</b>
<b>Caso base</b>	SRP / CMX330 / DTA	71	330	3.523
<b>Escenario 1</b>	CRP 25 / CMX 330 / DTA	20	330	3.523
<b>Escenario 2</b>	CRP 15 / CMX 330 / DTA	15	330	3.523
<b>Escenario 3</b>	CRP 15/ CMX 660 / DTA	15	660	3.253
<b>Escenario 4</b>	CRP 15/ CMX 990 / DTA	15	990	3.523
<b>Escenario 5</b>	CRP 15 / CMX330 / DTB	15	330	1.762
<b>Escenario 6</b>	CRP 15 / CMX660 / DTB	15	660	1.762
<b>Escenario 7</b>	CRP 15 / CMX990 / DTB	15	990	1.762
<b>Escenario 8</b>	CRP 10 / CMX 330 / DTB	10	330	1.762

**Referencias:** SRP: sin restricción presupuestaria; CRP “z”: con restricción presupuestaria de “z” u.m; CMX “z”: Capacidad máxima de atención de “z” trasplantes anuales; DTA: Demanda de trasplantes alta (3523 órganos); DTB: Demanda de trasplantes baja (1762 órganos).

En primer lugar se restringe el presupuesto disponible: se supone que el mismo asciende a 20 u.m (escenario 1), 15 u.m. (escenarios 2 a 7) y 10 u.m (escenario 8). Un valor más bajo para este parámetro en conjunto con el valor de la demanda de trasplantes estimado y el valor establecido para la cantidad máxima de trasplantes que puede realizar cada centro de trasplante  $c$  torna el problema no factible.

Luego, manteniendo la restricción presupuestaria en 15 u.m, se amplía la cantidad máxima de trasplantes que puede realizar cada centro de trasplantes abierto (Parámetro  $CMx_c^T$ ). En particular se supone que dicha capacidad se duplica (escenario 3) y triplica (escenario 4).

Por otro lado, debido a que desde el Estado se están llevando a cabo actividades tendientes a disminuir la prevalencia de enfermedades renales que redundaría en una menor demanda de trasplantes, en los escenarios 5 a 7 se supone que la demanda disminuye en un 50%, siendo la capacidad máxima de atención de 330 trasplantes por año (escenario 5), 660 trasplantes por

año (escenario 6) y 990 trasplantes por año (escenario 7). Asimismo, en estos tres escenarios se asume que el presupuesto disponible asciende a 15 u.m.

Por último, en el escenario 8 se asume una demanda de trasplantes baja, una capacidad máxima de atención también baja y un presupuesto reducido (de 10 u.m)

Considerando que hoy en la provincia de Buenos Aires funcionan cuatro centros de trasplantes de dependencia pública<sup>46</sup>, tanto el caso base como cada uno de los ocho escenarios propuestos será resuelto asumiendo alternativamente i) que se respeta la ubicación de los centros de trasplante actualmente en funcionamiento, es decir, que en caso de ser necesario la apertura de nuevos centros se trataría de una ampliación de la red actual, ii) sin respetar dicha ubicación, pudiendo el modelo elegir libremente la localización de los centros.

#### 5.4 Resultados

El modelo se resolvió utilizando el *software* GAMS con el *solver* CPLEX, ejecutado en una computadora con procesador core i5 (4° generación) de 3,1 GHz y 16 GB de memoria DDR3. La solución obtenida presenta un GAP relativo promedio nulo. Los tiempos de CPU insumidos fueron muy variados<sup>47</sup>, siendo el valor máximo 5.130 segundos.

El modelo está compuesto por 15.771 ecuaciones: 5.468 son de igualdad, 5.119 desigualdades de mayor o igual y las restantes 5.184 desigualdades de menor o igual. A su vez está definido por 15.478 variables: 71 binarias y las restantes 15.407 continuas.

La tabla 4.6 resume la cantidad de centros abiertos y el valor de la función objetivo en el caso base y en cada uno de los escenarios analizados, considerando alternativamente que: i) el modelo puede elegir libremente donde ubicar cada centro y ii) que el modelo respeta la ubicación de los centros actualmente en funcionamiento.

---

<sup>46</sup> Hospital Eva Perón de San Martín, Hospital San Martín de La Plata, Hospital Penna de Bahía Blanca y Hospital El Cruce de Florencio Varela.

<sup>47</sup> En la tabla A4.3 del anexo se encuentra el detalle del tiempo de CPU de cada uno de los escenarios propuestos.

Tabla 4.6. Cantidad de CT instalados y tiempo total de procuración en el caso base y escenarios propuestos<sup>48</sup>

Descripción		Ubicación Fija de CT	Tiempo total de procuración (hs)	Ubicación libre de CT	Tiempo total de procuración (hs)
<b>C. Base</b>	SRP/CMX330/DTA	23	16.380	23	16.315
<b>Esc. 1</b>	CRP 25/CMX330/DTA	20	16.394	20	16.321
<b>Esc. 2</b>	CRP 15/CMX330/DTA	15	16.718	15	16.549
<b>Esc. 3</b>	CRP 15/CMX660/DTA	15	16.309	15	16.235
<b>Esc. 4</b>	CRP 15/CMX990/DTA	15	16.309	15	16.209
<b>Esc. 5</b>	CRP 15/CMX330/DTB	15	8.155	15	8.117
<b>Esc. 6</b>	CRP 15/CMX660/DTB	15	8.155	15	8.104
<b>Esc. 7</b>	CRP 15/CMX990/DTB	15	8.155	15	8.086
<b>Esc. 8</b>	CRP 10/CMX330/DTB	10	8.405	10	8.199

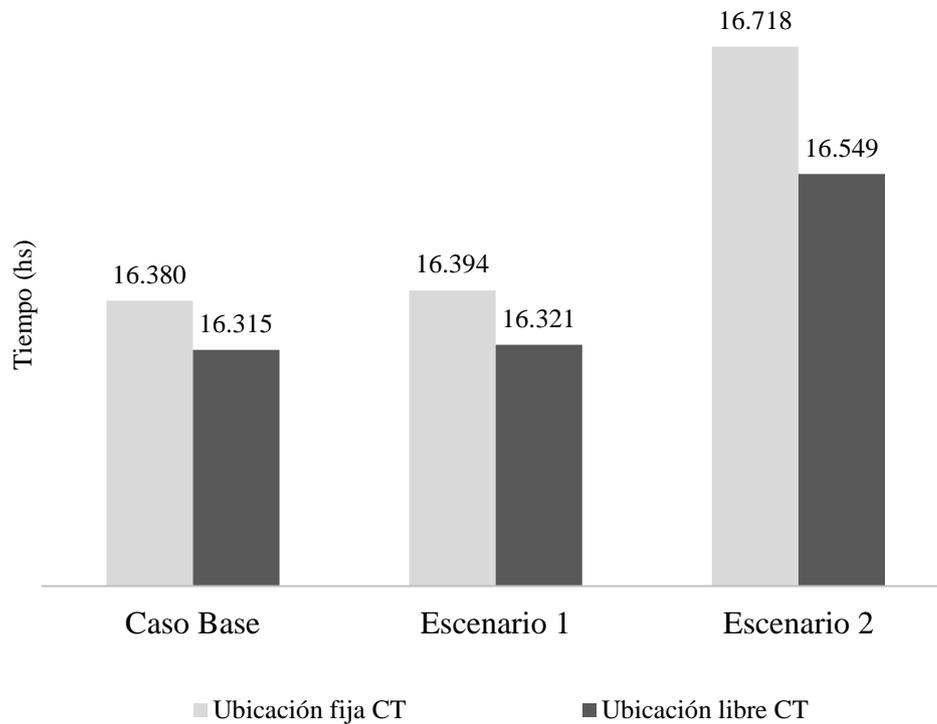
Referencias: SRP: sin restricción presupuestaria; CRP “z” con restricción presupuestaria de “z” u.m; CMX “z”: Capacidad máxima de atención de “z” trasplantes anuales; DTA: Demanda de trasplantes alta (3523 órganos); DTB: Demanda de trasplantes baja (1762 órganos).

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos en los escenarios 1 a 3 puede decirse que, a igual capacidad de los centros (CMT 330) y demanda de órganos (DTA), a medida que disminuye el presupuesto disponible para la instalación de CT (y por lo tanto, el número de centros instalados) aumenta el tiempo insumido en el proceso de procuración y ablación de órganos. En el caso base, en el cual el presupuesto es tal que se podrían abrir todos los potenciales centros de trasplantes, el modelo estipula que para minimizar el tiempo del proceso de procuración es necesario instalar en la provincia 23 establecimientos (Tabla 4.6 y Figura 4.4). Estos resultados se verifican tanto si se respetan los CT actualmente en funcionamiento o no. En el caso que se supone que se puede rediseñar la red asistencial (aun cuando esto implique el cierre de los CT actuales) los tiempos involucrados resultan menores en todos los escenarios, a igual cantidad de centros abiertos en todos los casos.

<sup>48</sup> En la tabla A4.4 del anexo se encuentra el detalle de cada uno de los centros de trasplantes abierto en cada escenario.

Figura 4.4. Tiempo insumido en el proceso de procuración y ablación de riñón. Comparación del Caso Base y los Escenarios 1 y 2

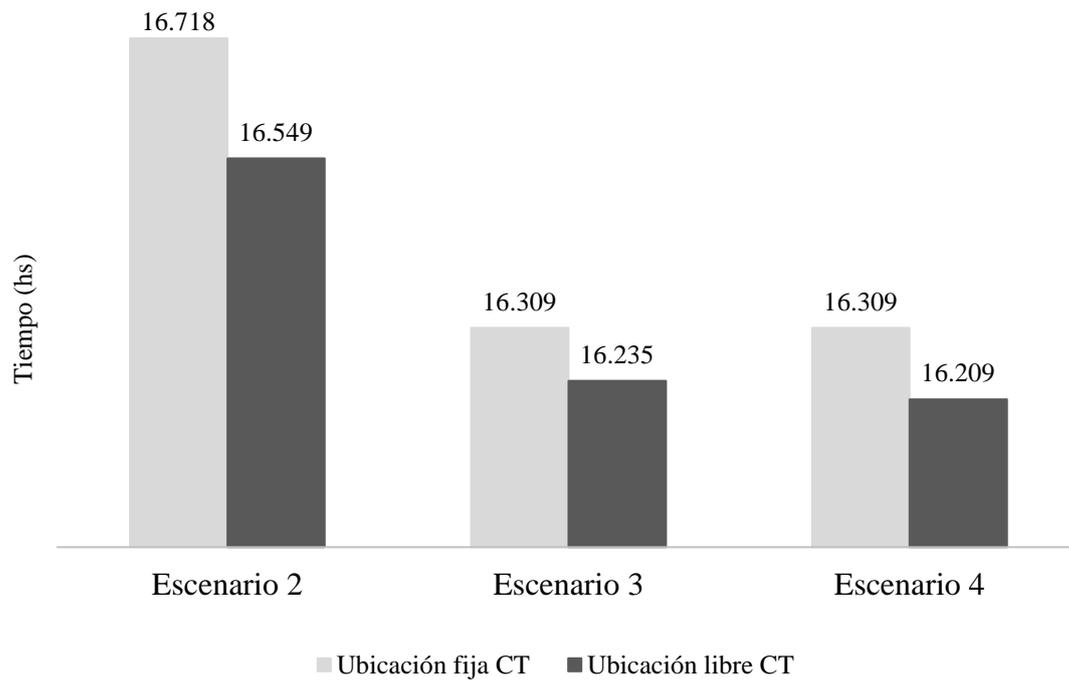


Fuente: Elaboración propia

Si se amplía la capacidad operativa de cada uno de los centros de trasplantes, manteniendo la demanda de trasplantes alta y un presupuesto de 15 u.m. (escenarios 2, 3 y 4) se logra disminuir sensiblemente (400 hs) el tiempo requerido para el proceso de procuración y ablación de órganos (Tabla 4.6 y Figura 4.5), si bien dichas mejoras solo se logran cuando se duplica la capacidad (de 330 trasplantes en el caso base a 660 en el escenario 1), sin efecto positivo apreciable alguno cuando se triplica (Escenario 4).

En los escenarios 5, 6 y 7 se analiza los efectos de incrementar la capacidad máxima de los centros de trasplante pero en un contexto de demanda de trasplantes baja (la mitad en relación al caso base y los escenarios 1 a 4) manteniendo asimismo en 15 u.m la restricción presupuestaria.

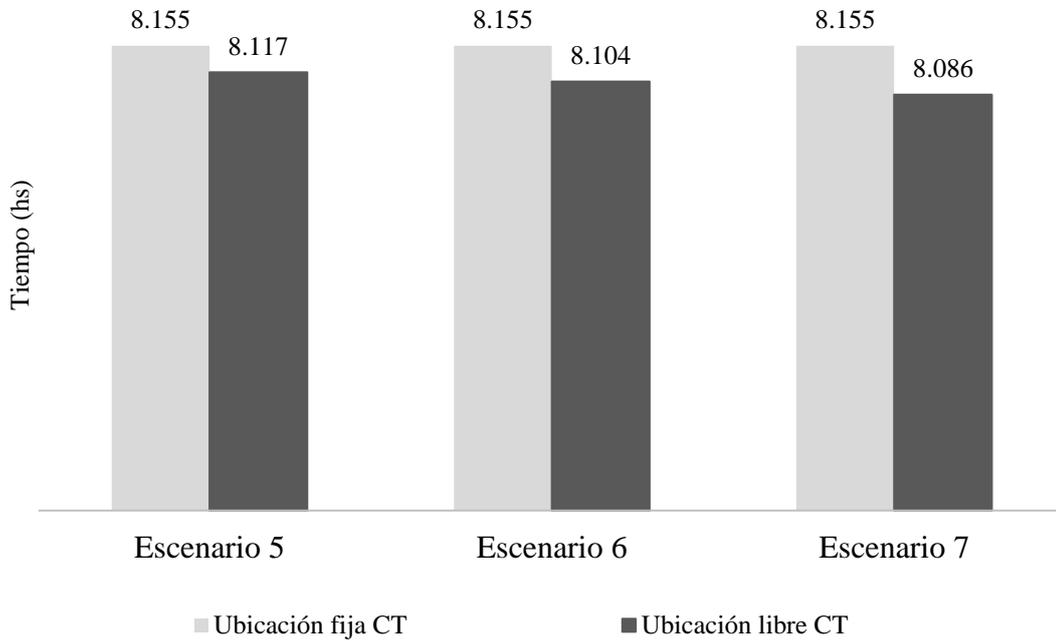
Figura 4.5. Tiempo insumido en el proceso de procuración y ablación de riñón. Comparación de los Escenarios 2 a 4



Fuente: Elaboración propia

Si se mantiene en funcionamiento los centros de trasplantes actuales, no existe ganancia alguna en incrementar la capacidad de los centros en términos del tiempo requerido para el proceso de procuración, aunque en comparación con el caso base o escenarios anteriores dicho tiempo se reduce aproximadamente un 50%, ya que también cayó a la mitad el flujo de órganos del sistema. Por otro lado, si se pudiera rediseñar la red de centros asistenciales, a pesar de que el modelo determina que se abre la misma cantidad de CT que en los escenarios anteriores el tiempo insumido en el proceso de procuración decrece muy levemente debido a la óptima localización de los CT (Tabla 4.6 y Figura 4.6).

Figura 4.6. Tiempo insumido en el proceso de procuración y ablación de riñón. Comparación de los Escenarios 5 a 7



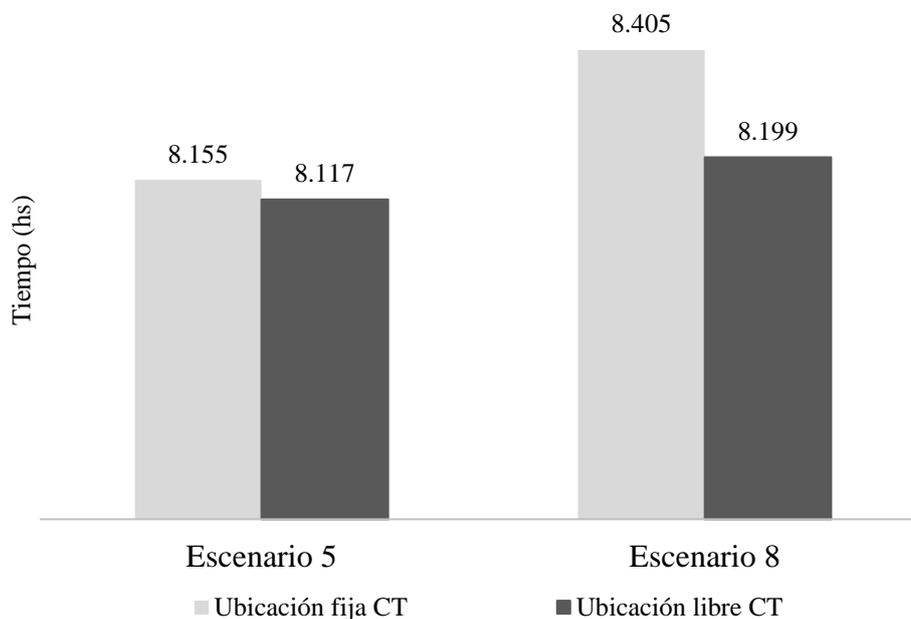
Fuente: Elaboración propia

Por último, se desea analizar el comportamiento del modelo en un contexto de demanda de trasplantes baja (1762 órganos) y una capacidad de atención de 330 trasplantes anuales, asumiendo una reducción adicional del presupuesto de 15 u.m (escenario 5) a 10 u.m (escenario 8). Los resultados se exponen en la tabla 4.6 y figura 4.7.

El modelo determina que deben instalarse en cada escenario que debe abrirse la máxima cantidad de centros posibles: 15 en el escenario 5 y 10 en el escenario 8. Pese a la notable reducción en la cantidad de centros de trasplante, los tiempos requeridos para el proceso de procuración solo se incrementan un 3% si se respeta la red actual y 1% si no se respeta. Sin embargo, este escenario ilustra como un enorme ahorro para el estado puede lograrse con un mínimo costo en términos de los tiempos totales.

Cabe mencionar que en el caso en que no se respeta la red actual de CT, el modelo determina que debe abrirse un CT en Bahía Blanca en los escenarios 2 a 7. Además, también debe abrirse un CT en Florencio Varela en todos los escenarios.

Figura 4.7. Tiempo insumido en el proceso de procuración y ablación de riñón. Comparación de los Escenarios 5 y 8



Fuente: Elaboración propia

Las características del sistema de procuración conducen a que la localización de los CT determine el ahorro en el tiempo insumido en el procedimiento.

## 6. Reflexiones finales

Si bien los modelos de localización óptima de centros de salud no representan una novedad, su aplicación a la localización de establecimientos especializados en trasplantes es relativamente incipiente. En particular, no existe ningún estudio de este tipo aplicado a las características específicas del proceso de procuración de Argentina, ni aun incluyendo a todos los países de América Latina.

El modelo desarrollado en el presente capítulo, si bien contiene supuestos simplificadores destinados a facilitar el cómputo de las soluciones, considera todos los elementos relevantes para estudiar la localización óptima de los centros de trasplante de riñones en la provincia de Buenos Aires, con el objetivo de alcanzar mayores niveles de eficiencia (al minimizar los costos) y de equidad (al garantizar el acceso de la población). Sin embargo, los resultados

obtenidos solo pueden considerarse exploratorios, dado que el conjunto de datos al cual fue aplicado no resulta completo. En particular,

- a. Se omitieron todos los hospitales privados de la provincia de Buenos Aires con unidad de terapia intensiva, que en realidad actúan como hospitales donantes y muchos de ellos también como centros de trasplante. Dado que los mecanismos de asignación de órganos no discrimina entre centros públicos y privados, esta omisión obviamente limita la utilidad real de los resultados obtenidos en las corridas realizadas.
- b. Tampoco se consideran todas las localidades de la provincia donde pueden residir los potenciales donantes. Si bien el universo de población considerado alcanza al 95% del total provincial, la omisión de los municipios con menos de 25.000 habitantes también tiene el potencial de afectar los resultados en términos de localizaciones óptimas.
- c. Se asume que la capacidad de trasplantes anuales es la misma en todos los centros, tanto en funcionamiento como candidatos potenciales a alojar un CT. Este supuesto obviamente no es realista, debiendo recabar mayor información para poder estimar en forma más fidedigna dicha capacidad.

Un primer paso de acción con vistas en transformar la herramienta desarrollada en un instrumento que pueda ser utilizado verdaderamente para la planificación estratégica de la apertura de centros de trasplante en la Provincia de Buenos Aires, requiere considerar la totalidad de los datos relevantes.

Asimismo, algunas situaciones podrían deberían ser incorporadas para dotar al modelo de mayor realismo. En particular:

- a. Incorporar la incertidumbre respecto de la demanda y oferta futura de órganos: el modelo asume que la oferta de órganos de cada HD y la demanda de cada CT resulta estable en el tiempo. Tal supuesto no resulta adecuado, donde la cantidad de donantes (y por lo tanto de trasplantes) registra un aumento sostenido en los últimos años.
- b. Incorporar la existencia de múltiples órganos: en el modelo se asume que existe un único órgano ofrecido y demandado (riñones). En realidad, cada donante puede ofrecer distintos órganos y tejidos, los cuales pueden ser implantados en múltiples receptores, situados en distintos centros de trasplante. Considerar la totalidad de los órganos susceptibles de ser trasplantados obviamente afectará la disposición óptima de la red.

- c. La posibilidad de utilizar medios alternativos de transporte en los traslados, dependiendo de las distancias a recorrer.

Superar las falencias mencionadas se plantea como línea de investigación para trabajos futuros.

### Referencias Bibliográficas

- Asociación de Deportistas Trasplantados de la República Argentina (Adetra) (2017). [www.adetra.org.ar](http://www.adetra.org.ar)
- Beliën, J., De Boeck, L., Colpaert, J., Devesse, S., & Van den Bossche, F. (2013). Optimizing the facility location design of organ transplant centers, *Decision Support Systems*, 54(4), 1568-1579.
- Bruni, M., Conforti, D., Sicilia, N. & Trotta, S. (2006). A new organ transplantation location–allocation policy: a case study of Italy, *Health care management science*, 9(2), 125-142.
- Calabria, A. (2011). Analyzing the market for organs donation: evaluation of the introduction of incentives in Argentina. MPRA Paper No. 36044. Recuperado de <http://mpa.ub.unimuenchen.de/36044/>
- Çay, P. (2012). Organ transplantation logistics: case for Turkey. Tesis Doctoral, Bilkent Universit. Recuperado de <http://www.thesis.bilkent.edu.tr/0006059.pdf>.
- Cobo, J, y del Río Gallegos, F. (2009). Preservación de órganos. *Medicina intensiva*, 33(6)282-292.
- Instituto Nacional Central Único Coordinador de Ablación e Implante (INCUCAI). (2003). *Programa Federal de Procuración de Órganos y Tejidos*. Disponible en [www.incucai.gov.ar/docs/otros\\_documentos/programa\\_federal.pdf](http://www.incucai.gov.ar/docs/otros_documentos/programa_federal.pdf)
- Instituto Nacional Central Único Coordinador de Ablación e Implante (INCUCAI) (2017a). [www.incucai.gov.ar](http://www.incucai.gov.ar)
- Instituto Nacional Central Único Coordinador de Ablación e Implante (INCUCAI). (2017b). *Procuración y Trasplante de Órganos, Tejidos y Células en Argentina. Memoria 2016*. Disponible en [http://www.incucai.gov.ar/files/docs-incucai/Materiales/informes-estadisticos/memoria\\_2016.pdf](http://www.incucai.gov.ar/files/docs-incucai/Materiales/informes-estadisticos/memoria_2016.pdf)

- Kong, N., Schaefer, A., Hunsaker, B., y Roberts, M. (2010). Maximizing the efficiency of the US liver allocation system through region design, *Management Science*, 56(12), 2111-2122.
- Rais, A. & Viana, A. (2011). Operations research in healthcare: a survey. *International Transactions in Operational Research*, 18(1), 1-31.
- Stahl, J., Kong, N., Shechter, S., Schaefer, A., Roberts, M. (2005). A methodological framework for optimally reorganizing liver transplant regions, *Medical Decision Making* 25(1) 35–46.

## Anexo

Tabla A4.1. Conjunto H y C. Hospitales seleccionados

Localidad	Hospital	Camas
25 de Mayo	Hosp. Subz. Saturnino Unzué	58
9 de Julio	Hosp. Zonal Gral. de Ag. Julio de Vedia	78
Adroque	Hosp. Zonal Gral. de Ag. Dr. Lucio Meléndez	184
Avellaneda	Hosp. Interz. Gral. de Ag. Pte. Perón	301
Avellaneda	Hosp. Interz. Gral. de Ag. Dr. Pedro Fiorito	228
Ayacucho	Hosp. Local Munic. Dr. Pedro Solanet	58
Azul	Hosp. Munic. Dr. Angel Pintos	93
Bahía Blanca	Hosp. Interz. Gral. de Ag. Dr. J. Penna	295
Bahía Blanca	Hosp. Munic. de Agudos Dr. Leónidas Lucero	125
Balcarce	Hosp. Subz. Munic. de Balcarce	74
Baradero	Hosp. Subz. Gral. Dr. L. Piñeiro	41
Berazategui	Hosp. Zonal Gral. de Ag. Evita Pueblo	226
Berisso	Hosp. Zonal Gral. de Agudos Dr. M. V. Larraín	91
Bolívar	Hosp. Subz. Gral. Dr. M. A. Capredoni	117
Bragado	Hosp. Munic. San Luis	60
Campana	Hospital San José	91
Cañuelas	Ente Descentralizado Hospital Dr. Angel Marzetti	48
Carmen de Patagones	Hosp. Munic. de Agudos Dr. Pedro Ecay	115
Chacabuco	Hosp. Munic. Ntra. Sra. del Carmen	133
Chascomús	Hosp. San Vicente de Paul	58
Chivilcoy	Hosp. Munic. de Chivilcoy	75
Ciudadela	Hosp. Zonal Gral. de Ag. Prof. Dr. R. Carrillo	116
Coronel Suárez	Hosp. Munic. de Cnel. Suárez	55
Dolores	Unid. Hospitalaria San Roque	81
Echeverría	Policlínico S. T. Santamarina	132
Ensenada	"Hosp. Zonal Gral. de Agudos ""Dr. H. Cestino"""	50

Escobar	Hosp. Zonal Gral. de Ag. Dr. E. Erill	138
Exaltacion De La Cruz	Hosp. Munic. San José	56
Ezeiza	Hosp. Zonal Gral. de Ag. Madre Teresa de Calcuta	147
Fcio Varela	Hosp. de Alta Compl. El Cruce	103
General Rodríguez	Hosp. Interz. Gral. de Ag. Vte. Lopez y Planes	345
General Villegas	Hosp. Munic.de Gral. Villegas Ntra. Sra del Carmen	60
González Catán	Hosp. Zonal de Ag. de González Catán Km.32	152
Gral Alvarado	Hosp. Munic. Dr. Mariano Cassano	40
Gral Viamonte	Hosp. Subz. de Gral. Viamonte	51
Isidro Casanova	Hosp. Interz. Gral. de Ag. Dr. Paroissien	311
José C. Paz	Hosp. Zonal de Ag. Gob. Domingo Mercante	156
Junín	Hosp. Interz. Gral. de Ag. Abraham Piñeyro	153
La Plata	Hosp. Interz. Esp. de Ag. y Crón. Dr. A. Korn - neurops	1.198
La Plata	Hosp. Interz. Gral. de Ag. Gral. San Martín	352
Lanús	Hosp. Interz. Gral. de Ag. Evita	304
Lanús	Hosp. Zonal Gral. de Ag. Narciso López	123
Lanús	Hosp. Local Gral. de Agudos Dr. A. Melo	29
Lincoln	Hosp.Subz. Munic. Dr. R. O. Miravalle	115
Lobos	Hosp. Zonal Gral. de Ag. de Lobos	71
Loma Hermosa	Hosp. Zonal Gral. de Agudos Dr. C. A. Bocalandro	140
Lomas De Zamora	Hosp. Interz. Gral. de Ag. Luisa C. de Gandulfo	181
Los Polvorines	Ctro. de Alta Compl. Cardiovasc. Pte. J. D. Perón	190
Los Polvorines	Hosp. Gral. Los Polvorines Dr. Carrillo	165
Luján	Hosp. Munic. Ntra. Sra. de Luján	106
Maipú	Hosp. Subz. de Maipú	84
Mar del Plata	Hosp. Interz. Gral. de Ag. Dr. O. Alende	288
Marcos Paz	Hosp. Dr. Héctor J. D'Agnillo	51
Mercedes	Hosp. Zonal Gral. de Agudos Blas Dubarry	118
Merlo	Hosp. Zonal Gral. de Ag. Héroes de Malvinas	164
Merlo	Hosp. Munic. Eva Perón	163
Moreno	Hosp. Zonal Gral. M.L. De la Vega	190
Morón	Hosp. Interz. Gral. de Ag. Prof. Dr. L. Güemes	147
Morón	Hosp. Munic. O. B. de Lavignolle	188
Morón	Hosp. Nac. Dr. Posadas	455
Necochea	Hosp. Munic. Dr. Emilio Ferreyra	81
Olavarría	Hosp. Zonal Munic. Dr. Héctor Cura	132
Olivos (de facto)	Hosp. Munic. Dr. Bernardo Houssay	131
Pablo Nogués	Hosp. Munic. de Trauma y Emerg. Dr. F. A. Abete	117
Pehuajó	Hosp. Zonal Dr. J. C. Aramburu	70
Pilar	Hosp. Central de Pilar Juan C. Sanguinetti	136
Quilmes	Hosp. Zonal Gral. de Ag. Dr. I. Iriarte	156
Rafael Calzada	Hosp. Zonal. Gral. Ag. Dr. Arturo Oñativia	164

Saladillo	Hosp. Zonal Gral. Dr. A. Posadas	82
Salto	"Hosp. Munic. de Salto ""Presidente J. D. Perón"""	58
San Fernando	Hosp. Zonal Gral. de Ag. Petrona V. de Cordero	149
San Isidro	Hosp. Central Munic. de San Isidro	187
San Justo	Policlínico Central San Justo	34
San Martín	Hosp. Interz. Gral. de Ag. Eva Perón	226
San Martín	Hosp. Zonal Gral. de Ag. Gral. M. Belgrano	124
San Miguel	Hosp. Munic. Dr. Raúl F. Larcade	232
San Nicolás de los Arroyos	Hosp. Interz. Gral. de Ag. San Felipe	158
San Pedro	Hosp. Subz. Gral. Dr. E. Ruffo	65
San Vicente	Hosp. Subz. Gral. Dr. R. Carrillo	69
Tandil	Hosp. Munic. Ramón Santamarina	124
Tigre	Hosp. Zonal Gral. de Ag. M. V. de Martinez	147
Trenque Lauquen	Hosp. Munic. Dr. Pedro T. Orellana	89
Tres Arroyos	Hosp. Ignacio Pirovano	136
Villa Vatteone	Hosp. Zonal Gral. de Ag. Mi Pueblo	190
Zárate	Hosp. Zonal Gral. de Ag. Virgen del Carmen	95

Nota: se incluyen todos los hospitales considerados. En la resolución del problema aquellos hospitales que funcionan en la misma localidad se consideraron como un único establecimiento.

Fuente: elaboración propia en base a información provista por la Dirección de Información Sistematizada del Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires

Tabla A 4.2. Conjunto m. localidades consideradas

Localidad (Conjunto <i>m</i> )	Localidad (Conjunto <i>m</i> )
25 de Mayo	La Plata
9 de Julio	Lanús
Adroque	Lincoln
Arrecifes	Lobos
Avellaneda	Lomas de Zamora
Azul	Luján
Bahía Blanca	Los Polvorines
Balcarce	Marcos Paz
Baradero	Mercedes
Berazategui	Merlo
Berisso	Moreno
Bolívar	Morón
Bragado	Necochea
General Brandsen	Olavarría
Campana	Carmen de Patagones
Cañuelas	Pehuajó
Chacabuco	Pergamino
Chascomús	Pilar
Chivilcoy	Pinamar

Punta Alta	Guernica
Coronel Suárez	Quilmes
Dolores	Ramallo
Ensenada	Saladillo
Escobar	Salto
Monte Grande	San Fernando
Capilla del Monte	San Isidro
Ezeiza	San Miguel
San Juan Bautista (ex Florencio Varela)	San Nicolás de los Arroyos
Miramar	San Pedro
Mar del Plata	San Vicente
General Rodríguez	Tandil
San Martín	Tigre
General Villegas	Trenque Lauquen
Hurlingham	Tres Arroyos
Ituzaingó	Caseros
José C. Paz	Olivos
Junín	Villa Gesell
Mar del Tuyú	Médanos
San Justo	Zárate

Tabla A 4.3. Tiempo de CPU

Escenario	Tiempo CPU	Tiempo CPU
1	724	2.109
2	427	332
3	1.871	5.130
4	101	274
5	117	304
6	118	342
7	145	213
8	153	171

Tabla A 4.4. Centros de trasplantes instalados según cada escenario propuesto. Ubicación fija CT

ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4	ESCENARIO 5	ESCENARIO 6	ESCENARIO 7	ESCENARIO 8
Avellaneda	Avellaneda	Azul	Avellaneda	Avellaneda	Avellaneda	Avellaneda	Avellaneda
Azul	Azul	Bahía Blanca	Azul	Azul	Azul	Azul	Azul
Bahía Blanca	Bahía Blanca	Berazategui	Bahía Blanca				
Berazategui	Bragado	Chacabuco	Bolívar	Bolívar	Bolívar	Bolívar	Bolívar
Bolívar	Ciudadela	Dolores	Ciudadela	Ciudadela	Ciudadela	Ciudadela	Ciudadela
Ciudadela	Dolores	Fcio Varela	Dolores	Dolores	Dolores	Dolores	Dolores
Dolores	Ezeiza	Isidro Casanova	Fcio Varela				
Ezeiza	Fcio Varela	La Plata	Gral Rodríguez				
Fcio Varela	Gral Rodríguez	Loma Hermosa	La Plata				
Gral Rodríguez	González Catán	Merlo	Lobos	Lobos	Lobos	Lobos	Lobos
González Catán	La Plata	Morón	L. de Zamora				
La Plata	Loma Hermosa	Pilar	Quilmes	Quilmes	Quilmes	Quilmes	Quilmes
Lobos	L. de Zamora	San Justo	San Justo	San Justo	San Justo	San Justo	San Justo
Loma Hermosa	Merlo	San Martín	San Martín	San Martín	San Martín	San Martín	San Martín
L. de Zamora	Moreno	Tigre	San Vicente				
Merlo	Morón						
Moreno	Olivos						
Morón	Quilmes						
Olivos	San Justo						
Quilmes	San Martín						
San Justo							
San Martín							
San Vicente							

Tabla A 4.4. Centros de trasplantes instalados según cada escenario propuesto. Ubicación Libre CT. Continuación

ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4	ESCENARIO 5	ESCENARIO 6	ESCENARIO 7	ESCENARIO 8
9 de Julio	Avellaneda	Azul	Avellaneda	Avellaneda	Avellaneda	Avellaneda	9 de Julio
Avellaneda	Azul	Bahía Blanca	Azul	Azul	Azul	Azul	Avellaneda
Berazategui	Bahía Blanca	Berazategui	Bahía Blanca	Bahía Blanca	Bahía Blanca	Bahía Blanca	Berazategui
Bragado	Berazategui	Chacabuco	Berazategui	Berazategui	Berazategui	Berazategui	C de Patagones
C de Patagones	Bolívar	Ciudadela	Bolívar	Bolívar	Bolívar	Bolívar	Chascomús
Chascomús	Chascomús	Dolores	Ciudadela	Chascomús	Ciudadela	Chascomús	Ciudadela
Ciudadela	Ciudadela	Fcio Varela	Dolores	Ciudadela	Dolores	Ciudadela	Dolores
Dolores	Dolores	Gral Rodríguez	Fcio Varela	Dolores	Fcio Varela	Dolores	Fcio Varela
Ezeiza	Ezeiza	Isidro Casanova	Gral Rodríguez	Fcio Varela	Gral Rodríguez	Fcio Varela	L. de Zamora
Fcio Varela	Fcio Varela	Loma Hermosa	Lobos	Gral Rodríguez	Lobos	General Rodríguez	Pehuajó
Gral Rodríguez	Gral Rodríguez	Los Polvorines	L. de Zamora	Lobos	L. de Zamora	Lobos	Quilmes
González Catán	Isidro Casanova	Morón	Moreno	L. de Zamora	Moreno	Lomas De Zamora	Saladillo
L. de Zamora	Lobos	San Isidro	Quilmes	Quilmes	Quilmes	Quilmes	San Justo
Merlo	L. de Zamora	San Justo	San Justo	San Justo	San Justo	San Justo	San Vicente
Moreno	Merlo	San Martín	San Vicente	San Vicente	San Vicente	San Vicente	Tres Arroyos
Morón	Moreno						
Olivos	Olivos						
Pehuajó	Quilmes						
Quilmes	San Justo						
Saladillo	San Vicente						

Nota: los CT resaltados en gris son aquellos que coinciden con la red actual

Fuente: Elaboración Propia

## REFLEXIONES FINALES

En los últimos años, la población mundial está inmersa en un proceso de envejecimiento poblacional que implica un cambio en su perfil epidemiológico, registrándose un aumento de la tasa de prevalencia de enfermedades no infecciosas, propias de la vida moderna. Estos factores provocaron un incremento exponencial de la demanda de servicios de salud, que no necesariamente estuvo acompañada por una expansión de la oferta (García Rodríguez et al, 2012).

Argentina no está ajena a los cambios epidemiológicos descriptos. Más aún, presenta una realidad sanitaria donde el estado de salud de la población no guarda relación con el gasto total en salud, que es relativamente elevado (Tobar, Olaviaga y Solano, 2011).

Ante esta realidad, los recursos disponibles para el sistema sanitario, sean éstos públicos o privados, deberían ser asignados de manera tal que se maximice el estado de salud de la población, asegurando también condiciones de acceso equitativo a los servicios. Para ello los hacedores de política necesitan un método efectivo de planificación y toma de decisiones que conduzcan a mejorar el funcionamiento del sistema. Entre las problemáticas más importantes a las que se enfrentan los decisores se encuentran las relativas a planificación y organización del sistema de prestación de servicios de salud (Brandeau, Sainfort, y Pierskalla, 2005).

Al planificar la estructura de los sistemas de salud, los gobiernos y otros actores del sistema deben determinar la cantidad y distribución de los recursos físicos, humanos y monetarios. Los gobiernos deben decidir qué bienes y servicios deben ser provistos en forma pública, y quiénes recibirán esos bienes y servicios. Debido a que los fondos no están disponibles para satisfacer todas las necesidades de atención médica, se deben establecer prioridades y determinar cómo van a racionarse los recursos disponibles (Brandeau et al, 2005).

El uso de la modelización matemática no es ajeno a la metodología de la ciencia económica en general, y a la Economía de la Salud en particular. Tales modelos son utilizados para

comprender fenómenos de muy diversa índole, y en muchas ocasiones de los mismos se derivan recomendaciones respecto de las políticas más adecuadas, teniendo en cuenta los objetivos de eficiencia y equidad. Dado que en ocasiones las soluciones obtenidas a partir de estos modelos son de carácter general, no es posible trasladarlas en forma inmediata a la resolución de un problema específico.

En cambio, los modelos desarrollados en el campo de la Ingeniería de Sistemas de Procesos, generalmente están diseñados para resolver situaciones problemáticas puntuales, generando soluciones cuantitativas que indican cursos de acción concretos en relación a las variables de decisión.

El trabajo interdisciplinario entre los economistas de la salud y los ingenieros de sistemas de procesos posee el potencial de generar importantes beneficios en términos de eficiencia y equidad, ya que permite la conjunción del pensamiento ingenieril dispuesto a la acción con el pensamiento económico más reflexivo e interesado en comprender el porqué de los fenómenos que estudia. Alcanzar estas metas requiere la activa participación de los tomadores de decisiones, quienes fijan los objetivos a lograr y, en última instancia, también se convertirán en los usuarios de cualquier modelo desarrollado. Tener en cuenta sus opiniones e inquietudes puede determinar la diferencia entre un modelo que será usado en situaciones reales y otro que quedará simplemente como un desarrollo académico.

Un aspecto a considerar es que la calidad de los resultados obtenidos (en términos de precisión de las recomendaciones propuestas) nunca será mejor que la calidad de los datos utilizados. Esto puede resultar una limitante en sistemas de salud como el de nuestro país, donde no existe información estadística completa y actualizada.

La principal contribución de esta tesis es mostrar cómo el uso de herramientas de programación matemática y técnicas de modelado puede contribuir a una asignación de recursos escasos más equitativa y eficiente en contextos reales. Estas herramientas pueden utilizarse para asesorar a los responsables de la toma de decisiones, proporcionando información útil sobre las estrategias óptimas, teniendo en cuenta las limitaciones políticas,

presupuestarias, técnicas y de otro tipo que se enfrentan en el proceso de toma de decisiones.

### **Referencias Bibliográficas**

- Brandeau, M., Sainfort, F., & Pierskalla, W. (2005). Health Care Delivery: Current Problems and Future Challenges. En M. Brandeau, F. Sainfort & W. Pierskalla (Eds) *Operations research in healthcare: a handbook of methods and applications, 1-14*. Estados Unidos: Kluwer Academic Publisher.
- Tobar, F., Olaviaga, S., & Olaviaga, R. (2011). Retos postergados y nuevos desafíos del sistema de salud argentino. Documento de Políticas Públicas - Análisis N°99. CIPPEC. Disponible en <https://goo.gl/YmBZAx>
- García Rodríguez, J., García Fariñas, A., Gálvez González, A., & Rodríguez León, G. (2012). Herramientales de la investigación operacional en apoyo a la toma de decisiones en salud. *Investigación Operacional*, 33(3), 245-252.