

## *Localización de hospitales: Analogías y diferencias del uso del modelo p-mediano en SIG raster y vectorial*

Liliana RAMÍREZ  
Joaquín BOSQUE SENDRA\*

Recibido: 1-III-2001. Aceptado: 9-V-2001

### RESUMEN

En este trabajo se muestran los resultados de la aplicación del modelo de localización-asignación óptima Minisum, también denominado P-mediano o Mindistance, mediante Sistemas de Información Geográfica raster y vectorial con el objeto de evaluar el grado de eficiencia espacial que presenta la actual distribución de hospitales públicos de la provincia del Chaco (Argentina). Para el tratamiento en formato raster se emplea el software «Localiza» que trabaja bajo entorno Idrisi, mientras que para la aplicación en formato vectorial se ha utilizado el programa «Arc/Info».

**Palabras clave:** localización-asignación, minisum, p-mediano, mindistance, servicios públicos, Chaco, Argentina.

### ABSTRACT

The results of the appliance of the model optimal Minisum locate-allocate, also called P-median or Mindistance by means of raster and vectorial Geographic Information Systems, whose aim is to assess the spatial efficiency of the present distribution of public hospitals in the Province of Chaco (Argentina), are shown in the work. The software LOCALIZA, which works under IDRISI, has been used for the treatment in raster format, while the programme ARC/INFO has been used for the application in vectorial format.

**Key words:** locate-allocate, minisum, p-median, mindistance, facility public, Chaco, Argentina.

---

\* Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá.

## 1. INTRODUCCIÓN: APROXIMACIÓN A LOS PRINCIPALES CONCEPTOS

### a) *Los servicios públicos*

La gran variedad de servicios que se han desarrollado y han crecido vertiginosamente en las últimas décadas ha sido consecuencia del desarrollo de la sociedad moderna y del aumento de las necesidades de la población. Frente al acelerado incremento de los servicios de carácter privado que surgen para cubrir nuevas necesidades, nos encontramos con los tradicionales servicios públicos que intentan satisfacer las necesidades básicas de la población. En la mayoría de las investigaciones referidas particularmente a la provisión de servicios públicos por parte del Estado, se ha llegado a la conclusión de lo difícil que resulta establecer el equilibrio justo entre la oferta de servicios y la demanda establecida por los habitantes de un territorio. No obstante se insiste, de manera continua, en que la búsqueda de ese equilibrio, que permita a la población, acceder, de forma semejante, a los mismos servicios públicos financiados por el Estado y, en definitiva, por toda la sociedad, debe proseguir, aunque lo más común, hasta el momento, sea descubrir los graves desequilibrios que la realidad contiene. Ello posibilitará esbozar, progresivamente, procedimientos y métodos que, auxiliados hoy, por la cada vez mayor y más eficaz innovación tecnológica (cuyo soporte fundamental, cuando se trata de análisis espacial o territorial, son los Sistemas de Información Geográfica, capaces de trabajar con una base de datos espacial y una base de datos temática), permitirán ayudar a determinar, en el futuro, las localizaciones óptimas de los servicios, para alcanzar conjuntamente la eficiencia y la equidad espacial.

El análisis de los servicios públicos implica fundamentalmente la oferta de los mismos por parte del Estado y puede ser abordado desde diversas perspectivas, nos interesa la visión geográfica, en la que se hace especial mención a la localización y distribución; y la social que apunta a que esa distribución de los servicios prestados por el Estado debe ser equitativa para mejorar gradualmente la calidad de vida. El carácter «público» de los servicios ha determinado que numerosos autores establezcan los criterios que deben conducir la planificación en lo que se refiere a la localización y distribución de los mismos: Surgen así los principios que deben prevalecer:

- *Eficiencia espacial*: se refiere al volumen global de desplazamientos que el conjunto de la demanda (población que requiere el servicio) debe efectuar para utilizar las instalaciones; trata de medir el coste, en

tiempos de recorrido o distancias, que la población se verá obligada a transitar para poder utilizar los servicios (Bosque Sendra, 1992: 227). En otras palabras la eficiencia se ocupa de maximizar los resultados de unos recursos dados. Por lo tanto una distribución eficiente minimizará el costo de utilización por parte de los usuarios.

- *Justicia o equidad espacial*: este principio tiene especial relevancia en el caso de los servicios ofertados por la Administración Pública, ya que son financiados por toda la población que, por lo tanto, tiene iguales derechos a usarlos en las mismas condiciones de acceso (Bosque Sendra y Mass, 1995: 100). Esta regla que es denominada «adecuación» por Vuori (1996: IX), expresa la relación entre los servicios disponibles y las necesidades de la población. Se refiere a la accesibilidad diferencial de un servicio por parte de los distintos grupos de población, es decir al grado de igualdad en la distribución de los servicios que presta cada instalación a la población. La justicia espacial depende en este caso de la mayor o menor facilidad de acceso y depende de la variabilidad de las distancias que separan a cada individuo de la instalación más próxima, del tamaño de la oferta existente en dicha instalación y de la disponibilidad temporal de los servicios (Bosque Sendra, 1992: 227).
- *Efectividad*: que expresa la relación entre el impacto actual de un servicio y su impacto potencial en una situación ideal (Vuori, 1996: IX). En otras palabras se refiere a la evaluación acerca de: a) ¿se consiguen, con los servicios actuales, las metas buscadas por las políticas?; b) ¿en qué lugares se alcanzan a cumplir con los objetivos propuestos?; c) ¿en qué lugares se fracasa en dicho logro y porqué?; y, por último, ¿dónde se debería modificar la actual situación?
- *Gestión*: hace referencia a la actuación inmediata y engloba cuestiones tales como: a) ¿a qué magnitud de la demanda atiende cada punto de servicio u oferta?; b) ¿qué usuarios se beneficiarán de los servicios que el Estado provee?; c) ¿cómo están desplegados los recursos —equipamientos— públicos y sus contrapartidas del sector privado?

En la práctica, eficiencia y equidad (los dos primeros principios señalados) pueden entrar en conflicto, ya que es posible que admitir o aconsejar la *eficiencia óptima de un servicio en un lugar determinado puede representar una resolución distributiva no equitativa*. De lo expuesto podemos deducir que *resulta casi imposible construir o localizar un servicio público en algún lugar que beneficiara a todos los ciudadanos por igual*. El hecho de la distancia geográfica y de la accesibilidad significa que *algunos estarán mejor situados, para disfrutar de las ventajas; o peor situados, acentuando las desventajas, tan-*

to en la instalación de un hospital, una biblioteca pública o unas obras de alcantarillado. Las decisiones de localización y los planes para la atribución espacial de los recursos se han de tomar con mucho cuidado si se quieren distribuir los beneficios y los inconvenientes dentro de la población de un modo predecible y equitativo (Smith, 1980: 54).

### *b) La teoría de la localización*

Otra cuestión que interesa en este aporte es «el problema de la localización» que, según Fernández Palacín (1992: 49), empieza a ser planteado en el siglo XVII por los matemáticos Fermat y Torriceli. En su forma más primitiva, trata de encontrar la posición de un punto en un plano, de tal forma que la suma de las distancias entre dicho punto y otros tres dados sea mínima.

Durante muchas décadas el punto central fue la búsqueda de una explicación de las tendencias y modelos generales de localización de las actividades humanas, entre ellas sobresalieron las teorías clásicas esbozadas, entre otros, por Heinrich von Thünen (modelo de localización sobre el uso del suelo agrícola), Alfred Weber (modelo de localización industrial) y Walter Christaller (teoría de los lugares centrales) (Méndez, 1997: 103). Pero los estudios de localización toman una dimensión más amplia cuando a principios de este siglo ciertos economistas toman interés en esta cuestión e incorporan además de la distancia, factores de carácter socioeconómico. Por ejemplo Alfred Weber, intentó encontrar el lugar más eficiente para la localización de industrias, tal que la misma se encontrara entre la producción de materia prima y el mercado consumidor. Sin embargo luego de desarrollar su teoría reconoció que tanto los procedimientos geométricos, como los principios mecánicos utilizados presentaban limitaciones para explicar la relación costo-transporte, y que no podría ser empleado para resolver problemas complejos de localización o casos de multi-localización (Ghosh and Rushton, 1987).

Hacia 1960, varias investigaciones, casi de manera simultánea, formularon soluciones para el problema de la localización de servicios. Estas aproximaciones no sólo proporcionaron una metodología para resolver el problema de Weber en ambientes complejos, sino que además extendieron el problema a la localización de múltiples instalaciones de servicios. De esta forma, con múltiples servicios, el objetivo además de encontrar la localización óptima, consistía en determinar la asignación de la demanda para aquellas localizaciones. Desde entonces la localización óptima depende de la asignación y en el futuro ambas tendrían que determinarse simultáneamente (Ghosh and Rushton, 1987).

Según éstos últimos autores, la dificultad principal de esta teoría de localización radica en el hecho de que en la mayoría de los casos no existen soluciones analíticas; por ello, a lo largo del tiempo, se han dado soluciones de tipo gráfico y analógico de gran imaginación, hasta que en la actualidad, con las modernas técnicas de la investigación operativa y, sobre todo, gracias al ordenador, es posible el empleo de procedimientos iterativos de una alta precisión. Desde la perspectiva geográfica, en general, pocos objetivos han marcado con tanta intensidad la evolución histórica de la geografía como el intento de responder a las preguntas sobre *¿dónde?* y *¿por qué?* El deseo de describir y entender la localización espacial, tanto de fenómenos físicos-naturales como de los relativos a la población, las actividades económicas, los grupos sociales o los usos del suelo, es uno de esos *problemas clave* que imprimen continuidad y cohesión a la ciencia geográfica (Toulin, citado por Méndez, 1997: 107).

Sin embargo los trabajos mencionados, originados en el seno de la geografía económica, y muchos otros estudios diseñados desde el punto de vista de otras disciplinas (economía política, urbanismo, administradores de servicios humanos o sociales), no han aportado demasiado a la explicación que se refiere a la *localización de servicios públicos* que, como bien hemos expresado más arriba, conllevan supuestos de partida o premisas muy diferentes de las que, en cada caso de los planteados en el párrafo anterior, los autores han manifestado. Hoy, la elaboración de políticas públicas, tanto de desarrollo económico como de desarrollo territorial necesitan de un buen conocimiento sobre las teorías de localización y, lógicamente, de un excelente diagnóstico de la situación real del espacio a considerar, a los efectos de tratar de conciliar la eficiencia y la justicia espacial en lo que respecta a la localización de servicios colectivos a la población (Moreno Jiménez, 1991).

En la actualidad, la teoría de la localización conforma una sugestiva línea de trabajo que desde hace tiempo ha ido aportando soluciones a problemas de ubicación de actividades de diversa naturaleza (Moreno Jiménez, 1996: 142). Este autor agrega que aunque la solución perfecta sea en la realidad una utopía, ya que implicaría integrar numerosos y muy variados aspectos, y a veces en franca contradicción, ello no empece que éstos métodos posean un valor importante, si se los usa con la cautela debida y los resultados se interpretan simplemente como apoyo o avales para una toma de decisiones mejor fundadas.

### c) *Los modelos de localización-asignación óptima*

Para concluir con este apartado que pretende clarificar los conceptos básicos que se manejarán en este texto, tenemos que señalar que un *modelo de localización-asignación* responde a las características de un modelo matemá-

tico (porque intenta trasladar ideas conceptuales al lenguaje matemático), meso-espacial (porque intenta resolver problemas de competencia en un territorio definido) y normativo (porque se pretende responder a la pregunta ¿cuál es la mejor solución a este problema?). En síntesis un modelo de localización-asignación óptima, es aquel que procura, a la vez, determinar la ubicación óptima de los equipamientos (localización) y asignarles la totalidad de beneficiarios potenciales (asignación). En otras palabras son modelos que intentan determinar la región o área de influencia de un servicio concreto.

En las últimas décadas estos modelos que originalmente fueron abordados desde la perspectiva de la geometría analítica, han sido incorporados en las funciones de conectividad de las tecnologías SIG, como módulos de trabajo de los denominados análisis de redes. Una red es un conjunto interconectado de entidades lineales que forman una estructura espacial por la cual se desplazan recursos, sean vehículos, personas, energía o información (Comas y Ruiz, 1993: 174). Estos autores añaden que los SIG realizan normalmente tres grandes tipos de análisis de redes: la predicción de carga que soportará la red, la búsqueda de rutas óptimas y la relocalización de recursos. Esta última tarea es la que nos interesa particularmente en este trabajo.

Un Sistema de Información Geográfica como el Arc/Info, incluye en su menú de ayuda la definición de localización-asignación, exponiendo que se trata de un proceso matemático diseñado para determinar la mejor, u «óptima», localización de uno o más equipamientos, tal que los servicios que él brinda sean accesibles a la población de la manera más eficiente posible.

Así vemos que desde la perspectiva de los Sistemas de Información Geográfica, las tendencias más recientes, señalan la progresiva confluencia de intereses de geógrafos y economistas en los modelos urbanos y regionales en un «entorno SIG» (Serra del Pozo, 1996: 790). Es por ello que, en éstos momentos, los esfuerzos están dirigidos a dotar a los SIG de aquellos elementos necesarios para la realización de análisis complejos (Basildo Martín y López Nieva, 1998: 321), intentando una integración de los mismos a los denominados sistemas expertos o sistemas de apoyo a la decisión espacial: SDSS —Spatial Decision Support Systems— (Bosque Sendra y otros, 2000).

Esta tendencia ha llevado a que los SIG incorporen los modelos de localización-asignación óptima que se han desarrollado de acuerdo con la diferente necesidad de localizar servicios públicos o privados y por otro lado también se precisan distintos modelos si los equipamientos a instalar son deseables también llamados filicos (que son aquellos en los que predominan las externalidades positivas: hospitales, escuelas, bibliotecas, cines), no-deseables denominados asimismo fóbicos (en los que las externalidades negativas son las preponderantes: cementerios, vertederos de residuos sólidos urbanos, cárceles) o híbridos, puesto que los objetivos, que persigue la

localización de cada tipo de instalación, son, como vimos, disímiles. Así, nos encontramos con diversas clasificaciones de modelos de localización-asignación, a continuación señalamos la que se menciona en el Proyecto LOCALIZA<sup>1</sup>:

- *Modelos de localización-asignación para equipamientos deseables*
  - En el sector privado:
    - \* Modelo P-mediano (también denominado Minisum o Mindistance)
    - \* Modelo lineal de maximización de la asistencia
    - \* Modelo no lineal de maximización de la asistencia
  - En el sector público:
    - \* Modelo P-mediano con restricción de máxima distancia
    - \* Modelo P-mediano con restricción de horarios de apertura
    - \* Modelo P-center
    - \* Modelo de mínimo número de centros
    - \* Modelo de cobertura máxima
    - \* Modelo de cobertura máxima con restricción de la distancia.
- *Modelos de localización-asignación para equipamientos no-deseables:*
  - \* Modelo Maximin
  - \* Modelo Maxisum
  - \* Modelos de localización-asignación basados en «límites mínimos o de cobertura/anticobertura»
  - \* Modelo complementario anticobertura

Debido a esta clasificación y a la naturaleza multiobjetivo que encierran los modelos de localización-asignación, la fase de modelado de un problema de localización adquiere serias dificultades para su resolución. Cada centro de demanda representa un criterio que valora positivamente el acercamiento de la posición destinada a la ubicación de la nueva utilidad. Esto motiva el estudio de diversas medidas que intentan optimizar la eficiencia, la eficacia y ambos a la vez. Dicho de otra forma el objetivo de la Teoría de la Localización es minimizar el coste en términos económicos, sociales, humanos, medioambientales, etc. que la ubicación del servicio provoca (Fernández Palacín, 1992: 50).

---

<sup>1</sup> LOCALIZA: un sistema de ayuda a la decisión espacial para la localización «óptima» de instalaciones. El Proyecto corresponde al n.º 06/0049/98 financiado por la Comunidad de Madrid.

## 2. OBJETIVOS Y MATERIALES

El objetivo fundamental de este aporte es el de «aplicar el modelo de localización-asignación óptima Minisum/Mindistance incorporado en diferentes SIG, de formato raster y vectorial, con el fin de analizar las analogías y diferencias que surgen de esa aplicación». El rasgo técnico-metodológico es entonces el que caracteriza a este objetivo, no obstante como la práctica se efectuará empleando un espacio geográfico definido —en concreto la Provincia del Chaco en la República Argentina— ello nos permitirá evaluar la situación en cuanto a localización y distribución de los actuales equipamientos hospitalarios de la mencionada jurisdicción, por lo tanto éste último se expone como un segundo objetivo de carácter temático.

Para alcanzar éstos objetivos emplearemos el modelo de localización-asignación óptima **P-Mediano** (también denominado **Minisum**) que tiene como meta determinar la localización de un cierto número de centros —*P*— (de allí el nombre que también se le otorga *P*-mediano), tal que el total de distancia recorrida sea minimizada (Hakimi, 1965 citado por Arc/Info). El servicio es localizado en un «centro ponderado» donde se ubica la mayor cantidad de demanda o de puntos de demanda, en otras palabras se trata de encontrar la localización mediana para un determinado servicio.

Es un modelo que tiene como único objetivo el de la eficiencia espacial, intentando definir posiciones de instalaciones que minimizan el total de recorridos de la demanda (Bosque Sendra, 1992: 228). Es decir, obtener el conjunto de localizaciones que minimizan el valor de la función *F* definida de la siguiente manera:

$$F = \sum_i \sum_j D_{ci} T_{ij} X_{ij}$$

siendo:

- F* = una función que minimiza los recorridos de la demanda.
- D<sub>ci</sub>* = demanda en el punto *i* (cantidad de usuarios, habitantes, personas que requieren el servicio).
- T<sub>ij</sub>* = coste de transporte desde el punto de demanda *i* al punto de oferta *j*. Normalmente se emplea la distancia entre los dos puntos.
- X<sub>ij</sub>* = es un término constante que vale 1 si el punto de demanda *i* es servido por el punto de oferta *j*, y 0 en otro caso.

Uno de los Sistemas de Información Geográfica que cuenta entre sus módulos de trabajo con este modelo de localización-asignación, bajo la designación de Mindistance, es Arc/Info. Este SIG, cuyo formato es de tipo vecto-

rial, cuenta entre sus herramientas con un módulo denominado ARCPLOT y dentro de él el comando LOCATEALLOCATE (localización-asignación) permite llevar adelante las tareas que aquí se expondrán. El análisis que se desarrollará en formato vectorial corresponde al comúnmente denominado «análisis de red» que requiere de una información de partida que detallaremos más adelante.

Para la aplicación del mismo modelo en SIG de formato raster hemos recurrido a un software elaborado en el Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá de Henares, en el marco del proyecto de investigación «Localiza». Este programa, que posee el mismo nombre del proyecto, si bien es un módulo de trabajo totalmente independiente, está preparado para efectuar las aplicaciones bajo entorno IDRISI. Además de los modelos de localización-asignación más habituales, como el Minisum que emplearemos en este caso, cuenta con una serie de utilidades adicionales que funcionan todas ellas desde el software antes aludido.

### 3. EL ÁREA DE ESTUDIO

En el noreste de la República Argentina, con una superficie de alrededor de 99.600 km<sup>2</sup> y una población que apenas superaba los 930.000 habitantes en 1998, se halla la Provincia del Chaco. Geográficamente se desarrolla entre los 24° y 28° de latitud sur y entre los 58° y 63°30' de longitud oeste (Figura 1)<sup>2</sup>.

Hacia el sector sudeste de esta provincia se ubica la capital del territorio, Resistencia, que concentra más del 30% de la población actual (alrededor de 333.000 habitantes). En el resto de la jurisdicción las ciudades más destacadas se emplazan a la vera de las principales líneas de comunicación.

Podemos apreciar que en el interior del territorio chaqueño, dos áreas destacan por su volumen de población, si bien distan mucho de la cantidad de habitantes del área mencionada anteriormente, los sectores de Presidencia Roque Sáenz Peña, en el centro mismo y Villa Angela, hacia el centro-sur, reúnen cerca de 80.000 y 40.000 habitantes respectivamente. En otro orden, se aprecian dos grandes «vacíos poblacionales», el noroeste y el sur-sureste, al que se puede adicionar un tercer sector que corresponde al extremo sudoeste de la Provincia. El primero de los tres espacios señalados en el párrafo anterior corresponde al «Impenetrable Chaqueño», un dilatado territorio de bosque leñoso muy difícil de transitar; el segundo se refiere a los «Bajos

<sup>2</sup> El Proyecto corresponde al n.º 06/0049/98 financiado por la Comunidad de Madrid.

<sup>3</sup> Todas las figuras que aparecen en esta contribución son de elaboración propia.

Sub-meridionales», un área a menudo inundable dedicada a la ganadería extensiva.

A las desventajas mencionadas que ofrece el medio natural hay que agregar la escasez de vías de comunicación, ya que son sectores que no se ven alcanzados por rutas nacionales y los caminos provinciales que los comunican con el resto del territorio son consolidados o de tierra y muchas veces se hallan en mal estado de conservación.

Para finalizar este apartado y de acuerdo con los objetivos que hemos expuesto cabe señalar que la Provincia del Chaco, según el Ministerio de Salud Pública, se divide actualmente en 6 zonas sanitarias y en 67 áreas programáticas de salud (Figura 1), para cada una de ellas contamos con información suministrada por la Dirección de Estadística Sanitaria de la Provincia. Debido a que los datos que precisamos para la aplicación del modelo de localización-asignación es de carácter puntual, la localidad con mayor volumen de población de cada área programática, tendrá atribuida el total de habitantes del área, de esta manera la información, que se convierte así en un dato puntual, será denominada **punto de demanda**, ya que se estima allí la cantidad de usuarios que requieren el servicio hospitalario. Según estas estimaciones efectuadas el conjunto de población que emplearía éstos equipamientos alcanza a 526.626 personas, ya que no todos los habitantes son posibles usuarios de hospitales públicos.

Desde la perspectiva de la atención hospitalaria la jurisdicción chaqueña cuenta en nuestros días con 41 localidades en las que se ubican hospitales públicos, éstos serán los denominados **puntos de oferta** hospitalaria. Si bien éstos 41 equipamientos sanitarios responden a diferentes niveles de complejidad según los servicios que brindan, en este aporte no tendremos presente estas disimilitudes (Figura 2).

#### 4. LA INFORMACIÓN DE PARTIDA

Para proceder a la aplicación del modelo de localización-asignación óptima incorporado en los SIG que se han señalado necesitamos una información de partida que es diferente según se trate de tratamiento en formato raster o vectorial.

Para el análisis en formato raster hemos empleado una imagen base de 2026 columnas por 1652 filas cuya resolución espacial o pixel es de 250 metros de lado. Para la aplicación de los modelos que contiene el software «Localiza»<sup>4</sup> requerimos de tres imágenes con información puntual: la prime-

---

<sup>4</sup> Este software ha sido desarrollado en el marco del Proyecto n.º 06/0049/98, financiado por la Comunidad de Madrid.



ra debe poseer la ubicación correcta de las localidades o puntos de demanda, comúnmente llamados «centroides», éstos puntos deben tener atribuido un identificador único que será necesario en el análisis; la segunda imagen, que no es obligatoria ya que depende de los objetivos planteados (más adelante ampliaremos), debe poseer la posición de los actuales hospitales públicos, estos puntos deben tener asimilado el mismo identificador que les corresponde según la localidad o punto de demanda en la que se encuentran emplazados, por otro lado se denominan también puntos de oferta fijos, ya que es donde actualmente contamos con el servicio hospitalario; la tercera imagen, que al igual que la anterior no es obligatoria ya que depende de nuestros objetivos, debe contener los puntos que poseen demanda pero no cuentan con el servicio requerido, constituyen los denominados puntos candidatos móviles (estas tres imágenes deben poseer un formato ascii, tal es el requerimiento del software).

En nuestro caso particular, la primera imagen de demanda, tiene 67 puntos; la segunda contiene los 41 puntos de oferta —hospitales actuales— y la tercera posee 26 puntos que corresponde a las localidades más destacadas (recordamos que hemos empleado una por cada área programática) que no poseen equipamiento hospitalario (Figura 2). Además de estas tres imágenes hay que contar con un archivo de valores en la que cada uno de los identificadores de las localidades que constituyen los puntos de demanda, tenga atribuida la demanda o población que requiere el servicio.

Con estas tres imágenes por separado, que representan los puntos de demanda, los puntos de oferta fijos y los puntos candidatos móviles y además el archivo de valores, que contiene la demanda atribuida a cada localidad, estamos en condiciones de aplicar el modelo de localización-asignación que presenta el programa Localiza.

El estudio en formato vectorial dijimos que forma parte de lo que se designa bajo el nombre de «análisis de red». Una «red» es un sistema interconectado de elementos lineales, que forman una estructura espacial por la que pueden pasar flujos de algún tipo: personas, mercancías... (Bosque Sendra, 1992: 207). En una red se diferencian elementos lineales (arcos), que se interrelacionan entre sí mediante elementos puntuales (nodos).

En nuestro análisis los arcos están representados por la red vial o los diferentes tramos de la red vial, que se interrelacionan entre sí por medio de los nodos o puntos en los que comienzan o finalizan cada uno de esos tramos de carreteras (Figura 3).

Si bien existen nodos que solamente sirven para establecer la conexión de la red, existen otros que además de enlazar las rutas, constituyen a su vez puntos de demanda, es decir, allí donde se ubica una localidad estaremos ante la presencia de un punto con demanda atribuida, esto es población que requiere



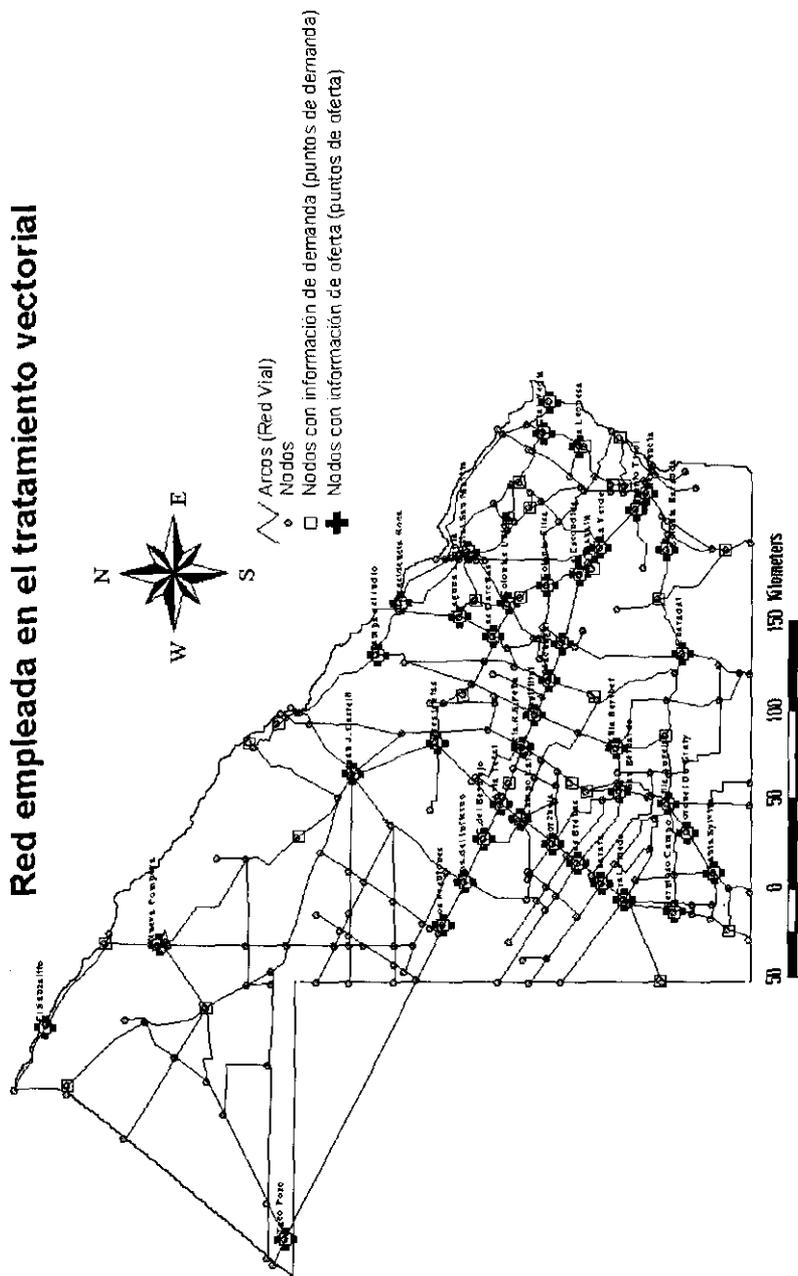


Figura 3

del servicio hospitalario. Esta población, toda vez que precise el servicio sanitario, empleará la red de carreteras para desplazarse de un sitio a otro.

La información de partida descrita, nos permite advertir la primera diferencia que presenta el tratamiento de los datos en formato raster y vectorial; mientras el primero trabaja con la distancia en línea recta o euclídana (ya que no emplea la red vial en el análisis), el segundo lo hace con distancias a través de carreteras, por lo cual este segundo método puede ser considerado más acorde con la realidad.

No obstante es necesario apuntar en este aspecto que el programa Localiza (raster) también permite el análisis de distancias de tipo Manhattan ello implica un mayor coste o esfuerzo por parte de la población para efectuar el desplazamiento desde un punto de demanda hacia uno de oferta, en un intento por simular de una mejor forma el recorrido habitual que realizan los usuarios, ya que lo menos habitual es el tránsito en línea recta. Desarrollaremos aquí los dos métodos para efectuar posteriormente las comparaciones.

## 5. LA APLICACIÓN DEL MODELO EN FORMATO RASTER: USO DEL PROGRAMA LOCALIZA

La meta en esta práctica es encontrar las 41 localizaciones óptimas según el modelo Minisum, ello nos permitirá conocer cuál es el conjunto de sitios óptimos que responden a la máxima eficiencia espacial, una vez conocidos es posible comparar éstos sitios con las actuales localizaciones y de esa manera evaluar el sistema hospitalario de la provincia. Para ello partimos de la imagen que contiene los 67 puntos de demanda, es decir los «centroides» al cual se asocia el archivo de valores que tiene atribuida la población que requiere el servicio. La función objetivo, recordemos, es minimizar el total de las distancias recorridas por esta población, empleando la distancia en línea recta o euclídana.

El resultado cartográfico alcanzado en esta primera aplicación se puede apreciar en la figura 4. Allí además de indicar las localizaciones óptimas que derivan del empleo del modelo, se han incluido las ubicaciones de los actuales hospitales.

De la observación de los resultados se puede señalar que existen 34 coincidencias entre la localización de los actuales centros y los que ha determinado el modelo Minisum empleando distancia euclídana. En otras palabras, de acuerdo con la demanda empleada, existen 7 localizaciones que son consideradas óptimas y que actualmente no poseen equipamiento hospitalario, ellas son: Miraflores, Villa Río Bermejito, El Palmar, La Tigra, Gancedo, Margarita Belén y Basail. En contrapartida, según el modelo existen 7

localidades que en el presente cuentan con hospitales y no constituyen sitios óptimos para ello. Ellas son: Pampa del Infierno, Laguna Limpia, Colonias Unidas, La Escondida, Makallé, Puerto Bermejo y Colonia Baranda. Esta notable coincidencia, del 82,9%, entre las localizaciones actuales y las óptimas nos conduce a expresar una primera conclusión en lo que hace a la evaluación del sistema actual que se refiere a que la distribución actual de los hospitales públicos responde en una elevada proporción al principio de eficiencia espacial.

Los resultados que se han descrito nos han permitido conocer la localización óptima para 41 equipamientos y cotejarlos con la ubicación actual para efectuar una eventual re-localización de los mismos, no obstante si la meta no es la de la re-localización sino la de instalar nuevos hospitales, entonces, el programa Localiza presenta la opción de escoger los sitios óptimos manteniendo fijos aquellos puntos que actualmente tienen oferta hospitalaria. Al aplicar ésta opción, siempre empleando la distancia euclidiana, a los 41 hospitales actuales se le añaden tres sitios más que son Villa Río Bermejito, Miraflores y El Palmar.

El mismo tratamiento anterior es decir el de obtener las localizaciones óptimas a partir de la totalidad de los puntos de demanda o a partir, solamente, de los puntos que no poseen hospitales, se puede llevar adelante empleando la distancia de Manhattan. Ello implica un mayor costo de desplazamiento de la demanda para alcanzar la oferta, ya que las distancias, al ser calculadas de modo diferente, se amplían. A pesar de este análisis disímil los resultados no arrojan grandes disparidades, cuando se pretende la localización óptima de 41 equipamientos sólo se aprecia un sitio en el que ambos tratamientos no coinciden, favoreciendo este segundo análisis a la localidad de Pampa de Infierno en donde existe actualmente un hospital y no considerando a Gancedo, en el sector sudoeste de la provincia, como sitio óptimo. Con esto las coincidencias entre la realidad y las localizaciones óptimas logradas con el modelo Minisum empleando distancia de manhatan aumentan a 35, es decir que la proporción de concordancia es ahora del 85,4%. Los resultados referentes a las localizaciones óptimas logradas también se han volcado en la figura 4.

La figura 5 intenta sintetizar lo señalado hasta el momento respecto de las localizaciones óptimas logradas mediante SIG raster en relación con la situación que actualmente se presenta en el territorio que es objeto de estudio. De la observación de la figura podemos deducir que las localizaciones óptimas logradas mediante el modelo Minisum empleando tanto distancia euclidiana o de manhatan son muy semejantes, ya que los 40 sitios óptimos en los que coinciden —sobre un total de 41— determinan un 97,5% de concordancia, de hecho sólo difieren, como ya lo dijimos, en un sitio óptimo. Por otro lado, en ambos casos, las elevadas coincidencias entre las ubicaciones de los actuales hospitales y las

### Localizaciones óptimas definidas por el modelo MINISUM (SIG Raster) según distancia euclidiana y de manhatan

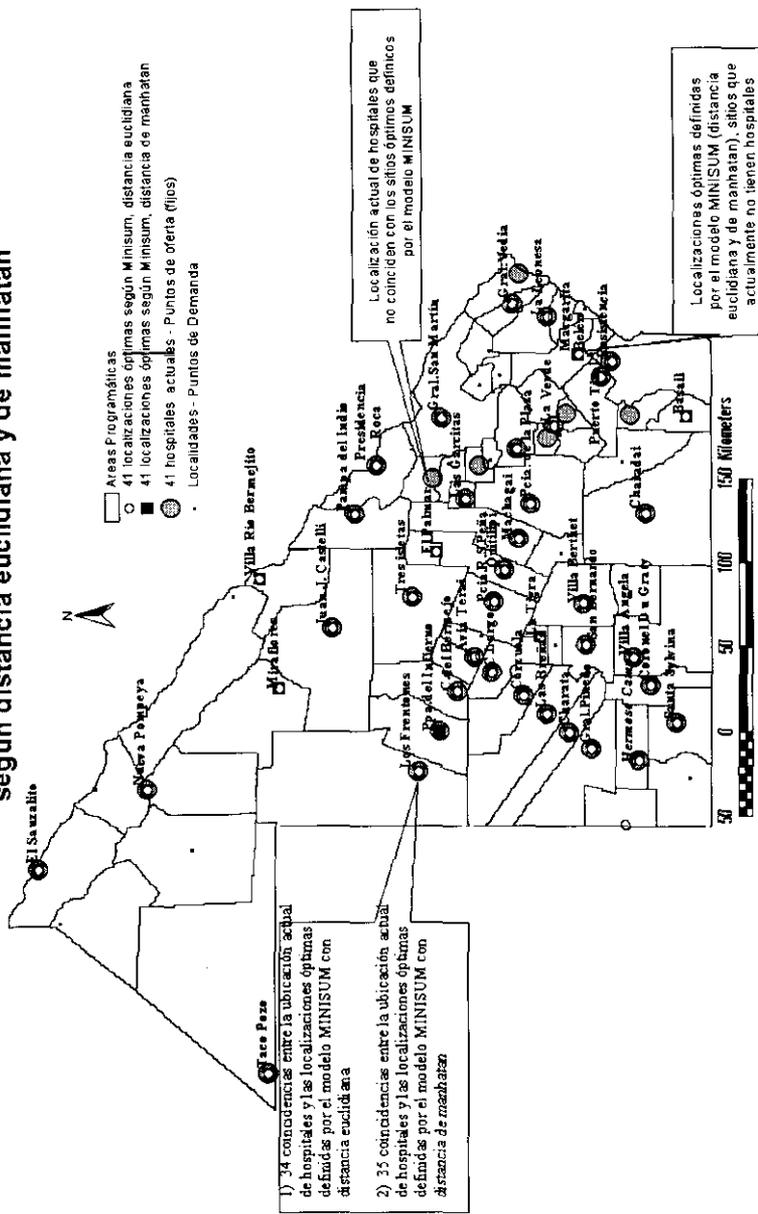


Figura 4

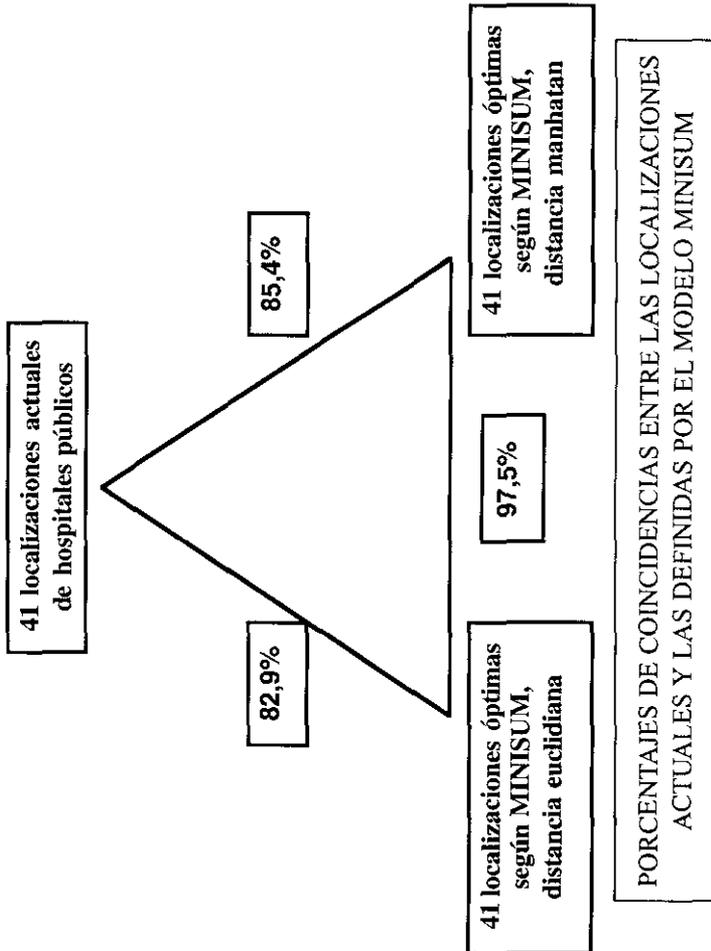


Figura 5

localizaciones óptimas logradas (superior al 80% en los dos tratamientos de distancia) nos conducen a afirmar que es el principio de eficiencia espacial el que caracteriza a la ubicación actual de los hospitales en la provincia del Chaco<sup>5</sup>.

Hasta ahora hemos visto la distribución de las localizaciones óptimas logradas, sin embargo para conocer si efectivamente éstas localizaciones encontradas mejoran la situación actual de la población en cuanto a la accesibilidad hacia los puntos de oferta, tenemos que recurrir a algunos parámetros que nos permitan evaluar las mejoras que el actual sistema obtendría con una distribución que responda a éstos sitios definidos como óptimos por el modelo Minisum, según los dos tratamientos de las distancias empleadas. Hemos elegido como magnitudes a cotejar las que figuran en la tabla 1<sup>6</sup>.

En primera instancia hemos incluido los resultados de los parámetros escogidos para la actual situación en el territorio. El total de las distancias recorridas (resulta del producto del total de usuarios que requiere el servicio por la distancia que deben recorrer para hacer uso de los mismos), es la medida más interesante para conocer la eficiencia que presenta el sistema, como podemos apreciar en la tabla, las 41 localizaciones óptimas logradas en ambos tratamientos de distancias disminuyen significativamente los recorridos que efectuaría la demanda, menguan en más de un 45%, por lo tanto al descender esta magnitud, aumenta la eficiencia espacial. Por otro lado se reduce en más de un 17% la distancia media y en un 26,5% la distancia máxima que los usuarios tendrían que recorrer si la distribución de los instalaciones respondiera a los sitios óptimos. La consecuencia primordial de estas reducciones es que también desciende, de una manera mucho más significativa, la cantidad de población o usuarios que residirían a más de 30 kilómetros del equipamiento hospitalario más próximo, en este caso, como también vemos en la tabla 1, hablamos de una disminución superior al 80%. De esta forma se mejoraría ampliamente la accesibilidad hospitalaria de la provincia.

La situación descrita anteriormente implicaría la relocalización de varios instalaciones (exactamente 7), lo que no siempre es posible, por ese motivo

---

<sup>5</sup> Esta afirmación también se fundamenta en el hecho de que al haber aplicado el modelo de localización-asignación «Cobertura Máxima», que es el que responde al principio de «justicia espacial», los porcentajes de coincidencias con las ubicaciones actuales han sido menores, de alrededor del 60%, de allí la aseveración que señalamos. Estos resultados, por razones de espacio, no se incluyen en este aporte (Ramírez, 2000: 346, inédito).

<sup>6</sup> El hecho de haber elegido la distancia de 30 kilómetros para establecer los volúmenes de demanda que quedan comprendida dentro y fuera de ella, radica en que en oportunidad de efectuar diversas entrevistas a directores de hospitales en la provincia que es objeto de estudio, varios de ellos manifestaron que si toda la población que hace uso del servicio hospitalario tuviese que recorrer solamente 30 kilómetros para acceder a los mismos significaría un gran avance en la equidad espacial.

Tabla 1

	<i>Total de la distancia recorrida (en Km)</i>	<i>Distancia Media (en Km)</i>	<i>Distancia Máxima (en Km)</i>	<i>Demanda hasta los 29,9 Km</i>	<i>Demandad a 30 Km y más</i>
41 hospitales del sistema actual	1.765.708	10,9	60,3	520.899	41.727
41 instalaciones definidos por MINISUN, distancia EUCLIDIANA	966.291	8,75	44,3	556.888	5.738
41 instalaciones definidos por MINISUN, distancia MANHATAN	969.152	8,96	44,3	554.490	8.136
44 instalaciones definidos por MINISUN, distancia EUCLIDIANA	1.126.053	8,39	44,3	551.923	10.703
44 instalaciones definidos por MINISUN, distancia MANHATAN	1.126.053	8,39	44,3	551.923	10.703

hemos ya planteado la posibilidad de ubicar, por ejemplo, tres nuevos hospitales manteniendo fijos los existentes. Para este caso, en el que las 3 localizaciones óptimas coinciden tanto para el tratamiento de distancias euclidianas como para el de Manhattan, las magnitudes que se analizan arrojan igualmente resultados satisfactorios; el total de las distancias recorridas disminuye en un 36,2% y con ello aumenta la eficiencia espacial del sistema; la distancia media y máxima se reducen asimismo en un 23% y 26,5% respectivamente; por último, en cuanto a la cantidad de usuarios que viven a más de 30 kilómetros del hospital más próximo, desciende en un 74,3% y con esto último mejoraría significativamente la accesibilidad hacia las instalaciones por parte de quienes las necesitan y en cierta medida aumentaría la justicia espacial del sistema. No obstante lo que no podemos dejar de mencionar en este análisis es que aún añadiendo tres instalaciones más a las 41

existentes, no se logra el grado de eficiencia espacial que se alcanza con los 41 sitios óptimos. Así, si observamos los resultados logrados del análisis espacial efectuado mediante la distancia euclidiana, con 41 equipamientos ubicados en los sitios óptimos el recorrido total de la distancia alcanza a 966.291 kilómetros mientras que si adicionamos 3 equipamientos a los ya existentes el recorrido total de la distancia asciende a 1.126.053 kilómetros, algo semejante se obtiene del análisis espacial mediante la distancia de Manhattan (Tabla 1).

## 6. LA APLICACIÓN DEL MODELO EN FORMATO VECTORIAL: USO DEL PROGRAMA ARC/INFO

Al igual que en el caso anterior la meta ahora es encontrar nuevamente las 41 localizaciones óptimas que minimicen el total de las distancias recorridas por la demanda, para ello hemos empleado el modelo incluido en el software Arc/Info, denominado Mindistance. Se trabajará con la «red» que describimos más arriba, esto significa que ahora el desplazamiento de los usuarios para alcanzar los hospitales se efectúa indudablemente por las vías o carreteras que comunican los puntos de demanda con los puntos de oferta.

Los resultados en cuanto a las localizaciones óptimas encontradas se han representado en la figura 6. Al introducir, junto con los resultados logrados, las ubicaciones de los actuales hospitales podemos advertir que los sitios adecuados definidos por el modelo Mindistance coinciden con 33 localizaciones actuales de instalaciones hospitalarios, es decir una concordancia del 80,5%.

De acuerdo con éstas localizaciones óptimas existen en este caso 8 sitios que en el presente tienen hospitales que no son considerados adecuados por este modelo, ellos son: Corzuela, Pampa del Infierno, Laguna Limpia, Colonias Unidas, La Escondida, Makallé, Puerto Bermejo y Colonia Baranda. En oposición los lugares adecuados para establecerlos serían Comandancia Frías, Miraflores, Villa Río Bermejito, El Palmar, La Tigra, Gancedo, Margarita Belén y Basail.

Si cotejamos estos resultados con los obtenidos en el análisis en formato raster las coincidencias son del 97,6%, es decir que sobre un total de 41 localizaciones buscadas, el modelo Mindistance concuerda en 40 sitios con el modelo Minisum, tanto si empleamos distancia euclidiana como si usamos distancia de Manhattan para el tratamiento en formato raster.

No obstante a pesar de las altas concordancias, el sitio en el que difieren no es el mismo. Mientras el modelo Mindistance incorpora a la localidad de Comandancia Frías como ubicación óptima, en el extremo noroeste, el mode-

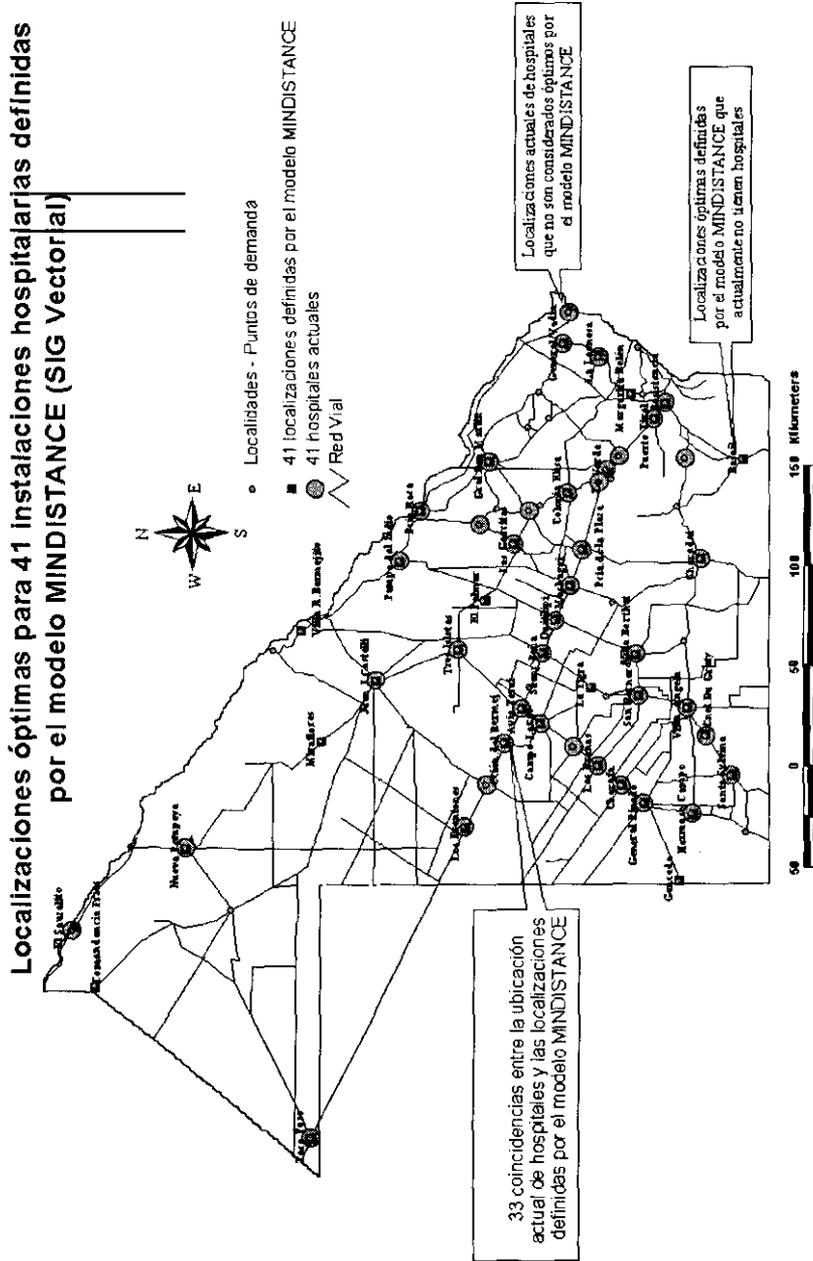


Figura 6

lo Minisum con distancia euclidiana, considera a Corzuela y con distancia de Manhattan incorpora a Pampa del Infierno, éstos dos últimos poseen actualmente instalaciones hospitalarias.

Sintetizamos lo dicho en la figura 7.

Se puede advertir que a pesar del distinto análisis espacial que en cada caso se lleva a cabo, ya que si bien el modelo Minisum/Mindistance, emplea el mismo algoritmo de resolución hemos visto que el cómputo de las distancias es disímil —en el primero es distancia rectilínea o de Manhattan y en el segundo la distancia se calcula a través de la red viaria—, las localizaciones óptimas encontradas coinciden en un 97,5%. Mientras que cuando se trata de comparar con las actuales ubicaciones de hospitales la concordancia supera, en los tres casos, el 80%.

Lo mencionado en el párrafo anterior nos permite confirmar que la distribución actual de hospitales en la provincia del Chaco responde, como ya lo anticipamos, en una elevada proporción al principio de eficiencia espacial. Por otro lado, es posible señalar que, si lo que se desea es maximizar este criterio para lo cual es necesario emplear el modelo Minisum/Mindistance/P-mediano, los SIG en distinto formato que hemos utilizado —raster y vectorial—, arrojan soluciones muy semejantes. No obstante recordemos que los servicios públicos deben responder al principio de justicia espacial para lo cual será necesario llevar adelante un análisis como el que aquí se presenta pero empleando el modelo de localización-asignación de cobertura máxima (ver nota al pie 5).

Los resultados alcanzados luego de la aplicación del modelo Mindistance con el software Arc/Info nos permiten conocer, además de las localizaciones óptimas mostradas en la figura 7, ciertos parámetros semejantes a los que se indicaron en oportunidad del análisis en formato raster, éstos se señalan en la tabla 2.

**Tabla 2**

	<i>Total de la distancia recorrida (en Km)</i>	<i>Distancia Media (en Km)</i>	<i>Distancia Máxima (en Km)</i>	<i>Demanda hasta los 29,9 Km</i>	<i>Demandada a 30 Km y más</i>
41 hospitales del sistema actual	2.088.366	13,9	137,2	532.256	30.370
41 instalaciones definidos por MINDISTANCE,	1.127.180	9,4	45,8	549.430	13,196

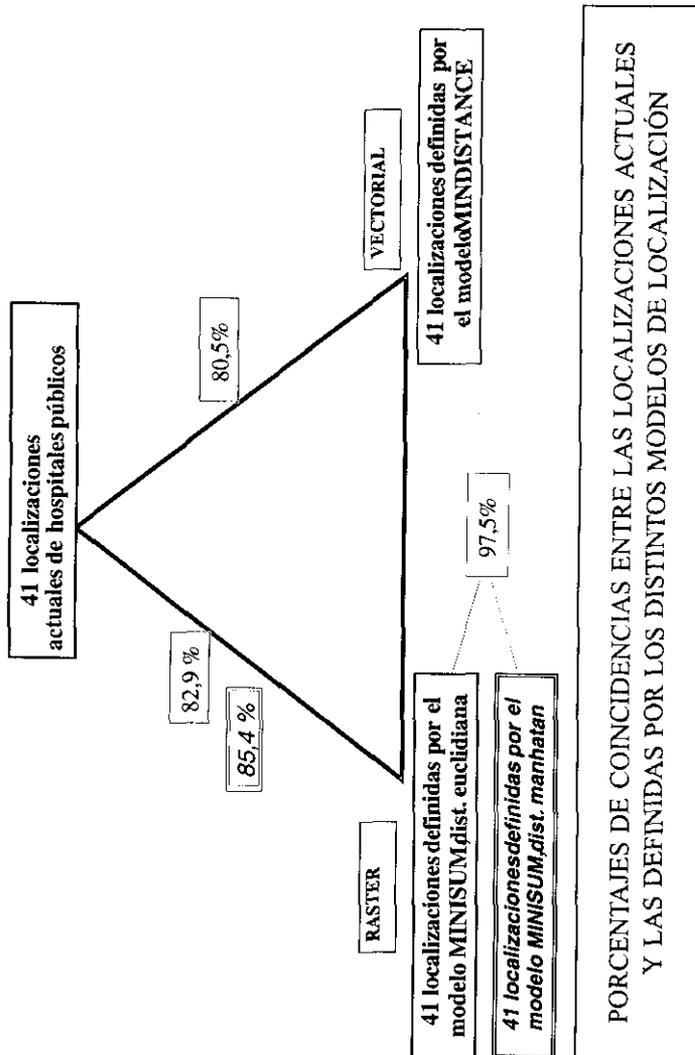


Figura 7

Como lo mencionamos en oportunidad del análisis en formato raster el total de la distancia recorrida es la magnitud que nos permite examinar la eficiencia espacial de un sistema, así este principio mejoraría notablemente con las localizaciones óptimas surgidas de la aplicación del modelo Mindistance, ya que el parámetro analizado disminuye en un 46%. Lo mismo ocurre con la distancia media y la máxima que descienden en un 32,4% y 66,6% respectivamente. En cuanto a la demanda que reside a más de 30 kilómetros de la instalación hospitalaria más próxima, del mismo modo se reduciría en un 56,5%, ya que de 30.370 usuarios que actualmente tienen que recorrer más de esa distancia para alcanzar un hospital, pasarían a ser 13.196. Sin duda en este caso las localizaciones óptimas encontradas mejoran la situación que actualmente presenta la distribución de los hospitales en el territorio chaqueño, lo que desembocaría en una mayor accesibilidad al servicio por parte de los usuarios, siempre desde la perspectiva de la eficiencia espacial.

Es necesario resaltar que resulta impropio efectuar una comparación entre los parámetros incluidos en las tablas 1 y 2, puesto que el tratamiento o cómputo de las distancias es totalmente diferente, en el formato raster, recordemos, las distancias pueden ser euclidianas o de Manhattan, mientras que en formato vectorial las distancias se miden por carreteras. Por este motivo los recorridos siempre son mayores en el último formato señalado.

Otra cuestión a resaltar es que los modelos incorporados en el software Arc/Info, no permiten mantener fijos los puntos de oferta que en el presente tienen instalaciones hospitalarias, por ello no se incorpora esta opción, no obstante este software tiene otras alternativas de análisis que no nos detendremos a exponer en esta contribución.

## CONCLUSIONES

Si bien las conclusiones del presente artículo se han ido señalando de manera parcial a lo largo del mismo, podemos manifestar que, de acuerdo con los dos tipos de objetivos que oportunamente se han planteado, en lo que respecta a la aplicación del modelo Minisum/Mindistance a través de los SIG de formato raster y vectorial, hemos alcanzado localizaciones óptimas muy semejantes a pesar de que el tratamiento de las distancias es muy disímil. El hecho de que las coincidencias, como vimos sean superiores al 97% nos indica que para nuestro territorio en particular, con la distribución de los puntos de demanda que hemos mostrado y con una red vial muy peculiar los logros que se alcanzan empleando un sistema u otro son muy similares. Por lo tanto la utilización de un SIG raster o vectorial para obtener localizaciones óptimas en la Provincia del Cha-

co, es indistinto. Con esto queremos decir que si bien la aplicación del modelo de localización-asignación utilizado arroja, en este caso, resultados parecidos, no es una conclusión que pueda ser generalizada a todos los posibles análisis territoriales que se lleven adelante en otras jurisdicciones, ya que, una distribución de los puntos de demanda diferente o una red vial con mayores o menores posibilidades de circulación puede desembocar en resultados muy disímiles.

En lo que se refiere al objetivo de carácter temático hemos también resalado que la actual distribución de los hospitales en la Provincia del Chaco, responde en una elevada proporción al principio de eficiencia espacial, ya que las concordancias, superiores siempre al 80%, entre las localizaciones actuales y las óptimas así lo demuestran. Por otro lado se ha indicado asimismo que los sitios adecuados que ha arrojado el modelo empleado mejorarían significativamente la accesibilidad de los usuarios, siempre desde la perspectiva de la eficiencia espacial.

Antes de finalizar es necesario puntualizar que las aplicaciones realizadas arrojan, además de las localizaciones óptimas que aquí se han expuesto, las asignaciones de demanda que le correspondería a cada equipamiento que se instale en un sitio considerado óptimo. Este último tema, por cuestiones de espacio, no ha sido abordado en este trabajo.

Creemos que con lo señalado queda justificada la importancia y la ayuda que el manejo de los SIG y de los modelos de localización-asignación óptima puede aportar en la toma de decisiones que tienen que ver con la planificación o el ordenamiento de carácter territorial, que como meta debe perseguir la mayor y mejor accesibilidad a los servicios por parte de la población.

## BIBLIOGRAFÍA

- Basildo Martín, Rosa y López Nieva, Pedro (1998): «Aproximación bibliográfica a los Sistemas de Información Geográfica aplicados a la Ordenación del Territorio y los Recursos Naturales». En: *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, n.º 18, pp. 319-335. Madrid: España.
- Bosque Sendra, Joaquín (1992): *Sistemas de Información Geográfica*. Ediciones Rialp, S. A. 451 pp. Madrid, España. Ed., 1992.
- Bosque Sendra, Joaquín y Maass, Sergio (1995): «Modelos de localización-asignación y evaluación multicriterio para la localización de instalaciones no deseables». En: *Serie Geográfica*, n.º 5, pp. 97-112. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares, España.
- Bosque Sendra, Joaquín; Gómez Delgado, Montserrat; Moreno Jiménez, Antonio y dal Pozzo, Francesco (2000). «Hacia un sistema de ayuda a la decisión espacial para la localización de equipamientos». En *Estudios Geográficos*, t. LXI, n.º 241, pp. 567-598.

- Comas, David y Ruiz, Ernest (1993): *Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica*. Editorial Ariel. Barcelona, España.
- Dirección de Estadística Sanitaria. *Anuario de Estadísticas Sanitaria, 1996-1997-1998*. Ministerio de Salud Pública. Provincia del Chaco. Argentina.
- Dirección de Estadística Sanitaria. *Anuario de Estadísticas Vitales, 1996-1997-1998*. Ministerio de Salud Pública. Provincia del Chaco. Argentina.
- Fernández Palacín, Fernando (1992): «Algunas ideas sobre análisis locacional». En: *Cuadernos de Geografía*, n.º 3, pp. 49-58. Universidad de Cádiz. España.
- Ghosh, Avijit and Rushton, Gerard (1987). *Spatial Analysis and Location-Allocation Models*. Van Nostrand Reinhold Company. 373 pp. New York. Estados Unidos.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. *Censo Nacional de Población y Viviendas de la Provincia del Chaco, 1991*. Buenos Aires, Argentina, 1992.
- Méndez, Ricardo (1997): *Geografía económica. La lógica del capitalismo global*. Editorial Ariel S. A. Ariel Geografía. 384 pp. Barcelona, España.
- Moreno Jiménez, Antonio (1991): «Los Centros Culturales en Madrid: Un análisis geográfico de la provisión y el uso». En: *Estudios Geográficos*. Tomo LII, n.º 205. CSIC. Instituto de Economía y Geografía Aplicadas, pp. 697-730. Madrid, España.
- Moreno Jiménez, Antonio (1996): «Localización de la población y servicios de farmacia». En: *Población y espacio en la Comunidad de Madrid*. Análisis y aplicaciones a nivel microeconómico. Informe monográfico del Tomo 4 de la Estadística de Población de la Comunidad de Madrid, 1996. Sitio Web: HYPERLINK <http://www.comadrid.es/iestadis> [www.comadrid.es/iestadis](http://www.comadrid.es/iestadis).
- Ramírez, Mirta Liliana (2000): *Evaluación y diagnóstico de la situación hospitalaria en la Provincia del Chaco (Argentina). Aplicación de modelos de localización-asignación óptima mediante Sistemas de Información Geográfica, para posibles nuevos hospitales*. Trabajo de Investigación (inédito). Tercer Ciclo del Programa de Doctorado de la Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares, España.
- Serra del Pozo, Pau (1996): «Análisis espacial y modelos urbanos en un entorno SIG». En: *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*. XXVIII (110), pp. 785-799. Madrid, España.
- Smith, David (1980). *Geografía Humana*. Editorial Oikos-tau. Colección Elementos de Geografía. 586 pp. Barcelona, España.
- Vuori, H. V. (1996): *El control de calidad en los servicios sanitarios*. Editorial Masson, S. A. (traducción al castellano, 1996). 142 pp. Barcelona, España.