

RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE EQUIPAMIENTOS CON FLOWMAP

ANTONIO MORENO JIMÉNEZ

1. INTRODUCCIÓN

La preocupación por determinar la localización más acertada para alguna actividad o uso del suelo resulta de un inequívoco interés aplicado en las labores de planificación sectorial, territorial y urbana y ha entrado en la agenda de los investigadores desde hace tiempo, los cuales están desarrollando sofisticados y poderosos métodos para abordar muchos problemas reales.

Una de las vías de investigación al respecto es la que se centra en la formulación y resolución de los llamados modelos de localización óptima, (Daskin, 1995; Bosque y Moreno, 2004; Buzai y Baxendale, 2006; De Smith, Goodchild y Longley, 2006), que están avistando la emersión de los llamados sistemas de apoyo a las decisiones espaciales, SADE (vid. Batty y Densham, 1996; Bosque et al. 2000). En el campo de los servicios colectivos, tales modelos son útiles cuando se suscita la necesidad de implantar una red de centros "ex novo", ampliar la red de equipamientos existentes, trasladar algunos, cerrar otros, etc. Así mismo, son de notable interés para comparar esquemas de dotación actual o futura con los óptimos definidos a partir de ciertos criterios y poder valorar así las diferencias que les separan.

Pese a las indudables potencialidades aplicadas de este tipo de herramientas no suelen estar incluidas dentro del conjunto de funciones estándar que ofrecen los SIG comerciales más difundidos. Varias causas probablemente han influido en ello: la complejidad de estas técnicas, la limitación de su mercado comercial hasta ahora, la multiplicidad de modelos (que suelen requerir esfuerzos de programación informática adicionales), etc.

En sus orígenes el software usado para abordar estos problemas provino de dos cauces:

- Por un lado el de programación matemática, que además de los problemas no espaciales, era idóneo para afrontar la resolución exacta de algunos de los modelos de optimización espacial, bajo ciertas condiciones de tamaño o formulación de los mismos.
- Por otro, los programas que incorporan algoritmos de tipo heurístico – búsqueda iterativa - surgidos de la iniciativa de distintos equipos de investigación, a menudo universitarios, que han sido distribuidos casi o totalmente de forma libre. En una somera revisión retrospectiva cabe destacar varias obras que incluyeron diversos programas de esta índole tales como el lejano NORLOC (Törnquist et al., 1971), la serie ALLOC promovida en el Department of Geography de la Universidad de Iowa (Rushton, Goodchild y Ostresh, 1973), la debida a Bach (1980), PLACE de Goodchild y Noronha (1983), ulteriormente mejorado en el sistema LADSS por Densham (vid. Densham y Rushton, 1992; www.emin.geog.ucl.ac.uk/~pdensham/sdss/sdss.stm), NEWLAP (Lindquist, 2002); SITATION elaborado y distribuido por Daskin (1995; <http://users.iems.northwestern.edu/~msdaskin/Mark%20S.%20Daskin%20Publications.html>); o AccessPlan desarrollado entre la Universidad de Waterloo (Canadá) y el Centro Latinoamericano de Demografía (CELADE, Chile; vid. Hall y Bowerman, 2004). En los últimos tiempos, los desarrollos más interesantes han sido aquéllos que vinculan el software de optimización espacial con los sistemas de información geográfica (SIG). Hace años ESRI incluyó en ArcInfo funcionalidades para resolver algunos modelos de localización-asignación óptima y más tarde el software LOCALIZA se desarrolló apoyado en Idrisi for Windows (Bosque y Moreno, 2004, cap. 5 y 6). La no actualización de dichos programas al ritmo que lo hace el SIG vinculado ha perjudicado su difusión.

Actualmente, como opción útil para disponer de programas de localización óptima cabe recurrir a la oferta que en el portal del European Working Group on Locational Analysis (<http://www.vub.ac.be/EWGLA/>) se va publicando a partir de los desarrollos en investigaciones experimentales. La adopción de algún estándar para la transferencia de geodatos a otro software (e. g. vía archivos DBase, dbf), facilita las aplicaciones. Tal es el caso de S-DISTANCE, desarrollado en el Department of Planning and Regional Development en la Universidad de Tesalia, Grecia (www.prd.uth.gr/res_labs/spatial_analysis/software/SdHome_en.asp). Un caso parecido es el de FLOWMAP, un veterano sistema de análisis y modelado espacial, soportado por la Faculty of Geographical Sciences de la

Universidad de Utrecht, que incluye funcionalidades convenientes para la migración de datos con SIG populares.

En este capítulo se ha optado por ésta última herramienta para introducir al lector en las tareas de hallar soluciones óptimas, mediante algunos conocidos modelos. Las prestaciones de Flowmap, las posibilidades de transferencia de sus formatos de datos y su disponibilidad, gratuita en la versión educativa, le hacen un candidato destacado para estudiosos e interesados con escasos recursos.

En el próximo apartado se realiza una sucinta presentación del mismo y luego de la geoinformación necesaria a los fines de este capítulo. En los restantes epígrafes se describirá las fases para abordar problemas de localización óptima, las funciones del programa a usar y los resultados obtenibles.

2. BREVE PRESENTACIÓN DE FLOWMAP Y SUS FICHEROS DE DATOS

Flowmap es un programa orientado al análisis espacial que incorpora un conjunto de herramientas para abordar diversos tratamientos, principalmente:

- Análisis de flujos entre lugares (de bienes, personas o información).
- Modelos de interacción espacial, de accesibilidad espacial y análisis de redes.
- Modelos de localización óptima.

Adicionalmente proporciona unas funcionalidades básicas y algo limitadas para:

- Importación y exportación de geodatos.
- Representación gráfica y cartografía temática.
- Operaciones con tablas de atributos.
- Selección de geodatos.

Aunque no puede calificarse "sensu strictu" como un software de tipo SIG, sin embargo ofrece una serie de características y prestaciones que lo acercan a ese concepto. En particular, merece reseñarse que organiza la geoinformación en capas, operando bajo el modelo vectorial.

El programa ha sido desarrollado y mantenido desde sus orígenes en la Faculty of Geographical Sciences de la Utrecht University, Holanda (<http://flowmap.geo.uu.nl>). Aunque anteriormente operó bajo el sistema operativo MS/DOS, la versión actual, la 7.3, se halla adaptada para el entorno Windows. La versión para uso educativo se distribuye de forma gratuita en el portal antes mencionado, junto con un manual y datos de

entrenamiento. Una versión denominada profesional, con algunas prestaciones adicionales relativas sobre todo a edición de datos, es obtenible a través del mismo sitio a un precio no muy elevado.

El programa maneja los geodatos en un formato propio, aunque admite el intercambio con otros conocidos formatos, en particular, shape (ESRI), MIF (Mapinfo), BNA (Atlas GIS) y Moss. La información de atributos es almacenada en formato DBase. Todo ello hace que la transferencia de datos entre aplicaciones no sea un obstáculo importante, aunque presente algunas particularidades.

Siguiendo las reglas del viejo MS/DOS, las convenciones para la denominación de los ficheros con el formato de Flowmap conciernen a parte principal de la misma y, singularmente, a los tres caracteres de la extensión. A menudo, una capa (las de polígonos y líneas) usan varios ficheros con el mismo nombre principal, pero extensión diferente. La identificación diferencial se establece según se detalla en la tabla 1.

Tabla 1. Identificación de los ficheros en el sistema Flowmap.

Tipo de fichero	Denominación
Capa de polígonos	*.001,*.002,*.003,*.004,*.005,*.006
Capa de líneas (redes)	*.003,*.004,*.005,*.006
Tablas de distancias	*.010,*.011,*.012,*.013,*.014,*.015
Capa de puntos (o centroides de las capas de polígonos)	???????1.DBF
Datos de flujos reales	???????2.DBF
Tabla de atributos de las capas de redes	???????3.DBF

*Nota: Los signos de interrogación habrán de ser sustituidos por caracteres alfanuméricos.
Fte. Traducido de Van Der Zwan et al. (2005, 10).*

3. PREPARACIÓN DE LA GEOINFORMACIÓN NECESARIA PARA ABORDAR PROBLEMAS DE LOCALIZACIÓN ÓPTIMA

3.1. LOS DATOS NECESARIOS

La resolución de modelos de optimización en Flowmap precisa de las siguientes capas:

- Polígonos, por ejemplo, municipios, barrios, unidades censales menores (e. g. secciones o radios censales, cuadras o manzanas, etc). Cada polígono debe poseer un identificador único o clave primaria (Label) en

la tabla de atributos asociada. Esta capa se usa fundamentalmente con fines de visualización (áreas de servicio, mapas de coropletas, etc.)

- Puntos: Es un solo fichero DBF que, por un lado, sirve para expresar la ubicación de la demanda; y por otro expresa la ubicación, real o potencial, de los centros de servicio. Es decir, para los modelos de localización óptima, las capas de orígenes y destinos serán la misma. Debe tener un nombre idéntico a la capa de polígonos, excepto el último carácter (que será 1). La distinción de qué puntos son lugares con demanda o sitios para centros de servicio (a menudo tendrán ese doble carácter) se establecerá mediante los oportunos campos de la tabla de datos asociada. En realidad se trata de un solo fichero DBF con las coordenadas como sendas columnas. Cada punto o registro debe tener un identificador o etiqueta única (coincidente con la de los polígonos previamente descritos) y debería poseer un campo cuantificando la demanda y eventualmente otros indicando la ubicación de los centros existentes o sitios candidatos.
- Opcionalmente, una capa de líneas representando la red viaria que conecta los puntos de la capa anterior. Esta capa es requerida si se desea calcular la distancias, y por ende modelar los desplazamientos, a través de vías. En su ausencia se usarán las distancias rectas.

Flowmap no permite crear o editar capas de geodatos (salvo como resultado de sus propios tratamientos) por lo que procede importarlas de otros formatos. En el supuesto de partir de información en formato shp, para abordar problemas de localización óptima, se habrían de preparar las siguientes capas:

- Polígonos: cada polígono debe poseer un identificador único o clave primaria (Label) en la tabla de atributos asociada.
- Red viaria: capa de líneas con una descripción de geométrico-topológica de la red (i. e. conectividad correcta, arcos que empiezan y finalizan en nodos, identificador único de cada arco, impedancias de arco, etc.).

3.2. LA MIGRACIÓN DE DATOS DESDE EL FORMATO SHP AL FORMATO FLOWMAP

Esta tarea se realiza en Flowmap con la orden del menú File / Convert files. Requiere dos pasos:

- 1) Conversión de shp a bna. Ejecútese para ello: File / Convert files / ArcView (shape)→ BNA.

- 2) Conversión de bna a formatos Flowmap. Ejecútese para ello: File / Convert files / BNA → Flowmap.

Comentaremos a continuación brevemente la migración de las diferentes capas.

3.2.1. CONVERSIÓN DE POLÍGONOS

Solo se precisa indicar la ubicación y nombre del fichero de entrada (shp o bna, según la fase) y de salida (bna o Flowmap). Se recomienda almacenar los datos en carpetas diferentes, según su formato (shp, bna o Flowmap). El programa detecta el tipo de objeto geométrico (e. g. polígonos) y genera dos tipos de ficheros:

A) Archivos con extensión *.001 a *.006 conteniendo la descripción de la capa de polígonos en formato Flowmap.

B) Archivo con extensión *1.DBF conteniendo los centroides de los polígonos con los campos Label (clave primaria), coord. X e Y, y superficie (Size) del polígono asociado al centroide. El programa, por defecto, asume que tales centroides conforman la capa de los orígenes y destinos. En todo caso, el usuario puede editar este fichero en Flowmap, por ejemplo para cambiar las columnas de las coordenadas, si le conviniese, o incorporar nuevas columnas (e.g. indicando centros existentes) copiándolas de otro fichero DBF. Ello es factible mediante la orden File / Table Manager, aunque ello precisa que exista una coincidencia en las claves primarias de ambos ficheros DBF.

3.2.2. CONVERSIÓN DE LA CAPA DE RED VIARIA (LÍNEAS)

Solo se requiere indicar la ubicación y nombre del fichero de entrada (shp o bna, según la fase) y de salida (bna o Flowmap). Se recomienda almacenar los datos en carpetas diferentes, según formato (shp, bna o Flowmap). El programa detecta el tipo de objeto geométrico (e. g. líneas) y genera dos tipos de ficheros:

A) Archivos con extensión *.003 a *.006 conteniendo la capa de líneas en formato Flowmap.

B) Archivo con extensión *3.DBF conteniendo los atributos de los arcos: Identificador (clave primaria), etiqueta (Label), longitud y etiqueta secundaria.

En el transcurso de la conversión Flowmap realiza minuciosas comprobaciones de la calidad y errores de la capa y, eventualmente, emite

un informe (archivo *.err) describiendo dichos errores y sus posibles efectos en los análisis ulteriores. Si ello sucede, es altamente recomendable corregir la capa shp hasta que en la conversión no aparezcan mensajes de error.

4. LAS ETAPAS DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE LOCALIZACIÓN ÓPTIMA CON FLOWMAP

El camino que el usuario debe recorrer para resolver problemas de optimización en Flowmap puede ser sintetizado en una serie de fases, cuya descripción sumaria puede facilitar la comprensión y gestión del proceso. Sucintamente serían:

1. Definir un proyecto: Se trata de establecer las carpetas y archivos a usar, el ámbito de visualización, las unidades métricas de las coordenadas, etc.
2. Opcionalmente visualizar las capas de datos, para examinar distribución de la demanda, los centros existentes, la red viaria, etc.
3. Obtener la matriz de distancia /coste de transporte entre los puntos que se usará en la resolución de los modelos.
4. Actualizar el fichero de proyecto para incorporar la matriz de distancias e indicar la capa de polígonos del área de estudio.
5. Opcionalmente, preparar la capa de puntos para especificar opciones de resolución de los modelos, tales como centros existentes, sitios candidatos, lugares no aptos o excluidos para acoger centros de servicio, etc.
6. Aplicar el modelo y algoritmo deseados.
7. Obtener mapas e indicadores de la solución óptima hallada.

En los apartados siguientes se expondrán de forma más detallada e ilustrada las principales de tales fases.

4.1. CREACIÓN DE UN PROYECTO EN FLOWMAP (FICHERO *.FPF)

Sirve para declarar el entorno y ficheros de trabajo. El procedimiento es como sigue:

- Ejecutar File / New Project. Con ello se abre una ventana como la mostrada en la figura 1.
- Especificar los ítems necesarios (varían según el tipo de análisis a efectuar). Son los siguientes:
 - Carpeta de trabajo (Work space).

- Map file: Sirve de mapa base o de fondo estableciendo el ámbito de trabajo. Caben dos opciones:

- Capa de red viaria: consta de los ficheros *.003 a *.006 y otro con nombre similar seguido de *3.dbf (atributos de los arcos). Si se desea realizar análisis con trayectos a través de red y no en línea recta, esta capa es obligatoria para generar la matriz de distancia o costes de transporte.

- Capa de polígonos. ficheros *.001 a *.006. Esta capa es obligatoria para visualizar datos por zonas y para resolver modelos de localización óptima (sustituyendo entonces a la de la red).

Currently Active Folders and Files

Work space (folder/directory) Show Full Paths
C:\Tra\Tra1\

Import File No Content

Map File 26/26 Line-Objects
C:\Tra\Tra1\CARRETER.006

Distance Table No Content

Origin File 3/15 Point-Objects
C:\Tra\Tra1\MUNICIP1.DBF

Destination File 3/15 Point-Objects
C:\Tra\Tra1\MUNICIP1.DBF

Flow File No Content

Flow Export File

Flow Table

Symbology File
[[Default]]

Reset Close All Save Save as Options Cancel

View Settings

Files/Tables	All	Subset
Import File	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Map File	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Origin File	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Destination File	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Current view parameters derived from:

C:\Tra\Tra1\CARRETER.006
C:\Tra\Tra1\MUNICIP1.DBF
C:\Tra\Tra1\MUNICIP1.DBF

Add Set

View Corner	X-Value	Y-Value
Upper Right	487798	4530626
Lower Left	470086	4517734

Measurement Unit: Meters

Background Bitmap
[[None]]

Activation Assistant

[Main Menu] Help

Click Left Mousebutton to Any Folder/File Box to Change, Click Right Mousebutton to any File Box to Close.

Figura 1. Especificación del entorno para un proyecto o sesión de trabajo. Nótese que como Map File se ha indicado una capa de red viaria.

-Distance table: Ficheros obtenibles en Flowmap, expresando distancias o costes de desplazamiento entre orígenes y destinos; denominados con extensión *.010 a *.015. Esta capa se generará en una fase ulterior.

- Origin file y Destination file: Tabla *1.dbf describiendo los puntos con la demanda y la localización real o potencial de los centros de servicio.

Contiene como campos obligatorios: Label (identificador) y coordenadas X e Y, aparte de otros campos con la demanda, candidatos, etc.

- View settings: Declara el ámbito de visualización a usar en la sesión; éste se ajustará a las capas con las casillas marcadas. Se deben activar todas las casillas posibles de la columna All (Map file, Origin file, etc.) haciendo clic en Set.

- Measurement units: Indíquense las unidades de medida, según las coordenadas de las capas (usualmente m.)

- Se termina con Save o Save as, para guardar el fichero fpf. De esta manera es posible ya realizar operaciones con Flowmap.

4.2. VISUALIZACIÓN DE LAS CAPAS

El sistema ofrece ciertas prestaciones, aunque limitadas, para la elaboración de mapas. A tal fin úsese el menú Maps, eligiendo una de estas opciones:

- Display Outlines and Locations (vista sencilla y rápida).

- Advanced display (elabora mapas temáticos usando datos de la tabla de atributos, pone etiquetas, etc.).

Más adelante, a la hora de presentar los resultados de los análisis, se introducirán brevemente algunas de estas funciones.

4.3. CREACIÓN DE LA MATRIZ DE DISTANCIAS / COSTES DE TRANSPORTE ENTRE LOS PUNTOS – LUGARES (ORÍGENES Y DESTINOS)

La resolución de los problemas de optimización necesita, como punto de partida, datos relativos a las distancias, tiempos o costes que implican los desplazamientos entre los lugares de origen de los mismos y los destinos (O/D). Se dispone, para tal fin, del menú Create / Distance matrices, en el que se ofrecen dos opciones principales.

A) **Network distance.** Requiere haber especificado en el fichero de proyecto una capa de red viaria en la línea Map file. El programa identifica automáticamente los ficheros adecuados en la carpeta de trabajo.

Una vez seleccionada esta opción se ha de elegir en la nueva ventana (figura 2) los parámetros u opciones deseadas, en particular:

- el campo de impedancia para cada arco (tomado del fichero *3.dbf, que contiene los atributos de los arcos); usualmente será la distancia (o Length);

- clic en botón Assist para indicar la velocidad en los trayectos fuera de la red (e. g. desde los puntos no ubicados sobre la red al arco más próximo).

Tras aceptar, se generan 4 ficheros con el mismo nombre principal y extensión diferente: *.010, *.012, *.014 y *.015. Contienen las distancias mínimas entre los puntos orígenes y destinos. Es posible añadir dicha matriz de distancias al proyecto inmediatamente.

Figura 2. Formulario de opciones para generar la matriz de distancias entre punto-lugares a través de la red viaria.

B) **Airline distance.** Puede ser creada habiendo definido como Map file (en el fichero de proyecto) bien una capa de red, bien una de polígonos. Tras seleccionar esta opción se ha de elegir en la ventana nueva los parámetros convenientes, según se describió antes. Tras aceptar, se generan 4 ficheros *.010, *.011, *.014 y *.015 con las distancias rectas

entre los puntos orígenes y destinos. Es posible añadir dicha matriz de distancias al proyecto inmediatamente.

La interpretación de algunos parámetros del formulario es como sigue:

- *Impedance*: atributo de la tabla de arcos que indica el coste de desplazamiento a lo largo de cada arco.

- *Conversion factor*: en el caso de que ciertos puntos de las tablas de O / D no estén conectados a la red, el programa calcula la distancia mínima a un arco de la misma y multiplica dicha distancia por ese factor, para estimar primero la distancia real a recorrer, considerando las curvas que puedan existir, y luego la impedancia (según las unidades definidas antes). Si se usa la longitud como impedancia el factor de conversión constituye el llamado factor de rodeo, el cual se estima empíricamente para ámbitos concretos (e. g. regiones). En ciertos casos se conoce que oscila entre 1,2 y 1,3 (lo que implica un aumento en la distancia estimada de un 20 ó 30 por ciento). En caso de que se use otra medida de impedancia (tiempo o coste económico) se aconseja usar el botón Assist, para especificar la velocidad en dichos tramos fuera de la red y que el programa obtenga el factor de conversión.

Tras haber preparado los datos se puede pasar ya a resolver los modelos de localización-asignación, que se describe en los apartados siguientes.

5. MODELOS DE OPTIMIZACIÓN Y ALGORITMOS DISPONIBLES EN FLOWMAP

Flowmap ofrece la posibilidad de resolver de manera estándar varios conocidos modelos de localización óptima de instalaciones y equipamientos. Así mismo dispone de varios algoritmos heurísticos para dicha resolución (vid. tabla 2). La estructura del programa gira en torno a dichos algoritmos, que se muestran en el menú de selección (vid. figura 3). Una vez elegido el algoritmo, los mismos modelos se suelen mostrar como opciones elegibles. Ello abre la posibilidad de aplicar varios algoritmos para el mismo modelo, comparando los resultados y robustez de los mismos.

Dejando la descripción de los modelos para más adelante, en lo concerniente a los algoritmos procede reseñar que el programa ofrece tres diferentes heurísticas - Expansion, Reduction y Relocation - y una metaheurística - Combined (Expansion and Relocation) Models -. Brevemente descrita, la lógica de cada una es así (vid. Moreno, 2004, p. 92-95; de Smith, Goodchild y Longley, 2006, cap. 7):

Tabla 2. Técnicas de optimización espacial disponibles en Flowmap.

Algoritmos	Modelos
(No descrito)	Cobertura del conjunto (accesible en la ruta Models / Service Location Models / Coverage Models /)
- Relocalización - Expansión - Expansión y relocalización combinados - Reducción	Cobertura máxima P-mediano Minimax Maximización de la cuota de mercado individual

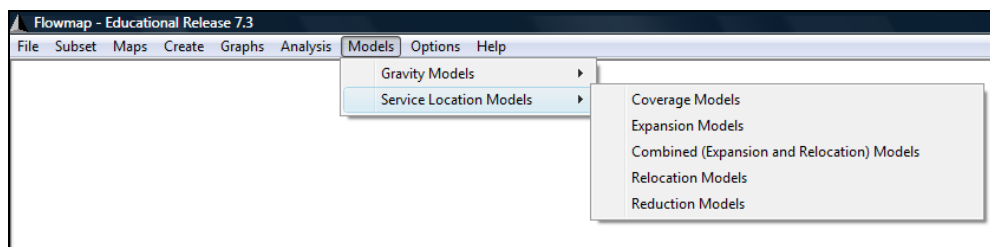


Figura 3. Menú de acceso a los modelos de localización óptima en Flowmap.

Expansion: Opera añadiendo un punto de servicio en cada iteración, buscando optimizar el objetivo establecido, i. e. empieza por un centro, luego dos, etc. Se trata del algoritmo Babel, conocido también como "greedy" o "add".

Reduction: Se corresponde con el denominado algoritmo Attila, conocido también como "stingy" o "drop". Se comienza asumiendo que hay un centro de servicio en todos los lugares candidatos posibles y se va eliminando uno, luego otro, etc. en cada iteración, hasta alcanzar el número de centros fijados por el usuario.

Relocation: Opera a partir de una cifra pre-establecida de centros de servicio, con una localización definida provisionalmente, y procede a reubicarlos hasta hallar la localización óptima. Responde a la heurística denominada Interchange.

Combined (Expansion and Relocation): La pretensión de asegurar el hallazgo de la solución óptima mediante algoritmos heurísticos ha conducido a diseñar estrategias mixtas en las que se combinan dos algoritmos. Por tal motivo se les califica de metaheurísticas. Tal parece ser el caso de esta opción en la que se aplicaría el algoritmo conocido como

Babel, "greedy" o "add", seguido del de intercambio. Opera añadiendo un punto de servicio en cada iteración, buscando optimizar el objetivo establecido, i. e. se empieza por un centro, luego dos, etc. Puesto que la secuencia u orden de entrada de los puntos en la solución parcial obtenida en cada etapa influye en la solución final (i. e. para paliar el problema de que el algoritmo quede "atrapado" en un mínimo local – y no el global-), tras la adición de un sitio nuevo se ejecuta la relocalización (algoritmo "interchange") del conjunto solución alcanzado en esa etapa.

Como en la tabla 2 se indica, cualquiera de estos algoritmos puede ser elegido por el usuario para resolver los cuatro modelos enunciados. La razón de esta oferta de varias heurísticas estriba en el rasgo, común a todas ellas, de que ninguna garantiza la identificación de la solución óptima; cada algoritmo sigue una estrategia de búsqueda distinta para hallar el óptimo pero su robustez, es decir, su capacidad de acertar, es desigual. En virtud de ello, se recomienda resolver el mismo modelo con diversos algoritmos y repetidas veces, para aumentar la probabilidad de identificar el óptimo.

6. RESOLUCIÓN DE SUPUESTOS DE LOCALIZACIÓN-ASIGNACIÓN ÓPTIMA

En esta fase se requiere de entrada una serie de capas que han de estar definidas en el proyecto. En concreto:

- Capa de polígonos (como mapa contextual de fondo).
- Capa DBF de puntos localizando los lugares con demanda, centros de servicio actuales y potenciales. Conviene recordar que debe tener nombre idéntico al de la capa de polígonos, excepto el último carácter, que será 1. Contendrá como campos:
 - Tres obligatorios: Label, XCoord, YCoord. El campo Label contiene identificadores idénticos a los de la capa de polígonos.
 - Otros campos opcionales para identificar (con valores > 0):
 - o Los sitios con centros fijos, e. g. los existentes.
 - o Los sitios candidatos nuevos (adicionales a los existentes).
 - o Los sitios a excluir como candidatos.
 - Estos campos deben generarse antes de aplicar los modelos.

Una vez elegido el algoritmo y modelo el programa proporciona un asistente (Wizard) que va ofreciendo al usuario las opciones disponibles y la que por defecto asume el programa. Expondremos a continuación cómo proceder para resolver algunos supuestos.

6.1. MODELO DE COBERTURA DEL CONJUNTO (COVERAGE MODELS)

Se accede desde el menú: Models / Service location models / Coverage models. El único disponible es el allí denominado Spatial Pareto; en realidad se trata del conocido problema de cobertura del conjunto (set covering problem). Éste fue propuesto por primera vez por Hakimi a mediados de los años sesenta de la pasada centuria y fue formulado como programa lineal por Toregas *et al.* (1971). Su enunciado es como sigue: dado un número de sitios candidatos a acoger puntos de servicio, averiguar el conjunto de ellos que minimiza la cifra de centros de servicio, garantizando que toda la demanda está dentro de un radio de distancia o coste de desplazamiento predefinido, S , y asignando siempre la demanda al centro más próximo (vid. Moreno, 2004, p. 64-65).

A) Información de entrada

- Opcionalmente admite un conjunto - parcial - de sitios, como centros fijos a mantener, identificados en una columna de la tabla de puntos (i. e. la de O/D) con valores no nulos. A ellos el programa añadirá otros sitios (en las localizaciones óptimas halladas) hasta lograr el objetivo planteado por el usuario y aplicando las restricciones impuestas. Si no se usa esta opción, todos los puntos se considerarán como candidatos potenciales.
- Distancia / coste / tiempo de la restricción de cobertura.
- Variante del algoritmo heurístico a aplicar (Width / Depth first).
- Nombre de la columna nueva donde se almacenará la identificación de los sitios óptimos.
- Modo de ejecución: el programa permite elegir entre: a) parar tras cada ciclo de iteraciones de búsqueda para facilitar el examen del progreso en la resolución (Stepwise and visual), o b) dejar que el programa ejecute todas las iteraciones y se detenga cuando halle la solución final (Continuous and visual).

En la figura 4 se muestra la secuencia de ventanas del Asistente para este modelo.

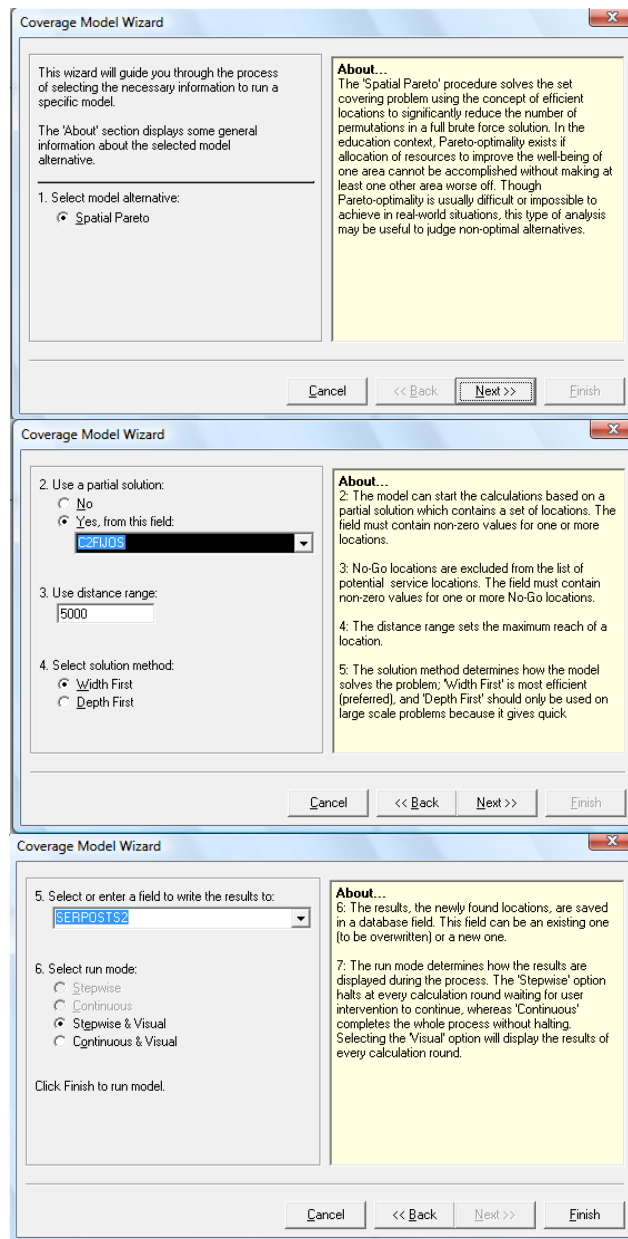


Figura 4. Ventanas del asistente para la resolución del modelo de cobertura del conjunto en Flowmap. Nótese en la parte derecha de cada ventana la breve descripción de las opciones elegibles.

B) Información resultante

- Mapa con localización de centros y áreas de servicio cubiertas.
- Texto en una ventana informando de las etapas del procedimiento de optimización y de la solución. Se aconseja guardarlo como fichero (tendrá formato ASCII).
- En la tabla de lugares O/D se genera una columna nueva (propone por defecto SERPOSTS*), identificando los sitios óptimos (con una constante = 99999 en los registros-puntos seleccionados).

Conviene reseñar que puede haber varias soluciones (conjuntos de puntos) que satisfagan la restricción de cobertura impuesta. Un ejemplo de la solución resultante de este modelo se muestra en la figura 5.

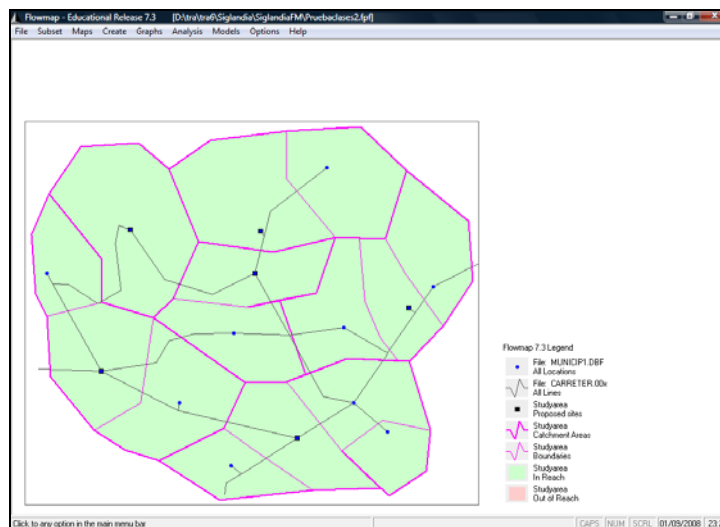


Figura 5. Ejemplo de mapa resultante del modelo de cobertura del conjunto, mostrando la red viaria, las áreas de servicio, los asentamientos con demanda (puntos) y las 6 localizaciones óptimas (símbolos cuadrados) halladas para cubrir toda la demanda dentro de 6 km.

6.2. MODELOS DE COBERTURA MÁXIMA, P-MEDIANO, MINIMAX Y DE CUOTA DE MERCADO MÁXIMA

Sucintamente descritos los cuatro modelos ofrecidos (vid. Moreno, 2004, p. 55-77; Buzai y Baxendale, 2006) son:

A) Cobertura máxima (Maximize customer coverage): busca identificar la localización óptima de los centros de servicio de suerte que se maximice la demanda cubierta en un radio de distancia fijado por el usuario. Es un

modelo que posee connotaciones, tanto desde el punto de vista de la eficiencia (conseguir la máxima cobertura espacial de demanda con los recursos disponibles, i. e. centros), como de la equidad (preocupación porque la mayoría no esté demasiado lejos de los puntos de oferta, al intentar que las desigualdades en el acceso queden en gran medida limitadas al radio máximo establecido).

La restricción de cobertura se puede establecer de varias maneras (figura 6):

- una cifra de centros prefijada (identificar los que cubren más demanda dentro de la distancia marcada),
- un porcentaje de cobertura (identificar la cifra y ubicación de los centros que cubren ese porcentaje de demanda dentro del radio marcado), o
- cobertura total (identificar la cifra y ubicación de los centros que cubren el total de la demanda dentro del radio marcado).

B) P-mediano o Minisum (minimize average distance): busca identificar el conjunto de lugares que minimiza la distancia media recorrida por la demanda, asignando cada punto de demanda al centro de servicio más próximo. Es un modelo claramente guiado por el principio de eficiencia, ya que se centra en reducir los costes derivados de los desplazamientos previstos.

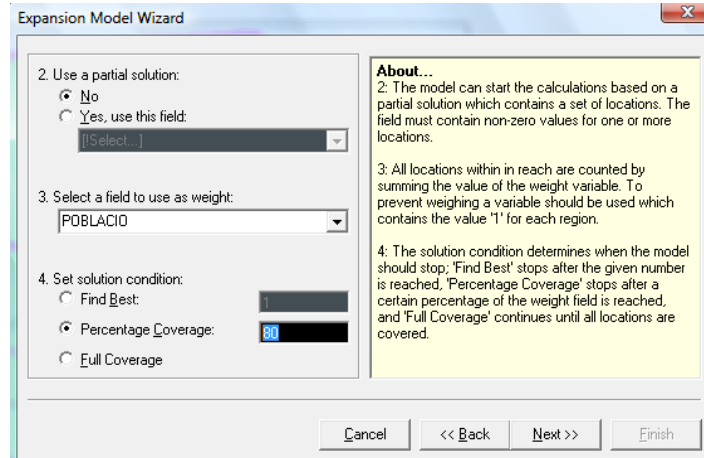


Figura 6. Especificación de opciones para el modelo de cobertura máxima con el algoritmo de expansión.

C) Minimax (minimize worst case distance): busca identificar el conjunto de lugares que minimiza la distancia del asentamiento más alejado de un centro de servicio, asignando cada punto de demanda al centro de servicio más próximo. Se trata de un modelo que prioriza el principio de equidad espacial.

D) Maximizar la cuota de mercado individual o la competencia espacial (Maximize individual market share / Maximize spatial competition). Este modelo aparece en el programa con esas dos denominaciones, según sea la heurística elegida, que al parecer son equivalentes. Con él se busca conseguir para cada centro la mayor cantidad de demanda (aunque sea en detrimento de otros centros o de la globalmente asignada). El modelo está pues claramente guiado por el principio de eficiencia y, a diferencia de los anteriores, no responde a la lógica de cooperación entre los centros de servicios por lograr una solución global que priorice los intereses a la demanda, sino que privilegia los de cada ofertante-competidor individual, lo que responde por tanto a los fines de la empresa privada. En suma, el modelo puede decirse que obedece a las reglas de competir al máximo por el mercado (buscando cada establecimiento ganar la mayor clientela).

El acceso a estos cuatro modelos se realiza según la siguiente ruta del menú: Models / Service location models / [Heurística] / [Modelo], es decir, primero se elige una heurística de las descritas anteriormente y después el modelo. La información requerida para resolver cada modelo puede variar ligeramente, según la heurística seleccionada, pero en gran medida es coincidente. Por brevedad no expondremos toda esa casuística de modelos y heurísticas e ilustraremos a continuación solo el uso del algoritmo de relocalización.

6.2.1. MÉTODO DE RELOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE INSTALACIONES (RELOCATION MODELS)

Al igual que en el modelo antes descrito, la resolución de alguno de los cuatro modelos recién enumerados, usando el método llamado de relocalización (Interchange), implica gestionar información de este tenor:

- A) Datos de entrada a proporcionar por el usuario vía el asistente (Wizard)
- Opcionalmente admite un conjunto de centros fijos (e. g. ya existentes) identificados en una columna de la tabla de puntos (i. e. la de O/D) con valores no nulos.
 - Opcionalmente admite un conjunto de lugares, identificados con valores no nulos en una columna de la tabla de puntos (i. e. la de

O/D), que serán excluidos como sitios candidatos y que no podrán por tanto acoger centros de servicio (No-Go).

- Columna con ubicación inicial y provisional de centros móviles (registros con valores no nulos), que serán reubicados buscando la solución óptima.

La cifra total de centros que tendrá la solución final es la suma del conjunto de centros fijos más los centros móviles. El conjunto de sitios candidatos se conforma con todos los puntos, tras excluir los marcados en la columna No-Go.

- Columna con cifra de usuarios en cada localización en la tabla de orígenes / destinos. En caso de que se desee eliminar dicha ponderación (i. e. que todos los sitios posean igual demanda o peso) se ha de elegir una columna con valores unitarios.
- Para los modelos de cobertura máxima y de maximización de la competencia espacial (cuota de mercado individual) se ha de indicar, además, la distancia / tiempo de cobertura.
- Nombre para la columna que almacenará la solución. Para este algoritmo el programa propone OPTPOSTS* (para otros algoritmos, se proponen otros tales como EXPPOSTS*, REDPOSTS*, SERPOSTS*, MAXPOSTS*, etc.).
- Modo de ejecución del algoritmo: es posible el seguimiento de los resultados temporales tras cada iteración (Stepwise & visual) o solo la solución final (Continuos & visual).

B) Información resultante

- Ventana de texto informando de las etapas del proceso de optimización y de la solución final. Se aconseja guardarlo como fichero (tendrá formato ASCII).
- Mapa con localización de centros y delimitación de áreas de servicio.
- En la tabla de lugares O/D se genera una columna nueva, OPTPOSTS*, identificando los sitios óptimos con una constante igual al total de la demanda. Para otros algoritmos la columna de solución suele tener otro nombre (vid. supra) y contiene otros valores, por ejemplo en el de expansión se identifican los sitios con un ordinal (alusivo al orden de entrada en la solución) y en el de reducción aparecen con un número negativo (-1).

A título de ilustración, se muestra en la figura 7 las ventanas del asistente cumplimentadas para aplicar el modelo p-mediano en una región ficticia con 15 zonas, indicando la existencia de 2 centros fijos y planteando la

localización óptima de 3 adicionales. En la figura 8 se exhibe el mapa de la solución hallada.

6.3. LA ESTRATEGIA DEL USUARIO ANTE ALGORITMOS HEURÍSTICOS DE ROBUSTEZ LIMITADA

Como es bien sabido, una característica de muchas heurísticas entre ellas las descritas es que, a diferencia de los algoritmos exactos, no garantizan el logro de la solución óptima al problema planteado (vid. Moreno, 2004, p. 89-95; de Smith, Goodchild y Longley, 2006, cap. 7). La robustez, o capacidad de hallar tal solución, varía según los algoritmos. La experiencia acumulada apunta a que tanto el de expansión, como el de reducción son menos robustos que el de relocalización. Con el fin de aumentar la probabilidad de hallar tal solución se ha seguido investigando en nuevas heurísticas y se ha recurrido también a usar varias de ellas secuencialmente o a combinarlas, como sucede en el método combinado (expansión y relocalización), ofrecido en Flowmap.

En cualquier caso, la estrategia recomendada al experto es la de ensayar la aplicación de diversos algoritmos, independientemente o combinados, y comparar las soluciones obtenidas, de suerte que se puedan desechar las subóptimas y se identifique una no superada, que se aceptaría como la óptima. Se suele adoptar como criterio el que la solución mejor se repita un cierto número de veces, en concreto 3.

Conviene añadir sobre este punto de la robustez dos advertencias: en primer lugar que algunos de los modelos no poseen una solución óptima única, por lo que ello debe ser tenido en cuenta al comparar los resultados de los distintas heurísticas; y en segundo, que la solución hallada suele estar condicionada por decisiones adoptadas por el usuario (y especificadas en las ventanas del asistente). Por ejemplo, en el método de relocalización el resultado suele variar según cuál sea el conjunto de lugares provisionales inicialmente indicados por el experto para comenzar la búsqueda (estarán especificados en una columna de la tabla de O/D) y en los métodos de expansión y reducción puede ocurrir que en algún momento de la heurística haya varios candidatos que ofrezcan similar resultado en el proceso de maximización o minimización; el usuario puede influir en tal disyuntiva indicando al programa que elija uno, por ejemplo, al azar o el primero hallado.

The figure displays three sequential screenshots of the 'Relocation Model Wizard' dialog box. Each window is divided into two main sections: a left panel for configuration and a right 'About...' section with explanatory text.

Window 1 (Top): This is the introductory screen. The left panel contains an introductory paragraph, a note about the 'About' section, and a list of four model alternatives: 'Maximize Customer Coverage', 'Minimize Average Distance' (selected), 'Minimize Worst Case Distance', and 'Maximize Spatial Competition'. The right 'About...' section explains that the algorithm optimizes location by minimizing average consumer distance. Navigation buttons at the bottom include 'Cancel', '<< Back', 'Next >>', and 'Finish'.

Window 2 (Middle): This screen asks for fixed locations and restraints. The left panel has four sections: 'Use a set of fixed locations' (selected 'Yes, use this field' with 'C3FIJOS' selected), 'Use No-Go restraint' (selected 'No'), 'Select a field with movable locations' (selected 'C3INICIO'), and 'Click Finish to run model.'. The right 'About...' section provides details for each of these four sections. Navigation buttons are the same as in the first window.

Window 3 (Bottom): This screen handles weights, result storage, and run mode. The left panel has three sections: 'Select a field to use as weight' (selected 'POBLACIO'), 'Select or enter a field to write the results to' (selected 'OPTPOSTS2'), and 'Select run mode' (selected 'Continuous & Visual'). The right 'About...' section explains the weight variable, result storage, and run mode options. Navigation buttons are the same as in the previous windows.

Figura 7. Ventanas del asistente para la resolución del modelo p-mediano en Flowmap con la heurística de relocalización. Nótese en la parte derecha de cada ventana la breve descripción de las opciones elegibles.

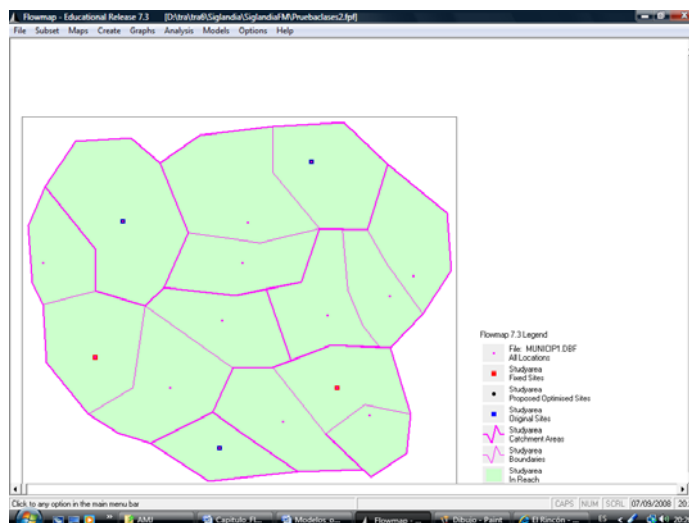


Figura 8. Ejemplo de mapa resultante del modelo de p-mediano, mostrando las áreas de servicio, los asentamientos con demanda (puntos) y las 5 localizaciones óptimas (símbolos cuadrados) halladas a partir de las especificaciones de la figura 7 (2 centros fijos y 3 nuevos adicionales).

7. LA EVALUACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ESQUEMAS DE LOCALIZACIÓN Y SOLUCIONES ÓPTIMAS

Conocido un determinado patrón espacial de instalaciones o equipamientos, bien por existir realmente, bien por tratarse de una propuesta, procede abordar dos tareas adicionales para completar el análisis y valoración territorial del mismo:

1) Determinar y cartografiar las áreas de servicio o de mercado de cada equipamiento (fase de asignación de los lugares con demanda a los centros de oferta). En general, muchos modelos de localización óptima de centros de servicio involucran ya esa tarea, y de ahí su nombre de modelos de localización-asignación. Dicha asignación se realiza, en bastantes casos, de acuerdo con el criterio de máxima proximidad, conocida ésta mediante la matriz de distancias entre los lugares de demanda y los de oferta. Ambos estarán definidos en el proyecto de Flowmap (fichero *fpf*).

Como resultados apropiados conviene considerar:

- mapa de áreas de servicio (coropletas o de líneas de deseo),

- tabla con las cifras de asentamientos y de demanda asignados a cada centro de servicio (total y %).
- 2) Caracterizar el esquema de distribución espacial mediante indicadores sintéticos. A tal fin resultan de preferente interés los siguientes (vid. Moreno, 2007):
 - Indicadores de eficiencia
 - o Distancia de cada asentamiento al centro de servicio asignado.
 - o Desplazamiento total y medio de la demanda.
 - o Demanda total y % cubierta dentro del radio prefijado o asignada.
 - Indicadores de equidad
 - o Diferencia entre distancia ó coste máximo y mínimo en el conjunto de los asentamientos (amplitud).
 - o Desviación típica de las distancias o costes de transporte entre los puntos de demanda.
 - Distribución de la demanda según intervalos de distancia al centro asignado (tabla con frecuencia absoluta y relativa, percentiles e histograma).

Estos resultados pueden obtenerse, bien para el conjunto de la región estudiada, bien para cada una de las zonas de servicio establecidas. Esto último permitiría una comparación entre ellas y con el conjunto de la región. Adicionalmente el análisis de dichos resultados puede extenderse a su cotejo y valoración respecto a otros esquemas o soluciones contempladas. Flowmap ofrece algunas de herramientas para tal fin, que se expondrán a continuación.

7.1. ASIGNACIÓN DE LUGARES CON DEMANDA A LOS CENTROS DE OFERTA ÓPTIMOS

A los efectos de realizar esa asignación, y por ende derivar las áreas de servicio recomendables, conviene recordar que la capa (tabla) de puntos de oferta y la de demanda puede ser la misma (por ejemplo los datos usados para resolver el problema de localización óptima) o bien ser dos capas distintas (una sería la de orígenes – lugares con demanda- y otra la de destinos – centros de servicio-). En el presente caso se asume que orígenes y destinos son la misma capa; ello implica que la demanda de cada lugar y la identificación de los centros de servicio óptimos deben constar en la tabla dbf de dicha capa. Así mismo debe estar definida la tabla de distancias entre puntos de oferta y de demanda en el fichero del proyecto fpf. Estos datos ya se han debido obtener al resolver previamente

los modelos de optimización, por lo que la ejecución de las siguientes tareas es factible de forma inmediata a la obtención de una solución.

El acceso a la función de asignación se realiza mediante la orden Analysis / Catchment Area Analysis / Regular Catchment Areas (figura 9). La información de entrada se ha de proporcionar en dos ventanas consecutivas. En la primera (figura 9 A) se indicará:

- Campo de la tabla (Field) conteniendo la demanda de cada lugar (Weight variable per Origin/Destination)
- Capacidad de los centros: campo con la cifra límite de demanda que cada centro de servicio puede atender. En caso de que no haya limitación por capacidad en los registros correspondientes deberá haber un valor muy grande (por ejemplo superior a la demanda total). El resultado de ciertos modelos por el programa ya identifica los sitios óptimos con una constante igual a la demanda total, por lo que dicho campo-solución puede ser seleccionado aquí.
- Opcionalmente un valor de distancia o alcance máximo. Los lugares que superen dicha distancia no serán asignados a centro alguno, por lo que quedarían como desatendidos.

En la segunda ventana (figura 9 B) se señalan los campos que en la tabla dbf asociada a la capa de orígenes / destinos se generarán como salida. Por defecto se ofrecen éstos (el * se sustituye automáticamente por un ordinal):

- CADemand*: demanda total asignada a cada centro de servicio.
- CACentre*: Identificador del centro asignado a cada origen (lugar con demanda).
- CADistan*: Distancia desde el lugar con demanda al centro de servicio asignado (el más cercano).
- CAREmain*: Demanda no asignada a centro alguno (debido a las restricciones de capacidad establecidas por el usuario o al alcance máximo).

Con los datos de tales columnas es factible elaborar fácilmente mapas del esquema óptimo hallado, como el mostrado en la figura 10. Para ello se debe recurrir al menú Maps e incluir en la representación los distintos resultados. Por ejemplo para la elaboración de la figura 10 se operó así:

- Mapa de coropletas con áreas de servicio (en color): Maps / Advanced display / Shade map file / Discrete shading. Indíquese que cartografía la columna CACentre*.

Accessibility Analysis Modelling Parameters

Calculate Catchment Areas focusing on

Clients travelling towards Service Locations

Service Providers travelling towards Client Locations

Weight variable per Origin/Destination

Field: POBLACIO 97<= Value <= 3660. Sum: 9555

Allocation centre per Origin/Destination

Field: [Inactive] Inactive

Capacity variable per Origin/Destination

Field: OPTPOSTS1 Value Range: 0- 9555. Sum: 28665

Second Best Catchment Distance per Origin/Destination

Field: [Inactive] Inactive

Accessibility Parameters

Maximum Distance: .

Threshold Capacity: .

Pareto Cover Set Option

Retain all in case of duplicates

Ok Cancel

A

Store results Catchment Area Analysis

Topic	Store	Filename or Fieldname	Number of decimals
Sum of Allocated Demand as new column in Municip1.DBF	<input checked="" type="checkbox"/>	CAdemand1	2
Allocation Centre Label as new column in Municip1.DBF	<input checked="" type="checkbox"/>	CAcentre1	
Allocation Centre Distance as new column in Municip1.DBF	<input checked="" type="checkbox"/>	CAdistan1	3
Remaining (Unsatisfied) Demand as new column in Municip1.DBF	<input checked="" type="checkbox"/>	CAremain1	2

Ok Cancel

Determine which result(s) to save by (un)checking "Store". To store as a new File or Field either accept the suggested name or type in a brand new one. Alternatively to overwrite/modify existing data, use the pull down menu to select an existing File or Field. Please note that in this latter case analysis results will always overwrite the full data file or field, whereas variable computation only modifies selected records

B

Figura 9. Asistente para la especificación de opciones para asignación de los puntos de demanda a los centros de servicio.

- Mapa de círculos proporcionales a la demanda de cada lugar: Maps / Advanced display / Show symbols from origin file / y en la ventana siguiente indicar la columna conteniendo la demanda y las opciones de simbología (color, símbolo, tamaño del símbolo mayor, etc.).
- Mapa de araña o de líneas de deseo: Maps / Advanced display / Draw allocation lines from origin file. Tras elegir en la ventana siguiente la simbología de las líneas, se ha de especificar en otra ventana (figura 11) los datos para el trazado de las líneas desde cada lugar con demanda (Label) a los centros (CACentre*) y el campo con los datos del flujo saliente de ese origen (la demanda).
- Etiquetas de los lugares: Maps / Advanced display / Show labels from map file.

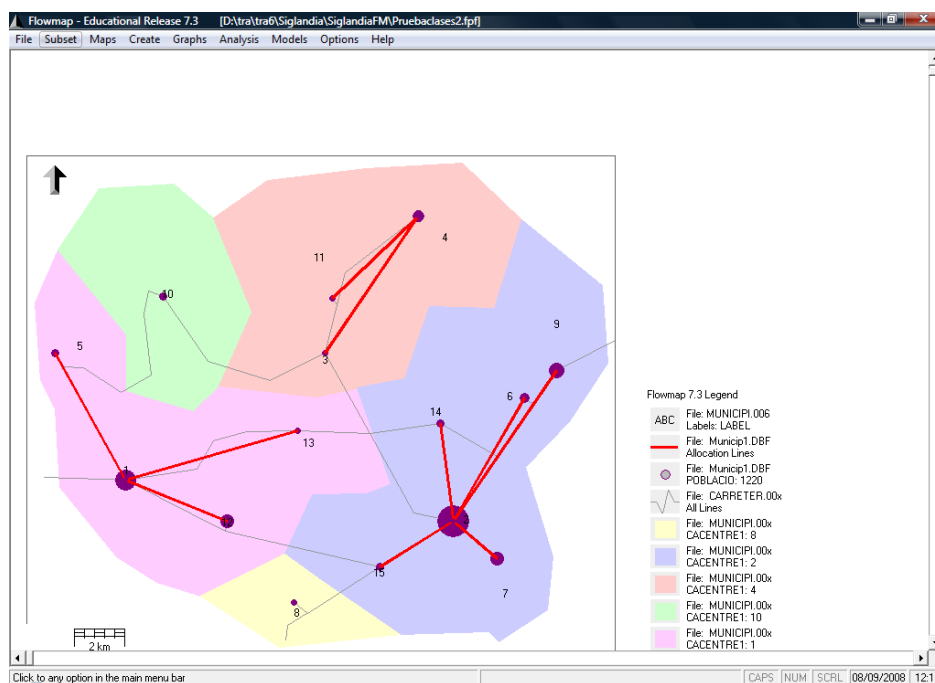


Figura 10. Mapa con las áreas de servicio y la asignación de cada asentamiento a un centro (solución p-mediana con 5 centros). Los círculos representan la magnitud de la demanda de cada lugar.

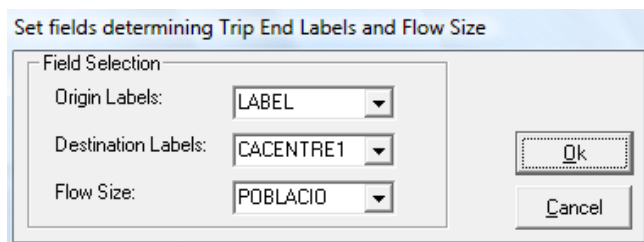


Figura 11. Opciones para construir el mapa de araña o líneas de deseo con la asignación.

7.2. CARACTERIZACIÓN DE UNA ORGANIZACIÓN ESPACIAL DE EQUIPAMIENTOS CON GRÁFICOS Y RESÚMENES ESTADÍSTICOS

Adicionalmente procede obtener algunos indicadores sintéticos y gráficos del esquema óptimo, como anteriormente se argumentó. Veamos cómo hacerlo en Flowmap.

A) Estadísticos univariados para los puntos de demanda (e. g. asentamientos). Se puede recurrir a calcular varios estadísticos de la columna CADistan*: media de la distancia de los asentamientos a los centros de servicio (indicador de eficiencia), desviación típica y amplitud total (indicadores de equidad). Para calcular tales estadísticos ejecútase File / Table manager / Field Statistics e indíquese el campo CADistan*. Nótese que serán estadísticos por asentamientos, aunque puede resultar más conveniente obtenerlos para la población o demanda (vid. infra).

B) Distribución (gráfica y tabular) de la demanda según la distancia a los centros de servicio a los que ha sido asignada y estadísticos de la demanda. Para ello ejecútase la orden Graphs / Catchment profile (Overall). En la nueva ventana (vid. figura 12) indíquese el campo de impedancia, las unidades de la impedancia (e. g. meters) y la columna que contiene los datos de la demanda de cada lugar (Weight field). Ante el aviso siguiente de posible error, continúese.

La ventana de resultados muestra un diagrama de frecuencias acumuladas (vid. figura 13) con la distribución de la población según los valores de distancia al centro de servicio asignado (el más próximo). Haciendo clic en el botón View Data se accede a la tabla de frecuencias (tabla 3) en la que se basa el gráfico previo y varios estadísticos más como las distancias máxima y media y el índice de Gini.

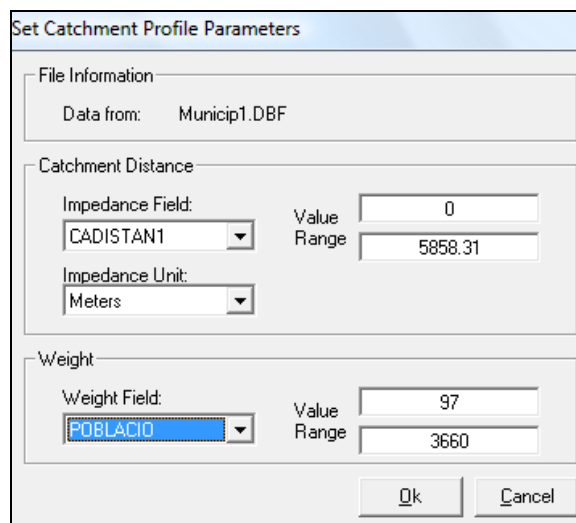


Figura 12. Ventana para obtener la distribución de la demanda según la distancia y algunos estadísticos de accesibilidad y equidad basados en la distancia o coste de desplazamiento.

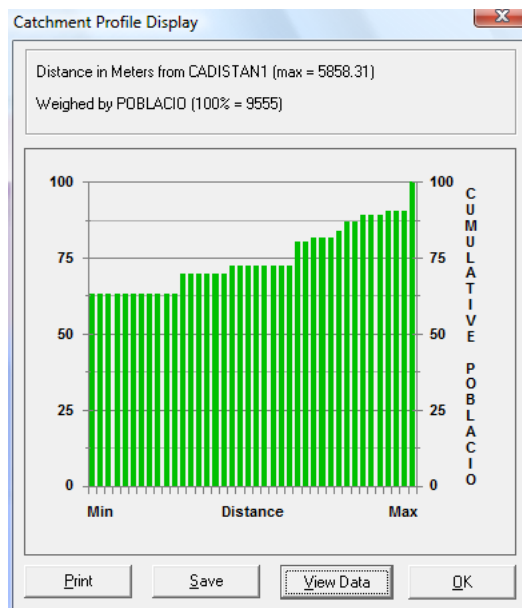


Figura 13. Diagrama de frecuencias acumuladas de la población (%) según la distancia al centro de servicio más próximo.

Tabla 3. Distribución de la demanda según la distancia al centro más próximo.

Meters	Amount of POBLACIO	Cumulative Amount	Cumulative Percentage	Cumulative Average Distance
0	6023.0	6023.0	63.035060	0
1754.530	650.0	6673.0	69.837780	170.90430
2602.730	257.0	6930.0	72.527470	261.08890
3713.990	750.0	7680.0	80.376760	598.28630
4039.710	123.0	7803.0	81.664050	652.5340
4401.410	190.0	7993.0	83.652530	741.64780
4645.710	325.0	8318.0	87.05390	894.18690
4889.880	188.0	8506.0	89.021450	982.49990
5330.520	150.0	8656.0	90.591320	1057.8470
5858.310	899.0	9555.0	100.0	1508.7120
Accessibility measures				
Maximum or worst case distance:		5858.310 Meters		
Average distance:		1508.7120 Meters		
Spatial inequality measures				
Gini Coefficient:		0.7044215		
Gini Index:		70.442150		

8. BIBLIOGRAFÍA

- BACH, L. 1980. Locational models for systems of private and public facilities based on concepts of accessibility and access opportunity. *Environment and Planning A*, 12, p. 301-320.
- BATTY, J.M.; DENSHAM, P. J. 1996. Decision support, GIS, and urban planning. *Systema Terra*, V (1): 72-76.
- BOSQUE SENDRA, J.; GÓMEZ DELGADO, M.; MORENO JIMÉNEZ, A.; DAL POZZO, F. 2000. Hacia un sistema de ayuda a la decisión espacial para la localización de equipamientos. *Estudios Geográficos*. 241: 567-598.
- BUZAI, G.D.; BAXENDALE, C.A. 2006. *Análisis espacial con sistemas de información geográfica*. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- DASKIN, M. 1995. *Network and discrete location. Models, algorithms, and applications*. John Wiley and Sons. Nueva York
- DE SMITH, M.; GOODCHILD, M. F.; LONGLEY, P. A. 2006: *Geospatial Analysis: a Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools* (Second Edition). Troubador. Leicester. 2ª ed. 2008. Disponible en: <http://www.spatialanalysisonline.com/output/> [Consultado: 10/9/2008]
- DENSHAM, P.J.; RUSHTON, G. 1992. Strategies for solving large location-allocation problems by heuristic methods. *Environment and Planning A*, 24: 289-304.

- GOODCHILD, M.; NORONHA, V. 1983. *Location-allocation for small computers. Monograph 8.* Department of Geography, The University of Iowa. Iowa.
- HALL, B.; BOWERMAN, R. 2004. *AccessPlan. Una herramienta de apoyo a la toma de decisiones de planificación en salud.* Universidad de Waterloo, Waterloo (trad. A. Silva, CELADE).
- LINQUIST, P. 2002. Visualizing alternative models and their objective functions in the solution of optimal location problems. *Journal of Geography.* 101: 45-60.
- MORENO JIMÉNEZ, A. 2004. Modelos de localización óptima de instalaciones y equipamientos. En: Bosque, J.; Moreno, A. (eds.). *Sistemas de información geográfica y localización de instalaciones y equipamientos.* Ra-Ma, Madrid: 53-101.
- MORENO JIMÉNEZ, A. 2007. Justicia y eficiencia espacial como principios para la planificación: aplicación en la provisión de servicios colectivos con SIG. En: Buzai, G. D. (Ed.). *Memorias. XI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica.* Dpto. de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Luján. Luján, Argentina: 197-230. En: www.geogra.uah.es/inicio/web_11_confibsig/CONFERENCIAS/Conferencia_Moreno.pdf
- RUSHTON, G.; GOODCHILD, M.; OSTRESH, L. JR. 1973. *Computers programs for location-allocation problems. Monograph 6.* Department of Geography, The University of Iowa. Iowa.
- TORNQUIST, G. et al. 1971. Multiple location analysis. *Lund Studies in Geography, Series C. General, Mathematical and Regional Geography.* 12, 86 p.
- VAN DER ZWAN, J., VAN DER WEL, R.; DE JONG, T.; FLOOR, H. 2005. *Manual Flowmap 7.2.* Faculty of Geographical Sciences, Utrecht University. Utrecht. En: [ftp://ftp.geog.uu.nl/pub/flowmap/FM72manual.pdf](http://ftp.geog.uu.nl/pub/flowmap/FM72manual.pdf)