

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y PUNTOS DE MEJORA.

5.1 Resumen y Conclusiones.

5.2 Puntos de mejora.

5.1. RESUMEN Y CONCLUSIONES.

El algoritmo diseñado e implementado en MATLAB 6.1. parece aportar buenas soluciones en una gran generalidad de casos.

En los ejemplos que se realizaron en el capítulo 2 sobre diferentes configuraciones: mallado, mallado-triangular, circular y circular-triangular, los resultados obtenidos fueron bastante satisfactorios, respondiendo éstos a las matrices de movilidad gravitacionales y transversales de la manera que cabía esperar atendiendo a la lógica.

La aplicación se realizó sobre las configuraciones anteriormente apuntadas, porque nuestra intención final era la de aplicar este algoritmo a la planificación de rutas de autobuses sobre una ciudad (en concreto, Sevilla), y éstas geometrías simulan bien la estructura de muchas urbes. Si bien, después de comprobar la validez de las soluciones en estos cuatro casos, estamos convencidos de la aplicabilidad del algoritmo para cualquier tipo de geometría, y por supuesto para otras muchas situaciones, por ejemplo, para optimizar las rutas de transporte de carga entre varias fábricas y puntos de entrega; o el transporte de personas entre varias ciudades y pueblos, etc.

En las pruebas realizadas sobre las configuraciones anteriores, obtuvimos una buena cantidad de conclusiones que lo único que hacían era reafirmarnos en la idea de que el algoritmo resultaba adecuado para el trazado de rutas óptimas. Por ejemplo, el hecho de que las rutas busquen siempre un nodo de intersección entre ellas (siempre que sea posible), con la intención de cubrir la mayor cantidad de demanda posible; o las modificaciones que provoca en las rutas de autobús la adición de una línea de metro (mirad las conclusiones en el apartado 2.6.5. del capítulo 2).

En el capítulo 4 se procedió a probar el algoritmo sobre la ciudad de Sevilla. Las peculiaridades de esta ciudad, una urbe que puede ser considerada de tamaño mediano, incluso pequeño si la comparamos con grandes ciudades como Madrid, Barcelona, Londres, etc., y en la que sólo existe un medio de transporte público; nos permiten la aplicabilidad del algoritmo con ciertas condiciones. Por ejemplo, solo se permitirá un transbordo para considerar una demanda origen-destino satisfecha. Esta restricción

parece lógica atendiendo al tamaño de la ciudad, en la que un sólo transbordo parece suficiente para cubrir prácticamente todas las zonas de transporte en que ésta se divide.

Lo que sí es necesario tener muy presente es el carácter de “pre-planificación”, que tiene la aplicación del algoritmo sobre la ciudad. Hablamos de “pre-planificación”, porque en ningún momento pretendemos decir con exactitud cuáles son las calles, avenidas o plazas por las que deben pasar los autobuses, o dónde deben establecerse paradas. Es evidente, que el algoritmo no nos puede proporcionar una información tan detallada si pretendemos aplicarlo a una ciudad, puesto que el número de datos que necesitaríamos introducir debería ser mucho mayor (identificación y asimilación de todo el viario, cogestión del mismo, etc.). Además, el hecho de tener que identificar cada zona con un “nodo característico” o centroide, carece en muchos casos de la exactitud necesaria como para no pensar en tan solo una “pre-planificación”.

Esta “pre-planificación” nos indica la estructura básica de las rutas, zonas que se cubren y zonas en las que se transborda. Pero, como ya hemos comentado, esto sólo nos servirá como algo previo al estudio en detalle que debe realizarse si la intención es establecer líneas de autobús con mayor exactitud. Por lo tanto, quizás sería más correcto hablar de “corredores” en lugar de “rutas”.

Sobre las aplicaciones realizadas en la ciudad de Sevilla, podemos obtener conclusiones muy relacionadas con las obtenidas en los ejemplos del capítulo 2.

En el *ensayo 1*, se probó el algoritmo utilizando tan solo la matriz de demanda de transporte público para diferentes valores de los parámetros de entrada. En los dos primeros ejemplos, sin línea de metro, se pretendía calibrar y comprobar la bondad del algoritmo. Los resultados obtenidos fueron bastante satisfactorios, pues la creación de las diferentes rutas o corredores respondía a una estructura radial, que es en la que se basa la actual red de transporte urbano de TUSSAM.

No más de ocho rutas fueron creadas, pues éstas son suficientes para darnos una buena idea de la estructura de la red. La creación de más rutas, no sólo nos obliga a tiempos de computación que ya empiezan a ser bastante considerables, sino que además se perdería claridad en la presentación de los resultados.

Sobre la carga de las diferentes rutas, se aprecia un incremento de ella a medida que van creándose nuevas rutas (siempre que sean posible los transbordos), aunque alguna puede ver decrementada su carga si comparte zonas de transporte con otra ruta (es decir, comparten la demanda de viajes).

En el ejemplo 3, perteneciente al *ensayo 1*, se introdujo la línea 1 del metro. Para la aplicación del algoritmo se siguió utilizando la demanda de transporte público, suponiendo que la introducción de la línea de metro, no variaría la demanda de uso del transporte público entre dos zonas, pero sí provocaría un aumento de los porcentajes de personas satisfechas, por cuanto siempre será preferible un viaje o un transbordo en metro, que en autobús. Es decir, no se hizo un nuevo reparto modal para distinguir entre usuarios de metro y de autobús, sino que todos ellos quedaron englobados dentro de los usuarios del transporte público. Las conclusiones que pueden ser obtenidas a la vista de los resultados son similares a las obtenidas de los ejemplos del capítulo 2; rutas que cambian su itinerario al coincidir en muchas zonas con el metro; aumento, en general, de las cargas de las rutas al incluirse la posibilidad del transporte de metro, excepto en aquellas que ven aliviadas sus carga gracias a que ésta es asumida por el metro, etc.

Sin embargo, no resultaba del todo correcta esta última suposición, puesto que, si bien puede suponerse que la existencia de la línea de metro no va a variar la demanda de transporte público, sí parece acertado suponer que el hecho de unir dos zonas por una línea de transporte público capte usuarios del transporte privado. Así pues, en los ejemplos del *ensayo 2* se trabaja con dos matrices, una, la demanda de transporte público, y otra, el uso de transporte privado.

Los ejemplos 4 y 5, del *ensayo 2*, nos mostraron cómo la elección de los nodos generadores como el par entre los que se producía una mayor cantidad

de viajes (sumando la demanda de transporte público y el uso del transporte privado), no parecía lo más adecuado, pues esto originaba la creación de rutas entre las zonas donde el flujo de vehículos privados era máximo, dejando bastante de lado la satisfacción de la demanda de transporte público, al ser el uso del servicio público bastante inferior al del vehículo privado.

Esto nos obligó en los siguientes ejemplos a modificar el modo de obtención de los nodos generadores. Puesto que la unión de dos zonas por una línea de transporte público, solo capta un porcentaje (**beta_dir**) de usuarios del coche, se eligieron como nodos generadores a aquellos pares con un valor máximo en la suma de demanda de transporte público y captación de transporte privado (que es igual al número de viajes en vehículo propio entre ambas zonas afectado por el coeficiente **beta_dir**).

Esta modificación supuso que fueran trazadas rutas con mucho mayor sentido, y equilibrio entre la satisfacción de la demanda de transporte público y la captación de usuarios del vehículo privado.

Respecto a los resultados obtenidos, nada nos hace sospechar que las soluciones sean ilógicas.

La adición de la línea de metro, supone cambios de itinerarios en la red de autobuses, en el sentido que ya ha sido detallado en las conclusiones del capítulo 2.

Sobre la aplicabilidad o no de este algoritmo sobre la ciudad de Sevilla, podemos decir que puede resultar adecuada, como ya ha sido comentado en varias ocasiones, para obtener una primera planificación que nos de idea de los corredores de transporte público que debieran ser tenidos en cuenta a la hora de establecer una red de rutas de autobús, y la influencia del metro sobre éstas.

Desde luego, el modo en que se da comienzo a la creación de rutas, es decir, la elección de los nodos generadores, no deja de ser un heurístico más, y por lo tanto siempre habrá que dudar de si éste es el mejor modo de iniciar las rutas.

Por último, y con la intención de hacer un poco más de hincapié sobre algunas conclusiones importantes, ya mencionadas, que pueden ser extraídas tanto de los ejemplos realizados sobre las diferentes configuraciones en el Capítulo 2, como de la aplicación realizada sobre la ciudad de Sevilla en el Capítulo 4; volvemos a señalar que, a medida que van creándose nuevas líneas va aumentando la carga soportada por todas, exceptuando casos muy concretos. Es decir, el esfuerzo económico que supone la creación de una nueva ruta, no sólo se realiza para cubrir la demanda de las zonas que recorre la nueva ruta, sino que supone un aumento de la cobertura de la red y por lo tanto un incremento en la carga de viajeros que transportarán el resto de rutas (debido a los posibles transbordos).

Otra conclusión de importancia es la influencia que la presencia de una línea principal (metro) tiene sobre las rutas de autobús, afectando muy claramente a aquellas que discurrían por las zonas (o nodos) por las que pasa la línea de metro (normalmente desviándolas paralelamente). Además, la carga de las líneas que tienen alguna parada en común con el metro se verán claramente aumentadas debido a los transbordos.

5.2. **PUNTOS DE MEJORA.**

- Una de las primeras mejoras en las que hay que hacer hincapié es en la programación del algoritmo. Muy probablemente, la programación puede ser mejorada evitando rutinas innecesarias o repetitivas. El realizador de este proyecto no es un experto en programación y es por ello que a ojos de un programador más experimentado puede haber cosas que sean mejoradas.

Esto supondrá una mejora en los tiempos de computación.

- El algoritmo inicia las rutas tomando el par de nodos originadores entre los que se produce una mayor demanda de viajes. Esta forma de proceder corresponde a un heurístico que pudiera ser mejorado, o al menos pudieran probarse otros procedimientos.

En el ANEXO VI se presenta un estudio realizado al respecto, haciendo comparaciones con un método que utiliza el azar a la hora de elegir los *nodos originadores*.

- El algoritmo selecciona en cada iteración qué nodo integrado en qué ruta proporciona el mayor incremento en la función objetivo. La única condición para que un nodo sea candidato a pertenecer a una ruta determinada es que no pertenezca ya a la ruta (para evitar bucles cerrados). Además, la primera comprobación que se hará es que la integración de dicho nodo en la ruta, no suponga una longitud de ruta superior al límite establecido. Esto se asemeja a una búsqueda TABÚ, pero el número de nodos candidatos es bastante elevado, lo que implica que son muchas las pruebas que hay que hacer antes de llegar a la solución óptima, y esto implica elevados tiempos de computación, tanto más cuantos más nodos tengamos y más rutas deseemos crear.
- El algoritmo, en general, muestra buenos resultados, pero para realizar su aplicación sobre una ciudad, y si deseamos algo más que una “pre-planificación”, deberíamos recurrir a elaborar un algoritmo

más complejo que contuviera más datos de entrada, como por ejemplo, datos de frecuencia, congestión y estructura del viario.

- En aras de dar más realismo al modelo, podría trabajarse con una función biobjetivo que tratase de maximizar la captación y reducir todos los costes que entran en juego, costes de acceso a las paradas, costes de espera, costes de viaje, costes de transbordo, etc. Es decir, tratar una función objetivo algo más compleja.
- Siempre con la intención de acercarnos más a la realidad, podríamos trabajar con matrices de demanda de viajes variables con el servicio. Es decir, nosotros suponemos en nuestro algoritmo que una demanda de transporte público es satisfecha completamente, si unimos los nodos origen y destino de esa demanda por una sola ruta de autobús. Para decir esto, nos basamos en que Sevilla es una ciudad de tamaño pequeño y por lo tanto las longitudes de sus rutas no serán muy elevadas; pero si quisiéramos hilar más fino debiéramos estudiar como influye en la demanda la longitud de las rutas o el número de paradas de la misma, es decir, lo que en algún momento hemos llamado la “utilidad temporal”.
- Una de nuestras suposiciones es que la demanda de transporte público no se ve modificada por la adición de una línea de metro, es decir, el usuario del transporte público demanda ese servicio igualmente tanto si hay como si no hay metro, pero ¿sería interesante crear, a partir de la matriz de demanda de transporte público, dos matrices, una de demanda de transporte en autobús, y otra de transporte en metro?, es decir, realizar un nuevo reparto modal del transporte público.
- En la aplicación realizada a la ciudad de Sevilla hemos trabajado con zonas de transporte. Cada una de ellas ha tenido que ser identificada por un centroide, que se han utilizado como referencia para medir las distancias entre zonas. En ocasiones, como ya se reseñó en su momento, la localización de estos centroides no ha sido fácil y ha habido que recurrir a aproximaciones.

Sería interesante recurrir a zonas de menor área que las utilizadas, por ejemplo las secciones censales, y trabajar así con más zonas pero mejor identificadas por su centroide, y por lo tanto permitiendo mayor exactitud en el trazado de las rutas y la longitud de las mismas.

- En el algoritmo implementado no se han establecido límites en la capacidad de las líneas, es decir, no se han establecido restricciones sobre la flota, cuyo volumen se establecerá posteriormente después de determinar las frecuencias necesarias.
- A la hora de contar la carga de cada línea, no se tiene en cuenta la elección del viajero sobre el nodo en el que va a realizar el transbordo, (normalmente el que le produzca menor tiempo de viaje total), sino que se comparte la carga entre todas las posibilidades existentes para llegar desde su origen a su destino.

Del mismo modo, la carga se reparte a partes iguales entre todas las rutas que unen un origen y un destino.

En la aplicación concreta del algoritmo a la ciudad de Sevilla, las suposiciones realizadas para hallar la carga de las rutas parecen ser adecuadas. El tamaño pequeño de esta ciudad va a significar que las rutas creadas no sean muy largas, y que por lo tanto, los tiempos de viaje tampoco sean demasiado elevados. Por lo tanto, y mientras no sean tenidas en cuenta las frecuencias de paso de los autobuses, no habrá grandes diferencias entre viajar en una u otra ruta, si ambas unen el origen con el destino deseado.

Sin embargo, es evidente que un análisis que estudiara los tiempos de viaje entre dos nodos siguiendo varias alternativas, podría proporcionarnos soluciones más reales, puesto que asignaríamos toda la carga a la ruta que permitiera viajar entre esos dos nodos de la manera más rápida posible (invirtiendo el menor tiempo). Y así podríamos aplicar el algoritmo a un mayor número de topologías y ciudades de mayor tamaño, sin necesidad de realizar las suposiciones antes descritas para el cálculo de la carga de las rutas.

- Un claro inconveniente del algoritmo implementado es que al considerar que la demanda de transporte público que se produce entre dos nodos es captada completamente si éstos se encuentran unidos por una ruta, no establecemos competencia ninguna con el transporte privado. Las únicas pérdidas (demanda no satisfecha) se producen cuando es necesario realizar un transbordo para unir el nodo origen con el nodo destino.