

## SERVICIOS DE MAMOGRAFÍA EN LA REGIÓN SANITARIA I DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Guillermo Durand<sup>(1)</sup>, Mariana Zannotti<sup>(2)</sup>, Eliana Zewalt<sup>(2)</sup>, Vanesa Stefanazi<sup>(3)</sup>,  
Nebel Moscoso<sup>(4)</sup>, Aníbal Blanco<sup>(2)</sup>, Alberto Bandoni<sup>(2)</sup>  
{[gdurand](mailto:gdurand@plapiqui.edu.ar), [abandoni](mailto:abandoni@plapiqui.edu.ar)}@plapiqui.edu.ar

- <sup>(1)</sup> Planta Piloto de Ingeniería Química, PLAPIQUI (UNS-CONICET)  
<sup>(2)</sup> Departamento de Ingeniería Química, UNS  
<sup>(3)</sup> Región Sanitaria I, Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires.  
<sup>(4)</sup> Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur, IIESS (UNS-CONICET)

**Resumen.** El trabajo presenta un modelo matemático de distribución óptima de servicios de mamografía entre los mamógrafos de la Región Sanitaria I (RSI) de la Provincia de Buenos Aires, con el objetivo de minimizar costos ptotales (operativos de los mamógrafos y de traslados de los pacientes) sujeto a niveles diferentes de accesibilidad de la población al servicio. Se entiende por accesibilidad la facilidad relativa con la cual la oferta de los servicios sanitarios puede ser alcanzada por una determinada población. Los resultados corresponden al esquema óptimo de asignación de mamografías para los 15 distritos de la RSI cuya oferta de servicios incluye un total de 31 mamógrafos, públicos y privados. Se utilizan datos provistos por personal de la Región Sanitaria I de la Prov. de Buenos Aires correspondientes al año 2011. Se realiza un análisis de tipo multiple-objetivo que considera simultáneamente minimización de costos y maximización de accesibilidad a través de una curva “pareto” que expresa diferentes combinaciones entre ambos objetivos. Para la implementación del modelo y su resolución se utilizó el programa GAMS (General Algebraic Modeling Systems), con el resolver CPLEX.

**Palabras clave:** distribución óptima, accesibilidad, mamografía

### 1. Introducción

El cáncer de mama consiste en la aparición de células cancerosas en los tejidos de la mama y se presenta más comúnmente en las mujeres que en los hombres. Es el tipo de cáncer más común entre las mujeres de todo el mundo, representando el 16% de todos los cánceres femeninos según la Organización Mundial de la Salud afectando principalmente a mujeres entre 20 y 59 años en los países de altos ingresos. A su vez las posibilidades de ocurrencia de esta enfermedad aumentan con la edad (especialmente a partir de los 50 años) y cuando existen antecedentes de cáncer en familiares (sobre todo en mujeres jóvenes).

El tratamiento oportuno y las posibilidades de curación de esta enfermedad dependen del volumen del tumor al momento del diagnóstico. Al igual que para otras enfermedades, la detección precoz es fundamental, ya que los tumores de menos de 1 centímetro tienen hasta el 90% de probabilidades de curación. Además, el diagnóstico de tumores más pequeños permite aplicar tratamientos menos agresivos, reduciendo la probabilidad de realizar mastectomías y quimioterapia.

La detección temprana es posible por medio de un estudio mamográfico, consistente en un estudio diagnóstico por exploración de rayos X de muy baja dosis que permite identificar anomalías en el tejido interno de la mama.

Actualmente el estudio mamográfico es considerado el primer y único test para la detección temprana, el cual se realiza en pacientes sin síntomas a modo de “screening”. En medicina, se entiende por screening la estrategia aplicada sobre una población para detectar una enfermedad en individuos sin síntomas, la cual se puede llevar a cabo de dos maneras: (i) la primera se refiere al tamizaje oportunista, es decir a la realización de estudios mamográficos indicados en el contexto de exámenes ginecológicos programados, prescritos por el médico o por decisión propia de la paciente; (ii) la segunda es a través de programas poblacionales, generalmente organizados por los servicios de salud, en los que, a través de actividades programadas de búsqueda activa, se invita a mujeres en rangos de edad específicos a la realización de mamografías periódicas de tamizaje.

El tamizaje poblacional forma parte de las políticas preventivas que están a cargo del sistema público de salud. Este sector, cuyos recursos provienen en su mayor proporción de rentas generales provee servicios de salud de forma gratuita a través de una red

de hospitales públicos (nacionales, provinciales y municipales) y centros de salud. Las prestaciones que ofrece el sector público están orientadas principalmente a satisfacer las demandas de atención de la población de bajos ingresos y/o sin cobertura social. La distribución geográfica de sus servicios es muy amplia y tiene presencia en las zonas consideradas no rentables por el sector privado.

En particular, el ministerio de salud de la provincia de Buenos Aires, con el fin de descentralizar ciertos procesos, crea 11 regiones sanitarias que funcionan como entidades intermedias entre el gobierno provincial y las instituciones de salud municipales. La Región Sanitaria I se ubica en la zona sur de la provincia y posee características geográficas y demográficas que presentan un gran desafío; una amplia superficie territorial y una baja densidad poblacional. En el marco de la lucha contra el cáncer de mama se pone en funcionamiento en la región el Programa de Prevención, Diagnóstico y Tratamiento del Cáncer Genito-Mamario de la Provincia de Buenos Aires (PROGEMA, 2013).

El mayor desafío para lograr una alta participación en este tipo de programas está relacionado con reducir las distancias que separan al paciente del servicio, lo cual podría ser un determinante a la hora de demandar la prestación. La accesibilidad se refiere a la facilidad relativa con la cual las localizaciones de los servicios sanitarios pueden ser alcanzadas por una determinada población. La accesibilidad tiene una clara connotación geográfica caracterizada por el denominado “acceso espacial” (cuya definición ampliaremos en párrafos siguientes).

En este trabajo se propone diseñar una herramienta que permita optimizar el mecanismo de asignación de servicios de mamografía en la Región Sanitaria I de la Provincia de Buenos Aires (RSI, 2013), de interés para el programa PROGEMA. La región posee 29 hospitales pertenecientes al sistema público de un total de 50 que cuentan con un referente del programa PROGEMA. Por otro lado, sólo 8, de este total de hospitales, cuentan con un mamógrafo instalado en uso.

El objetivo del trabajo es optimizar los costos totales y el nivel de accesibilidad a los servicios de mamografías disponibles de las distintas localidades de la región. Se desarrolló un modelo matemático de tipo lineal. Se analizan diferentes escenarios y el compromiso ente las funciones de costo total y accesibilidad global.

## 2. Antecedentes del Tema

En las últimas décadas se ha considerado prioritario que los sistemas de salud garanticen la prestación de los servicios de salud preventivos debido a que se reconoce su impacto en términos no sólo de las mejoras en la calidad de vida de los pacientes con tratamiento oportuno, sino también por la reducción de los costos de atención, curación y tratamientos en el largo plazo. En este contexto, en los últimos años está teniendo creciente interés el uso de herramientas computacionales basadas en modelos matemáticos para soporte del proceso de toma de decisiones. En particular, en el sector salud se han comenzado a realizar esfuerzos para tomar decisiones que tengan en cuenta no sólo garantizar el acceso a la atención sino también hacer un uso eficiente de los recursos, determinando asignaciones óptimas en la provisión de servicios de salud.

Griffin y col. (2007) presenta una investigación cuyo objetivo es determinar la mejor ubicación y el número de nuevos centros de salud dentro de una red geográfica, así como los servicios que debe ofrecer cada uno. Se desarrolla un modelo de optimización que maximiza la cobertura de la demanda ponderada en la población, limitada por presupuesto y los niveles de capacidad de cada instalación y servicio. El modelo de optimización utiliza los costos y las consideraciones geográficas en las restricciones. Los costos se dividen en fijos y variables. También determina cuántas personas se atienden en un centro de salud mediante la asignación de límites a la distancia que una persona estaría dispuesta a viajar. El modelo utiliza estimaciones de costos y cantidades demandadas; y asume suficientes recursos humanos, tales como médicos, odontólogos y enfermeras en todas las posibles localizaciones de los servicios de salud.

En Mahar y col. (2011) el enfoque se centra en cómo las redes de hospitales con múltiples ubicaciones pueden aprovechar los beneficios de la puesta en común a la hora de decidir dónde colocar los servicios especializados, como por ejemplo resonancia magnética, trasplantes y cuidados intensivos neonatales. Específicamente, desarrolla un modelo de optimización para determinar cuántos y cuáles de los hospitales de la red deben establecerse para ofrecer el servicio. Este modelo tiene en cuenta las consideraciones de carácter financiero y los niveles de servicio al paciente. Específicamente, se desarrolla un modelo de optimización no lineal que decide dónde

ubicar la capacidad médica especializada en hospitales capacitados de la red y teniendo en cuenta los niveles de costos y servicios a los pacientes. El modelo minimiza el costo total para un nivel de servicio deseado. El costo total incluye un costo operativo (fijo y variable) por mantenimiento de capacidad en todos los sitios, un costo de penalización por no satisfacer la demanda en un lugar determinado, y el costo de transporte de desviar la demanda entre instalaciones. El modelo se aplica para mostrar cuántos y cuáles de los hospitales de la red deben establecerse con recursos especializados, los niveles de capacidad a ofrecer, y las pautas para la ubicación de los hospitales de la red según la demanda.

Wang (2012) hace una revisión de la literatura acerca de los diversos índices de accesibilidad para su comparación y evaluación, con énfasis en el desarrollo metodológico y las implicancias para las políticas públicas. Se pueden utilizar métodos de optimización para mejorar la distribución y suministro de proveedores de cuidados de salud para maximizar la cobertura del servicio, minimizar las necesidades de desplazamiento de los pacientes, limitar el número de instalaciones, y maximizar la igualdad en salud o en acceso.

Wang y Tang (2013) abordan el problema de planificación: cómo los recursos pueden ser redistribuidos para lograr la mayor igualdad en el acceso a los proveedores de servicios. En particular, utilizan un enfoque de programación cuadrática para reducir al mínimo la varianza del índice de accesibilidad en todas las ubicaciones de una ubicación respecto de un valor de accesibilidad medio. Dos estudios de dos casos se utilizan para ilustrar el método. El resultado sugiere que, a fin de lograr una mayor igualdad de la accesibilidad en las zonas periféricas, en general, se requiere de suministros adicionales para compensar estas ubicaciones menos centrales. Paralelamente, en algunas zonas centrales, también es necesario añadir oferentes de servicios para satisfacer la gran demanda debida a la alta densidad de población.

En general se observa que, si bien resta mucho trabajo para resolver problemas concretos de sistemas de salud, el enfoque de modelamiento matemático y optimización se presenta como adecuado para realizar aportes concretos en la gestión óptima de tales sistemas. En particular en los sistemas de servicios mamográficos, una de las principales

dificultades es encontrar medidas adecuadas de la accesibilidad del servicio para la población.

### 3. Modelo Matemático

En esta sección se describe el modelo matemático desarrollado para determinar la asignación de servicios de mamografía en la Región Sanitaria I. Esencialmente el modelo asigna en forma óptima el lugar de realización y cantidad de mamografías, respetando las demandas estimadas para cada localidad y las capacidades de los mamógrafos, mientras se minimiza el costo total anual para todo sistema y se maximiza la accesibilidad media del mismo. Las funciones objetivo son las siguientes:

- (i) Costo total anual de la realización del screening poblacional considerando los costos de la realización del estudio mamográfico y el traslado de los pacientes desde cada localidad hasta el centro de atención.
- (ii) Distancia media anual recorrida (por mamografía realizada) en todo el sistema, como medida directa de la “accesibilidad” del servicio de salud para todas las localidades.

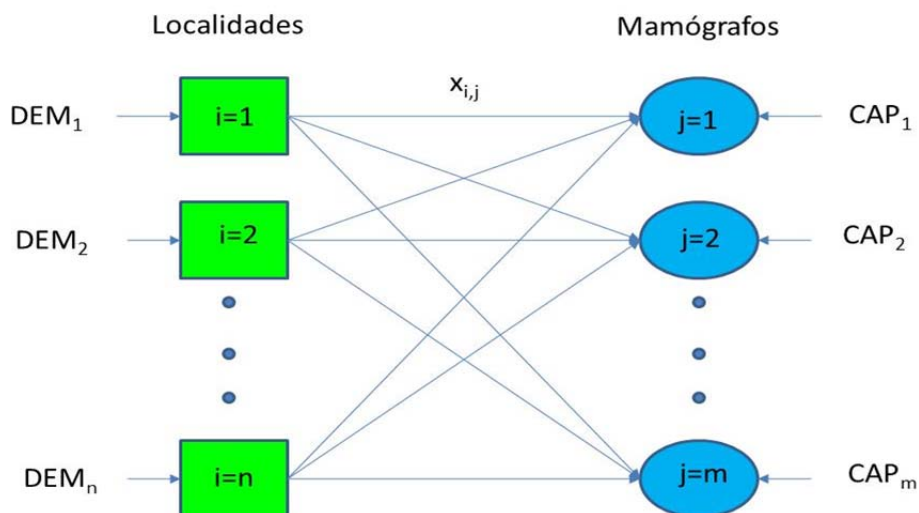


Fig.1: Esquema de asignación de mamografías desde localidades (demandas) a mamógrafos (capacidades) que usa el modelo.

En la Fig. 1 se presenta un esquema que representa la asignación entre localidades y mamógrafos. En el problema de la RSI se dan situaciones concretas tales como que ciertas localidades poseen uno o más mamógrafos ( públicos o privados), mientras que otras no disponen de ninguno, o la demanda de una localidad excede la capacidad instalada de mamografías, mientras que en otros casos es menor.

### ***Función Objetivo 1, FO1 - Costos.***

Esta función tiene en cuenta el costo operativo y el costo de traslado de un paciente desde una localidad  $i$  a un mamógrafo  $j$ . El costo operativo de realización de las mamografías está dado por una componente fija (mantenimiento, consumo de energía, salarios de personal) y una variable (costo de las placas, líquido revelador e insumos varios). Normalmente el Estado se hace cargo de los costos operativos, mientras que los costos de traslado pueden estar a cargo de los pacientes y solo en ocasiones los financia el sector público.

La función objetivo diferencia el costo de hacer el estudio en un efector público o privado. Es necesario contemplar esta diferencia debido a la posibilidad de realizar convenios con dichos efectores cuando no se cuenta con un mamógrafo en una determinada localidad.

El costo de traslado depende del precio del combustible, el consumo por kilómetro recorrido y la distancia total recorrida que existe entre una localidad y otra. La función objetivo Ec. (1) para minimizar el costo total se escribe como:

$$FO1 = \min \sum_{i=1}^n \left[ \sum_{jp=1}^{mp} x_{i,jp} \cdot cvo_{jp} + \sum_{jpr=1}^{npr} x_{i,jpr} \cdot cvo_{jpr} \right] + \sum_{i=1}^n \left[ \sum_{j=1}^m x_{i,j} \cdot ct_{i,j} cvo_j \right]. \quad (1)$$

Donde los subíndices  $jp$  y  $jpr$  corresponden a los mamógrafos públicos y privados, respectivamente,  $x_{ij}$  es la variable que representa la cantidad de mamografías que se realizan en un mamógrafo  $j$  que provienen de la localidad  $i$ ,  $cvo_j$  es el costo de hacer una mamografía en un mamógrafo  $j$  y  $ct_{ij}$  es el costo de trasladarse de la localidad  $i$  al mamógrafo  $j$  para la realización del estudio.

El primer término de la ecuación determina el costo de todas las mamografías a realizarse en un screening poblacional y el segundo término corresponde al costo total de traslado para la distribución de la población resultante.

### ***Función Objetivo, FO2 - Accesibilidad.***

La accesibilidad se refiere a la facilidad relativa con que se puede llegar a un determinado servicio, en este caso a la realización del estudio mamográfico. Las medidas de accesibilidad tienen en cuenta factores tanto espaciales como no espaciales (Khan, 1992). El acceso espacial considera la separación espacial entre la oferta (proveedores) y la demanda (la población) y cómo están conectados en el espacio (Joseph y Phillips, 1984). Los factores no espaciales incluyen factores demográficos y socioeconómicos tales como ingresos, edad, sexo, raza, etc., que también interactúan con acceso espacial (Meade y Earickson 2000, 389). Algunos investigadores tienden a equiparar el acceso con características de la población (ingreso familiar, cobertura de seguro, las actitudes hacia la atención médica) o del sistema de administración (la distribución y organización de los recursos humanos y las instalaciones, por ejemplo). Existen varias definiciones de accesibilidad, como consecuencia de la controversia de los especialistas en definir la expresión más adecuada. Wang (2013) presenta una revisión de las expresiones utilizadas. Una expresión típica de la accesibilidad de la ubicación  $i$  ( $A_i$ ) se define como:

$$A_i = \sum_{j=1}^m \left[ \frac{Cap_j \cdot d_{i,j}^{-\beta}}{\sum_{k=1}^m P_k \cdot d_{k,j}^{-\beta}} \right] \quad (2)$$

donde  $P_k$  es la población total de una dada localidad  $k$  (o  $i$ );  $cap_j$  es la capacidad disponible del mamógrafo  $j$ ;  $d_{ij}$  es la distancia de viaje entre ellos  $i$  y  $j$ ;  $\beta$  es el denominado “coeficiente de fricción” (medida de la velocidad de decaimiento de la accesibilidad con la distancia);  $n$  y  $m$  son el número total de mamógrafos y de localidades, respectivamente. La Eq. (2) esencialmente mide la relación entre la oferta ( $j$ ) y la demanda ( $i$ ), ponderada por un factor de decaimiento con la distancia. El coeficiente de fricción de distancia  $\beta$ , tiene un valor nominal del orden de 0.6, pero se



puede considerar un factor de ajuste que depende fuertemente de cada problema. Según el mismo autor, Wang (2013), una posible función objetivo a considerar es reducir al mínimo la varianza (mínimos cuadrados) de la suma de las accesibilidades  $A_i$  con relación a un valor considerado de accesibilidad considerado ideal para el sistema en estudio. Es decir plantear una función objetivo definida como:

$$FO = \min \sum_{i=1}^n Dem_i (A_i - a)^2 \quad (3)$$

donde la accesibilidad media  $a$  (u objetivo) del sistema en estudio se define como

$$a = \frac{\sum_{j=1}^m Cap_j}{\sum_{i=1}^n Dem_i} \quad (4)$$

Definida de este modo, la accesibilidad es un concepto global para todo el sistema, planteada en términos del alejamiento por exceso o defecto de un valor medio u objetivo  $a$ , definido por la Ec. (4). Dado que las definiciones (2)-(4) están expresadas en términos de capacidades de servicio, su utilidad está básicamente orientada a los problemas de diseño y re-diseño con el objeto de guiar la relocalización de los equipos existentes, la ubicación de nuevos equipos o los incrementos de las capacidades instaladas (por extensión de horarios de atención por ejemplo).

Considerando que el presente estudio preliminar está orientado a evaluar el flujo de la red, se adoptó una medida directa de accesibilidad que está dada por la distancia que media que los pacientes deben recorrer para realizarse el estudio. Este indicador resulta significativo para los funcionarios de la RSI, dado que representa una medida directa del nivel de traslado de en el sistema. Por lo tanto la  $FO2$  usada en este trabajo está dada por la Ec. (5), donde  $x_{i,j}$ ,  $d_{i,j}$  y  $Dem_i$  tienen el significado previamente definido.

$$FO2 = \min \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{i,j} \cdot d_{i,j}}{\sum_{i=1}^n Dem_i} \quad (5)$$

**Restricciones del Modelo.**

En primer lugar el modelo incorpora las restricciones de capacidad de mamógrafos y demandas de mamografías de las localidades, según las Ec. (6) y Ec. (7)

$$\sum_{i=1}^n x_{i,j} \leq Cap_j \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{i,j} \geq Dem_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

La Ec. (6) especifica que la cantidad de mamografías que se realizan en un determinado mamógrafo debe ser menor o igual a su capacidad máxima la cual se calcula en función de las mamografías por hora que puede realizar el equipo, la cantidad de horas que se ofrece el servicio por día y los días de atención al año. La Ec. (7) determina que la cantidad de mamografías de una localidad determinada sea mayor a la demanda de dicha localidad. De esta manera se asegura que todas las mujeres puedan acceder al servicio ofrecido.

A partir de la cantidad de mamografías demandadas en cada localidad  $i$  y dependiendo de la capacidad y localización de cada mamógrafo  $j$ , la optimización brinda como resultado la cantidad de mujeres provenientes de la localidad  $i$  que será atendida en el mamógrafo  $j$ , denotado por la variable  $x_{ij}$ . En otras palabras, se obtiene la distribución óptima los mamógrafos a utilizar por los pacientes de cada localidad, con el criterio de encontrar un mínimo costo total y un equilibrio entre costo y distancia media recorrida.

Sobre la base de las funciones objetivo y restricciones definidas el modelo resultante es de naturaleza LP.

**4. Descripción del Caso de Estudio de la RSI**

En esta sección se presentan los resultados de la optimización del uso de mamógrafos en la Región Sanitaria I de la Prov. de Buenos Aires. Los datos usados para obtener los resultados fueron proporcionados por personal la RSI. La estructura y capacidades del

servicio corresponden al año 2012, las demandas son estimaciones de la RSI con datos del Censo 2012 así como los costos operativos y de traslado.

#### 4.1 Característica de la RSI

El área de estudio, la Región Sanitaria I, se muestra en la Fig. 2. Ubicada en el sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, está conformada por quince partidos: Adolfo Alsina, Adolfo Gonzales Chaves, Bahía Blanca, Coronel Rosales, Coronel Dorrego, Coronel Pringles, Coronel Suárez, Guaminí, Monte Hermoso, Patagones, Puán, Saavedra, Tornquist, Tres Arroyos y Villarino. En la Tabla 1 se presentan los principales datos de la RSI.

Tabla 1. Datos generales de la RSI

Concepto	Cantidad
Nro. de municipios	15
Nro. de localidades	102
Nro. de hospitales en RSI	50
Nro. de hospitales en PROGEMA	29
Nro. de mamógrafo públicos	8
Nro. de mamógrafo privados	23
Superficie RSI (26% de la PBA) (en Km <sup>2</sup> )	80.134
Población total de la RSI (habitantes)	627.507
Población femenina de la RSI (habitantes)	336.750
Densidad de población (hab/km <sup>2</sup> )	8
Rango etario considerado (en años)	30 a 70
Cant. total de mamografías PROGEMA	23.157



Fig.2: Mapa de la RSI de la Prov. de Bs.As.

Con excepción del municipio de Monte Hermoso que tiene 230 Km<sup>2</sup>, el territorio de todos los partidos es mayor a los 1.000 Km<sup>2</sup>, y dos de ellos, Villarino y Patagones superan los 10.000 Km<sup>2</sup> con una superficie de 11.000 y 13.000 Km<sup>2</sup> respectivamente. Dada la baja densidad poblacional, 8 hab/ Km<sup>2</sup>, y considerando que casi la mitad de la población de la RSI reside en el municipio de Bahía Blanca (que tiene una densidad poblacional de 124 hab/Km<sup>2</sup>), las distancia en general entre distritos es alta.

#### 4.2 Mamógrafos Disponibles y Capacidades

En la Tabla 2 se presentan la ubicación y cantidad de mamógrafos en la RSI. El subsector público de la RSI, cuenta con 50 establecimientos con internación y 144 sin internación. De estos, solo 8 cuentan con un mamógrafo instalado en uso. Los partidos que no poseen mamógrafos propios realizan convenios con instituciones que poseen un mamógrafo disponible tanto del sistema público (de otro nivel jurisdiccional: municipal o nacional) como del privado. Los mamógrafos privados en general están disponibles por convenios con el sector público.

La tecnología de los equipos incluye mamógrafos analógicos y digitales, los cuales tienen rendimientos diferentes en términos de la cantidad de pacientes que pueden ser atendidas por hora con el equipo operando en condiciones ideales. En base a la experiencia de la RSI, se asume que se cita un paciente cada 15 minutos en el caso de mamógrafos analógicos adaptados para digitalizar las imágenes. En el caso de la mamografía digital directa, se adoptan 5 minutos. Por lo tanto se estiman 10 pacientes/hora para mamografía digital y 4 pacientes/hora en el caso de la convencional. Se asumen jornadas laborales de ocho horas y atención de lunes a viernes. Bajo estos supuestos la capacidad de cada mamógrafo se indica en expresión:

$$Cap_j \equiv PacientesHora (pac./hr) \cdot HorasDia (hr/dia) \cdot DiasAño (dias/año)$$

Para mamógrafos analógicos se consideran 4 pacientes por hora, jornadas laborales de 8 horas y 5 días semanales, resultando en una capacidad máxima de 7.680 estudios anuales. Para mamógrafos digitales, se consideran 10 pacientes por hora e iguales

jornadas laborales que para el caso de los mamógrafos analógicos, por lo que se determinan 19.200 estudios anuales.

Tabla 2: Mamógrafos públicos y privados por distrito de la RSI.

Nro. Orden	Partidos de la RSI	Mam. Publ.	Mam. Priv.
1	Adolfo Alsina	1	0
2	Gonzales Chávez	0	0
3	Bahía Blanca	2	9
4	Cnel. Dorrego	0	2
5	Cnel. Pringles	0	1
6	Cnel. Rosales	1	2
7	Cnel. Suárez	0	2
8	Guaminí	1	0
9	Monte Hermoso	0	0
10	Patagones	0	1
11	Puán	0	2
12	Saavedra	1	1
13	Tornquist	0	1
14	Tres Arroyos	1	2
15	Villarino	1	0
	<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>23</b>

La capacidad máxima total del sistema, considerando que de los 26 equipos pertenecientes a los efectores públicos y privados sólo 6 son analógicos, es de 430.080 estudios anuales.

#### 4.3 Estimación de la Demanda

Para la estimación de la demanda existe cierta controversia en los criterios adoptados por los profesionales médicos en las diferentes instituciones de la RSI. Esto se debe a que no hay consenso en las edades iniciales, edades finales y frecuencias de los estudios. Desde el PROGEMA se recomienda realizar el estudio de manera bianual a partir de los 40 años, a partir de los 50 años de manera anual mientras que, para las pacientes que posean antecedentes familiares de primer grado (madre, hija o hermana) se recomienda realizar el estudio a partir de los 35 años o 10 años antes de la aparición de la enfermedad en el familiar.

Adoptando el criterio PROGEMA y utilizando datos históricos de la RSI se estimaron las cantidades de pacientes que potencialmente deberían demandar el estudio mamográfico. La población femenina mayor de 35 años sin cobertura social en la región es aproximadamente 31.192 pacientes, mientras que la población femenina con cobertura social incluiría a 77.871 mujeres. En este estudio solamente se consideran la población femenina sin cobertura social, lo que determina una demanda para la RSI de 23.199 mamografías anuales considerando el criterio de solicitud del PROGEMA.

#### 4.4 Datos de Costos

En la Tabla 3 se presentan los datos que se usan para la estimación de los costos totales, operativos de los mamógrafos y de transporte.

Tabla 3: Datos de costos

Concepto	Valor
Mamografías en efector privado (\$/mamogr.)	300
Mamografías en efector público (\$/mamogr.)	150
Combustible (\$/litro)	7
Cons. Combustible (litros/km)	7
Transprte público (\$/km)	0.85

### 5. Resultados del Caso de Estudio de la RSI.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la optimización del caso de estudio de la RSI, utilizando el modelo de la sección 3 y con los datos de la sección 4. Se evalúan varios escenarios que se discuten a continuación.

#### 5.1 Minimización de costos sin restricciones de accesibilidad.

En este escenario se considera totalmente relegada la restricción de accesibilidad del modelo, de modo que como función objetivo se utiliza la minimización de los costos totales.

Como se observa en la Tabla 4, el costo total anual es del orden de 2.900.000 \$ para realizar todas las mamografías demandadas. Sin embargo se puede apreciar también que la Accesibilidad global de toda la RSI, según la definición de definición dada en la Eq. (2), está muy lejos del valor ideal (atarget) que sería recomendable alcanzar, el cual es

de tan solo 18. También se observa que la totalidad de la demanda de mamografías se puede satisfacer sin necesidad de acceder a los mamógrafos privados, si lo que se desea es minimizar costos, ya que como queda claro también casi el 80% del costo total es por costos operativos de la realización de las mamografías, y las realizadas en instituciones privadas es dos veces más caras que las públicas (ver Tabla 3).

Tabla 4. Resultados de costo total y cantidades de mamografías para la RSI

<b>Resultados Generales</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Unidad</b>
Costo total	2.926.025	100	\$
Costo por viajes:	606.161	21	%
Costo operativo mamógrafos públicos	2.319.863	79	%
Costo operativo mamógrafos privados	0	0	%
Distancia promedio por mamografía	32,09	...	km
Accesibilidad global (Wang)	1.065.754	...	s/u
Accesibilidad simple	436.244	...	s/u
Accesibilidad objetivo (atarget)	17,98	...	s/u
Total mamografías realizadas	23.199	...	s/u
Dist. promedio por mamogr. (públicos)	32	...	km/mamogr.
Dist. promedio por mamogr. (privada)	0	...	km/mamogr.

En la Tabla 5 se observa que todas las mamografías se realizan en instituciones públicas, y que un 84 % de las mismas se llevan a cabo en mamógrafos ubicados en la misma localidad donde las mamografías son demandas. Esto está en correspondencia con el hecho que se está minimizando los costos totales. El 16 % restantes de las mamografías se deben derivar a otras localidades.

Tabla 5. Mamografías locales y derivadas

<b>Mamografías locales y derivadas</b>						
<b>Concepto</b>	<b>Cantidad de Mamografías</b>			<b>Porcentajes</b>		
	Mam. Públicos	Mam. Privados	Totales	Mam. Públicos	Mam. Privados	Totales
Locales	19.509	0	19.509	84,1 %	0,0 %	84,1 %
Derivadas	3.689	0	3.689	15,9 %	0,0 %	15,9 %
Totales	23.199	0	23.199	100,0 %	0,0 %	100,0 %

Como es de esperar, en la Tabla 6 se observa que la mayor parte de las mamografías, un 84 % se realizan en mamógrafos locales. Resulta interesante notar que a pesar que la capacidad total de la RSI excede a la demanda (ver Tabla 2), debido a las grandes distancias entre localidades que existen en la región, particularmente desde la localidades poco pobladas que son precisamente las que en su gran mayoría no disponen de mamógrafos, existe una cantidad importante de pacientes que deben viajar decenas de kilómetros para realizarse el estudio.

Tabla 6. Cantidad de mamografías realizadas por rango de distancias

Mamografías por distancia		
Concepto	Mamografías	Porcentaje
Localmente	19.509	84,1%
Entre 0-50 Km	1.916	8,3%
Entre 50-100 Km	654	2,8%
Más de 100 Km	1.120	4,8%
Totales	23.199	100,0%

Se observa que en casi un 5 % de los casos deben viajar más de 100 km. Estos resultados se condicen con el hecho que la Accesibilidad global según la definición de Wang (2013) resulta un valor muy alejado del valor ideal para la región (1.065.754 vs. 18), De las 122 localidades, los extremos en cuanto a distancias necesarias para recorrer se ubican en localidades pequeñas. La localidad de Guaminí tiene su propio mamógrafo por lo que la distancia promedio recorrida por una paciente es de tan solo 1 km, ya que se asumió esta distancia mínima para los mamógrafos ubicados en localidades pequeñas. En cambio para la localidad de Bahía San Blas, hay que recorrer en promedio 167 Km para acceder al servicio.

## 5.2 Optimización de la “accesibilidad” para valores fijos de costos totales.

En este caso de estudio se definió como función objetivo la minimización la  $FO2$ , dada por la distancia promedio recorrida definida en la Ec. (5). Se procedió a realizar varias optimizaciones con valores cada vez más restrictivos de disponibilidad de



presupuesto, de modo de construir una curva tipo Pareto de estos dos objetivos. En particular se evaluaron 9 escenarios, uno sin restricciones de presupuesto (se alcanza la mejor condición de la función objetivo de distancia recorrida) y luego límites de presupuesto que van desde los \$ 6.000.000 hasta el valor de \$ 2.926.025 donde se alcanza el mínimo costo que permite satisfacer la demanda total de mamografías. En la Figura 3 se presenta la curva “pareto” obtenida con este análisis.

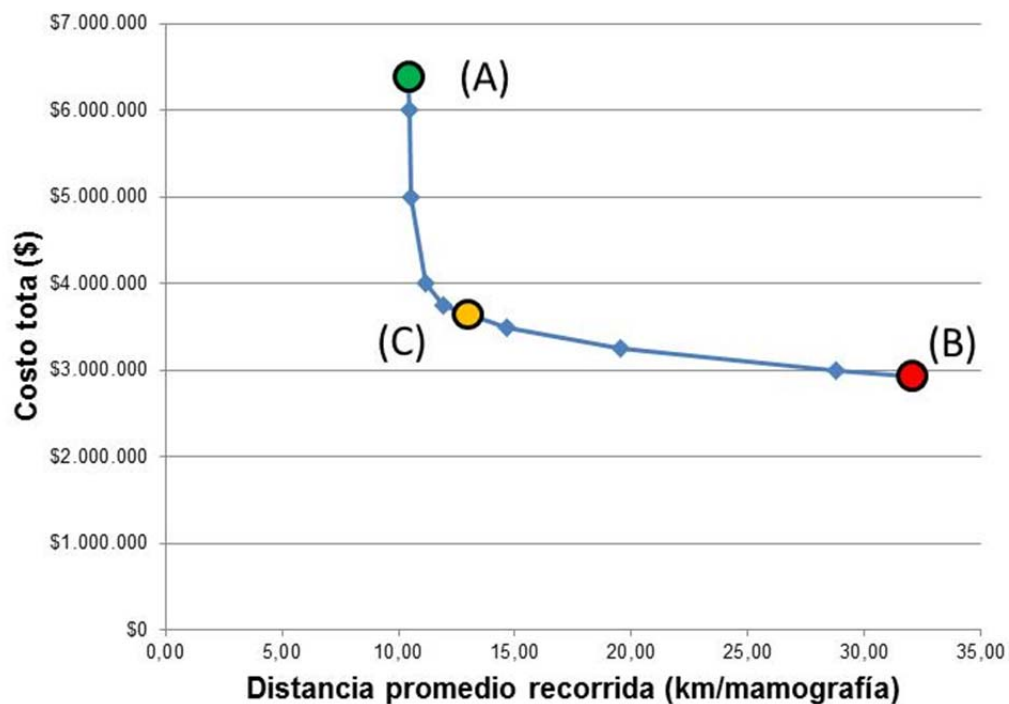


Fig. 3: Curva Pareto Costo Total (\$) vs. Distancia Media recorrida (km/mamografía)

El extremo (A) de la curva corresponde al mejor valor de distancia recorrida por mamografía (*FO2*) con un valor de 10.43 km/mamografía, a expensas de un incremento importante del costo total con respecto a su mínimo, que alcanza el valor de \$ 6.366.222. El punto (B), es la condición de mínimo costo (*FO1*) informada en la sección anterior con un valor de \$ 2.926.025 y una distancia recorrida de 32,09 km/mamografías.

El punto (C) en la curva Pareto resulta de interés. Como se observa en la figura, desde el punto (A) al (C) la función objetivo de distancia se deteriora solamente en

aproximadamente 2 km extras de recorrido por mamografía (menos del 20 % del valor óptimo dado por el punto (A)), pero el costo disminuye a un valor aproximado \$ 3.600.000 (unos \$ 2.700.000, o 42 % de disminución del valor en el punto (A)).

En la Fig. 4 se presentan las curvas de costos en función de la distancia media recorrida, pero discriminados en operativos en mamógrafos públicos, operativos en mamógrafos privados y en traslados.

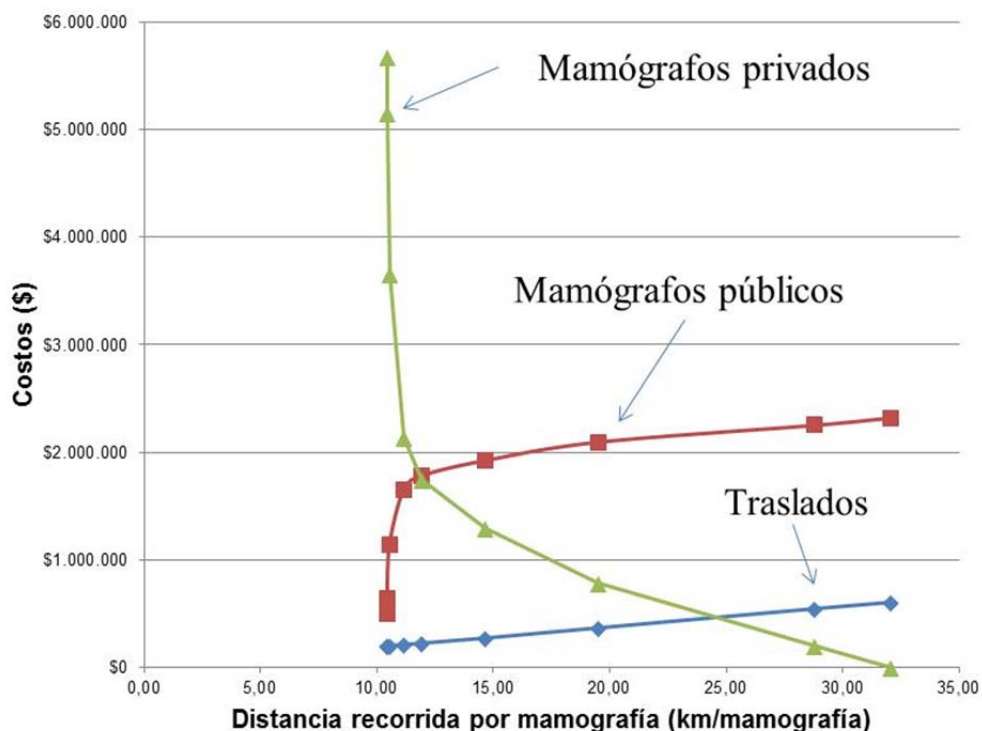


Fig. 4: Estructura de costos en función de distancia recorrida

Como es de esperar los costos de traslados crecen linealmente con la distancia, pero los costos operativos tienen un cambio importante alrededor de la ubicación equivalente al punto (C) de la Fig. 3, que corresponde a una distancia media de unos 12 km por mamógrafos. Este comportamiento puede explicarse teniendo en cuenta las demandas de mamografías, y la cantidad y tipo de mamógrafos (público o privado) disponibles en cada localidad.

En un escenario donde el sistema asume un alto costo (punto A), gran parte de las mamografías de una dada localidad se realizan con prestadores privados de la propia localidad. A medida que el costo se reduce, es preciso trasladar estudios a prestadores estatales de otras localidades (puntos B y C).

Si se siguen las curvas de la Fig. 4 de izquierda a derecha, se observa que comienzan a bajar drásticamente los costos operativos correspondientes a mamógrafos privados y suben en consecuencia los correspondientes a públicos. Es decir se da una progresiva transferencia de flujo desde los efectores privados a los servicios del sistema público con el objeto de reducir los costos operativos, que exceden a los costos de traslado

La ciudad de Bahía Blanca, con más de 300.000 habitantes es de lejos la de mayor población de la RSI, por lo que su demanda de 10.229 mamografías es también la mayor de la región. En cuanto a su capacidad, la ciudad posee dos mamógrafos públicos y siete privados que exceden en total esta demanda.

Mientras se da este cambio privado a público por razones de costo, las distancias se incrementan poco ya que dicho traslado se da principalmente dentro de la misma ciudad de Bahía Blanca, hasta saturar la capacidad de los prestadores públicos.

A partir del equivalente al punto (C), la ulterior disminución de costos implica continuar con el traslado privado a público, pero a costa de la derivación a los prestadores públicos de otras localidades.

## **6. Conclusiones.**

En el este trabajo se presentó un modelo matemático preliminar de optimización para la asignación óptima de mamografías a mamógrafos, considerando en forma simple el aspecto de la accesibilidad. Se presentaron resultados correspondientes a la aplicación de este modelo a un caso real: el sistema de mamógrafos de la Región Sanitaria I (RSI) de la Prov. de Bs.As. Este trabajo permitió en primer lugar, visualizar la necesidad que las instituciones de salud tienen de disponer de herramientas de soporte a la toma de decisiones para gestionar sistemas complejos, como lo son los sistemas preventivos de salud, en particular el sistema de mamógrafos de una dada región sanitaria.

En segundo lugar quedó clara a necesidad de avanzar en la sofisticación del modelo, para pasar a un nivel de diseño simultáneamente con el operativo del sistema, seleccionando la cantidad y ubicación de nuevos mamógrafos en función de la disponibilidad de presupuesto y a lo largo del tiempo. Se espera que los resultados permitan alcanzar un nivel de comprensión del problema que facilite a funcionarios y profesionales la toma de decisiones, dentro de las limitaciones de índole socioeconómica y política que suelen darse en la gestión de los sistemas de salud.

## 7. Referencias

- Griffin, P. M., Scherrer, C. R., Swann, J. L. (2007). Optimization of Community Health Center Locations and Service Offerings with Statistical Need Estimation.
- Joseph, A. E., and F. R. Phillips. 1984. Accessibility & Utilization. NY: Harper & Row.
- GAMS. A User's Guide. GAMS Development Corporation. (2012)
- Khan, Abdullah A.. Un enfoque integrado para la medición de potencial acceso espacial a los servicios de salud. Ciencias de la planificación socioeconómica. Volumen 26, Número 4, octubre de 1992, Pages 275-287.
- Mahar, S., Bretthauer, K. M., Salzarulo, P. A. (2011). Innovative Applications of O.R. Locating specialized service capacity in a multi-hospital network.
- Meade, M.S. and R.J. Earickson. 2000. Medical Geography, vol. 2. New York, Guilford. The Guilford Press
- PROGEMA, Programa de Prevención, Diagnóstico y Tratamiento del Cáncer Genitomamario, Ministerio de Salud de la Prov. de Bs.As. Url: <http://www.ms.gba.gov.ar/sitios/regionsanitaria7/progema/> (2013)
- RSI, Región Sanitaria I, Ministerio de Salud de la Prov. de Buenos Aires. Url: <http://www.ms.gba.gov.ar/sitios/regionsanitaria1/> (2013)
- Whang, F. (2012). Measurement, Optimization, and Impact of Health Care Accessibility: A Methodological Review, Annals of the Association of American Geographers, 102:5, 1104-1112.
- Whang, F., Tang, Q. (2013). Planning toward equal accessibility to services: a quadratic programming approach.

**Agradecimientos:** los autores del trabajo desean agradecer a la Univ. Nacional del Sur y al CONICET por el apoyo financiero, y a las autoridades de la Región Sanitaria I de la Prov. de Bs.As. por facilitar la información para la realización del mismo.