

CAPÍTULO 4
APLICACIÓN A UN EJEMPLO REAL.
EL TRANSPORTE URBANO EN SEVILLA.

- 4.1 Introducción.**
- 4.2 Situación actual del transporte urbano en Sevilla.**
- 4.3 Situación futura del transporte urbano en Sevilla.**
- 4.4 Elección de la Unidad Base de Estudio.**
- 4.5 Elección de los “nodos característicos”.**
- 4.6 Medida de las distancias entre los centroides.**
- 4.7 Matrices de Demanda de Transporte.**
- 4.8 Particularización del Algoritmo.**
- 4.9 Manejo del programa. Introducción y Salida de Datos.**
- 4.10 Aplicación del Algoritmo.**
- 4.11 Análisis de los tiempos de computación.**
- 4.12 Análisis sobre la elección de los “nodos originadores”.**

4.1. INTRODUCCIÓN.

En el capítulo anterior se ha pretendido dar a conocer la metodología que habitualmente se sigue en el análisis estratégico de los sistemas de transporte para grandes ciudades y ciudades de tamaño medio.

Se ha hecho una presentación de los cuatro submodelos que reflejan las distintas etapas de la demanda y oferta de transporte:

- Generación / Atracción de viajes.
- Distribución de viajes.
- Partición modal.
- Asignación.

Englobándose los tres primeros pasos en la etapa de demanda, y el último en la oferta de transporte.

En este capítulo, se tratará de explicar, siguiendo la metodología planteada, la situación y los condicionantes que plantea la ciudad de Sevilla. Y cómo se han intentado resolver las dificultades que se han ido presentando, para terminar aplicando el algoritmo diseñado e implementado, que ha sido la base fundamental de este proyecto.

Es importante dejar muy claro cuál será el objetivo que nos planteamos de aquí en adelante.

Durante los primeros capítulos de este proyecto se presentó, se implementó y se probó un algoritmo que intentaba resolver el diseño óptimo de rutas secundarias (entiéndase en el caso que nos ocupa, rutas de autobús), atendiendo a dos objetivos fundamentales:

- Maximizar la captación de viajeros.
- Minimizar el coste de operación (minimizar la longitud de la ruta).

El diseño de las mismas estaba sujeta a una serie de restricciones, tales como:

- La longitud máxima de ruta.

- El máximo número de nodos permitidos entre los dos nodos que inician la ruta (que fueron denominados *nodo origen* y *nodo destino*; aunque como sabemos, finalmente, no tienen por qué ocupar esas posiciones en la ruta).

Además, el algoritmo nos permitía estudiar los efectos que producía la existencia de una ruta principal (entiéndase en nuestro caso, línea de metro), sobre el diseño de las rutas secundarias (rutas de autobús).

A pesar de que el algoritmo fue testado con aparente éxito sobre varios ejemplos imaginarios, queríamos conocer su funcionamiento sobre un caso real. Aprovechando que disponíamos de datos sobre la ciudad de Sevilla, nos dispusimos a probar el algoritmo.

Sin embargo, es evidente que el diseño de rutas de autobús sobre una ciudad es algo muy complejo, que necesita el manejo de una gran cantidad de variables, y que requeriría un estudio mucho más amplio del que aquí se realiza.

Hay que recordar que el algoritmo programado es bastante generalista, es decir, pretende dar resultados factibles para casos bastante amplios. Es lógico, que su aplicación sobre el caso de una ciudad requeriría una programación más singular, con la inclusión de muchas más restricciones y variables, tantas más, cuanto más exactitud se pretenda.

Es por esto que debe quedar claro que el objetivo de aplicar el algoritmo a la ciudad de Sevilla, no va más allá de hacer una “pre-planificación” sobre las zonas que deberían de cubrir las líneas de autobús que se van a ir creando. No se pretende decir con exactitud, cuáles son las calles o avenidas que deben ser recorridas, o cuántas y en qué lugares deben ser establecidas las paradas de autobús.

Las soluciones que se obtengan deben ser entendidas como ayuda para tener una “primera idea” del trazado de las rutas: por qué zonas pasarán y en qué zonas habrá cruce de líneas (y por lo tanto posible transbordo).

Como “pre-planificación” que es, debería ser el analista encargado del estudio quien atendiendo a la experiencia personal, o realizando un estudio más detallado sobre el mapa de la ciudad, diera el visto bueno, o desechara algunas soluciones que pueden salir. Por ejemplo, es posible que un estudio más en profundidad nos revele que, la unión de dos zonas mediante una ruta, no sea algo interesante o factible desde el punto de vista de la infraestructura vial (calles de un solo sentido, o quizás demasiado estrechas para el paso de un autobús).

Así pues, es muy importante que quede claro el carácter de “pre-planificación” (que nos dé una idea inicial de qué zonas deben cubrir las rutas de autobús), que tiene el estudio que a continuación se realizará.

Antes de comenzar la aplicación sobre la ciudad de Sevilla, es conveniente tener una idea aproximada de cuál es la situación actual del transporte urbano en Sevilla, y qué actuaciones hay proyectadas para el futuro próximo (en concreto nos referimos a la primera línea de metro que se espera entre en funcionamiento a mediados del año 2006). Es por esto que en los dos siguientes apartados 4.2 y 4.3 realizamos una breve introducción al transporte urbano en la ciudad de Sevilla.

4.2. SITUACIÓN ACTUAL DEL TRANSPORTE URBANO EN SEVILLA.

El núcleo urbano de la ciudad de Sevilla esta recorrido por un total de 29 líneas de autobús y 5 líneas concesionarias, que dan servicio anualmente a casi 90 millones de viajeros.

Existen seis puntos clave de transbordo en la red, estos son:

- La Encarnación.
- Gran Plaza.
- Macarena.
- Pasarela.
- Plaza Nueva.
- Puerta Osario.

La estructura de la red responde a una clara tendencia de demanda de viajes hacia el centro de la ciudad, es por esto que las líneas pueden ser agrupadas principalmente en rutas radiales norte, sur, este y oeste. Completando éstas, están las que denominamos transversales, periféricas y circulares.

Líneas Radiales-Norte. (ver Anexo):

Son un total de seis líneas que se extienden desde los barrios del norte de la ciudad hacia el centro, cubriendo prácticamente todo el distrito Macarena. Miraflores, El Fontanal, La Barzola, Huerta de San Jacinto, Los Carteros, La Bachillera, San Jerónimo, Pino Montano, son algunos de los barrios cubiertos por estas líneas.

Líneas Radiales-Este. (ver Anexo):

Estas ocho líneas cubren los distritos de Nervión y Sevilla Este, terminando sus trayectorias en las céntricas paradas de La Encarnación o Plaza Nueva. Algunos de los barrios más importantes a los que presta servicio son: Polígono San Pablo, Nervión, Parque Amate, Torreblanca, Juan XXIII, Santa Aurelia, Polígono Industrial Su Eminencia, Cerro del Águila, El Juncal, Palacio de Congresos,...

Líneas Radiales-Sur. (ver Anexo):

Un total de cinco líneas son las encargadas de cubrir el distrito Sur de la ciudad; los barrios de El Porvenir, Tabladilla, Las Letanías, Barriada La Paz, Tiro de Línea, Murillo, Antonio Machado, Bami, Ciudad Sanitaria, Heliópolis, El Cano, Los Bermejales, ...

Líneas Radiales-Oeste. (ver Anexo):

El distrito de Triana, compuesto por los barrios de Los Remedios, Triana, Tablada, Patrocinio, El Tardón, El Turruñuelo,... está cubierto por cuatro líneas de autobús que van hacia el centro.

Como ya hemos comentado, estas líneas radiales vienen complementadas por otras líneas transversales y circulares, éstas son:

Línea transversal 1. (ver Anexo):

Atraviesa la ciudad de Norte a Sur, desde Heliópolis hasta el Hospital de San Lázaro, recorriendo aproximadamente 28 zonas de transporte.

Línea transversal 2. (ver Anexo):

Su recorrido es muy largo, pues atraviesa prácticamente todos los distritos: desde el Sur hasta Macarena, pasando por el distrito Nervión y Sevilla Este; y evitando su paso por el centro.

Línea transversal 5. (ver Anexo):

Recorre desde el barrio de Triana (al Oeste de la ciudad), hasta Sevilla Este, pasando por zonas de transporte del distrito Nervión.

Línea transversal 6. (ver Anexo):

Comprende desde el Distrito Sur (Ciudad Sanitaria) hasta el Distrito Macarena (Basílica de la Macarena), pasando por el Oeste de la ciudad (Distrito Triana: Triana y los Remedios).

Hay cuatro líneas circulares (ver Anexo). Son las únicas líneas que no tienen paradas terminales. Unen las zonas de transporte que rodean el Centro.

Por último existen dos líneas periféricas (ver Anexo), que vienen a unir zonas muy periféricas de la ciudad con un punto más céntrico, como es la Gran Plaza.

En la figura siguiente podemos ver esquemáticamente las principales rutas del transporte urbano en Sevilla, apreciándose con mucha claridad la estructura radial de la red.

4.3. SITUACIÓN FUTURA DEL TRANSPORTE URBANO EN SEVILLA.

Como es sabido por todos, en estos momentos se construye en la ciudad de Sevilla la línea de metro número 1, que pretende ser la primera de una red que se estima inicialmente en 4 rutas.

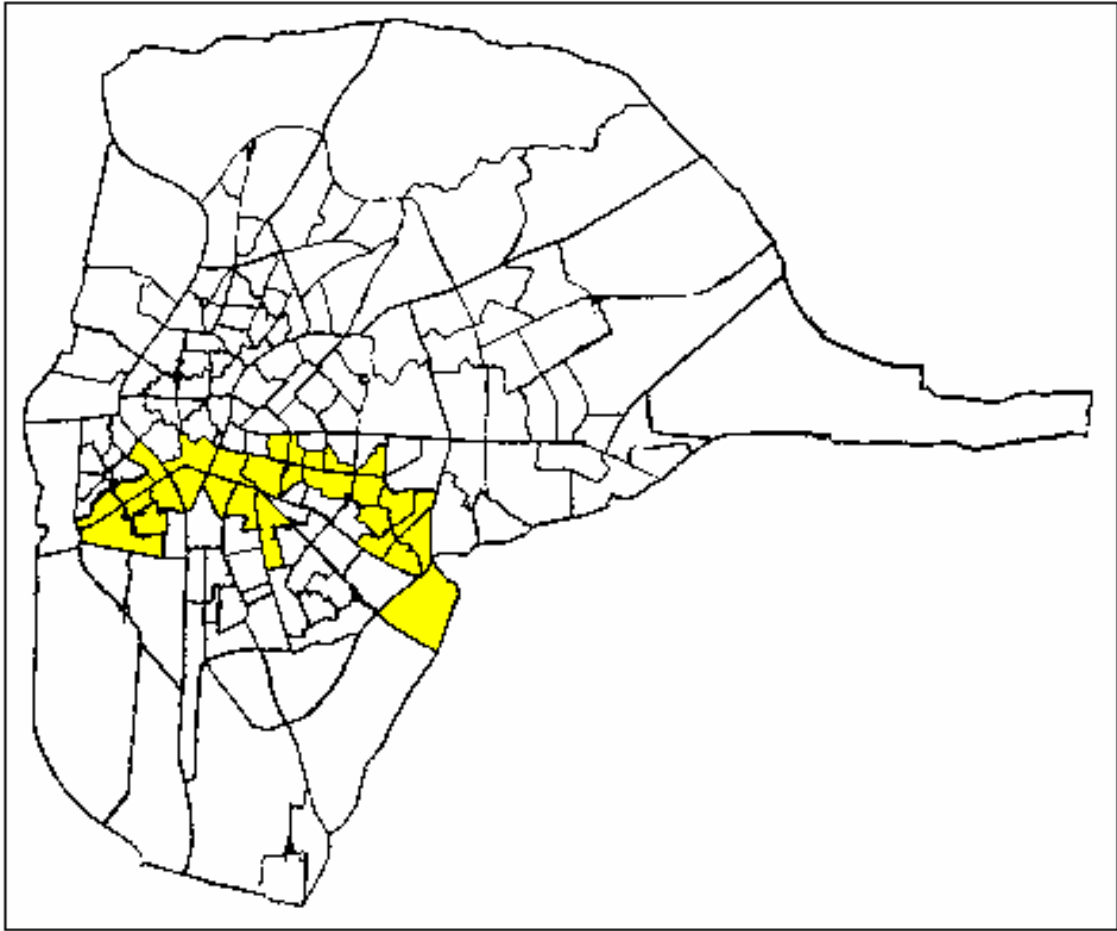
La terminación de esta primera línea se prevé para el año 2006, y es evidente que su inauguración supondrá una modificación de las actuales líneas de autobuses de TUSAM. Los cambios más probables se producirán en aquellas rutas que discurren por las zonas en las que tendrá paradas el metro, pero también pueden aparecer cambios en otras rutas de autobús (ver las modificaciones producidas en las rutas de autobuses cuando se introducía una línea de metro, en los ejemplos probados en el capítulo 2).

Nuestra intención será la de probar la respuesta del algoritmo ante la introducción de la primera línea de metro en la ciudad de Sevilla, es por ello que nos centraremos en estudiar ésta única línea de metro.

La línea 1 del metro de Sevilla está proyectada con un total de 14 paradas (en el propio casco urbano de Sevilla), para una longitud total de 19 Kms, que serán recorridos a una velocidad comercial de 30 Km/h, invirtiéndose, por tanto, 40 minutos en su recorrido.

Para calcular la población que captará la línea de metro se ha estimado el radio de influencia de las paradas sobre la población, en 500 metros. Atendiendo a este dato, mostramos a continuación las paradas y las zonas de transporte influenciadas por la línea de metro.

LÍNEA 1 DE METRO		
Paradas		Zonas de Transporte influenciadas
1	Avenida de Blas Infante	27, 31
2	Parque de Los Príncipes	25, 28, 30
3	Plaza de Cuba	22, 29
4	Puerta de Jerez	14, 16
5	Prado de San Sebastián	42, 79
6	Apeadero de San Bernardo	80, 44, 45
7	Nervión (intersección Eduardo Dato con Av. San Francisco Javier)	81, 73, 74
8	Gran Plaza	76, 78, 82
9	Federico Mayo	88, 90
10	Gavilanes	91, 96
11	La Plata	92, 93, 95
12	Cocheras	94
13	Guadaíra	99
14	Universidad Pablo de Olavide	64, 102



Zonas de transporte cubiertas por la Línea 1 del Metro de Sevilla.

4.4. ELECCIÓN DE LA UNIDAD BASE DE ESTUDIO.

Tal y como se mencionó en el capítulo 3 (*Introducción a los Modelos de Transporte*), todo proceso de planificación tiene una tarea previa que es la delimitación del área de estudio y su zonificación.

El área de estudio estará delimitada por el área de influencia de la infraestructura de transporte que se pretende analizar, en nuestro caso, como ya ha sido comentado en varias ocasiones, el casco urbano de Sevilla.

Como ya sabemos, el objetivo de la zonificación será configurar una base espacial para referenciar los flujos de viajes. Este punto será el que nos ocupe ahora nuestro tiempo.

Durante toda la presentación que hasta el momento se ha realizado del proyecto, se ha estado hablando de forma genérica de “nodos”, entendiendo éstos como la base de la que partimos para realizar el estudio de las rutas secundarias, en nuestro caso líneas de autobús.

Al trasladar el ejemplo a la creación de rutas sobre la ciudad de Sevilla había varias formas de proceder:

- Considerar como unidad base los diferentes barrios de la ciudad.
- Considerar como unidad base las diferentes secciones censales contadas según el registro censal del año 2000 realizado por el IEA.
- Considerar como unidad base las distintas zonas de transporte obtenidas del Estudio de Movilidad en la Aglomeración Urbana de Sevilla del año 2002 realizado por la consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía.
- Considerar como unidad base diferentes paradas de autobús distribuidas con cierta lógica sobre los diferentes barrios de Sevilla.

La opción de situar varias paradas de autobús sobre el viario de Sevilla, pudiendo tomar, por ejemplo, las que actualmente tiene TUSAM más otras que serían colocadas por nosotros en lugares que evidenciaran, a priori, la necesidad de contar con paradas de autobús, era la que inicialmente parecía más lógica. Sin embargo, había varias razones que nos hicieron desechar esta posibilidad:

- No contábamos con matrices de demanda Origen-Destino tan detalladas que nos dieran este dato de “flujos de viajeros” entre las paradas establecidas. Por lo tanto, habría que realizar un trabajo previo tomando como dato de partida los “flujos” entre zonas de transporte, y después aplicar algún tipo de estudio sobre captación de viajeros, por ejemplo el de la utilización de “bolas de captación”, que son figuras casi circulares que marcan el rango de cobertura de pasajeros de cada parada. Un trabajo muy arduo y tedioso.
- El número de paradas de autobús distribuidas sobre Sevilla sería muy elevado; supongamos tres paradas por cada una de las 164 zonas de transporte que constituyen la urbe de Sevilla, resulta un total de 492. Esto supondría trabajar con matrices de 242064 elementos (492×492), lo cual resulta imposible para la aplicación programada en MATLAB 6.1. Y aún cuando pudiera trabajar con tal cantidad de elementos, los tiempos de computación del algoritmo programado serían inadmisiblemente elevados.
- Por último, y la razón principal, es que aunque los problemas anteriormente planteados pudieran ser salvados, nuestro objetivo no deja de ser el de obtener una “preplanificación” del transporte urbano. Para lo cual se aplica el algoritmo programado, que nos indicará por qué zonas deben de pasar las líneas de autobús, atendiendo a los criterios programados: Maximización de transporte de viajeros y minimización de la longitud de ruta. Sin embargo, no hay que

olvidar que el objetivo, en esta aplicación en concreto, no deja de ser el de obtener una idea aproximada del trazado de las líneas, puesto que es evidente que un estudio más detallado necesitaría incluir en el mismo muchísimos más datos y variables de trabajo, tales como: estructura exacta del viario, congestión de tráfico, frecuencia de paso de autobuses, etc. que en este proyecto no van a ser tenidos en cuenta.

Es este carácter, de “preplanificación” que se le intenta dar al ejemplo del transporte público en una ciudad (en concreto al caso de Sevilla), lo que nos hace dar por bueno la utilización de las zonas de transporte del Estudio de Movilidad en la Aglomeración Urbana de Sevilla del año 2002. Ésta será por tanto nuestra base de trabajo, aunque nos limitaremos al uso de las 164 zonas que componen el área urbana de Sevilla.

Además, disponíamos de los datos de transporte público y privado entre estas zonas, los cuales podían ser utilizados casi sin tener que realizar ninguna modificación sobre la matriz Origen-Destino. De este modo, el trabajo se nos simplificaba notablemente.

Reseñar, que la idea de trabajar tomando como la unidad base las zonas de transporte en que se divide la ciudad, no es una idea nueva. Estudios de investigadores anteriores, como el doctor Silman, quien hizo un estudio sobre la organización del transporte público en la ciudad de Haifa (Israel), dividiendo la misma en varias zonas de transporte y asumiendo que si una ruta de autobús pasaba por una zona, toda la demanda de viajes de dicha zona era captada.

Así pues, nosotros nos basaremos en este estudio para realizar la misma suposición: “dividida la ciudad en zonas de transporte, asumiremos que los viajeros de una zona que demandan el transporte en autobús son captados si la ruta de autobús pasa por dicha zona”.

- **La unidad base.**

Elegida ya, la zona de transporte como unidad de trabajo, el siguiente paso debía ser identificar perfectamente cada una de ellas sobre el plano de la ciudad.

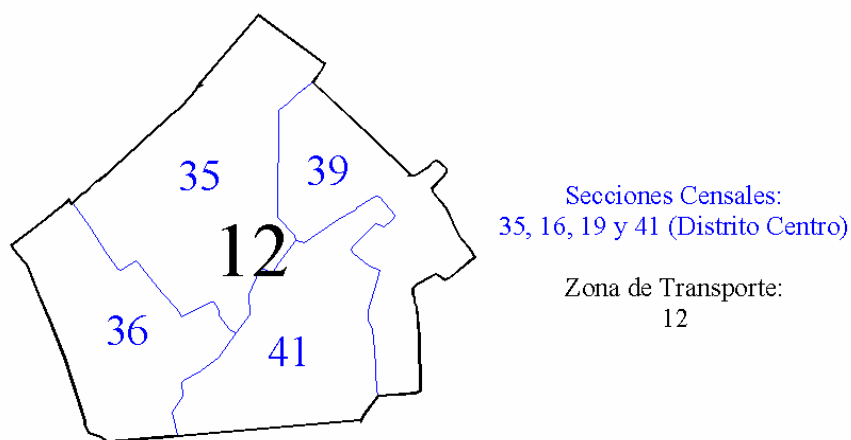
El plano de zonas del que disponíamos no tenía una escala suficientemente grande como para asociar de manera clara cada una de ellas a un conjunto de calles o barrios residenciales. A lo más que se podía aspirar era a identificar la situación de las zonas dentro de uno de los seis distritos en los que se divide Sevilla: Triana, Macarena, Casco Histórico, Nervión, Sevilla Este y Sevilla Sur.

Sin embargo, sí disponíamos de un plano de las secciones censales de Sevilla claramente definidos y en el que sí eran identificables, al menos para hacer una primera localización, calles, avenidas y manzanas de viviendas.

Basándonos en este plano se pudo identificar de una manera bastante acertada el tamaño y localización de las distintas zonas de transporte.

¿Por qué se puede hacer esto?

Si observamos con detenimiento la forma de las zonas de transporte, vemos que existe una clara semejanza entre éstas y la forma de las secciones censales, es más, se podría decir que las zonas de transporte están constituidas por secciones censales completas.



4.5. ELECCIÓN DE LOS “NODOS CARACTERÍSTICOS”.

Ahora que tenemos identificadas de una manera mucho más clara las zonas de transporte, hemos de trasladar éstas a otro plano de mayor escala que nos permita ver con claridad los detalles del viario para poder establecer un nodo característico de la zona.

La necesidad de hacer esto radica en que uno de los datos fundamentales del algoritmo programado es la distancia entre nodos, puesto que minimizar la longitud de ruta es uno de los objetivos propuestos. ¿Cómo se hace cuando no estamos trabajando con puntos perfectamente definidos, sino con zonas en las cuales podría haber varias paradas?

La solución adoptada fue la de definir un “nodo característico” de la zona de transporte, en función del viario y de la densidad de población de las distintas secciones censales que constituyen cada una de las zonas de transporte.

De nuevo, se trata de una aproximación a la realidad pues el tamaño de algunas zonas hace difícil determinar un punto que identifique a toda ella, cuando en realidad debiéramos establecer varios nodos para esa misma zona de transporte. De la elección de éste dependerán las distancias con las zonas adyacentes.

Podemos encontrarnos varios casos:

- La zona de transporte en concreto, esta atravesada por una calle o avenida principal, o contiene a una plaza; en definitiva, está caracterizada por un elemento vial que la define y representa claramente. En tal caso, y siempre que no haya otras características (viales, poblacionales, etc.) que lo desaconsejen, el nodo característico de la zona (también denominado centroide) será situado sobre ella, y normalmente, a la altura de la calle, avenida o plaza que aconseje la densidad poblacional. Ver ejemplo en anexo.

- Hay varias calles, avenidas, plazas, etc. en las que pudiera ser localizado el nodo característico de la zona. Probablemente, y analizando con detalle la situación actual real sobre el viario, veamos que son varias las líneas de autobús que pasan por esas calles. Por lo tanto, podría interesar establecer el nodo característico en una u otra calle, dependiendo de cuál sea la zona previa de la que procede la ruta cuando ésta se esté creando, o qué dirección está siguiendo la ruta y por lo tanto si la calle en la que se establece el centroide de la zona tiene el mismo sentido, etc.

En estos casos el centroide se establece de modo aproximado en un punto que sea centro geométrico de dichas avenidas, calles o plazas candidatas a albergar el nodo característico. Ver ejemplo en anexo.

¿Qué conclusiones se obtienen de lo anteriormente expuesto?

Las distancias entre zonas adyacentes son bastante relativas. En ocasiones, la medida será bastante exacta, pero en otras se tratará de una distancia aproximada, dependiendo de la situación que le hayamos dado al nodo característico. Por lo tanto, la longitud de la ruta total que nos proporciona el algoritmo, no deja de ser una aproximación, en ocasiones más cercana y en otras más alejada, de la realidad. Esto es algo que tiene sentido dentro del carácter “pre-planificador” que tiene la aplicación del algoritmo en el ejemplo que nos ocupa.

Es por esto, que la limitación en la longitud de ruta en este ejemplo, no ocupa más que el papel de evitar la creación de rutas excesivamente grandes, pero no debiera ser tomada como una restricción inflexible. De hecho, debiera ser el planificador o analista, el que tras observar los resultados decidiera si debe alargar más una ruta para incluir en ella otra zona que quedaba fuera de la cobertura de la línea, y que sin embargo nos obligaba a iniciar una nueva ruta en esta zona, dirigida hacia las zonas que venían siendo cubiertas por la ruta anterior.

4.6. MEDIDA DE LAS DISTANCIAS ENTRE NODOS CARACTERÍSTICOS.

Una vez identificadas las zonas de transporte y los nodos que las caracterizan hay que calcular las distancias entre ellos.

La matriz de distancias entre todos los nodos que intervienen en el algoritmo debe ser obtenida simplemente midiendo en un mapa urbano el camino más corto entre todos los pares de nodos. Esto, puede resultar bastante tedioso y complicado. La mejor manera de ahorrar trabajo es mediante la aplicación del algoritmo de Dijkstra, que nos ayudará a obtener la distancia más corta entre un par de nodos, conociendo la matriz de conectividad (cómo están unidos los nodos con sus adyacentes), y la distancia entre los nodos adyacentes que se encuentran unidos (según la matriz de conectividad). Ambas matrices deberán ser guardadas en formato de texto (.txt), para poder ser leídas por la función programada del algoritmo de Dijkstra (en el anexo IV, profundizamos más en el algoritmo, y presentamos su programación).

Así pues, gracias al algoritmo de Dijkstra, las únicas distancias que debemos medir, es entre los nodos adyacentes. Esta operación se realizó sobre el callejero de escala 1:10.000, en el que anteriormente habíamos representado las zonas de transporte y sus centroides, intentando ser lo más fiel posible a la estructura del viario.

Al realizar esta medida, podemos encontrarnos con varias posibilidades:

- Dos zonas adyacentes, se encuentran perfectamente identificadas por sus centroides, que se encuentran claramente diferenciados. En estos casos, podemos aseverar que las distancias entre los nodos característicos de dos zonas adyacentes es una medida bastante real, y se puede decir sin ningún “temor” que la distancia entre las zonas es la medida; Es decir, se trata de una distancia real. Ver ejemplo en anexo.
- Habrá zonas contiguas que tengan una Avenida común y cuyo “nodo característico” coincida, en tal caso la distancia entre estas dos zonas adyacentes es nula, y a efectos prácticos actuarían

como una sola zona de mayor tamaño y que aglutina los viajes de origen o de destino de las zonas que la constituyen. Ver ejemplo en anexo.

- Hay otras zonas que, aunque adyacentes, no pueden ser unidas de forma directa por una ruta de autobús (por ejemplo, dos zonas situadas a ambos márgenes del río y no unidas por un puente). Estos casos se representan estableciendo una distancia infinita entre ambas. Ver ejemplo en anexo.

Es importante reseñar que trabajamos con un conjunto conexo de nodos, es decir, todos pueden ser unidos con todos siguiendo alguna ruta. Lo que ocurre es que la unión de dos nodos alejados entre sí, se realizará pasando por varios nodos intermedios, puesto que toda ruta que pase por un nodo se unirá con otro nodo de una zona adyacente. Así pues, aunque dos nodos adyacentes no puedan ser unidos directamente (distancia infinita entre ellos), probablemente si se podrán unir siguiendo una ruta alternativa (al tratarse de un conjunto conexo).

Es el hecho de estar trabajando con un conjunto conexo de nodos, lo que nos permite utilizar el algoritmo de Dijkstra para calcular la distancia entre todos y cada uno de los centroides, a partir de la distancia entre los nodos característicos de las zonas adyacentes. Es por esto que la labor del cálculo de distancias solo tendremos que preocuparnos de hacerla entre los nodos adyacentes.

4.7 MATRICES DE DEMANDA DE TRANSPORTE.

Realizada la zonificación y obtenidos los centroides y las distancias entre ellos, el siguiente paso, siguiendo las directrices marcadas en el capítulo anterior, es el de obtener una matriz de demanda de transporte (o varias, si se quiere dividir en diferentes modos de transporte) que nos permita conocer la demanda de viajes entre cada par de zonas i y j . Para ello, debíamos partir de una serie de encuestas que nos facilitaran, tras un estudio detallado y la aplicación de coeficientes de expansión (ver capítulo 3), unas matrices de movilidad globales. Conocidas estas matrices, es el momento de aplicar los modelos de demanda de transporte presentados en el capítulo 3, para explicar la demanda de viajes producida entre cada par de zonas i y j en los diferentes modos.

La aplicación de los Modelos de Producción, determinarán los viajes producidos (Modelos de Generación), y los viajes atraídos (Modelos de Atracción) para cada una de las zonas de análisis.

Los Modelos de Distribución, construyen las matrices de viajes entre cada par de origen-destino de zonas.

Por último, los Modelos de Distribución Modal dividen la matriz de viajes provenientes de la etapa anterior en tantas matrices como modos de transporte existan disponibles para los usuarios.

El resultado final es una matriz de demanda por modos de transporte.

La obtención de esta matriz es fundamental para poder hacer la aplicación sobre la ciudad de Sevilla, que es nuestro objetivo.

Todos los pasos mencionados en las líneas anteriores y detallados en el capítulo 3, debieran ser seguidos para obtener las matrices de demanda de transporte que serán de utilidad para nuestro algoritmo.

Si bien, la obtención de esta matriz no formaba parte de nuestra tarea, es por ello que dispusimos de un estudio de movilidad en la ciudad de Sevilla para el año 2002, realizado por la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía, que había sido hecho con el objetivo de facilitar el desarrollo de los proyectos de las empresas concursantes a la realización del

Metro de la ciudad de Sevilla. Dicho estudio se había realizado a través de la información obtenida de la encuesta domiciliaria de movilidad realizada por TEMA Grupo Consultor, S.A. para la Junta de Andalucía. La encuesta domiciliaria constaba de cuatro fichas, y reflejaba los datos necesarios que se analizaron en el capítulo anterior. Éstos son:

1. **Datos de Control:** Contiene datos de control utilizados en la realización y codificación de cada encuesta.

- ❖ Municipio donde se ubica la vivienda, los valores que toma el campo se corresponden con el código INE de municipios de la provincia de Sevilla.
- ❖ Distrito municipal.
- ❖ Sección censal.
- ❖ Zona, según la zonificación del área de estudio.
- ❖ Número de identificación de encuesta.

2. **Datos de la familia:** Recoge las características particulares de las familias encuestadas. Incluye datos sobre el número de miembros de la familia (totales y de cinco o más años de edad), la edad del cabeza de familia, nivel de motorización, tipo de edificio y régimen de propiedad, tipo de aparcamiento en residencia,...

- ❖ Zona según la zonificación del área de estudio.
- ❖ Miembros (presentes y ausentes) pertenecientes a la unidad familiar.
- ❖ Edad del cabeza de familia.
- ❖ Número de turismos propios y de empresas, motos, otros vehículos a motor y el total de turismos de los que dispone para su uso la familia.
- ❖ Tipo de edificio.
- ❖ Régimen de propiedad.
- ❖ Tipo de aparcamiento en residencia de los dos vehículos principales de la familia.
- ❖ Tiempo de residencia en la actual vivienda.

- ❖ Disponibilidad de una segunda residencia.
- ❖ En caso de disponer de una segunda residencia se recoge la zona en la que esta se localiza según la zonificación utilizada para la codificación de la encuesta.
- ❖ Coeficiente de expansión.

3. Datos de los miembros de la familia: Recoge los datos de las familias encuestadas.

- ❖ Zona, según la zonificación del área de estudio.
- ❖ Parentesco entre los miembros de la familia.
- ❖ Situación de residencia de cada miembro el día de realización de la encuesta. Los miembros ausentes no pueden viajar y por tanto no tendrán ficha de viajes.
- ❖ Sexo.
- ❖ Edad. Los menores de 5 años no se consideran pues se entiende que se desplazan en compañía de sus padres.
- ❖ Disponibilidad de permiso de conducir y vehículo.
- ❖ Actividad principal que desarrolla cada individuo.
- ❖ Si el individuo trabaja, se recoge la zona dónde desarrolla la actividad, el sector de actividad y el puesto desarrollado.
- ❖ Si la persona estudia, se recoge el tipo de centro de estudios y el nivel de los mismos.
- ❖ Coeficiente de expansión.

4. Datos de viajes de los miembros de la familia: Recoge los datos de los viajes de cada miembro presente o transeúnte mayor de 4 años de las familias encuestadas. Todas las encuestas tienen un registro en esta tabla si algún miembro de la familia ha realizado un viaje.

- ❖ Zona, según la zonificación del área de estudio.
- ❖ Organización de los viajes de forma secuencial para cada miembro de una familia.

- ❖ Datos sobre la zona de origen y destino de cada viaje según la zonificación.
- ❖ Hora de comienzo del viaje y la duración del mismo.
- ❖ Motivos del viaje en origen y en destino.
- ❖ Modo de transporte utilizado en cada una de las etapas de que se compone el viaje.
- ❖ Tiempo de acceso a pie a la primera etapa y de dispersión desde la última hasta el destino.
- ❖ Para las etapas en transporte público, se obtiene información sobre la línea utilizada en cada etapa en transporte público.
- ❖ Billetes utilizados en cada una de las etapas.
- ❖ Tipo de aparcamiento en destino.
- ❖ Motivo de utilización del transporte privado.
- ❖ Motivo de utilización del transporte público.
- ❖ Coeficiente de expansión.

Una vez procesados los datos de la encuesta, y habiendo seguido los modelos de producción y distribución de viajes, el grupo consultor TEMA hizo unas estimaciones bastantes acertadas en cuanto al reparto modal (tercera etapa), definiendo las matrices de viajes referentes al transporte público y al transporte privado dentro del área urbana, es decir, haciendo una partición bimodal; consiguiendo, con ello, terminar el estudio de movilidad.

Llegado a este punto, han sido cubiertas las tres primeras etapas que englobaban la demanda del transporte. Es ahora el momento de la etapa de Asignación. Conocida la demanda de transporte entre las diferentes zonas de transporte, debemos elaborar las rutas de autobús. Para ello, aplicaremos el algoritmo diseñado e implementado, expuesto en el Capítulo 2, si bien, iremos indicando las peculiaridades y particularizaciones que realizaremos a la hora de aplicarlo a la ciudad de Sevilla.

4.8 PARTICULARIZACIÓN DEL ALGORITMO.

En este momento disponemos de las matrices de demanda de transporte público y privado entre las 164 zonas de transporte en que se divide el núcleo urbano de Sevilla.

Para poder aplicar el algoritmo que asigne las rutas de autobuses sobre la ciudad, hemos de introducir una serie de parámetros que debieran ser calibrados con la experiencia del analista encargado del estudio; pero que además están íntimamente ligados con la ciudad en concreto en la que se esté realizando el estudio. Así pues, como ya ha sido comentado a lo largo de esta memoria, el hecho de que nuestro algoritmo sea aplicado a la ciudad de Sevilla, es un dato fundamental para suponer y teorizar sobre ciertas cuestiones. Por ejemplo, la ciudad de Sevilla es una ciudad que puede ser considerada pequeña en cuanto a extensión, esto nos permite intuir que más de un transbordo de autobús para viajar entre dos zonas de la urbe es algo que el demandante del transporte público no permitirá, y por lo tanto, consideraremos que una demanda Origen-Destino no se verá satisfecha si para “cubrirla” es necesario más de un transbordo. Lógicamente, ésta es una suposición que no resulta válida para otras ciudades de mayor extensión: Madrid, Barcelona, Londres, París, etc. donde con total seguridad un par de transbordos puede ser perfectamente asumible y aceptado por los viajeros.

Los parámetros que deben ser calibrados e introducidos en el algoritmo, son aquellos que hacen referencia a los porcentajes de viajeros que están dispuestos a tomar el autobús cuando sus orígenes y destinos no se unen directamente por una ruta, sino que deben realizar un trasbordo, ya sea de autobús o de metro. Estos parámetros son los llamados **alfa_bus** y **alfa_metro**.

- **alfa_bus:** porcentaje de viajeros que están dispuestos a tomar el autobús, a pesar de que para llegar a su destino deben realizar un transbordo hacia otra ruta de autobús.
- **alfa_metro:** igual que el anterior, pero ahora el transbordo se realiza entre una ruta de autobús y otra de metro.

Lógicamente, siempre se cumplirá que **alfa_metro > alfa_bus**.

Estos parámetros serán aplicados sobre la matriz de demanda de viajes Origen-Destino.

En ocasiones, en lugar de disponer de una matriz global de demanda de viajes Origen-Destino, se tiene una matriz de demanda de transporte público, y otra de viajes de transporte privado. En tal caso, se hace uso de otra serie de parámetros. Obsérvese que cuando en el capítulo 2 fue explicado y analizado el algoritmo y su programación, estos parámetros no fueron analizados. Ello es porque su introducción se decidió posteriormente como respuesta al caso particular que teníamos: dos matrices de transporte (una pública y otra privada), en lugar de una global, que fue para la que se diseñó inicialmente el algoritmo.

Pero en cualquier caso, el concepto es el mismo, y no causa grandes cambios ni en la ejecución, ni en la programación del algoritmo.

Estos nuevos parámetros, que son aplicados sobre la matriz de viajes de transporte privado son:

- **beta_dir**: indica el porcentaje de usuarios del transporte privado que es captado, si se unen sus orígenes y destinos mediante una ruta “directa” de autobús. Es decir, habrá una serie de usuarios del transporte privado que estarían dispuestos a tomar el transporte público si las zonas entre las que viaja estuvieran unidas por una sola ruta de transporte público.
- **beta_bus_metro**: indica el porcentaje de usuarios del transporte privado que es captado, si pueden viajar desde su origen a su destino realizando un transbordo entre un autobús y un metro.
- **beta_bus_bus**: idem al anterior, pero el transbordo es entre dos rutas de autobús.

Lógicamente: **beta_dir >> beta_bus_metro > beta_bus_bus**. De hecho, el valor de los dos últimos parámetros prácticamente puede ser despreciable, pues raramente un viajero que suele utilizar su automóvil para trasladarse, va a dejar este por el autobús si además tiene que realizar

transbordos. Sin embargo, sí parece interesante incluir el parámetro **beta_dir**, pues no parece descabellado pensar que si ofrecemos un servicio de transporte público que satisfaga la demanda del usuario del transporte privado, consigamos captar una buena parte de estos viajeros. De hecho, la intención de desarrollar un buen sistema de transporte público es el de intentar no solo satisfacer la demanda ya existente de éste, sino también intentar disminuir el uso del vehículo privado, a favor del público.

Nuevamente, la particularidad de la ciudad de Sevilla, nos proporciona la posibilidad de realizar todas estas hipótesis, pues, probablemente, si estuviéramos hablando de una ciudad de dimensiones mayores deberíamos analizar la “utilidad temporal”, sin poder afirmar que el hecho de unir dos zonas por una sola ruta nos garantiza absorber la totalidad de la demanda pública y un porcentaje de los usuarios del transporte privado. En nuestro caso, hablamos de rutas que están entre los 4 y los 8 kilómetros de longitud, y que por lo tanto no suponen tiempos elevados de viaje.

Como ya ha sido comentado en un apartado anterior, la longitud de ruta no es una medida exacta; precisamente por esto, y pensando que la longitud de ruta no debía ser una restricción que limitara mucho las soluciones, se introdujo como novedad en la programación, la limitación del número de zonas de transporte que podían ser cubiertas por cada una de las rutas de autobús (**n_max_nodos**), entendiendo que un número elevado de ellas, no solo podía elevar en demasía la longitud de la misma, sino que además podía suponer una carga excesiva en ella. Ésta es la primera vez que se menciona el factor de la carga, porque hasta ahora, y también en adelante, supondremos que el número de autobuses no es una limitación, y por lo tanto la frecuencia de paso de los mismos tampoco es un motivo de preocupación. Sin embargo, esta simplificación no es muy realista, y al menos con la restricción mencionada podremos, aunque solo sea de modo muy “suave”, tenerlo en cuenta.

Haciendo un estudio más detallado de la situación actual de la red de autobuses en Sevilla, puede observarse como el conjunto principal de rutas, las radiales, son líneas que cubren entre 10 y 14 zonas de transporte, siendo sus longitudes, en torno a los 5.5 Kms. A la hora de aplicar el algoritmo, tendremos

más en cuenta el número de zonas de transporte máxima como restricción, que la longitud máxima de ruta permitida, debido a su inexactitud, ya comentada.

4.9 MANEJO DEL PROGRAMA. INTRODUCCIÓN Y SALIDA DE DATOS:

Puesto que vamos a aplicar el algoritmo diseñado y programado, para ver los resultados que obtenemos en el caso de su aplicación a la ciudad de Sevilla; es buen momento para introducir al lector en el manejo de esta aplicación. Para ello, hay que comenzar explicando como se realizará la introducción de los datos requeridos.

Las matrices de demanda de viajes, ya trabajemos con una sola matriz global de demanda de transporte o con dos matrices de transporte (una de transporte público y otra de privado), deberán ser guardadas como un archivo de texto con extensión *.txt*.

Igualmente se hará con la matriz de distancias entre nodos.

La forma más fácil y cómoda de proceder es crear estas tablas en EXCEL, y guardarlas con formato de texto.

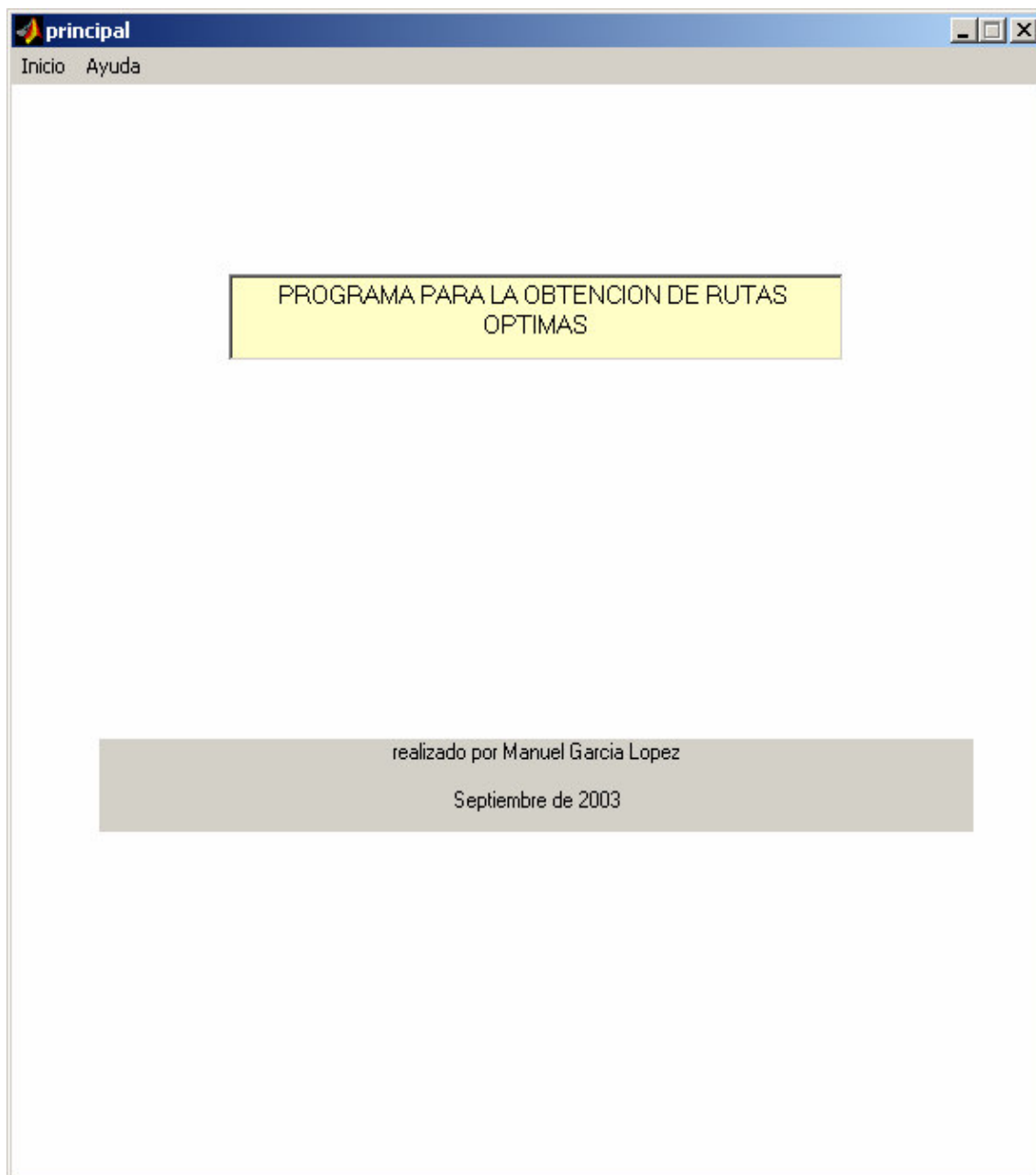
Debemos tener en cuenta a la hora de introducir estas matrices, que las diagonales deben ser nulas, pues la gran mayoría de las zonas de transporte son suficientemente pequeñas como para considerar que la demanda de transporte para viajar dentro de la misma zona es nula. La zona puede ser perfectamente cubierta a pie.

Además las matrices de flujo de viajeros (o de demanda de transporte), no tienen porque ser simétricas, como ya se ha comentado con anterioridad. Será nuestro programa quien por comodidad cree a partir de las matrices de flujos originales, matrices simétricas: ($F_{i,j} = f_{i,j} + f_{j,i}$).

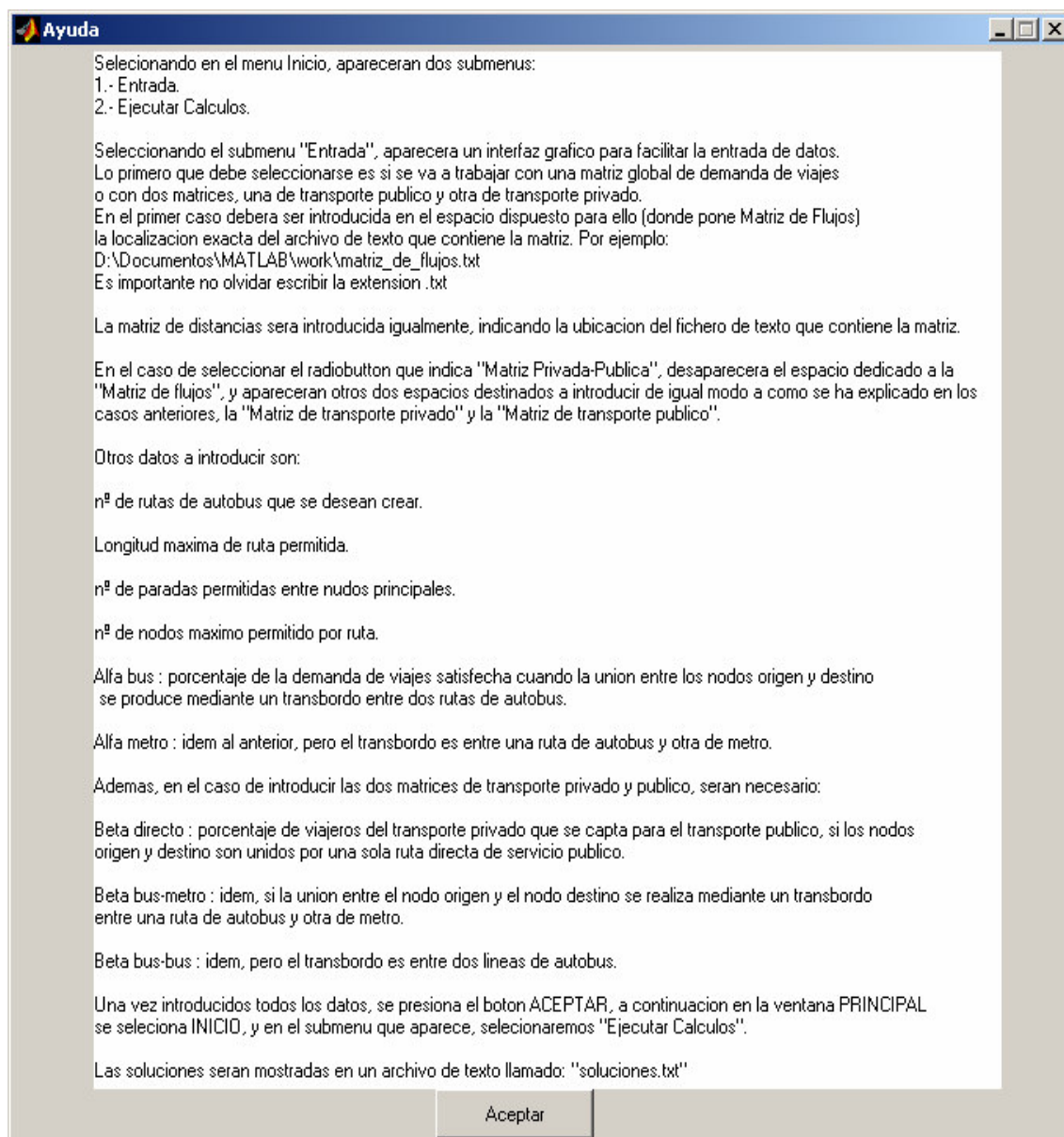
Estos datos son los únicos que debemos tener previamente guardados en un archivo de texto con extensión *.txt*.

El resto de parámetros serán pedidos por el propio programa, e introducidos a través de su interfaz gráfico, como veremos a continuación.

Lo primero que aparece a la hora de ejecutar el programa, es una pantalla de presentación con un menú de dos posibilidades: **Inicio** y **Ayuda**.



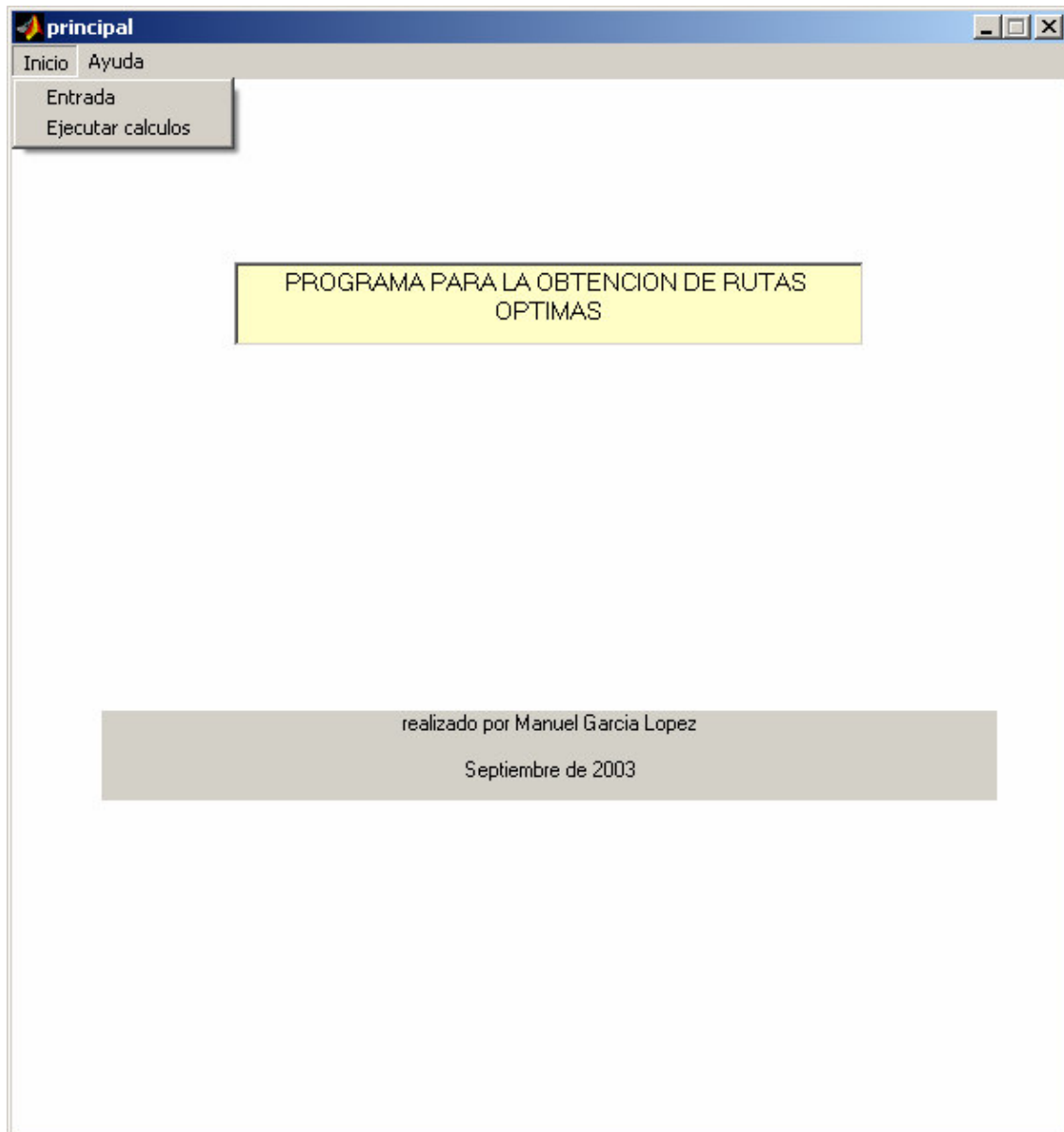
Si seleccionamos **“Ayuda”**, aparecerá una ventana en la que se explica como debe ser empleado el programa.



Picando la pestaña **“ACEPTAR”**, volveremos a la pantalla principal, anteriormente vista.

Tras leer el menú de ayuda ya sabremos como funciona el programa y los pasos que debemos seguir.

Seleccionando en el menú **“Inicio”** aparecerán dos opciones: **“Entrada”** y **“Ejecutar Cálculos”**.



Seleccionando la opción “**Entrada**”, aparecerá un interfaz gráfico que nos facilitará la entrada de los datos que requiere el programa:

Entrada de datos

Matriz de flujos

Matriz de distancias

Ruta de metro

nº de rutas de autobus

Longitud maxima de ruta

nº de paradas maxima entre nudos principales

nº de paradas maxima por ruta

Alfa Bus

Alfa Metro

☒ Matriz Global de Flujo

☐ Matriz Privada-Publica

Aceptar

Cancelar

Lo primero que debe ser seleccionado es si vamos a trabajar con una matriz global de demanda de viajes, o vamos a distinguir entre una matriz de demanda de transporte público y otra de uso de transporte privado. Esto se hará con los “radiobutton”, situados a la derecha de la pantalla en el interior de una caja.

Por defecto siempre aparecerá señalada la primera opción.

Los datos a rellenar son todos los que se muestran en pantalla.

En el caso de usar una matriz global de transporte (como es el caso que se muestra en la figura anterior), los datos a introducir son:

- **Matriz de flujos:** la forma de introducir este dato es indicando la situación exacta del fichero de texto (con extensión *.txt*), que guarda la matriz de demanda de viajes.
- **Matriz de distancias:** la matriz de distancias entre todos los nodos es introducida del mismo modo que en el caso anterior.
- **Ruta de metro:** si existiera línea de metro, ésta debe ser introducida indicando los nodos (zonas de transporte en la aplicación al caso de Sevilla que se hará a continuación) por los que pasa esta línea. Si no hubiera línea de metro, se indicará poniendo un cero (0).
- **Número de rutas de autobús,** que desean ser creadas.
- **Longitud máxima de rutas.**
- **Número de paradas máxima entre nodos principales.**
- **Número de paradas máxima por ruta.**
- **Alfa bus:** que como ya ha sido comentado, es el tanto por ciento de viajeros que demandan transporte entre dos nodos, que es satisfecho si deben hacer un transbordo entre dos rutas de autobús para llegar desde su origen a su destino.
- **Alfa metro:** idem al anterior, si deben realizar transbordos entre una ruta de autobús y otra de metro.

Podemos ver un ejemplo en la siguiente figura:

Entrada de datos

Matriz de flujos: D:\Documentos\MATLAB\work\matriz_de_flujos.txt

Matriz de distancias: D:\Documentos\MATLAB\work\matriz_de_distancias.txt

Ruta de metro: 1 4 12 20 31 44

nº de rutas de autobus: 6

Longitud maxima de ruta: 4000

nº de paradas maxima entre nudos principales: 5

nº de paradas maxima por ruta: 14

Alfa Bus: 0.5

Alfa Metro: 0.85

☒ Matriz Global de Flujo
☐ Matriz Privada-Publica

Aceptar Cancelar

Si vamos a trabajar con una matriz de transporte público y otra de transporte privado, seleccionaremos la pestaña correspondiente: **“Matriz Privada-Pública”** situada en el cuadro de la derecha. Automáticamente, aparecerán dos nuevos espacios, donde se pide la introducción de las dos matrices, en **“Matriz transporte privado”** y **“Matriz transporte público”**, (desapareciendo el espacio reservado a introducir la *matriz de flujos* total, visto en el caso anterior). Al trabajar con una matriz de transporte privado, también será necesario introducir los parámetros **beta**. Tres nuevos espacios aparecerán en la ventana:

- **Beta directo:** que es el porcentaje de personas que utilizan el transporte privado y que estarían dispuestos a utilizar el público si

sus zonas de origen y destino estuvieran unidos por una sola ruta directa de autobús.

- **Beta bus-metro:** porcentaje de personas que utilizan el transporte privado y que estarían dispuestos a utilizar el público si sus zonas de origen y destino estuvieran unidos mediante un transbordo entre una ruta de autobús y una de metro.
- **Beta bus-bus:** idem al anterior, pero el transbordo es entre dos rutas de autobús.

The screenshot shows a MATLAB window titled "Entrada de datos". It contains the following fields and controls:

- Matriz de distancias:
- Ruta de metro:
- Matriz transporte privado:
- Matriz transporte publico:
- nº de rutas de autobus:
- Longitud maxima de ruta:
- nº de paradas maxima entre nudos principales:
- nº de paradas maxima por ruta:
- Alfa Bus:
- Alfa Metro:
- Beta directo:
- Beta bus-metro:
- Beta bus-bus:
- Radio buttons:
☐ Matriz Global de Flujo
☒ Matriz Privada-Publica
- Buttons:

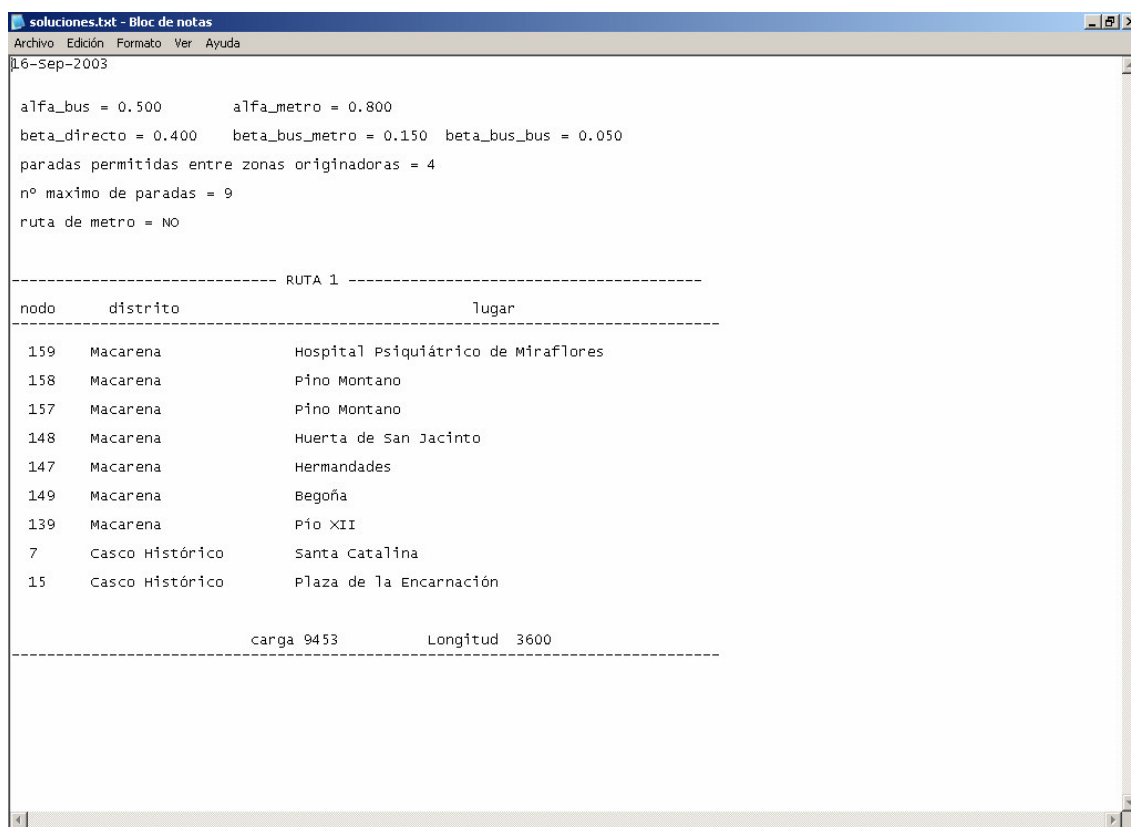
Una vez introducidos todos los datos, presionaremos en la pestaña “**ACEPTAR**”, y volveremos a la pantalla principal.

Ahora solo habrá que seleccionar en el menú “**Inicio**” la opción “**Ejecutar Cálculos**”, y esperar a que se ejecute el programa.

La solución será presentada en un fichero de texto llamado ***soluciones.txt***.

Se adoptó esta manera de presentar los resultados por la comodidad que supone el poder imprimirlos, y así poder ser visualizados y analizados con tranquilidad, especialmente cuando el número de rutas creadas es muy elevado.

A continuación, mostramos un ejemplo de cómo muestra los resultados el archivo de texto, y de cómo salen los resultados al imprimirlos (solo se trata de ver el aspecto de la salida de datos; los resultados expuestos no guardan relación entre sí, ni con los datos introducidos en los ejemplos anteriores).



```
soluciones.txt - Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
16-Sep-2003

alfa_bus = 0.500      alfa_metro = 0.800
beta_directo = 0.400  beta_bus_metro = 0.150  beta_bus_bus = 0.050
paradas permitidas entre zonas originadoras = 4
nº máximo de paradas = 9
ruta de metro = NO

----- RUTA 1 -----
nodo      distrito      lugar
-----
159      Macarena      Hospital Psiquiátrico de Miraflores
158      Macarena      Pino Montano
157      Macarena      Pino Montano
148      Macarena      Huerta de San Jacinto
147      Macarena      Hermandades
149      Macarena      Begoña
139      Macarena      Pío XII
7        Casco Histórico  Santa Catalina
15       Casco Histórico  Plaza de la Encarnación

carga 9453      Longitud 3600
```


4.10 APLICACIÓN DEL ALGORITMO.

Nos disponemos ahora a aplicar el algoritmo diseñado e implementado en MATLAB 6.1. sobre la ciudad de Sevilla, teniendo en cuenta todos los parámetros explicados hasta el momento.

A modo de resumen, actualmente disponemos de:

- Las 164 zonas de transporte identificadas por su “nodo característico”, y las distancias entre ellos.
- La matriz (164x164) de demanda origen-destino de transporte público.
- La matriz (164x164) origen-destino de uso de transporte privado.

Con los datos expuestos, y dando valor a los parámetros requeridos por el algoritmo, realizaremos dos tipos de pruebas:

1. Con la intención de testar el algoritmo, y comprobar o no, que los resultados que obtenemos responden a la lógica, se probará en primer lugar las rutas que se obtienen al utilizar tan solo la matriz de transporte público. En tal caso, tan solo serán necesarios los parámetros **alfa_bus** y **alfa_metro**, además de los imprescindibles: **N**, **L**, **n_entre** y **n_max_nodos**.
2. Aplicación del algoritmo, con las matrices de transporte público y privado. Ahora también habrá que introducir valores para **beta_dir**, **beta_bus_metro** y **beta_bus_bus**.

4.10.1. PRIMER ENSAYO:

Como ha sido comentado en el primer punto del apartado anterior, nuestra intención con este primer ensayo será la de probar el algoritmo sobre la ciudad de Sevilla, y con los resultados obtenidos realizar una valoración objetiva sobre el algoritmo diseñado, pudiendo decidir sobre la eficacia y adecuación del mismo para ser aplicado al caso que se pretende resolver.

Es por ello, que en este caso, se utilizará tan solo la matriz de transporte público de la que disponemos (del estudio de movilidad para la ciudad de Sevilla para el 2002 realizado por la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía).

Si el algoritmo se ajusta a la realidad, debería de crearse una red de rutas con una estructura similar a la que existe en la actualidad. Por supuesto, y como ya ha sido comentado repetidas veces, el programa no nos dará la localización exacta de las rutas, pero sí debe darnos una idea bastante aproximada de las zonas que deben cubrirse, y de la orientación y estructura aproximada de la mismas.

En la tabla siguiente se muestran las zonas de transporte entre las que se produce una mayor demanda de transporte público. De esta tabla saldrán los nodos generadores de las rutas que se vayan a crear:

Zonas		Carga *
	Pino Montano – Centro	1438
(147,10)	Hernandades – Centro	915
(158,15)	Pino Montano – Encarnación	762
(80,10)	VIAPOL – Centro	691
(157,10)	Pino Montano – Centro	657
(148,10)	Huerta de San Jacinto – Centro	561
(158,157)	Pino Montano – Pino Montano	551
(50,10)	Reina Mercedes – Centro	519
(55,10)	Bami – Centro	514

(80,12)	VIAPOL – Arenal	509
(151,10)	Los Carteros – Centro	492
(28,10)	Los Remedios – Centro	479
(158,6)	Pino Montano – Encarnación	476
(157,15)	Pino Montano – Encarnación	468
(157,6)	Pino Montano – Encarnación	451
(46,10)	Tabladilla – Centro	445
(30,10)	Los Remedios – Centro	421
(145,10)	Macarena – Centro	411
(158,105)	Pino Montano – El Fontanal	407
(157,1)	Pino Montano – Basílica de la Macarena	405
(147,15)	Hermandades – Encarnación	405
(150,10)	Huerta de San Jacinto – Centro	395
(59,10)	Las Letanías – Centro	375
(158,7)	Pino Montano – Santa Catalina	372
(158,147)	Pino Montano – Hermandades	370
(10,1)	Centro – Basílica de la Macarena	368
(139,15)	Pío XII – Encarnación	368
(151,15)	Los Carteros – Encarnación	364
(158,139)	Pino Montano – Pío XII	359

* carga = demanda de transporte público existente entre una zona de origen y otra de destino (las indicadas en la misma fila).

Observar como las zonas situadas en el centro son destino de muchas personas.

También es muy apreciable la cantidad de demanda de transporte público que hay desde las dos zonas de transporte que corresponden a Pino Montano (las 157 y 158).

4.10.1.1. EJEMPLO 1:

<u>EJEMPLO 1: PROBANDO EL ALGORITMO.</u> APLICACIÓN A LA CIUDAD DE SEVILLA.		
Utilizando la matriz de demanda de transporte público		
alfa_bus = 0.4	alfa_metro = 0.7	
n_entre = 8	n_max_nodos = 14	L = 4000 m.
ruta_metro = [0] NO EXISTE RUTA DE METRO		

Para facilitar el seguimiento de los ejemplos, se muestra a continuación el código de colores utilizados sobre el mapa de zonas de transporte:

	Zona cubierta por la Ruta 1 de autobús
	Zona cubierta por la Ruta 2 de autobús
	Zona cubierta por la Ruta 3 de autobús
	Zona cubierta por la Ruta 4 de autobús
	Zona cubierta por la Ruta 5 de autobús
	Zona cubierta por la Ruta 6 de autobús
	Zona cubierta por la Línea de metro
	Zona cubierta por varias Rutas
en el caso de utilizar más rutas, el color de las mismas se indicará en el ejemplo correspondiente	

4.10.1.1.1. UNA RUTA. N = 1:

El par de zonas entre las que se produce un flujo mayor son las **158** (que corresponde a **Pino Montano**) y la **10** (Centro), con una demanda de viajes diario de **1438** personas. Es por lo tanto entre ellas entre las que se empezará a crear la primera ruta, que finalmente resulta:

RUTA 1		
nodos generadores de la ruta: (158, 10) → Pino Montano-Centro carga = 1438		
Zona	Distrito	Lugar característico
159	Macarena	Hospital Psiquiátrico de Miraflores
158	Macarena	Pino Montano (este)
157	Macarena	Pino Montano (oeste)
148	Macarena	Huerta de San Jacinto
147	Macarena	Hermandades
149	Macarena	Nuestra Señora de Begoña
139	Macarena	Pio XII
7	Casco Histórico	Santa Catalina
67	Nervión	San Roque
6	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
10	Casco Histórico	Centro
15	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
Longitud aproximada: 3800 m.		Carga de viajeros diaria: 12453

A continuación, en la figura 4.10.1.1.1, mostramos las zonas de transporte en las que tiene paradas la ruta 1.

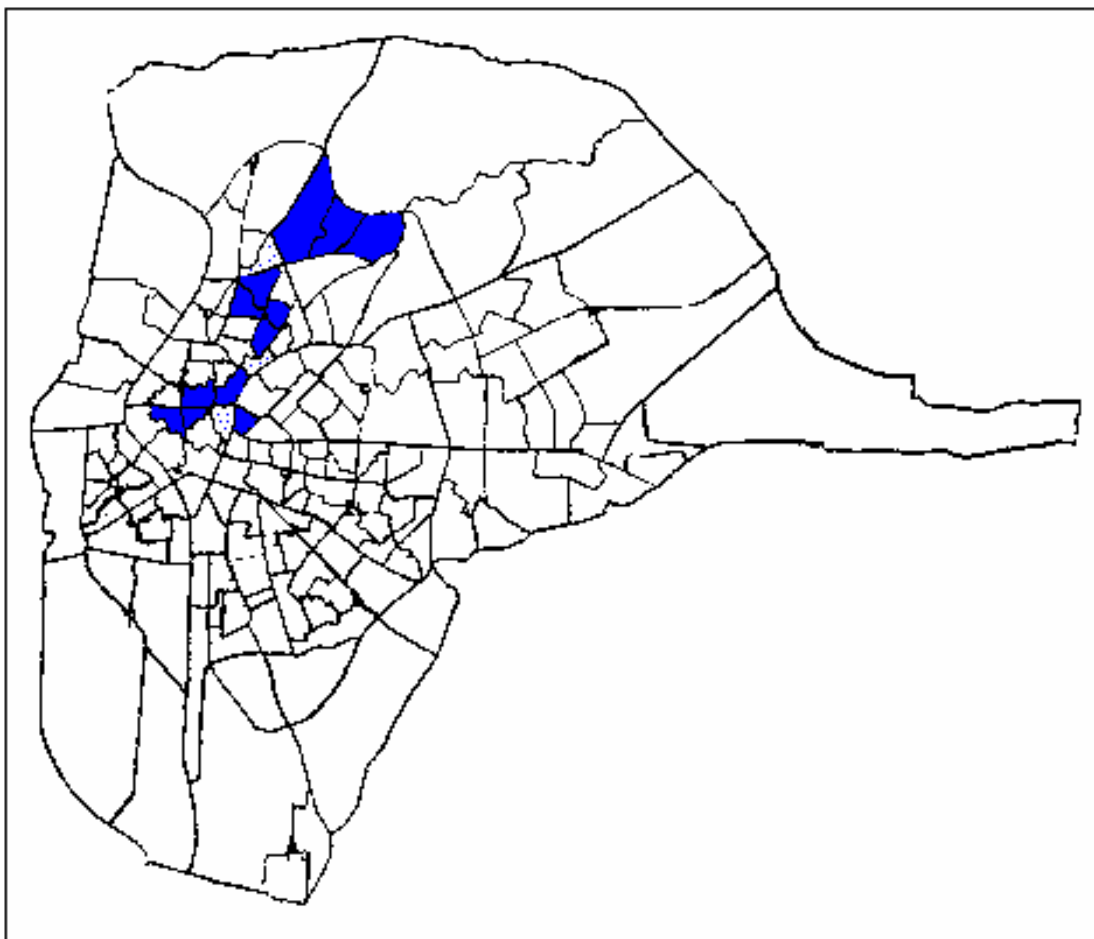


figura 4.10.1.1.1. Matriz de demanda de transporte público. N = 1.

La primera ruta en crearse corresponde a una radial norte (como puede observarse claramente en la figura 4.10.1.1.1), desde el barrio de Pino Montano hasta el Centro, cubriendo una buena parte de las zonas de transporte pertenecientes al distrito Macarena. La limitación en el parámetro **n_entre = 8** ha provocado en el distrito Casco Histórico una secuencia de zonas **6 ↔ 10 ↔ 15**, cuando lo lógico es **6 ↔ 15 ↔ 10**, es por esto, entre otras cosas, que siempre avisamos del carácter “preplanificador” de la aplicación. El analista encargado del estudio debería analizar esta situación y llegar a la conclusión anteriormente expuesta.

Así, también hay zonas (indicadas con puntos azules en la figura 4.10.1.1.1) por las que forzosamente debe pasar la ruta, pero en las que la limitación en el número de paradas entre los nodos generadores de la ruta, produce como consecuencia que el algoritmo no establezca paradas en ellas. Nuevamente, un análisis de la persona encargada debiera estudiar si es conveniente o no la localización de paradas en estas zonas, aunque los tiempos de viaje aumenten.

En el caso siguiente se verá como la creación de una segunda línea puede hacer variar las zonas de paso (en las que se establecen paradas) de la primera ruta, aunque la nueva ruta discurra hacia el Este, sin que aparentemente haya demasiada interacción entre ambas. Esto vendrá provocado por la posibilidad de transbordos.

4.10.1.1.2. DOS RUTAS. N = 2.

RUTA 1		
nodos generadores de la ruta: (158, 10) → Pino Montano-Centro carga = 1438		
Zona	Distrito	Lugar característico
159	Macarena	Hospital Psiquiátrico de Miraflores
158	Macarena	Pino Montano (este)
157	Macarena	Pino Montano (oeste)
152	Macarena	La Bachillera
148	Macarena	Huerta de San Jacinto
147	Macarena	Hermandades
136	Macarena	Cruz Roja
7	Casco Histórico	Santa Catalina
67	Nervión	San Roque
6	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
10	Casco Histórico	Centro
15	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
Longitud aproximada: 3800 m.		Carga de viajeros diaria: 15792

RUTA 2		
nodos generadores de la ruta: (80, 10) → VIAPOL-Centro carga = 691		
Zona	Distrito	Lugar característico
76	Nervión	Gran Plaza
82	Nervión	Ciudad Jardín
81	Nervión	Avenida San Francisco Javier
80	Nervión	Avenida de la Buhaira (VIAPOL)
79	Nervión	San Bernardo
42	Sur	Plaza de España (Prado de San Sebastián)
28	Triana	Avenida República Argentina (Los Remedios)
25	Triana	Avenida República Argentina (Los Remedios)
24	Triana	Calle Evangelista
12	Casco Histórico	Arenal
13	Casco Histórico	Centro
10	Casco Histórico	Centro
5	Casco Histórico	San Vicente
Longitud aproximada: 4000 m.		Carga de viajeros diaria: 12091

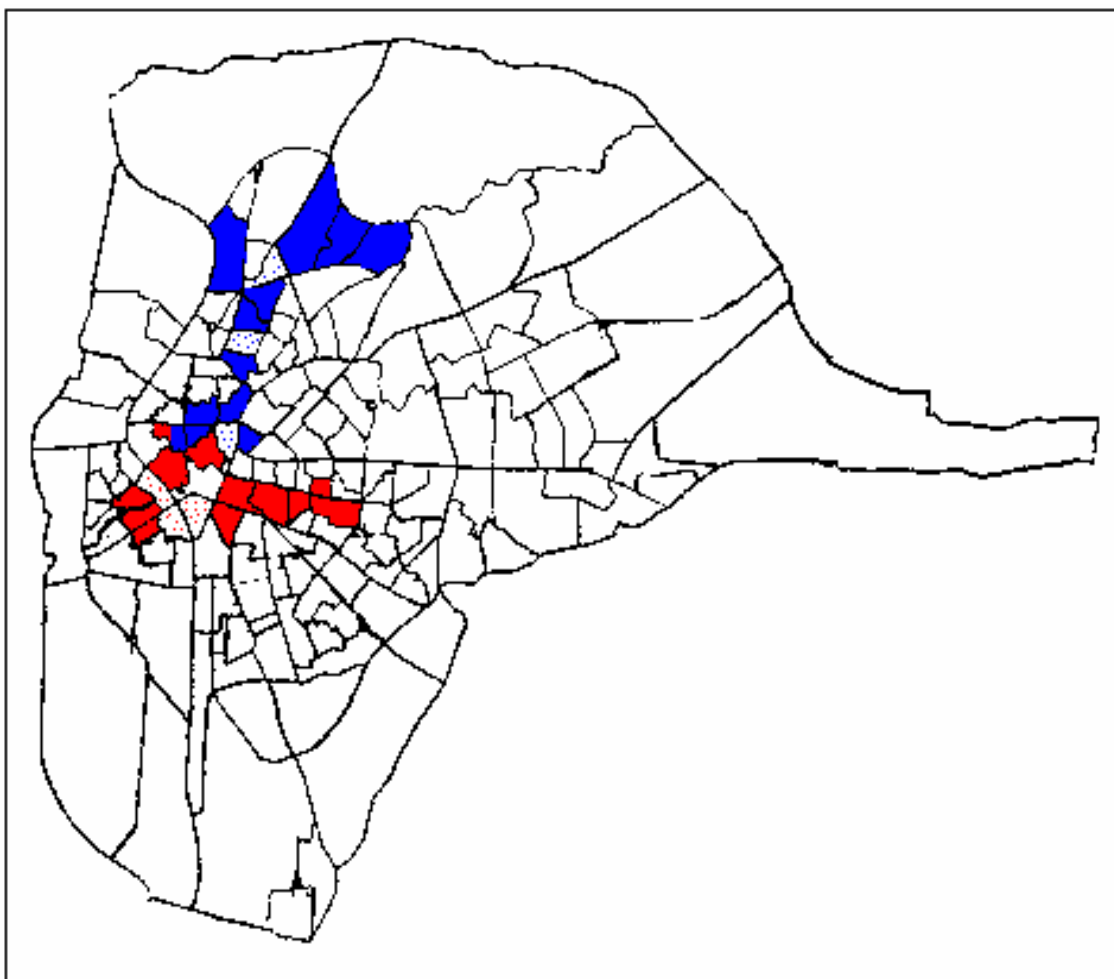


figura 4.10.1.1.2. Matriz de demanda de transporte público. N = 2.

La ruta 1 sufre algunas variaciones en las zonas que cubre, alcanzando, por ejemplo, el barrio de San Jerónimo; pero se mantiene la estructura radial Norte, conservando con respecto al caso anterior aquellos nodos que más carga aportaban a la misma: **147, 148, 157 y 15** (Hermandades, Huerta de San Jacinto, Pino Montano y Plaza de la Encarnación, respectivamente), por ejemplo. La carga de la ruta 1 se ve incrementada debido a las posibilidades de transbordo hacia la ruta 2.

A la hora de iniciar la segunda ruta, el algoritmo toma el segundo par de mayor flujo de viajeros. Éste es el **(147, 10)** con una carga de 915 viajeros diariamente, pero resulta, que este par puede ser integrado perfectamente junto con el primer par **(158, 10)**, constituyendo la primera ruta (de hecho en el ejemplo anterior, con $N = 1$, así ocurre). Lo mismo pasa con el tercer par de

flujo máximo, el **(158, 15)**, con una carga de 762 viajeros. Así pues, la ruta 2 se iniciará entre el cuarto par de mayor flujo, el **(80, 10)**, es decir entre **VIAPOL** y el **Centro**, con una demanda diaria de viajes igual a 691.

La ruta 2 también tiene una estructura radial, en este caso Este. Comienza en la Gran Plaza y acaba en el centro, pero recorriendo con anterioridad el barrio de los Remedios y Triana.

El transbordo entre ambas líneas se produce en el mismo Centro.

4.10.1.1.3. TRES RUTAS. N = 3.

RUTA 1		
nodos generadores de la ruta: (158, 10) → Pino Montano-Centro carga = 1438		
Zona	Distrito	Lugar característico
159	Macarena	Hospital Psiquiátrico de Miraflores
158	Macarena	Pino Montano (este)
157	Macarena	Pino Montano (oeste)
148	Macarena	Huerta de San Jacinto
147	Macarena	Hermandades
138	Macarena	Huerta del Carmen, La Barzola
136	Macarena	Cruz Roja
7	Casco Histórico	Santa Catalina
67	Nervión	San Roque
6	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
10	Casco Histórico	Centro
15	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
Longitud aproximada: 3800 m.		Carga de viajeros diaria: 17720

RUTA 2		
nodos generadores de la ruta: (80, 10) → VIAPOL-Centro		
carga = 691		
Zona	Distrito	Lugar característico
50	Sur	Avenida de Reina Mercedes
48	Sur	Avenida de la Palmera
46	Sur	Tabladilla
44	Sur	El Porvenir, Huerta de la Salud
80	Nervión	Avenida de la Buhaira (VIAPOL)
79	Nervión	San Bernardo
42	Sur	Plaza de España (Prado de San Sebastián)
16	Sur	Universidad
14	Casco Histórico	Puerta de Jerez
12	Casco Histórico	Arenal
13	Casco Histórico	Centro
10	Casco Histórico	Centro
5	Casco Histórico	San Vicente
Longitud aproximada: 4000 m.		Carga de viajeros diaria: 11651

RUTA 3		
nodos generadores de la ruta: (55, 10) → Bami - Centro carga = 514		
Zona	Distrito	Lugar característico
55	Sur	Bami
54	Sur	Hospital Virgen del Rocío
53	Sur	Calle Cardenal Ilundain
46	Sur	Tabladilla
44	Sur	El Porvenir, Huerta de la Salud
79	Nervión	San Bernardo
12	Casco Histórico	Arenal
13	Casco Histórico	Centro
10	Casco Histórico	Centro
Longitud aproximada: 3900 m.		Carga de viajeros diaria: 8009

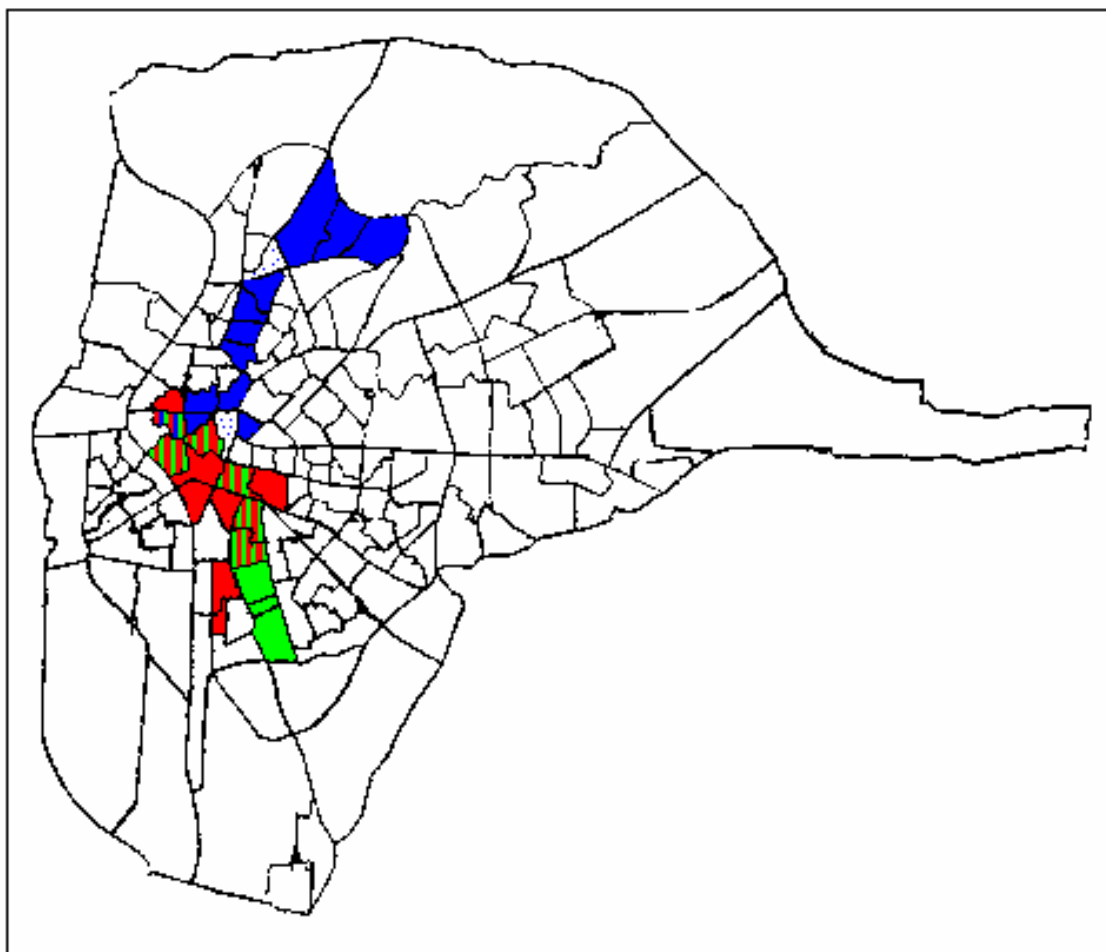


figura 4.10.1.1.3. Matriz de demanda de transporte público. N = 3.

En este caso van a ocurrir cosas similares al caso anterior. El algoritmo debe buscar un nuevo par de nodos que originen la tercera ruta. El siguiente par de nodos de flujo máximo tras el (80, 10), que es con el que se iniciaba la ruta 2, es el **(157, 10)**, con una demanda de viajes de 657; pero nuevamente resulta que este par puede ser integrado en la ruta 1, que hasta el momento ya englobaba a los nodos (158, 147, 15, 10) – como se vio en el ejemplo anterior, con N = 2-. Lo mismo ocurre con los pares **(148, 10)** y **(158, 157)**, con cargas de 561 y 551 viajes diarios, respectivamente. Es decir, que de momento, y antes de que el programa ejecute la función que calcula las rutas a partir de los nodos generadores, la ruta 1 ya contiene a los nodos **(157, 158, 148, 147, 15, 10)**, que como puede observarse son los nodos que normalmente el algoritmo

incorporaría a la ruta 1, por aportar éstos mucha carga a la misma. Así pues, la ruta 1 vuelve a sufrir algún cambio, pero no son significativos.

Sí lo son en la ruta 2, que cambia su orientación Este por Sur. La razón de este cambio se debe a algo similar a lo explicado anteriormente. El algoritmo sigue buscando el tercer par de nodos generadores que inicien la ruta 3; así, encuentra en el par **(50, 10)** es decir, **(Reina Mercedes, Centro)**, el siguiente par de flujo máximo (después del (158,157) que fue añadido a la ruta 1). Pero resulta que éste, puede ser englobado junto con el par que generaba la ruta 2, el **(80, 10)** – sin superar el límite en la longitud máxima permitida- constituyendo el trío **(50, 80, 10)**, como generador de la segunda ruta. Es por esto que la ruta se desvía hacia el Sur.

El siguiente par de flujo máximo es el **(55, 10)**, es decir **(Bami, Centro)**. Entre ellos se iniciará la siguiente ruta, aunque, nuevamente, el analista encargado del estudio podría optar por permitir una longitud de ruta algo mayor, y muy probablemente las rutas 2 y 3 quedarían englobadas en una sola.

Las rutas 2 y 3 comparten bastantes zonas, y ello hace que también la carga se vea muy repartida.

El hecho de que la ruta 1 contenga un gran número de pares de zonas entre las que se produce un flujo de viajes elevado, provoca que ésta línea tenga la carga más elevada, y con diferencia, de las tres creadas. Además de que no existe otra ruta radial Norte, que pueda compartir su carga, como sí ocurre con las rutas 2 y 3.

Hasta aquí, podemos considerar que tenemos dos rutas radiales Sur, y una radial Norte.

4.10.1.1.4. CUATRO RUTAS. N = 4.

La ruta1 mantiene en este caso su estructura, pero aumentando su carga a 20591 viajes.

La ruta 2, también mantiene su estructura, pero aumenta su carga a 14291 viajes, debido no solo al aumento por transbordos, sino a la carga de viajeros que le alivia a la ruta 3. Ésta, sí cambia alguna de las zonas de paso, aunque sigue manteniendo una clara estructura radial Sur.

La nueva ruta creada (ruta 4) es radial Norte, coincidiendo con la ruta 1 en las zonas **157**, **158**, y en varias del centro, aunque ésta recorre cuatro nuevas zonas del distrito Macarena que no cubre la ruta 1. Los viajes entre Pino Montano y el Centro – que cuentan con un flujo bastante elevado- se verán repartidos entre ambas rutas (1 y 4).

RUTA 3		
nodos generadores de la ruta: (55, 10) → Bami - Centro carga = 514		
Zona	Distrito	Lugar característico
55	Sur	Bami
49	Sur	Avenida de la Palmera
48	Sur	Avenida de la Palmera
43	Sur	Parque de María Luisa
16	Sur	Universidad
14	Casco Histórico	Puerta de Jerez
12	Casco Histórico	Arenal
13	Casco Histórico	Centro

10	Casco Histórico	Centro
9	Casco Histórico	Plaza deArmas
Longitud aproximada: 4000 m.		Carga de viajeros diaria: 7694

RUTA 4		
nodos generadores de la ruta: (151, 10) → Los Carteros, San Diego, Residencial Las Almenas - Centro carga = 492		
Zona	Distrito	Lugar característico
157	Macarena	Pino Montano
158	Macarena	Pino Montano
151	Macarena	Los Carteros, San Diego, Res. Las Almenas
142	Macarena	Casa Cuna, Residencial Los Arcos, Barriada Pinoflores, Grupo Las Naciones
106	Nervión	Árbol Gordo
105	Nervión	El Fontanal
11	Casco Histórico	Calle Recaredo
7	Casco Histórico	Santa Catalina
67	Nervión	San Roque
6	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
15	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación

10	Casco Histórico	Centro
Longitud aproximada: 3800 m.		Carga de viajeros diaria: 12001

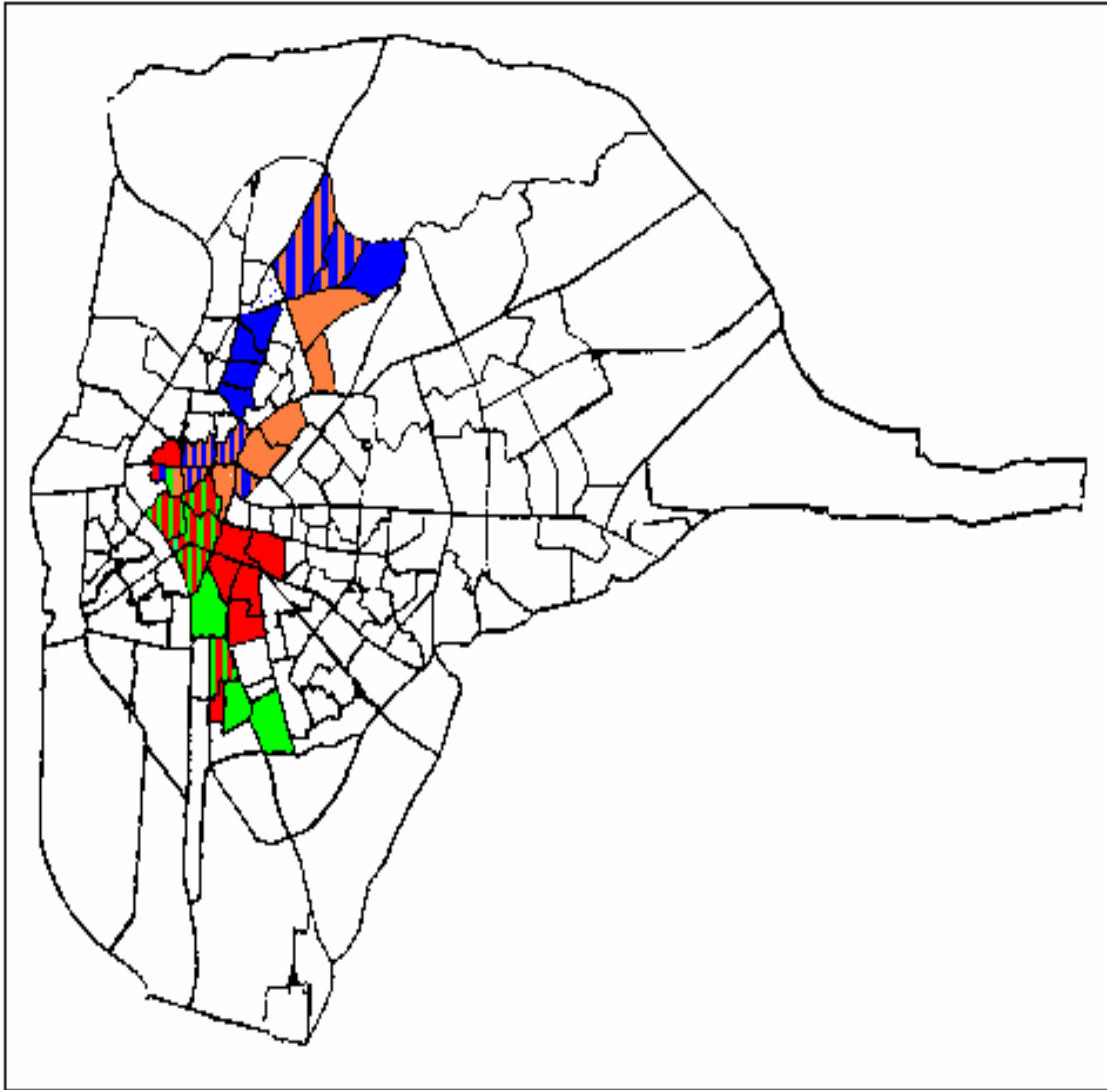


figura 1.1.4. Matriz de demanda de transporte público. N = 4.

4.10.1.1.5. CINCO RUTAS. N = 5.

Nuevamente, las rutas 1 y 2 no se ven afectadas en estructura, aunque, lógicamente al haber una nueva línea, sí en carga: 21781 y 15515 viajes diarios, respectivamente.

El resto de rutas queda:

RUTA 3		
nodos generadores de la ruta: (55, 10) → Bami - Centro carga = 514		
Zona	Distrito	Lugar característico
55	Sur	Bami
54	Sur	Hospital Virgen del Rocío
53	Sur	Calle Cardenal Ilundain
46	Sur	Tabladilla
44	Sur	El Porvenir, Huerta de la Salud
79	Nervión	San Bernardo
13	Casco Histórico	Centro
12	Casco Histórico	Arenal
10	Casco Histórico	Centro
Longitud aproximada: 3900 m.		Carga de viajeros diaria: 10186

RUTA 4		
nodos generadores de la ruta: (151, 10) → Los Carteros, San Diego, Residencial Las Almenas - Centro carga = 492		
Zona	Distrito	Lugar característico
157	Macarena	Pino Montano
158	Macarena	Pino Montano
151	Macarena	Los Carteros, San Diego, Res. Las Almenas
142	Macarena	Casa Cuna, Residencial Los Arcos, Barriada Pinoflores, Grupo Las Naciones
141	Macarena	Cisneo Alto
106	Nervión	Árbol Gordo
105	Nervión	El Fontanal
7	Casco Histórico	Santa Catalina
67	Nervión	San Roque
6	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
15	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
10	Casco Histórico	Centro
Longitud aproximada: 3800 m.		Carga de viajeros diaria: 12657

RUTA 5		
nodos generadores de la ruta: (28, 10) → Los Remedios - Centro carga = 479		
Zona	Distrito	Lugar característico
75	Nervión	Avenida Cruz del Campo
74	Nervión	Centro Comercial Nervión Plaza
81	Nervión	Avenida San Francisco Javier
80	Nervión	Avenida de la Buhaira (VIAPOL)
44	Sur	El Porvenir, Huerta de la Salud
79	Nervión	San Bernardo
42	Sur	Plaza de España (Prado de San Sebastián)
25	Triana	Los Remedios (Av. República Argentina)
28	Triana	Los Remedios (Av. República Argentina)
22	Triana	Pagés del Corro
24	Triana	Calle Evangelista
9	Casco Histórico	Plaza de Armas
5	Casco Histórico	San Vicente
10	Caco Histórico	Centro
Longitud aproximada: 4000 m.		Carga de viajeros diaria: 14016

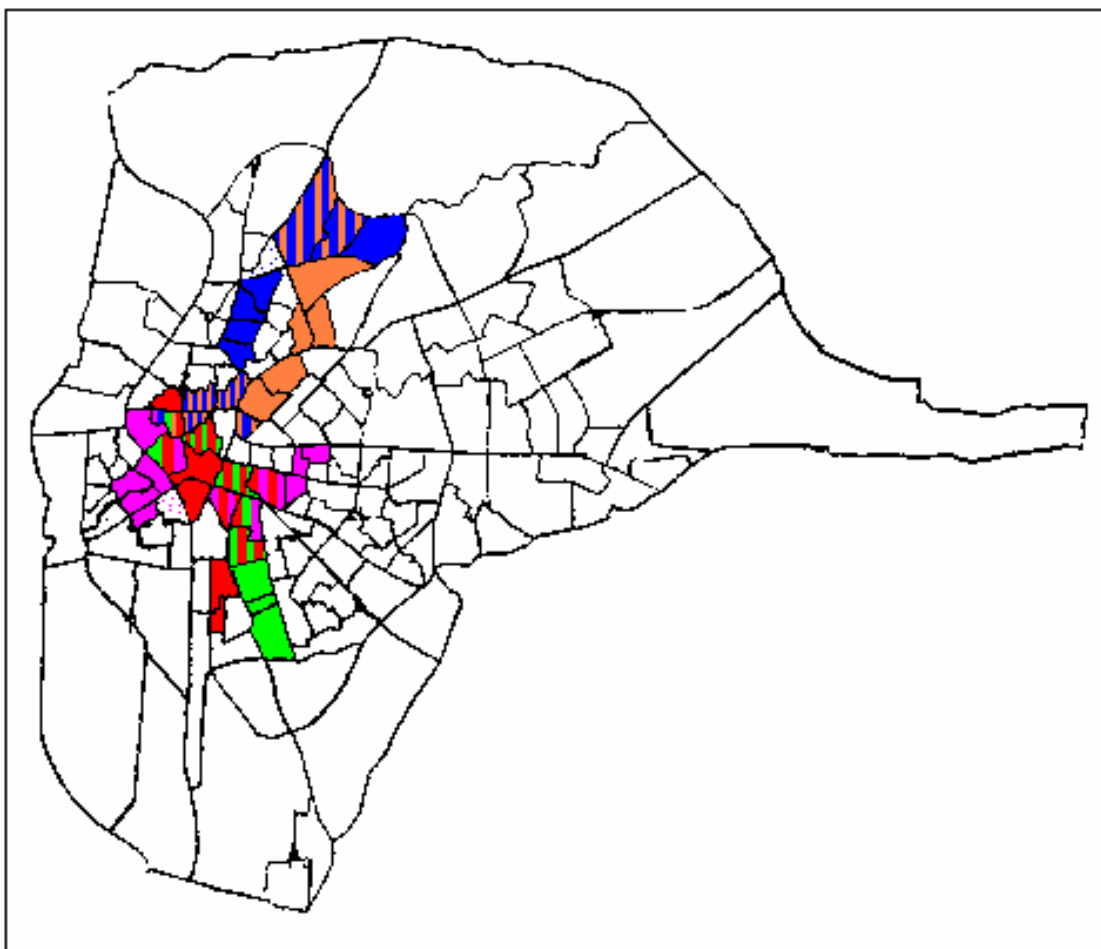


figura 4.10.1.1.5. Matriz de demanda de transporte público. N = 5.

La nueva ruta nace con la intención de satisfacer la demanda de viajes desde los barrios de Los Remedios y Triana hacia el Centro, es lo que correspondería a las rutas radiales Oeste que TUSAM tiene en la actualidad. Si bien, estas rutas son más cortas que el resto de las radiales, es por ello que el algoritmo sigue añadiendo zonas de transporte, extendiendo la misma hacia Nervión. Podríamos asimilar esta ruta como una combinación de las actuales líneas radiales Oeste (40, 41, 42 y 43) con la transversal número 5 que une Triana-Los Remedios con Nervión.

4.10.1.1.6. SEIS RUTAS. N = 6.

La ruta 1 no modifica su estructura, soportando una carga de 18835 pasajeros. El resto de rutas quedan de la siguiente forma:

RUTA 2		
nodos generadores de la ruta: (80, 10) → VIAPOL-Centro carga = 691		
Zona	Distrito	Lugar característico
50	Sur	Avenida de Reina Mercedes
48	Sur	Avenida de la Palmera
46	Sur	Tabladilla
44	Sur	El Porvenir, Huerta de la Salud
80	Nervión	Avenida de la Buhaira (VIAPOL)
79	Nervión	San Bernardo
42	Sur	Plaza de España (Prado de San Sebastián)
14	Casco Histórico	Puerta de Jerez
12	Casco Histórico	Arenal
10	Casco Histórico	Centro
5	Casco Histórico	San Vicente
Longitud aproximada: 4000 m.		Carga de viajeros diaria: 14834

RUTA 3			
nodos generadores de la ruta: (55, 10) → Bami - Centro			
carga = 514			
Zona	Distrito	Lugar característico	
55	Sur	Bami	
54	Sur	Hospital Virgen del Rocío	
49	Sur	Avenida de la Palmera	
48	Sur	Avenida de la Palmera	
53	Sur	Calle Cardenal Ilundain	
45	Sur	Pirotecnia, Tiro de Línea	
79	Nervión	San Bernardo	
16	Sur	Universidad	
14	Casco Histórico	Puerta de Jerez	
10	Casco Histórico	Centro	
Longitud aproximada: 3900 m.			Carga de viajeros diaria: 10448

RUTA 4		
nodos generadores de la ruta: (151, 10) → Los Carteros, San Diego, Residencial Las Almenas - Centro carga = 492		
Zona	Distrito	Lugar característico
157	Macarena	Pino Montano
158	Macarena	Pino Montano
151	Macarena	Los Carteros, San Diego, Res. Las Almenas
142	Macarena	Casa Cuna, Residencial Los Arcos, Barriada Pinoflores, Grupo Las Naciones
141	Macarena	Cisneo Alto
106	Nervión	Árbol Gordo
105	Nervión	El Fontanal
67	Nervión	San Roque
7	Casco Histórico	Santa Catalina
6	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
15	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
10	Casco Histórico	Centro
Longitud aproximada: 4000 m.		Carga de viajeros diaria: 22786

RUTA 5		
nodos generadores de la ruta: (28, 10) → Los Remedios - Centro carga = 479		
Zona	Distrito	Lugar característico
46	Sur	Tabladilla
43	Sur	Parque de María Luisa
32	Triana	Club Náutico y Mercantil
31	Triana	Real de la Feria
30	Triana	Los Remedios (Av, Virgen de Luján)
28	Triana	Los Remedios (Av. República Argentina)
25	Triana	Los Remedios (Av. República Argentina)
24	Triana	Calle Evangelista
22	Triana	Pagés del Corro
9	Casco Histórico	Plaza de Armas
10	Caco Histórico	Centro
Longitud aproximada: 3800 m.		Carga de viajeros diaria: 13624

RUTA 6		
nodos generadores de la ruta: (88, 10) → Bda. La Candelaria, Pol. Ind. Amate - Centro carga = 411		
Zona	Distrito	Lugar característico
88	Este	Bda. La candelaria, Pol. Ind. Amate.
78	Nervión	Avenida Marqués de Pickman
82	Nervión	Ciudad Jardín
76	Nervión	Gran Plaza
74	Nervión	Centro Comercial Nervión Plaza
68	Nervión	La Calzada
11	Casco Histórico	Calle Recaredo
6	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
15	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
10	Casco Histórico	Centro
Longitud aproximada: 4000 m.		Carga de viajeros diaria: 12583

Observar como la carga entre las rutas con zonas de transporte comunes, como son la 1 y la 4, y la 2 y la 3; está muy compartida.

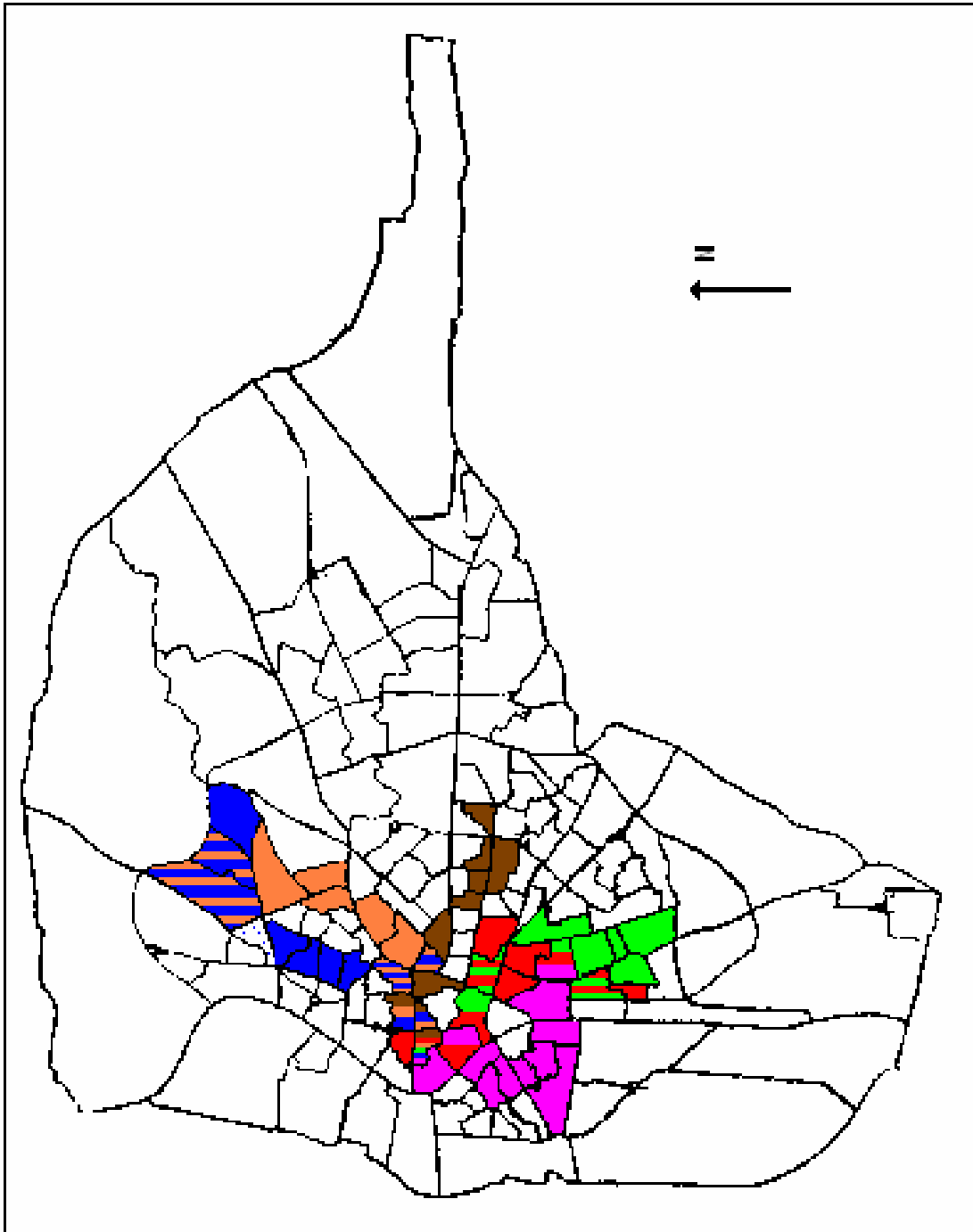


figura 4.10.1.1.6. Matriz de demanda de transporte público. N = 6.

La ruta 6 tiende a cubrir unas zonas que hasta ahora habían quedado un poco “huérfanas”, éstas son las situadas hacia el Este. Nuevamente se aprecia la clara tendencia radial de esta nueva línea.

CONCLUSIONES:

- Lo primero que salta a la vista es cómo la demanda de viajes es del tipo gravitacional, y ello se nota en las rutas que se crean, todas ellas con una estructura radial.
- En las cuatro primeras rutas, las estructuras principales son radiales Norte y Sur, siendo especialmente llamativo la fuerte demanda de viajes desde las zonas del Norte (en el distrito Macarena).
- Con solo seis rutas creadas ya se tiene una gran cantidad de zonas cubiertas de todos los distritos. Dos rutas claramente definidas como radiales Norte; otras dos rutas radiales Sur, aunque alguna de ellas aproveche su situación para englobar en su trayectoria alguna zona importante del distrito Nervión como es la zona 80 (VIAPOL); una radial Este, y por último, una radial Oeste, que aprovecha su corta longitud para extenderse hacia Nervión, lo que podríamos asimilar, como se comentó en su momento, con la suma de las actuales líneas radiales Oeste de TUSAM y la transversal número 5 que discurre desde el distrito Triana hasta Nervión.
- Las rutas obtenidas solo intentan darnos una idea de que tipo de ellas sería lo más correcto establecer, pero no hemos de olvidar el carácter “preplanificador”. El analista encargado del estudio deberá hacer un análisis más pormenorizado del problema. Por ejemplo, el algoritmo nos muestra que hay una fuerte demanda desde el distrito Sur hacia el Centro, y para cubrirla crea dos líneas ¿Sería más interesante alargar la ruta 2, por ejemplo, y hacer que sólo ella cubra estas zonas?

Otro ejemplo, ¿Convendría dividir la ruta 5 en dos líneas, una que fuera desde el distrito Triana hacia el Centro, y otra que se dirigiera desde Triana hacia Nervión? Desde luego, el algoritmo lo que sí nos va a mostrar es que estas zonas son interesantes mantenerlas unidas por alguna ruta.

- En ocasiones, pueden aparecer zonas de transporte en una ruta que un estudio posterior desaconseje, por ser difícil de integrar en la misma, o por cualquier otra razón de tipo vial, social o política.
- Lo que ahora definimos como una ruta que cubre unas determinadas zonas, puede ser dividida en varias líneas que cubran dichas zonas. Por ejemplo, lo que a nosotros nos aparece como dos rutas radiales norte, que cubren bastantes zonas del distrito Macarena, para TUSAM supone la creación de 6 líneas de autobús, muy coincidentes con la estructura que presentas las rutas 1 y 4 creadas por nuestro algoritmo.

Es por esto, que quizás sería más adecuado hablar de la creación de “corredores”, en lugar de rutas.

4.10.1.2. **EJEMPLO 2:**

En este ejemplo vamos a observar los resultados que se obtienen al variar algunos de los parámetros de entrada; y se compararán éstos con los conseguidos en el ejemplo número 1.

Se seguirá trabajando con la matriz de demanda de transporte público con la intención de comprobar la bondad de los resultados comparándolo con la situación actual del transporte público en Sevilla, tal y como se hizo en el ejemplo anterior.

Principalmente, vamos a permitir la posibilidad de que las rutas abarquen más zonas de transporte, aumentando tanto el número máximo de zonas, como la longitud máxima permitida. También se aumentará el porcentaje de pasajeros que están dispuestos a realizar un transbordo de autobús para llegar a su destino. Al no trabajar con línea de metro, **alfa_metro** no será un parámetro a tener en cuenta, de momento.

Se incrementará también el valor del parámetro **n_entre**.

<u>EJEMPLO 2: PROBANDO EL ALGORITMO.</u>		
APLICACIÓN A LA CIUDAD DE SEVILLA.		
Utilizando la matriz de demanda de transporte público		
alfa_bus = 0.65		alfa_metro = 0.8
n_entre = 10	n_max_nodos = 15	L = 5000 m.
ruta_metro = [0] NO EXISTE RUTA DE METRO		

4.10.1.2.1. DOS RUTAS. N = 2.

RUTA 1		
nodos generadores de la ruta: (158, 10) → Pino Montano-Centro carga = 1438		
Zona	Distrito	Lugar característico
151	Macarena	Los Carteros, San Diego, Residencial Las Almenas
158	Macarena	Pino Montano (este)
157	Macarena	Pino Montano (oeste)
152	Macarena	La Bachillera
148	Macarena	Huerta de San Jacinto
147	Macarena	Hermandades
136	Macarena	Cruz Roja
7	Casco Histórico	Santa Catalina
11	Casco Histórico	Calle Recaredo
67	Nervión	San Roque
6	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
15	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
10	Casco Histórico	Centro
Longitud aproximada: 5000 m.		Carga de viajeros diaria: 24730

RUTA 2			
nodos generadores de la ruta:		(80, 10) → VIAPOL-Centro	
		carga = 691	
Zona	Distrito	Lugar característico	
50	Sur	Avenida de Reina Mercedes	
48	Sur	Avenida de la Palmera	
46	Sur	Tabladilla	
44	Sur	El Porvenir, Huerta de la Salud	
80	Nervión	Avenida de la Buhaira (VIAPOL)	
79	Nervión	San Bernardo	
42	Sur	Plaza de España (Prado de San Sebastián)	
22	Triana	Pagés del Corro	
24	Triana	Calle Evangelista	
25	Triana	Avenida República Argentina	
28	Triana	Avenida República Argentina	
12	Casco Histórico	Arenal	
13	Casco Histórico	Centro	
10	Casco Histórico	Centro	
Longitud aproximada: 4900 m.		Carga de viajeros diaria: 19903	

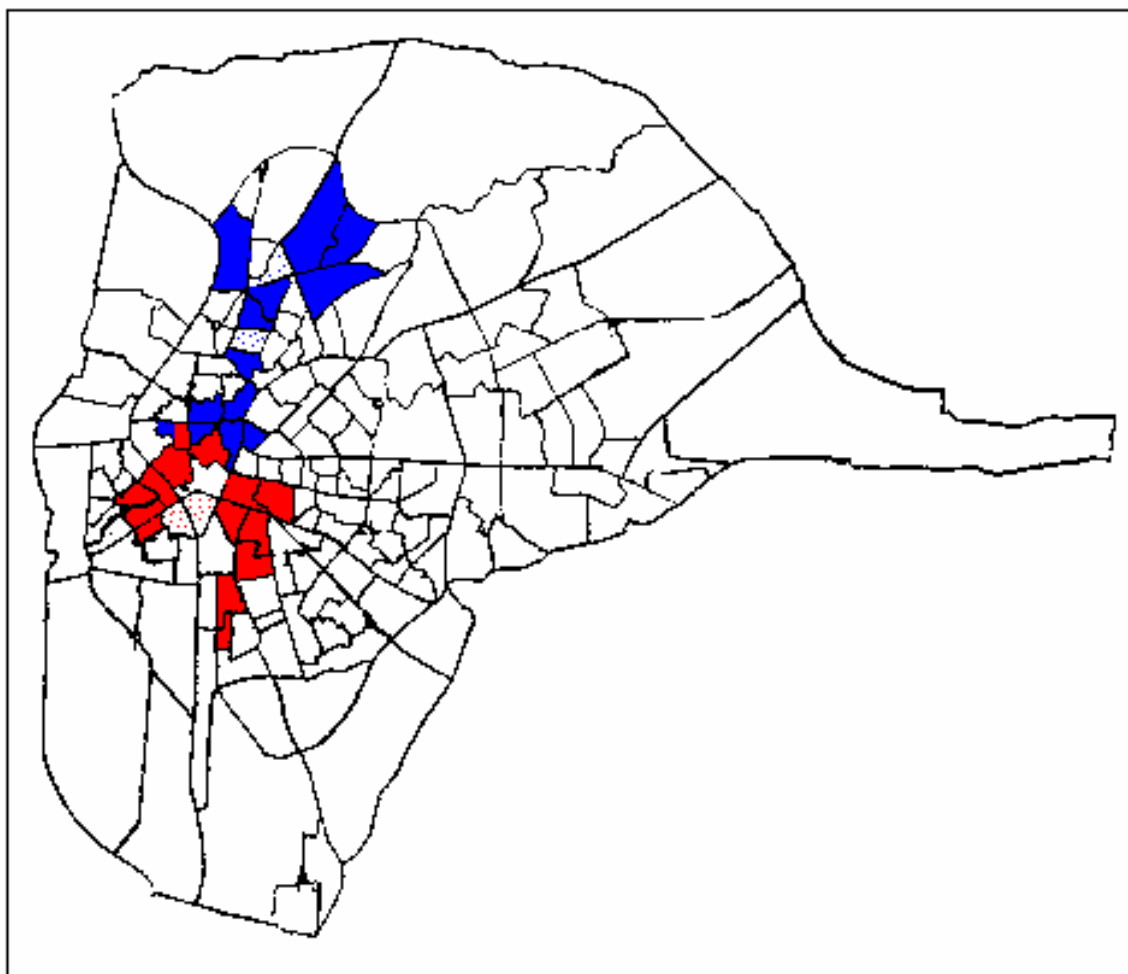


figura 4.10.1.2.1. Matriz de demanda de transporte público. N = 2.

Las dos rutas que se crean tienen estructura radial. Una hacia el Norte, y la otra hacia el Sur, aunque haciendo alguna parada en el distrito Nervión, y recorriendo parte del distrito Triana antes de acabar en el Centro.

La ruta 2 ha cambiado su orientación con respecto al ejemplo 1, debido a que, al permitir un aumento en la longitud de la ruta ha facilitado la inclusión en la misma de un nodo que produce una gran cantidad de demanda con el nodo 10 (que es uno de los generadores de la ruta), la zona número 50 (Reina Mercedes).

Lógicamente las cargas de ambas rutas se ven aumentadas con respecto a las del ejemplo 1.

4.10.1.2.2. CUATRO RUTAS. N = 4.

RUTA 1		
nodos generadores de la ruta: (158, 10) → Pino Montano-Centro carga = 1438		
Zona	Distrito	Lugar característico
151	Macarena	Los Carteros, San Diego, Residencial Las Almenas
158	Macarena	Pino Montano (este)
157	Macarena	Pino Montano (oeste)
148	Macarena	Huerta de San Jacinto
147	Macarena	Hermandades
138	Macarena	Huerta del Carmen, La Barzola
136	Macarena	Cruz Roja
7	Casco Histórico	Santa Catalina
11	Casco Histórico	Calle Recaredo
67	Nervión	San Roque
6	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
15	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
10	Casco Histórico	Centro
Longitud aproximada: 5000 m.		Carga de viajeros diaria: 30361

RUTA 2		
nodos generadores de la ruta: (80, 10) → VIAPOL-Centro carga = 691		
Zona	Distrito	Lugar característico
49	Sur	Avenida de la Palmera
50	Sur	Avenida de Reina Mercedes
48	Sur	Avenida de la Palmera
46	Sur	Tabladilla
44	Sur	El Porvenir, Huerta de la Salud
80	Nervión	Avenida de la Buhaira (VIAPOL)
79	Nervión	San Bernardo
42	Sur	Plaza de España (Prado de San Sebastián)
14	Casco Histórico	Puerta Jerez
12	Casco Histórico	Arenal
13	Casco Histórico	Centro
10	Casco Histórico	Centro
Longitud aproximada: 5000 m.		Carga de viajeros diaria: 24765

RUTA 3		
nodos generadores de la ruta: (55, 10) → Bami - Centro carga = 514		
Zona	Distrito	Lugar característico
55	Sur	Bami
54	Sur	Hospital Virgen del Rocío
43	Sur	Parque de María Luisa
16	Sur	Universidad
30	Triana	Avenida Virgen de Luján
31	Triana	Real de la Feria
28	Triana	Avenida República Argentina
25	Triana	Avenida República Argentina
24	Triana	Calle Evangelista
22	Triana	Calle Pagés del Corro
12	Casco Histórico	Arenal
13	Casco Histórico	Centro
10	Casco Histórico	Centro
Longitud aproximada: 5000m.		Carga de viajeros diaria: 21292

RUTA 4		
nodos generadores de la ruta: (145, 10) → Macarena - Centro carga = 411		
Zona	Distrito	Lugar característico
146	Macarena	Huerta de la Palmilla
145	Macarena	Macarena
134	Macarena	Macarena
1	Casco Histórico	Basílica de la Macarena
4	Casco Histórico	Ronda de Capuchinos
137	Macarena	Miraflores
106	Nervión	Árbol Gordo
105	Nervión	El Fontanal
11	Casco Histórico	Calle Recaredo
67	Nervión	San Roque
15	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
5	Casco Histórico	San Vicente
10	Casco Histórico	Centro
Longitud aproximada: 4900 m.		Carga de viajeros diaria: 21638

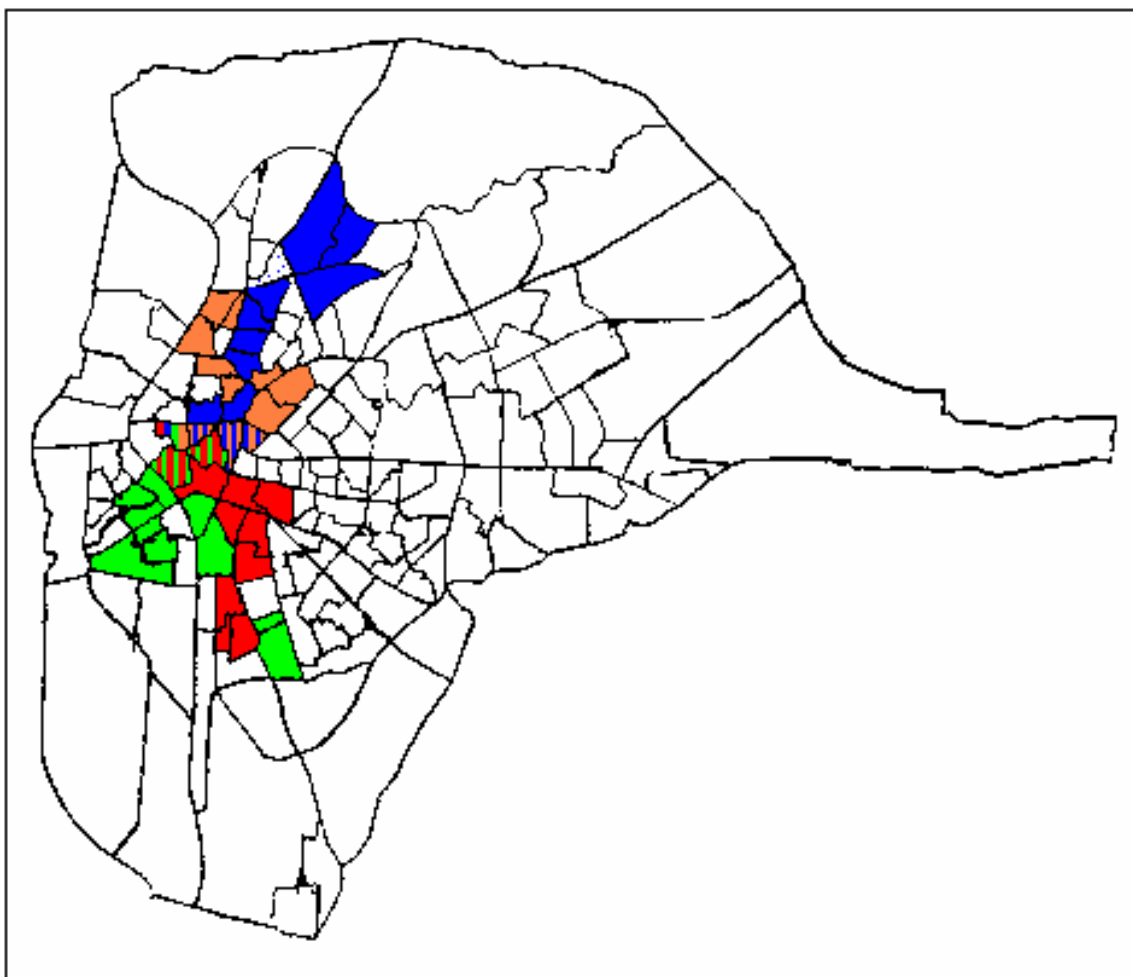


figura 4.10.1.2.2. Matriz de demanda de transporte público. N = 4.

La ruta 1 apenas varía su estructura. Sin embargo, la ruta 2 si sufre cambios apreciables.

La creación de la ruta 3, con un itinerario desde el distrito Sur hasta el Centro, pasando por Los Remedios y Triana, ha provocado el desvío de la ruta 2, que ya no se entretiene en entrar en Los Remedios, sino que lo hace directamente en el Centro.

Las diferencias en el itinerario de la tercera ruta con respecto a la del ejemplo 4.10.1.1, son bastante claras.

La ruta 4, como ocurría en el ejemplo 1, es radial Norte, pero sin embargo cambia bastante las zonas del distrito Macarena por las que discurre.

El motivo de las diferencias con el ejemplo 4.10.1.1.4, encuentra su explicación en que los nodos generadores de las rutas de ambos ejemplos son

diferentes, debido a que se ha permitido una longitud de ruta mayor. Así pues, los nodos generadores de la ruta 4 en el caso que nos ocupa son: **(145, 10)**, es decir, **(Macarena, Centro)**, pues el par (151,10) que iniciaba la creación de la ruta 4 en el ejemplo 4.10.1.1.4., ahora puede ser integrado dentro de la ruta 1. Y así ocurre sucesivamente con los pares (28, 10), (158, 6), (157, 15), (157, 6), (46,10) y (30, 10), siendo integrados en las rutas 1, 2 y 3.

4.10.1.2.3. SEIS RUTAS. N = 6.

RUTA 1		
nodos generadores de la ruta: (158, 10) → Pino Montano-Centro carga = 1438		
Zona	Distrito	Lugar característico
151	Macarena	Los Carteros, San Diego, Residencial Las Almenas
158	Macarena	Pino Montano (este)
157	Macarena	Pino Montano (oeste)
152	Macarena	La Bachillera
148	Macarena	Huerta de San Jacinto
147	Macarena	Hermandades
138	Macarena	Huerta del Carmen, La Barzola
136	Macarena	Cruz Roja
7	Casco Histórico	Santa Catalina
11	Casco Histórico	Calle Recaredo
6	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
15	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
10	Casco Histórico	Centro
Longitud aproximada: 5000 m.		Carga de viajeros diaria: 34459

La ruta 2, no ha sufrido ningún tipo de modificación en su itinerario.
Carga de viajeros diaria = 28596

RUTA 3			
nodos generadores de la ruta:		(55, 10) → Bami - Centro	
		carga = 514	
Zona	Distrito	Lugar característico	
55	Sur	Bami	
54	Sur	Hospital Virgen del Rocío	
43	Sur	Parque de María Luisa	
16	Sur	Universidad	
29	Triana	Calle Asunción	
30	Triana	Avenida Virgen de Luján	
31	Triana	Real de la Feria	
28	Triana	Avenida República Argentina	
25	Triana	Avenida República Argentina	
24	Triana	Calle Evangelista	
22	Triana	Calle Pagés del Corro	
12	Casco Histórico	Arenal	
10	Casco Histórico	Centro	
Longitud aproximada: 4900 m.			Carga de viajeros diaria: 22306

RUTA 4		
nodos generadores de la ruta: (145, 10) → Macarena - Centro carga = 411		
Zona	Distrito	Lugar característico
150	Macarena	Huerta de San Jacinto
149	Macarena	Begoña
139	Macarena	Pio XII
147	Macarena	Hermandades
146	Macarena	Huerta de la Palmilla
145	Macarena	Macarena
134	Macarena	Macarena
1	Casco Histórico	Basílica de la Macarena
3	Casco Histórico	Calle Feria
6	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
15	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
10	Casco Histórico	Centro
Longitud aproximada: 4900 m.		Carga de viajeros diaria: 35327

RUTA 5		
nodos generadores de la ruta: (158, 105) → Pino Montano-El Fontanal carga = 407		
Zona	Distrito	Lugar característico
158	Macarena	Pino Montano (este)
157	Macarena	Pino Montano (oeste)
151	Macarena	Los Carteros, San Diego, Residencial Las Almenas
141	Macarena	Cisneo Alto
142	Macarena	Casa Cuna, Residencial Los Arcos, Barriada Pinoflores, Grupo Las Naciones
106	Nervión	Árbol Gordo
137	Macarena	Miraflores
105	Nervión	El Fontanal
7	Casco Histórico	Santa Catalina
1	Casco Histórico	Basílica de la Macarena
2	Casco Histórico	San Lorenzo
3	Casco Histórico	Calle Feria
Longitud aproximada: 5000 m.		Carga de viajeros diaria: 17587

RUTA 6		
nodos generadores de la ruta: (59, 10) → Las Letanías - Centro carga = 375		
Zona	Distrito	Lugar característico
59	Sur	Las Letanías
98	Sur	Polígono Ind. HYTASA, y NAVISA
97	Este	Cerro del Águila
91	Este	Juan XXIII, El Trébol
78	Nervión	Avenida Marqués de Pickman
76	Nervión	Gran Plaza
82	Nervión	Ciudad Jardín
74	Nervión	Centro Comercial Nervión Plaza
42	Sur	Plaza de España
16	Sur	Universidad
14	Casco Histórico	Puerta de Jerez
10	Casco Histórico	Centro
Longitud aproximada: 4800 m.		Carga de viajeros diaria: 16831

Las nuevas rutas creadas son radial Norte y radial Este.

Con la ruta 5 (violeta) quedan prácticamente cubiertas todas las zonas del distrito Macarena. El itinerario de ésta es completamente distinto a la creada en el ejemplo 4.10.1.1, debido fundamentalmente al cambio de nodos generadores de la misma.

La ruta 6 (marrón) viene a satisfacer la demanda del distrito Este.

La ruta 3 (verde), cambia su itinerario respecto al caso anterior, dejando de pasar por Los Remedios.

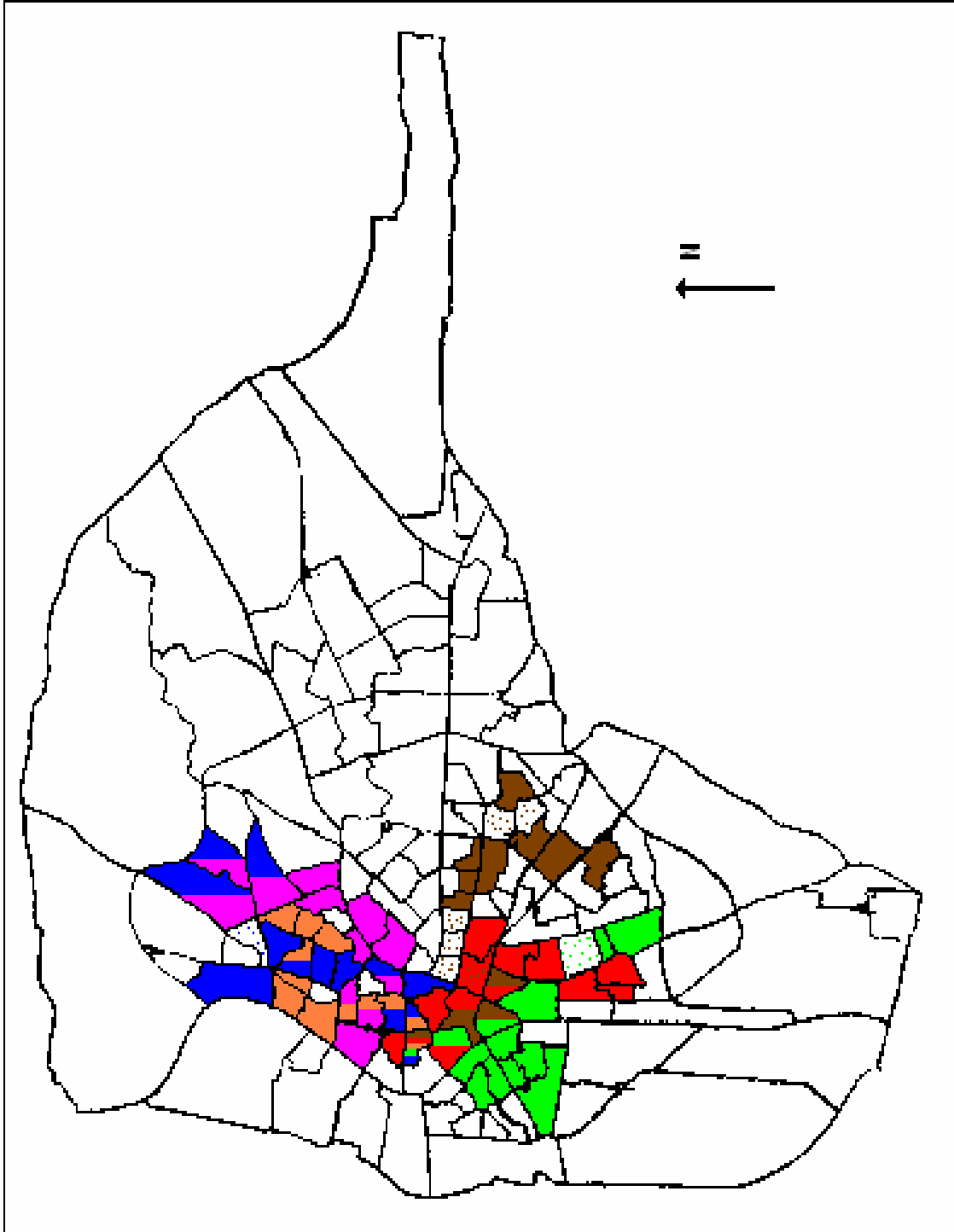


figura 4.10.1.2.3. Matriz de demanda de transporte público. N = 6.

4.10.1.2.4. OCHO RUTAS. N = 8.

En este ejemplo, las seis primeras rutas no sufren grandes transformaciones, como se puede ver en la figura 4.10.1.2.4. Mostramos, por tanto, el itinerario de las dos nuevas rutas creadas.

RUTA 7		
nodos generadores de la ruta: (158, 139) → Pino Montano – Pío XII carga = 359		
Zona	Distrito	Lugar característico
158	Macarena	Pino Montano (este)
141	Macarena	Cisneo Alto
142	Macarena	Casa Cuna, Residencial Los Arcos, Barriada Pinoflores, Grupo Las Naciones
107	Nervión	La Corza
110	Nervión	Santa Clara
109	Nervión	Complejo Deportivo Polígono San Pablo
108	Nervión	Barrio Polígono San Pablo
70	Nervión	Huerta de Santa Teresa
68	Nervión	La Calzada
7	Casco Histórico	Santa Catalina
4	Casco Histórico	Ronda de Capuchinos
139	Macarena	Pío XII

138	Macarena	Huerta del Carmen, La Barzola
135	Macarena	Hospital Virgen Macarena, Parlamento de Andalucía, Facultad de Medicina.
1	Casco Histórico	Basílica de la Macarena
Longitud aproximada: 5000 m.		Carga de viajeros diaria: 20698

RUTA 8		
nodos generadores de la ruta: (92, 15) → Altair – Encarnación carga = 358		
Zona	Distrito	Lugar característico
93	Este	Su Eminencia
92	Este	Altair (calle del Ingeniero La Cierva)
97	Este	Cerro del Águila
84	Nervión	Cortijo Maestre Escuela
82	Nervión	Ciudad Jardín
76	Nervión	Gran Plaza
74	Nervión	Centro Comercial Nervión Plaza
81	Nervión	Avenida San Francisco Javier
70	Nervión	Huerta de Santa Teresa
67	Nervión	San Roque

11	Casco Histórico	Calle Recaredo
6	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
15	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
5	Casco Histórico	San Vicente
10	Casco Histórico	Centro
Longitud aproximada: 4900 m.		Carga de viajeros diaria: 26987

Estas dos rutas vienen a complementar muy bien el resto de rutas, puesto que la ruta 7 cubre Santa Clara y el Polígono San Pablo que hasta ahora quedaba sin cubrir; y la ruta 8 se extiende hacia el Este, donde hasta ahora tan solo operaba la ruta 6 (marrón).

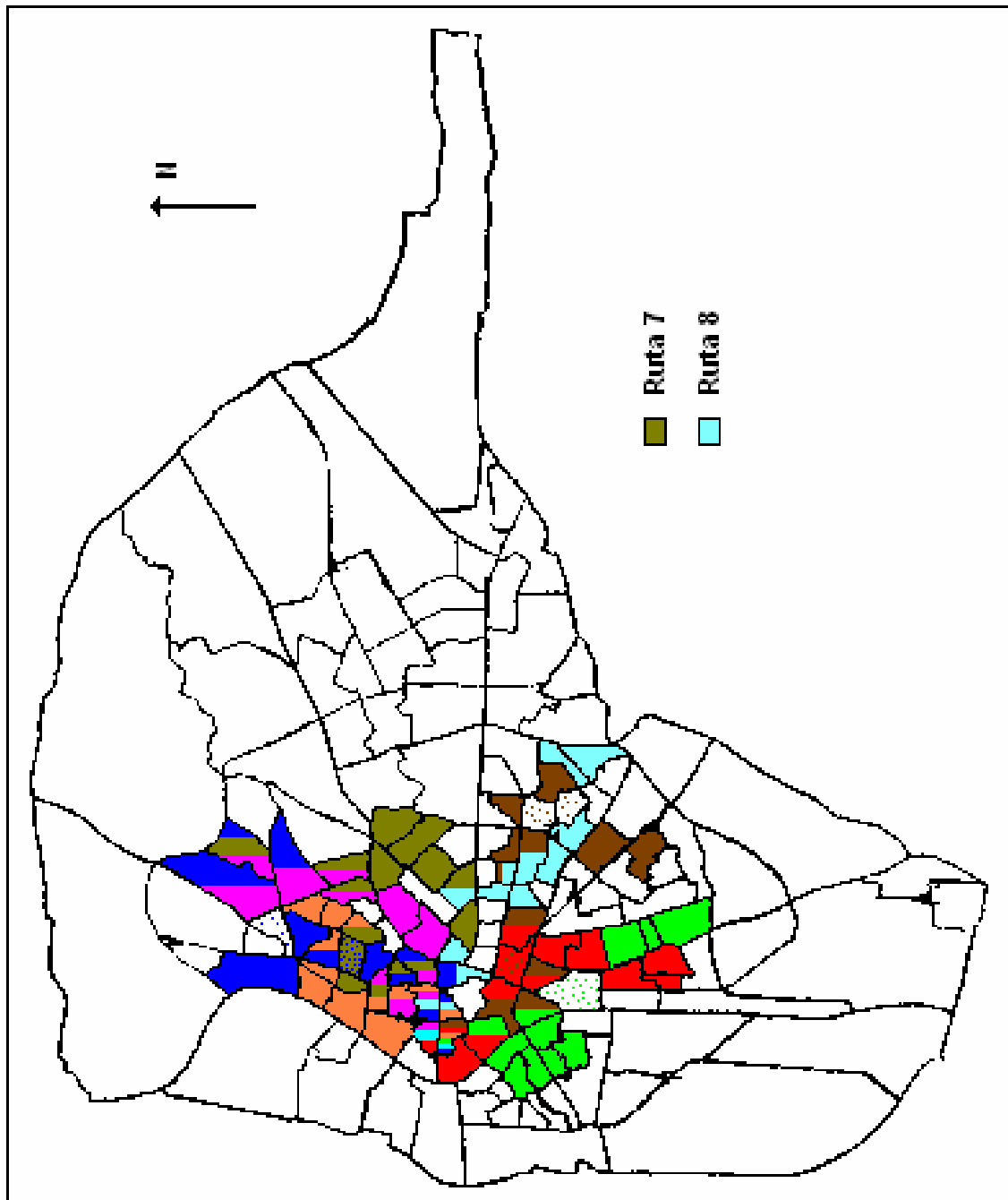


figura 4.10.1.2.4. Matriz de demanda de transporte público. N = 8.

4.10.1.3. **EJEMPLO 3. INTRODUCCIÓN DE LÍNEA DE METRO.**

Según nuestras hipótesis, aunque la demanda que se hace del transporte público debe depender de la red de servicios que se preste, el usuario del transporte público es una persona que en la mayoría de los casos no tiene forma de desplazarse por otro medio, y aunque lo tuviera, está convencido de las ventajas que le reporta el servicio público frente al uso del vehículo privado, principalmente en lo que se refiere a atascos, estrés, problemas de aparcamiento y otros gastos derivados del uso del coche.

Es por esto que supondremos que la introducción de una línea de metro, no va a variar la demanda de uso del transporte público entre dos zonas, pero sí provocará que aumente los porcentajes de personas satisfechas, por cuanto siempre será preferible un viaje o un transbordo en metro, que en autobús. Es decir, no haremos un nuevo reparto modal para distinguir entre usuarios de metro y de autobús, sino que todos ellos estarán englobados dentro de los usuarios del transporte público.

A continuación, y con los mismos parámetros introducidos en el ejemplo anterior, vamos a ver qué resultados da el algoritmo cuando introducimos la línea de metro número 1, que será la primera en estrenar en la ciudad de Sevilla.

<u>EJEMPLO 3: PROBANDO EL ALGORITMO.</u>		
APLICACIÓN A LA CIUDAD DE SEVILLA.		
Utilizando la matriz de demanda de transporte público		
alfa_bus = 0.65		alfa_metro = 0.8
n_entre = 10	n_max_nodos = 15	L = 5000 m.
CON LA EXISTENCIA DE LA LÍNEA 1 DE METRO		

4.10.1.3.1. OCHO RUTAS. N = 8.

En la figura 1.3.1. se muestran todas las rutas de autobús, junto a la línea de metro.

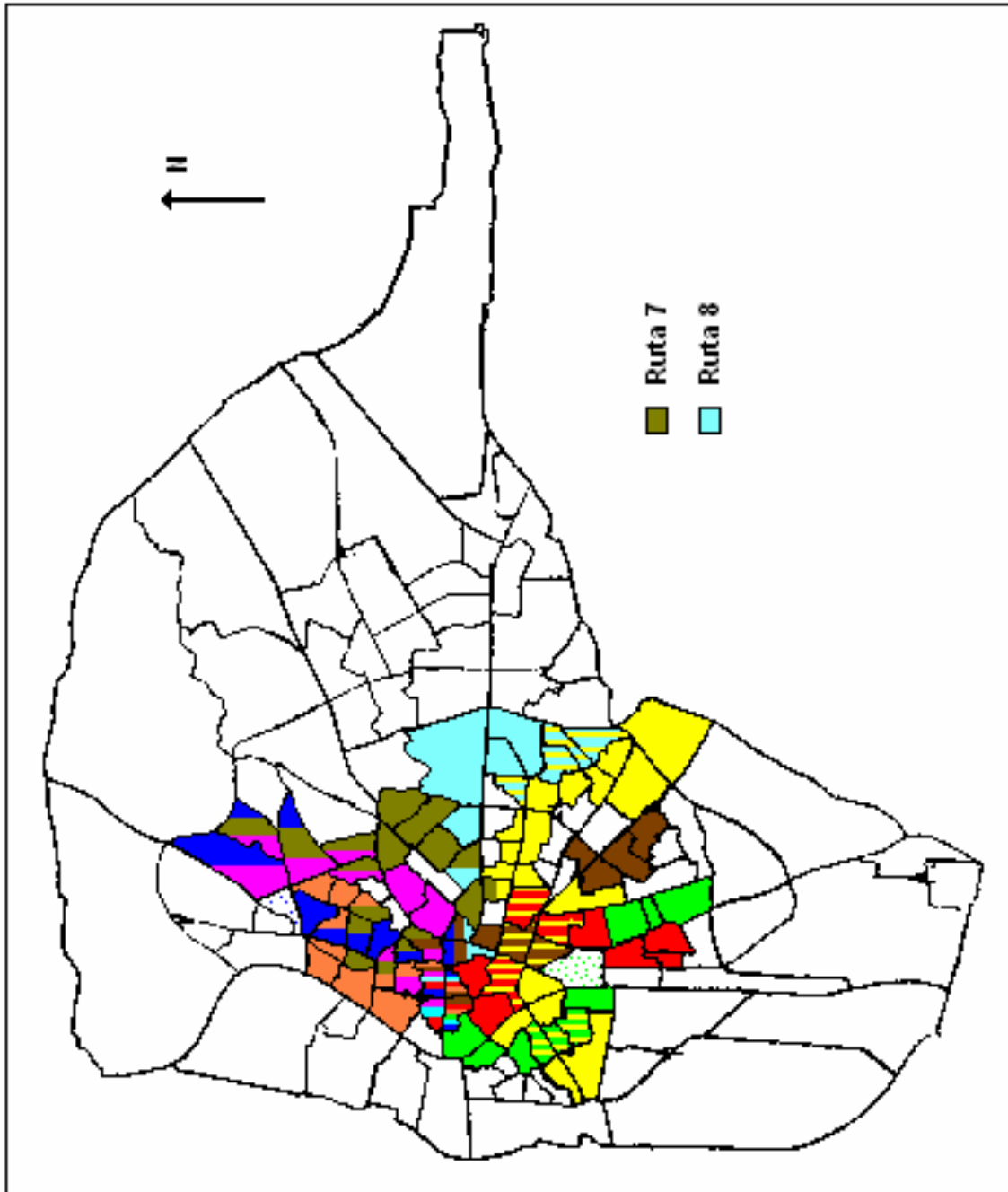


figura 4.10.1.3.1. Matriz de demanda de Transp. Público. Con línea 1 de Metro

Carga (pasajeros / día)							
RUTA1	RUTA2	RUTA3	RUTA4	RUTA5	RUTA6	RUTA7	RUTA8
30696	43791	21355	34736	31559	24761	28974	19485

CONCLUSIONES:

Se puede apreciar como la introducción de la línea de metro supone comportamientos similares a los observados en los ejemplos realizados en el capítulo 2.

Por ejemplo, las rutas 8 (celeste) y 6 (marrón) cambian su itinerario sobre todo en aquellas zonas que coinciden con las servidas por el metro. Esto hará disminuir la carga de la ruta 8 notablemente. También es apreciable la disminución de carga en la ruta 3.

Aquellas rutas que no interseccionan con la línea de metro, caso de las rutas 1, 4 y 5, no ven modificada notablemente su carga. No es el caso de las rutas 2, que sí verá aumentada la carga gracias a los transbordos con la línea de metro.

Aunque la intersección con la línea de metro es un objetivo que suelen buscar las rutas de autobús (como se demostró en el capítulo 2), las rutas radiales Norte no llegan a hacerlo (excepto la 7), probablemente por la limitación en la longitud de rutas, y porque la línea de metro pasa bastante alejada de las zonas de coberturas de las rutas mencionadas.

4.10.2. SEGUNDO ENSAYO:

El hecho de disponer de dos matrices de demanda Origen-Destino, una utilizando el transporte público y otra utilizando el transporte privado, nos permite probar el algoritmo para comprobar qué resultados se obtienen en el supuesto de que las rutas creadas sean capaces de captar parte del transporte privado, siempre que la red de autobuses que se ofrezca sea lo suficientemente atractiva para el usuario del transporte privado. Esto se interpreta en el algoritmo como que si las zonas de origen y destino de un viajero que realiza éste traslado en su vehículo privado, habitualmente, se encuentra unida por una ruta de autobús de manera directa (sin transbordos), se conseguirá captar un porcentaje de esos viajes en vehículo privado entre esas dos zonas. Porcentajes mucho menores se captarán si la unión entre un origen y un destino se realiza mediante algún transbordo.

De este modo obtendremos las rutas que, según el algoritmo programado, no sólo satisfagan la demanda de viajes origen-destino en transporte público, sino que además capten más usuarios del transporte privado.

En esta ocasión la semejanza con la red de transporte público actual de la ciudad de Sevilla, no será tan fiel como en los ejemplos anteriores, puesto que el intento de captar a los usuarios del transporte privado puede hacer que se creen rutas que cubran zonas que hasta el momento solo podían ser unidas mediante el vehículo propio.

Observando la siguiente tabla, se aprecia cómo el transporte privado es el que más contribuye a la carga (número de viajeros). Tan solo en el segundo par **(10, 158)**, es la demanda de transporte público quien provoca que entre estas zonas se empiece a crear una ruta.

Zonas *	Carga Total**	Viajes Transporte Privado	Demanda Transporte Público
(28,58)	2747	2732	15
(10,158)	2277	839	1438
(2,24)	2248	2190	58
(28,66)	2163	2044	129
(157,158)	1820	1269	551
(98,110)	1744	1722	22
(92,112)	1605	1588	17
(28,63)	1604	1604	0
(25,105)	1582	1474	108
(76,120)	1580	1532	48
(59,111)	1525	1520	5
(99,106)	1445	1438	7
(10,27)	1438	1140	298
(24,141)	1413	1406	7
(39,70)	1375	1362	13
(2,10)	1332	1220	112
(94,109)	1306	1304	2
(1,22)	1274	1154	120
(1,29)	1216	1184	32
(28,56)	1211	1177	34

* Zonas entre las que se produce un mayor flujo de viajes.

** numero de viajes totales = viajes en transporte público +
viajes en vehículo privado.

Así pues, como se aprecia en la tabla anterior, las rutas que se creen nacerán con la intención principal de intentar captar la demanda de transporte privado (es decir, los nodos generadores son principalmente aquellos entre los que se produce un mayor número de viajes en transporte privado), aunque durante la creación de la misma también tendrá un papel importante la demanda de transporte público.

4.10.2.1. EJEMPLO 4:

<u>EJEMPLO 4:</u>			
APLICACIÓN A LA CIUDAD DE SEVILLA.			
Utilizando la matriz de demanda de transporte público y de uso de transporte privado.			
alfa_bus = 0.65		alfa_metro = 0.85	
beta_dir = 0.45	beta_b_m = 0.15		beta_b_b=0.07
n_entre = 8	n_max_nodos = 14		L = 4000 m.
ruta_metro = [0]		NO EXISTE RUTA DE METRO	

4.10.2.1.1. TRES RUTAS. N = 3.

ruta 1		
nodos generadores de ruta: (58, 28) → Antonio Machado – Los Remedios		
carga = 2747		
Zona	Distrito	Lugar característico
55	Sur	Bami
58	Sur	Antonio Machado
54	Sur	Hospital Virgen del Rocío
53	Sur	Calle Cardenal Ilundain
46	Sur	Tabladilla
44	Sur	El Porvenir, Huerta de la Salud
42	Sur	Plaza de España
79	Nervión	San Bernardo
30	Triana	Avenida Virgen de Luján
24	Triana	Calle Evangelista
28	Triana	Avenida República Argentina
22	Triana	Calle Pagés del Corro
25	Triana	Avenida República Argentina
Longitud aproximada: 3900 m.		Carga de viajeros diaria: 13998

RUTA 2		
nodos generadores de la ruta: (158, 10) → Pino Montano - Centro carga = 2277		
Zona	Distrito	Lugar característico
157	Macarena	Pino Montano (oeste)
158	Macarena	Pino Montano (este)
151	Macarena	Los Carteros, San Diego, Residencial Las Almenas
141	Macarena	Cisneo Alto
142	Macarena	Casa Cuna, Residencial Los Arcos, Barriada Pinoflores, Grupo Las Naciones
105	Nervión	El Fontanal
7	Casco Histórico	Santa Catalina
6	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
15	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
10	Casco Histórico	Centro
Longitud aproximada: 3900 m.		Carga de viajeros diaria: 17292

ruta 3		
nodos generadores de ruta: (24, 2) → Triana – San Lorenzo, Torneo carga = 2248		
Zona	Distrito	Lugar característico
31	Triana	Real de la Feria
30	Triana	Avenida Virgen de Luján
29	Triana	Los Remedios (Calle Asunción)
22	Triana	Calle Pagés del Corro
25	Triana	Avenida República Argentina
28	Triana	Avenida República Argentina
24	Triana	Calle Evangelista
13	Casco Histórico	Centro
12	Casco Histórico	Arenal
10	Casco Histórico	Centro
5	Casco Histórico	San Vicente
6	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
15	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
2	Casco Histórico	San Lorenzo
Longitud aproximada: 3900 m.		Carga de viajeros diaria: 19706

La ruta 1, se extiende desde el Sur hasta el barrio de Los Remedios.

La ruta 2, mantiene una estructura radial Norte muy similar a la ruta 1 creada en el ensayo 1, pues se inicia entre dos zonas de gran demanda de transporte público, la (158, 10).

La ruta 3, une Los Remedios con el Centro. Un estudio posterior de esta ruta nos hará ver que hay zonas de la misma (las del Centro) que en muchos casos no pueden ser unidas en el sentido en que el algoritmo nos las muestra, por ser calles de sentido único, principalmente. Habría que estudiar, a posteriori, como solucionar este problema. Pero en lo que el algoritmo no miente es en indicar las zonas que más interesan que sean cubiertas por esta ruta.

El modo de escoger los nodos generadores, como aquellos entre los que se produce un mayor número de viajes tanto en transporte público como privado, hace que las estructuras de las rutas varíen con respecto a los ejemplos del primer ensayo, pues el número de viajes en transporte público es notablemente inferior al que se produce en vehículos propios.

Obsérvese como los nodos generadores de las rutas 1 y 3 son muy diferentes a los del ejemplo 2 del ensayo 1 (apartado 4.10.1.2.).

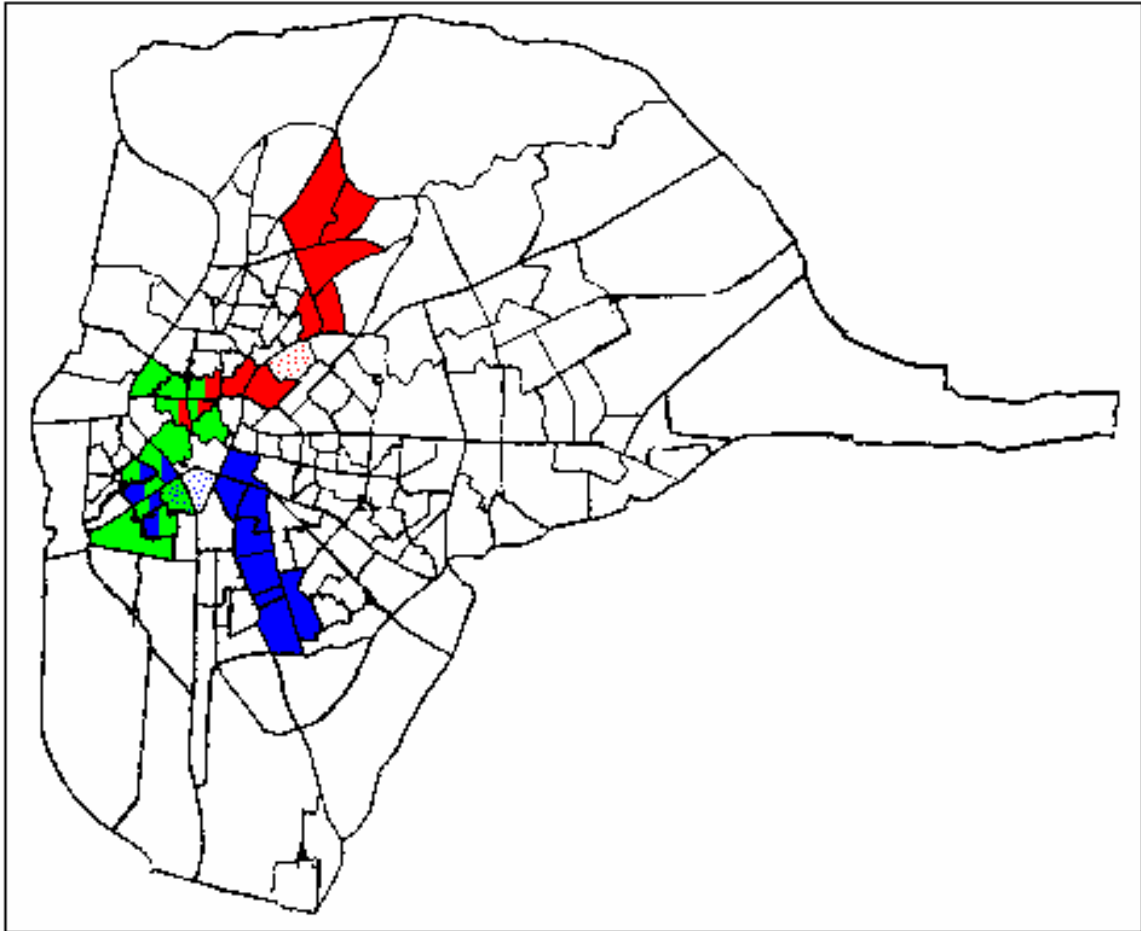


figura 2.1.1. Matrices de demanda de Transporte Público, y de uso Privado. N=3.

4.10.2.1.2. CINCO RUTAS. N = 5.

RUTA 1		
nodos generadores de ruta: (58, 28) → Antonio Machado – Los Remedios		
carga = 2747		
Zona	Distrito	Lugar característico
55	Sur	Bami
58	Sur	Antonio Machado
57	Sur	Barriada Nuestra Señora de la Oliva
86	Sur	El Juncal
85	Sur	El Plantinar
83	Nervión	Avenida Ramón y Cajal
80	Nervión	VIAPOL, Facultad de Económicas
42	Sur	Plaza de España
79	Nervión	San Bernardo
14	Casco Histórico	Puerta Jerez
24	Triana	Calle Evangelista
22	Triana	Calle Pagés del Corro
28	Triana	Avenida República Argentina
25	Triana	Avenida República Argentina
Longitud aproximada: 4000 m.		Carga de viajeros diaria: 14941

RUTA 2		
nodos generadores de la ruta: (158, 10) → Pino Montano - Centro carga = 2277		
Zona	Distrito	Lugar característico
157	Macarena	Pino Montano (oeste)
158	Macarena	Pino Montano (este)
151	Macarena	Los Carteros, San Diego, Residencial Las Almenas
141	Macarena	Cisneo Alto
142	Macarena	Casa Cuna, Residencial Los Arcos, Barriada Pinoflores, Grupo Las Naciones
105	Nervión	El Fontanal
7	Casco Histórico	Santa Catalina
6	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
15	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
10	Casco Histórico	Centro
Longitud aproximada: 3900 m.		Carga de viajeros diaria: 27840

RUTA 3		
nodos generadores de ruta: (24, 2) → Triana – San Lorenzo, Torneo carga = 2248		
Zona	Distrito	Lugar característico
31	Triana	Real de la Feria
30	Triana	Avenida Virgen de Luján
29	Triana	Los Remedios (Calle Asunción)
22	Triana	Calle Pagés del Corro
25	Triana	Avenida República Argentina
28	Triana	Avenida República Argentina
24	Triana	Calle Evangelista
13	Casco Histórico	Centro
12	Casco Histórico	Arenal
10	Casco Histórico	Centro
5	Casco Histórico	San Vicente
3	Casco Histórico	Calle Feria
2	Casco Histórico	San Lorenzo
1	Casco Histórico	Basílica de la Macarena
Longitud aproximada: 3800 m.		Carga de viajeros diaria: 26417

RUTA 4		
nodos generadores de ruta: (110, 98) → Santa Clara – Pol. Ind. HYTASA carga = 1744		
Zona	Distrito	Lugar característico
142	Macarena	Casa Cuna, Residencial Los Arcos, Barriada Pinoflores, Grupo Las Naciones.
141	Macarena	Cisneo Alto
107	Nervión	La Corza
110	Nervión	Santa Clara
109	Nervión	Complejo Deportivo Polígono San Pablo
112	Nervión	Polígono Industrial San Pablo
77	Nervión	Cárcel Provincial
76	Nervión	Gran Plaza
78	Nervión	Avenida Marqués de Pickman
82	Nervión	Ciudad Jardín
96	Este	Barriada Nuestra Señora de Los Reyes
97	Este	Cerro del Águila
98	Sur	Polígonos Industriales HYTASA y NAVISA
Longitud aproximada: 4000m.		Carga de viajeros diaria: 9064

RUTA 5		
nodos generadores de ruta: (112, 92) → Pol. Ind. San Pablo – Altair carga = 1605		
Zona	Distrito	Lugar característico
105	Nervión	El Fontanal
68	Nervión	La Calzada
70	Nervión	Huerta de Santa Teresa
112	Nervión	Polígono Industrial San Pablo
77	Nervión	Cárcel Provincial
76	Nervión	Gran Plaza
78	Nervión	Avenida Marqués de Pickman
82	Nervión	Ciudad Jardín
90	Este	Amate
91	Este	Juan XXIII, El Trébol
92	Este	Altair (Calle del Ingeniero
93	Este	Su Eminencia (La Plata)
Longitud aproximada: 3900m.		Carga de viajeros diaria: 7424

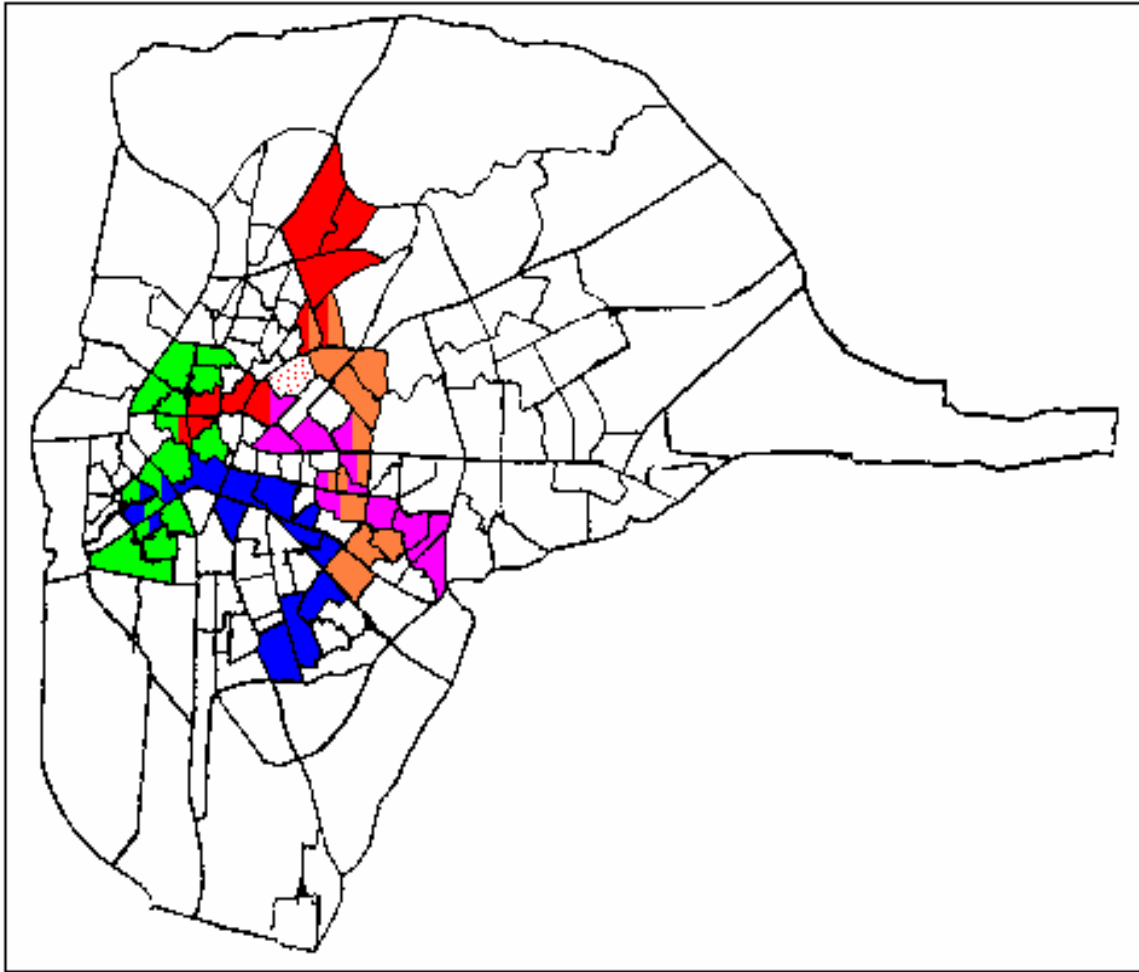


figura 2.1.2. Matrices de demanda de Transporte Público, y de uso Privado. N=5.

4.10.2.1.3. SIETE RUTAS. N = 7.

Las tres primeras rutas siguen exactamente el mismo itinerario que en el caso anterior.

La ruta 4 apenas varía su estructura, como se puede ver en la figura 4.10.2.1.3.

Lo que si variarán son las cargas de todas ellas:

RUTA 1	RUTA 2	RUTA 3	RUTA 4
Carga* = 28164	Carga* = 27458	Carga* = 33980	Carga* = 10133
* pasajeros / día			

El resto de rutas queda de la siguiente manera:

RUTA 5		
nodos generadores de ruta: (112, 92) → Pol. Ind. San Pablo – Altair carga = 1605		
Zona	Distrito	Lugar característico
112	Nervión	Polígono Industrial San Pablo
78	Nervión	Avenida Marqués de Pickman
76	Nervión	Gran Plaza
82	Nervión	Ciudad Jardín
83	Nervión	Avenida Ramón y Cajal
85	Sur	El Plantinar
97	Este	Cerro del Águila

96	Este	Barriada Nuestra Señora de los Reyes
91	Este	Juan XXIII, El Trébol
92	Este	Altarir (Calle del Ingeniero
93	Este	Su Eminencia (La Plata)
Longitud aproximada: 3900 m.		Carga de viajeros diaria: 8268

ruta 6		
nodos generadores de la ruta: (63, 28) → Los Bermejales – Los Remedios carga = 1604		
Zona	Distrito	Lugar característico
63	Sur	Los Bermejales
56	Sur	Heliópolis
50	Sur	Avenida de Reina Mercedes
48	Sur	Avenida de la Palmera
43	Sur	Parque de María Luisa
16	Sur	Universidad
29	Triana	Los Remedios (calle Asunción)
24	Triana	Calle Evangelista
22	Triana	Calle Pagés del Corro
28	Triana	Los Remedios (Av. República Argentina)

25	Triana	Los Remedios (Av. República Argentina)
Longitud aproximada: 4000 m.		Carga de viajeros diaria: 12225

ruta 7		
nodos generadores de la ruta: (105, 25) → El Fontanal – Los Remedios carga = 1582		
Zona	Distrito	Lugar característico
147	Macarena	Hermandades
138	Macarena	Huerta del Carmen, La Barzola
136	Macarena	Cruz Roja
137	Macarena	Miraflores
105	Nervión	El Fontanal
67	Nervión	San Roque
11	Casco Histórico	Calle Recaredo
71	Nervión	Avenida Menéndez Pelayo
14	Casco Histórico	Puerta de Jerez
16	Sur	Universidad
29	Triana	Los Remedio (calle Asunción)
28	Triana	Los Remedios (Av. República Argentina)
25	Triana	Los Remedios (Av. República Argentina)

Longitud aproximada: 4000 m.

Carga de viajeros diaria: 22585

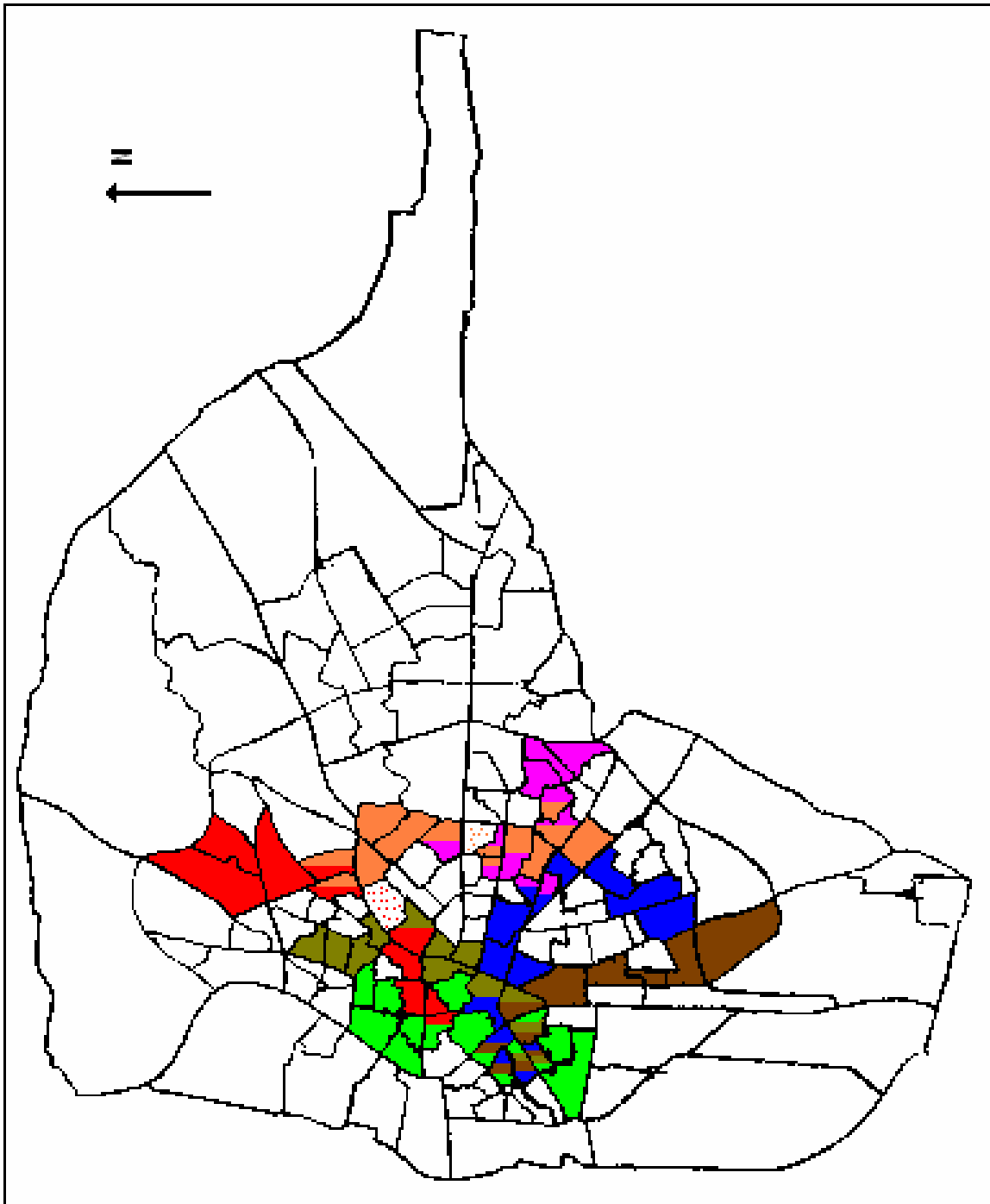


figura 2.1.3. Matrices de demanda de Transporte Público, y de uso Privado. N = 7.

4.10.2.2. **EJEMPLO 5:**

Vamos a estudiar los nuevos resultados que se obtienen al aumentar el parámetro de captación de usuarios del transporte privado (**beta_dir** y **beta_b_b**), manteniendo el resto de parámetros con los mismos valores que en el ejemplo 4.

<u>EJEMPLO 5:</u>			
APLICACIÓN A LA CIUDAD DE SEVILLA.			
Utilizando la matriz de demanda de transporte público y de uso de transporte privado.			
alfa_bus = 0.65		alfa_metro = 0.85	
beta_dir = 0.65	beta_b_m = 0.15		beta_b_b=0.1
n_entre = 8	n_max_nodos = 14		L = 4000 m.
ruta_metro = [0]		NO EXISTE RUTA DE METRO	

Por razones simplificadoras, mostraremos directamente los resultados de la creación de 7 rutas, y en concreto de aquellas líneas que vean modificado significativamente su itinerario con respecto al último caso realizado (el 4.10.2.1.3).

Las rutas 2, 4 y 6 (roja, naranja y marrón, respectivamente), mantienen la estructura, es decir, el hecho de aumentar los parámetros **beta**, no ha supuesto cambios significativos en ellos. La ruta 3 (verde brillante), apenas modifica su itinerario.

Las rutas 5 y 7 son más extendidas, abarcando más zonas.

Las diferencias en la ruta 1 son más evidentes.

RUTA 1		
nodos generadores de ruta: (58, 28) → Antonio Machado – Los Remedios carga = 2747		
Zona	Distrito	Lugar característico
55	Sur	Bami
58	Sur	Antonio Machado
54	Sur	Hospital Virgen del Rocío
53	Sur	Calle Cardenal Ilundian
46	Sur	Tabladilla
44	Sur	El Porvenir, Huerta de la Salud
42	Sur	Plaza de España
79	Nervión	San Bernardo
29	Triana	Los Remedios (calle Asunción)
30	Triana	Los Remedios (Avenida Virgen de Luján)
28	Triana	Avenida República Argentina
25	Triana	Avenida República Argentina
24	Triana	Calle Evangelista
22	Triana	Calle Pagés del Corro
Longitud aproximada: 3900m.		Carga de viajeros diaria: 22238

RUTA 5		
nodos generadores de ruta: (112, 92) → Pol. Ind. San Pablo – Altair carga = 1605		
Zona	Distrito	Lugar característico
105	Nervión	El Fontanal
68	Nervión	La Calzada
70	Nervión	Huerta de Santa Teresa
112	Nervión	Polígono Industrial San Pablo
77	Nervión	Cárcel Provincial
78	Nervión	Avenida Marqués de Pickman
76	Nervión	Gran Plaza
82	Nervión	Ciudad Jardín
90	Este	Amate
91	Este	Juan XXIII, El Trébol
92	Este	Altair (Calle del Ingeniero la Cierva)
93	Este	Su Eminencia (La Plata)
Longitud aproximada: 3900 m.		Carga de viajeros diaria: 13658

RUTA 7		
nodos generadores de la ruta: (105, 25) → El Fontanal – Los Remedios carga = 1582		
Zona	Distrito	Lugar característico
6	Casco Histórico	Plaza de la Encarnación
11	Casco Histórico	Calle Recaredo
67	Nervión	San Roque
7	Casco Histórico	Santa Catalina
105	Nervión	El Fontanal
73	Nervión	Huerta del Pilar
80	Nervión	VIAPOL, Facultad de Económicas
79	Nervión	San Bernardo
42	Sur	Plaza de España
14	Casco Histórico	Puerta de Jerez
22	Triana	Calle Pagés del Corro
24	Triana	Calle Evangelista
28	Triana	Los Remedios (Av. República Argentina)
25	Triana	Los Remedios (Av. República Argentina)
Longitud aproximada: 3900 m.		Carga de viajeros diaria: 35004

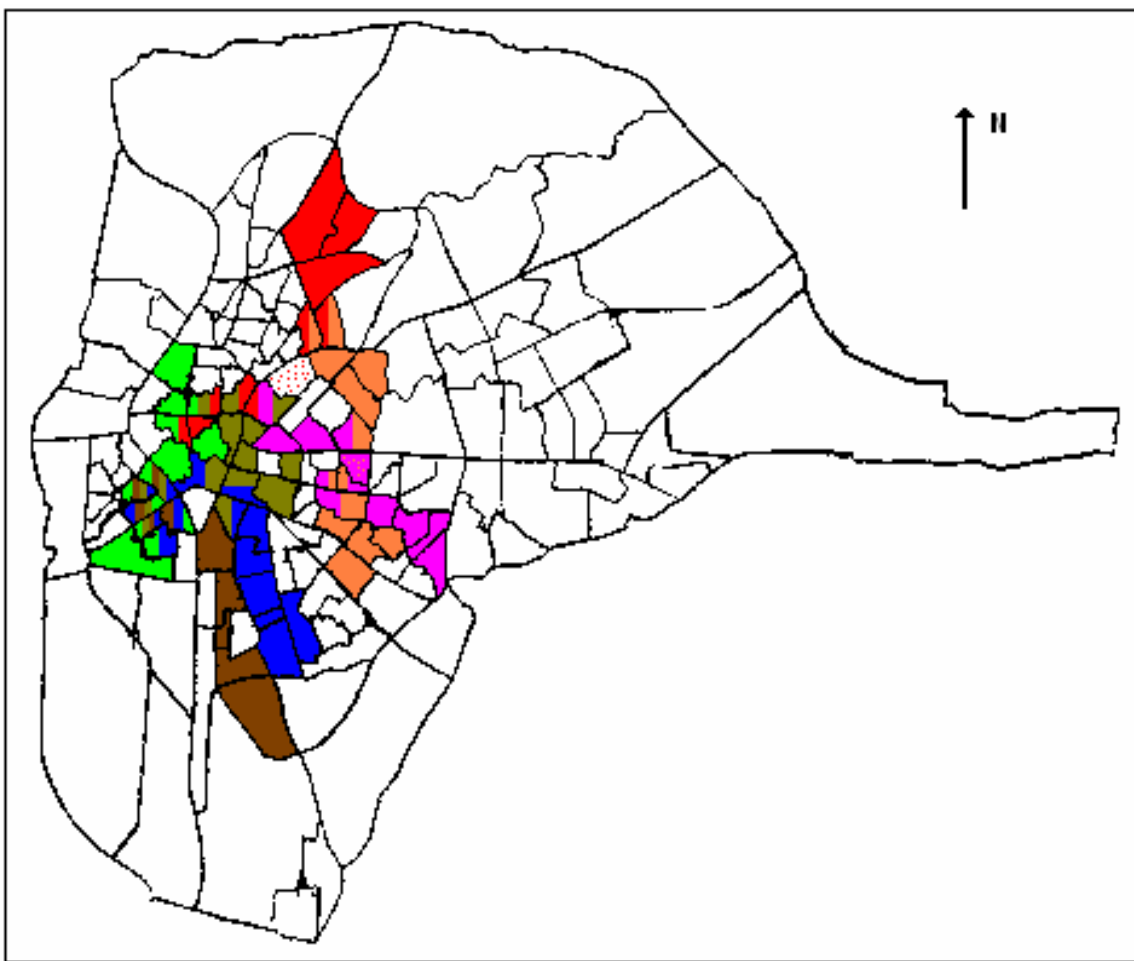


figura 2.2. Matrices de demanda de Transporte Público, y de uso Privado. N = 7.

COMPARACIONES CON EL EJEMPLO ANTERIOR.

El hecho de aumentar **beta_dir** no ha supuesto grandes diferencias en muchas de las rutas. Sí observamos algunas diferencias más significativas en las rutas 1 y 7.

La ruta 1, en esta ocasión une el Sur con Los Remedios de una manera más directa, no así en el ejemplo 4, anterior, donde pasaba por bastantes zonas de Nervión.

También son apreciables las diferencias en la ruta 7. En el ejemplo 3, seguía un itinerario Macarena – Los Remedios, y ahora se asemeja más a un itinerario Encarnación – Nervión – Triana.

CONCLUSIONES:

Al introducir la matriz de transporte privado en la creación de rutas de autobuses, aparecen diferencias significativas con respecto a los ejemplos del *ensayo 1*.

El uso del transporte privado es en general muy elevado, y aún más si particularizamos en el caso de Sevilla, puesto que prácticamente no hay más opciones que el uso del autobús o del vehículo propio. El hecho de iniciar las rutas entre las zonas entre las que se produce un mayor número de demandas de transporte, tanto público como privado, hace que sea la necesidad de captar hacia el autobús a los usuarios del coche, lo que provoque que la mayoría de las rutas se inicien con zonas entre las que hay un elevado número de viajes en vehículo particular.

Lo expuesto, hace que se pierda en muchos casos la estructura radial que tan claramente aparecía cuando solo intentábamos satisfacer la demanda de transporte público (ensayo 1), para dar paso a nuevas rutas transversales originadas por el deseo de captar el elevado número de usuarios del coche.

Sobre el mapa se puede apreciar que son cubiertas muchas más zonas de Sevilla Este que en los casos anteriores; y que se sigue conservando una ruta radial Norte, la que se inicia debido a la alta demanda de transporte público entre Pino Montano (zona 158) y el Centro (zona10), y una radial Sur.

En los ejemplos 4 y 5 parece que la forma de hallar los nodos originadores de rutas, otorga poca importancia a la satisfacción del demandante de transporte público, y por el contrario mucha al usuario del transporte privado. Es la intención de equilibrar un poco más el peso de ambas matrices, lo que nos lleva a la realización de los siguientes ejemplos.

4.10.2.3. **EJEMPLO 6:**

En los dos primeros ejemplos del *ensayo 2*, la elección de los nodos generadores (pares de zonas entre las que se producen flujos máximos) se realizaba contabilizando tanto la demanda de transporte público como el uso de transporte privado. Los máximos se obtenían de la suma elemento a elemento de ambas matrices.

Esto puede resultar poco lógico, pues los viajes en vehículo privado superan con creces a los realizados en transporte público, y esto supone que las rutas se iniciarán entre las zonas en las que se produzcan elevados viajes con vehículo privado; como se podía observar en la tabla mostrada en la introducción al *segundo ensayo*.

En este ejemplo procederemos de una forma diferente a la hora de iniciar las rutas. Los *nodos generadores* serán obtenidos escogiendo los pares entre los que se produce flujo máximo, contabilizando la demanda de transporte público, y el uso del transporte privado afectado por el parámetro **beta_dir**, puesto que, en realidad, este parámetro indica el porcentaje de usuarios del vehículo privado que son captados por la red de autobuses, si sus orígenes y destinos son unidos por una sola línea de transporte público urbano. Es decir, tomamos:

Máximos ($F_{pub} + F_{priv} \cdot \text{beta_dir}$),

Siendo F_{pub} , matriz de demanda de transporte público.

F_{priv} , matriz de viajes en transporte privado.

Esta forma de actuar parece más lógica y realista, pues de este modo la demanda de transporte público no pierde tanto peso como en el ejemplo anterior; tal y como se puede ver en la siguiente tabla para:

beta_dir = 0.45

Zonas * (i, j)	Demanda Transporte Público	Usuarios de Vehículo Privado captados **	Carga Total ***
(10,158)	1438	378	1816
(28,58)	15	1229	1244
(157,158)	551	571	1122
(2,24)	58	986	1044
(28,66)	129	910	1039
(10,147)	915	43	958
(10,80)	691	159	850
(15,158)	762	57	819
(10,27)	298	513	811
(98,110)	22	775	797
(25,105)	108	663	771
(76,120)	48	689	737
(92,112)	17	715	732
(10,148)	561	164	725
(28,63)	0	722	722
(59,111)	5	684	689
(10,157)	657	8	665
(2,10)	112	549	661
(99,106)	7	647	654
(24,141)	7	633	640

* Zonas entre las que se producen flujos máximos de viajeros.

**** Usuarios del vehículo privado captados si se estableciera una línea de transporte público entre las zonas (i, j), y que será igual a: $F_{priv}(i,j) \cdot \beta_{dir}$, siendo $F_{priv}(i,j)$, el número total de viajes diarios entre las zonas i y j.**

***** Carga Total (i, j) = $F_{pub}(i, j) + F_{priv}(i,j) \cdot \beta_{dir}$**

siendo: $F_{pub}(i, j)$ la demanda de viajes en transporte público entre i y j

β_{dir} , el porcentaje de usuarios del transporte privado captados al unir i y j por una ruta directa de transporte urbano.

4.10.2.3.1. SIETE RUTAS. N = 7. SIN LÍNEA DE METRO.

Realizando los cálculos anteriormente descritos para obtener los nodos generadores y utilizando los mismos parámetros que en el ejemplo 4 (apartado 4.10.2.1.)

<u>EJEMPLO 6. CASO 4.10.2.3.1.</u>			
APLICACIÓN A LA CIUDAD DE SEVILLA.			
Utilizando la matriz de demanda de transporte público y de uso de transporte privado.			
alfa_bus = 0.65		alfa_metro = 0.85	
beta_dir = 0.45	beta_b_m = 0.15		beta_b_b=0.07
n_entre = 8	n_max_nodos = 14		L = 4000 m.
ruta_metro = [0]		NO EXISTE RUTA DE METRO	

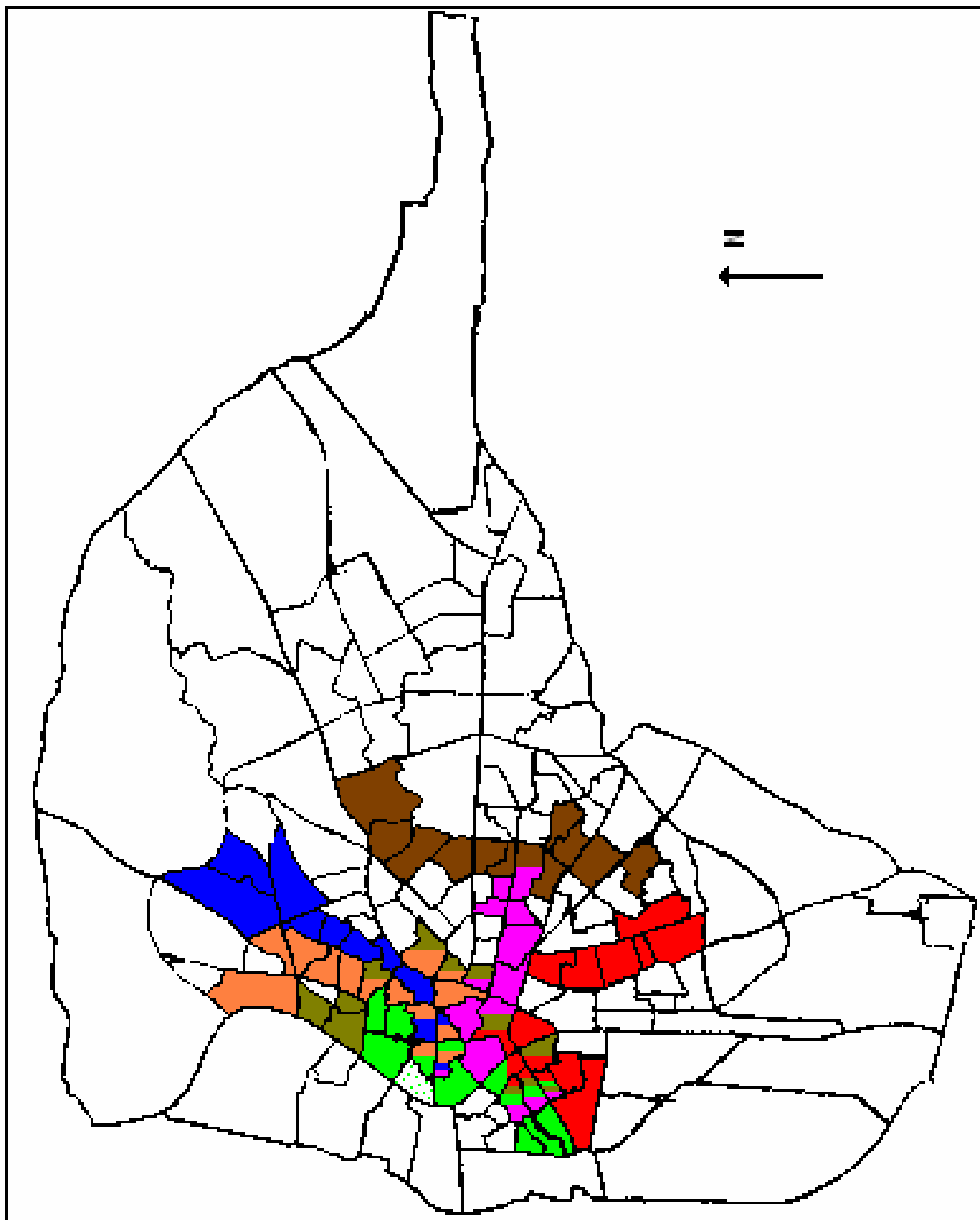


figura 2.3.1 Matrices de demanda de Transporte Público, y de uso Privado. $N = 7$.

En el esquema anterior puede apreciarse la importancia que recobran las rutas radiales, en concreto las radiales Norte, que son muy importantes a la hora de satisfacer la demanda de transporte público.

También aparece una ruta radial Este que atraviesa Nervión hasta llegar a Los Remedios pasando muy próxima al Centro.

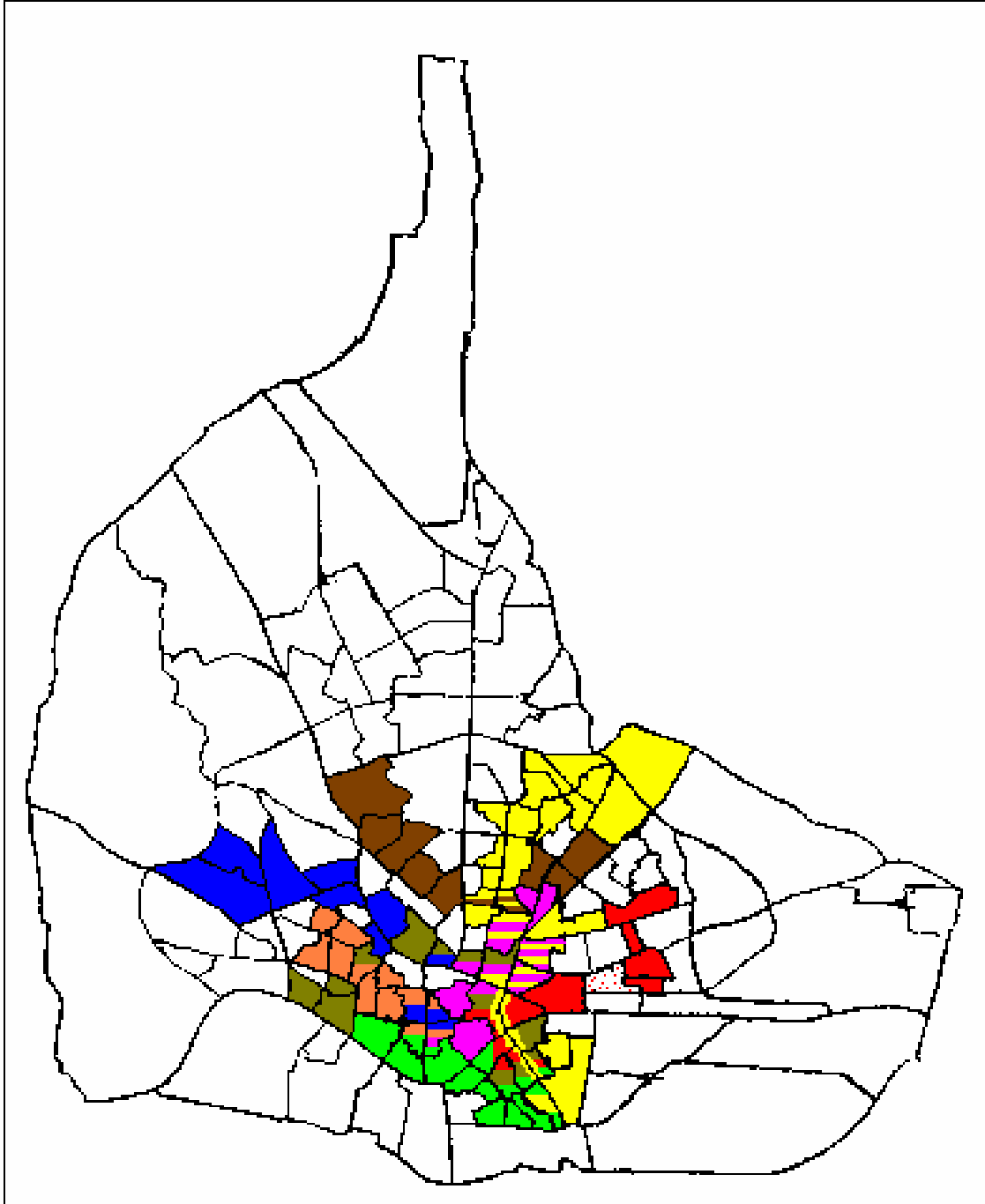
La ruta 6 (marrón), es una ruta transversal originada por el elevado número de viajes en coche realizados entre el Polígono San Pablo y los Polígonos Industriales de HYTASA y NAVISA en el distrito Sur.

Las zonas de Los Remedios siguen suponiendo una elevada demanda de viajes, son muchas las rutas que llegan a este barrio.

La ruta 7 tiene cierta estructura que recuerda a las líneas circulares de TUSAM, probablemente interesaría aumentar la longitud de ésta y hacerla completamente circular.

4.10.2.3.2. SIETE RUTAS. N = 7. CON LÍNEA DE METRO.

Con el mismo valor de los parámetros anteriores, pero introduciendo la línea 1 del metro.



Además de las variaciones típicas en aquellas rutas que coinciden en algunas zonas con aquellas en las cuales hay establecidas paradas de metro, tal es el caso de las rutas 2, 5 y 6 (roja, morada y marrón, respectivamente), que modifican su trayectoria en algunas zonas coincidentes con el metro, para cubrir otras zonas; también son apreciables algunos cambios en las rutas radiales Norte (1 y 4, azul y naranja, respectivamente).

4.10.2.4. **EJEMPLO 7:**

Volveremos a aplicar el mismo criterio para la elección de los nodos generadores explicado en el ejemplo anterior; pero en esta ocasión vamos a aumentar la captación hacia el transporte público de los usuarios de vehículo privado, si les ofrecemos una ruta que una sus orígenes y destinos. Así pues aumentaremos **beta_dir** a 0.65.

Zonas[*] (i, j)	Demanda Transporte Público	Usuarios de Vehículo Privado captados^{**}	Carga Total^{***}
(10,158)	1438	45	1983
(28,58)	15	1776	1791
(2,24)	58	1424	1482
(28,66)	129	1319	1448
(157,158)	551	825	1376
(98,110)	22	1119	1141
(25,105)	108	958	1066
(92,112)	17	1032	1049
(76,120)	48	96	1044
(28,63)	0	1043	1043
(10,27)	298	741	1039
(59,111)	5	988	993
(10,147)	915	62	977
(99,106)	7	935	942
(10,80)	691	230	921

Nuevamente, la matriz de transporte privado, vuelve a tener un peso bastante importante a la hora de tomar los nodos generadores de las rutas.

El valor de los parámetros será el mismo que los tomados en el ejemplo 5 (apartado 4.10.2.2.).

4.10.2.4.1. SIETE RUTAS. N = 7. SIN LÍNEA DE METRO.

<u>EJEMPLO 7:</u>			
APLICACIÓN A LA CIUDAD DE SEVILLA.			
Utilizando la matriz de demanda de transporte público y de uso de transporte privado.			
alfa_bus = 0.65		alfa_metro = 0.85	
beta_dir = 0.65	beta_b_m = 0.15	beta_b_b=0.1	
n_entre = 8	n_max_nodos = 14	L = 4000 m.	

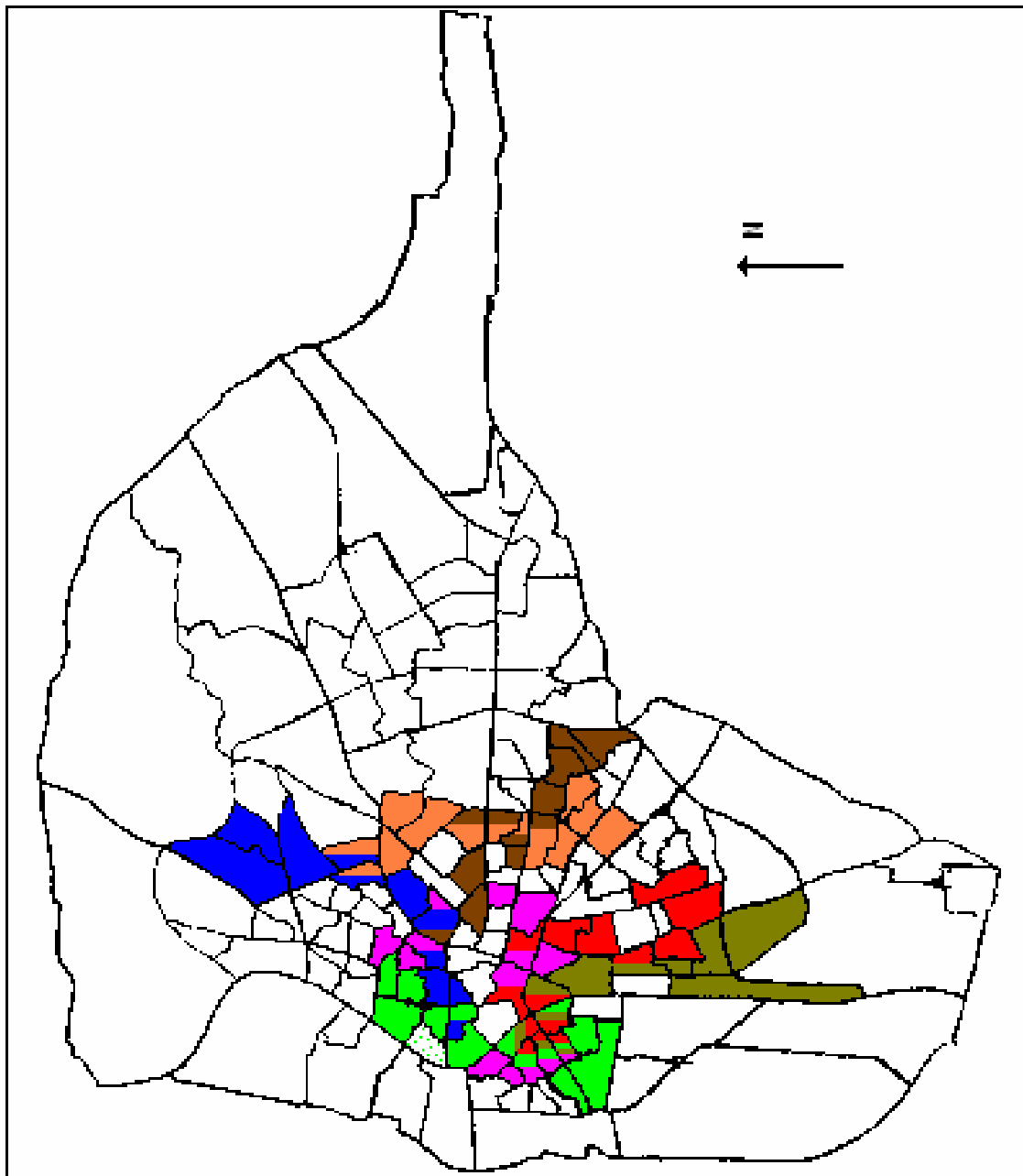
Con el aumento de los parámetros **beta**, volvemos a otorgar más importancia a la captación de usuarios del transporte privado, esto se verá traducido en algunos cambios sobre las rutas, respecto al caso anterior (ejemplo 6).

Se pierde una de las rutas radiales Norte, y aparece una nueva radial Sur que une la zona de los Bermejales y el Puerto con Los Remedios.

Aparece una nueva línea transversal desde la Macarena hacia Sevilla Este.

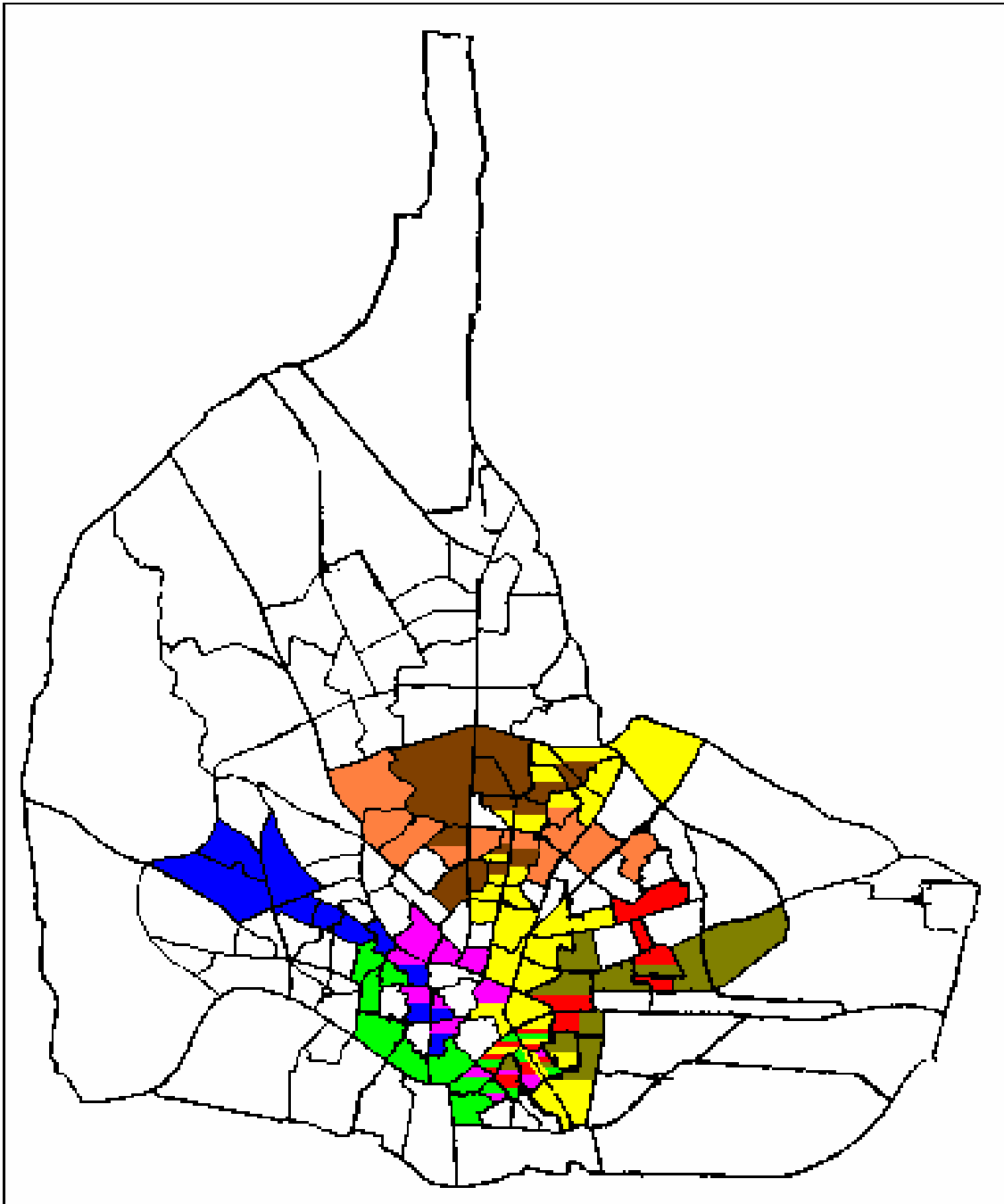
Las rutas 1, 2 y 3 (azul, roja y verde brillante, respectivamente), aunque mantienen su estructura básica, cambian algunas de sus zonas de paso.

La ruta 5 (morada) mantiene una estructura similar a la 7 en el ejemplo 6 (anterior), medio circular.



4.10.2.4.2. SIETE RUTAS. N = 7. CON LÍNEA DE METRO.

Introduciendo ahora la línea 1 de metro.



Los cambios producidos con respecto a la situación en la que no había metro responden a los habituales en estos casos.

Se observan cambios en los itinerarios de aquellas rutas que coincidían en el ejemplo anterior con algunas de las zonas cubiertas por la línea de metro. Obsérvense los cambios en las rutas 3 y 4 (verde brillante y naranja) aunque siguen manteniendo la estructura básica.

Cambios más notables son los de las rutas 2, 5 y 6 (roja, morada y marrón, respectivamente).

La ruta 1 (azul), aunque no se ve influenciada directamente por la línea de metro, también se ve afectada de algún modo por los cambios producidos, pues varía sus zonas de paso, aunque siga manteniendo una clara estructura radial norte con la intención de satisfacer la fuerte demanda de transporte público entre Pino Montano y el Centro.

4.11 ANÁLISIS DE LOS TIEMPOS DE COMPUTACIÓN.

El algoritmo creado es bastante exhaustivo (no heurístico), excepto en la elección de los nodos que inician las rutas; es decir, los nodos candidatos a ser unidos a una ruta determinada son todos aquellos que no pertenezcan ya a la ruta, y que unidos a la ruta en estudio, no produzcan una longitud de la misma superior a la especificada. Es decir, son analizados un elevado número de nodos candidatos para cada ruta, de modo que cuantas más rutas se estén creando, más cálculos deberán realizarse.

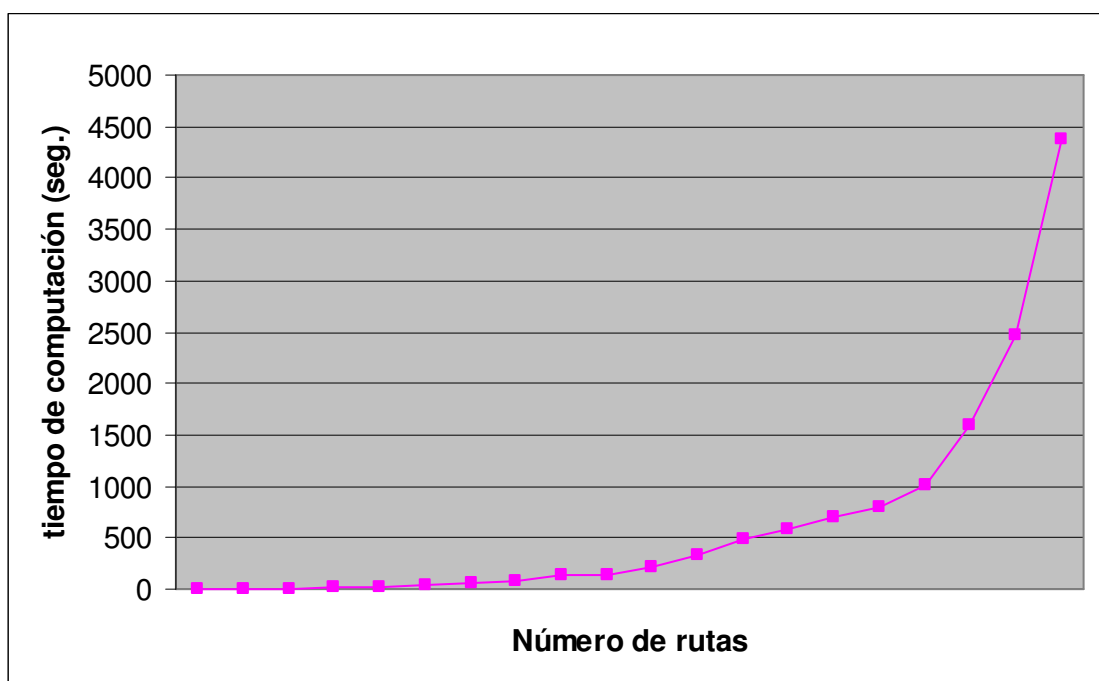
Los tiempos de computación del algoritmo, contabilizados desde que son introducidos los datos hasta que termina de ejecutarse la función *carga_rutas*, (es decir sin contar el tiempo que se tarda en enviar las soluciones al archivo de texto *soluciones.txt*), y suponiendo que el algoritmo comienza a trabajar con las matrices tanto de flujos como de distancias ya tratadas; para el caso de la aplicación a la ciudad de Sevilla (164 nodos), y en concreto para el *ejemplo 1* realizado en el *ensayo 1*, fueron los siguientes (utilizando un microprocesador *Pentium IV, 2.40 GHz*.):

N (número de rutas creadas)	Tiempo (seg.) función <i>maximos</i>	Tiempo (seg.) función <i>cálculo</i>	Tiempo (seg.) función <i>carga_rutas</i>	Tiempo total (seg.) de computación
1	0.01	0.741	0.01	0.761
2	0.01	3.565	0.01	3.585
3	0.021	9.283	0.01	9.314
4	0.03	12.798	0.02	12.849
5	0.04	27.54	0.03	27.61
6	0.11	39.056	0.06	39.226
7	0.09	59.275	0.08	59.446
8	0.08	87.055	0.101	87.235
9	0.08	133	0.13	133.211
10	0.12	138.479	0.171	138.769
11	0.19	209.682	0.26	210.132

12	0.35	337.626	0.32	338.296
13	0.17	478.348	0.411	478.928
14	0.3	589.978	0.5	590.779
15	0.22	696.392	0.691	697.302
16	0.19	805.288	0.72	806.199
17				1004.8
20				1599
25				2469.5
30				4369.3

Como se observa en la tabla anterior, los tiempos que el algoritmo emplea en calcular los nodos generadores de las diferentes rutas (función *máximos*), y en calcular la carga de las mismas (función *carga_rutas*), es despreciable frente al tiempo empleado en la función *cálculo*, que es la encargada de generar las rutas a partir de los nodos obtenidos en la función *máximos*.

En la gráfica siguiente se muestra el crecimiento de los tiempos de computación conforme aumenta el número de rutas creadas.



A partir de $N = 8$, el crecimiento del tiempo de computación es prácticamente exponencial.

Es importante tener en cuenta que, normalmente, dispondremos de matrices de flujos de viajes no simétricas, es decir, $f_{ij} \neq f_{ji}$ (la demanda de viajes con origen en la zona i y destino en la zona j , no tiene por qué ser igual que la demanda desde j hacia i). El algoritmo, trabaja con la matriz simétrica $F_{ij} = F_{ji} = f_{ij} + f_{ji}$, así pues, si no disponemos de las matrices que definen la demanda de transporte tratadas, es decir, simétrica; lo primero que hará el programa es crear la matriz simétrica. Sin embargo, éste no es un proceso que lleve demasiado tiempo gracias a la facilidad que tiene MATLAB para trabajar con matrices. En nuestra aplicación, con 164 zonas de transporte (164 nodos), el tiempo que tarda el programa en crear la matriz simétrica es inferior a 1 segundo.

También son despreciables los tiempos de computación de la función *Longitud_rutas*, que halla la posición que debe ocupar el nodo candidato en la ruta en estudio para que la longitud de la misma sea mínima; aproximadamente 0.01 segundos.

4.12 ANÁLISIS SOBRE LA ELECCIÓN DE LOS “NODOS ORIGINADORES”.

Es evidente que debemos optar por emplear algún método para iniciar las rutas, y que la elección de los dos nodos “iniciales” de las mismas puede ser un elemento muy influyente en la configuración final de las rutas.

La elección de los “nodos originadores” o generadores de las rutas, como aquellos pares entre los que se produce una mayor demanda de viajes es, a priori, una idea bastante lógica y válida; pero no se trata, por supuesto, de un método exhaustivo que examine todos los casos posibles, sino más bien de un heurístico. Hacer un análisis completo de qué nodos resultan los adecuados para actuar como generadores de una ruta es una tarea que podríamos clasificar de casi imposible, por la cantidad de consideraciones a tener en cuenta. Es por esto, que el método propuesto (comenzar las rutas con aquellos nodos entre los que se produce una mayor demanda de viajes), puede no ofrecernos siempre las mejores soluciones, pero sí proporciona resultados bastante satisfactorios, a tenor de los ejemplos realizados y de los experimentos que se mostrarán a continuación.

Con la intención de comprobar la validez del método de elección de los nodos generadores se recurrió a realizar el siguiente experimento:

1. Tomar los treinta pares de nodos entre los que se produce una mayor demanda de viajes.
2. De esos treinta pares, tomar al azar N pares entre los que iniciar las N rutas; teniendo en cuenta, siempre, las consideraciones explicadas en capítulos anteriores (distancia entre nodos inferior a L , que ambos nodos no pertenezcan a una línea principal –metro-, y comprobando en cada iteración si el par de nodos generadores (“nodos originadores”) elegido puede ser integrado dentro de una ruta ya iniciada).
3. Tras finalizar la generación de las N rutas, comprobar el valor de la carga total de viajeros y de la suma de las longitudes de rutas.

Cuanto mayor sea la carga total y menor la longitud total de la red de rutas generadas, mejor será ésta.

En realidad podemos fijarnos tan sólo en la carga de la red, puesto que la longitud total de la misma nunca va a ser un factor determinante, pues la diferencia entre unas y otras serán apenas de centenares de metro, ya que todas las rutas tienden a aproximarse a la longitud máxima permitida.

Este experimento fue realizado sobre dos ejemplos ya mostrados en la aplicación del algoritmo a la ciudad de Sevilla, en concreto, el ejemplo 2 del *ensayo 1*, y el ejemplo 7 del *ensayo 2*.

EXPERIMENTO 1:

Realización del experimento anteriormente descrito sobre el ejemplo 2 del *ensayo 1*. Como ya se describió en su momento, en este ejemplo se trazaban rutas a partir de la matriz de demanda de transporte público únicamente, y con los siguientes parámetros:

“nodos originadores” tomados al AZAR.		
APLICACIÓN A LA CIUDAD DE SEVILLA.		
Utilizando la matriz de demanda de transporte público		
alfa_bus = 0.65		alfa_metro = 0.8
n_entre = 10	n_max_nodos = 15	L = 5000 m.
ruta_metro = [0] NO EXISTE RUTA DE METRO		

Las rutas obtenidas, para $N = 6$, eligiendo como pares originadores de las rutas aquellos con un valor máximo en la demanda del transporte público, dieron lugar a una carga total de viajeros en toda la red de 155.166 viajeros diarios.

Los resultados obtenidos eligiendo al azar los nodos originadores de las rutas de entre los 30 entre los que hay una demanda de viajes máxima (ver tabla en página 208), tal y como se ha explicado anteriormente, fueron los siguientes:

Ensayo	Carga total de la red *	Longitud total de la red (m)
1	154.880	29.500
2	147.100	29.600
3	172.930	29.800
4	145.100	29.600
5	163.770	29.800
6	124.410	29.400
7	153.270	29.400
8	148.940	29.500
9	134.870	29.600
10	163.305	29.500
11	150.240	29.900
12	104.100	20.200
13	130.670	29.500
14	142.730	29.900
15	147.170	29.500
16	165.220	29.500
17	177.940	29.300
18	154.100	29.700
19	144.370	29.700
20	137.130	29.900
21	144.440	29.900
22	157.800	29.600
23	130.840	29.500
24	160.730	29.600
25	131.290	29.300
26	121.270	29.700
27	117.884	29.800
28	148.870	29.700

29	171.990	29.800
30	129.640	29.700
31	104.470	29.500
32	142.440	29.800
33	133.700	29.700
34	95.571	29.700
35	121.700	29.800

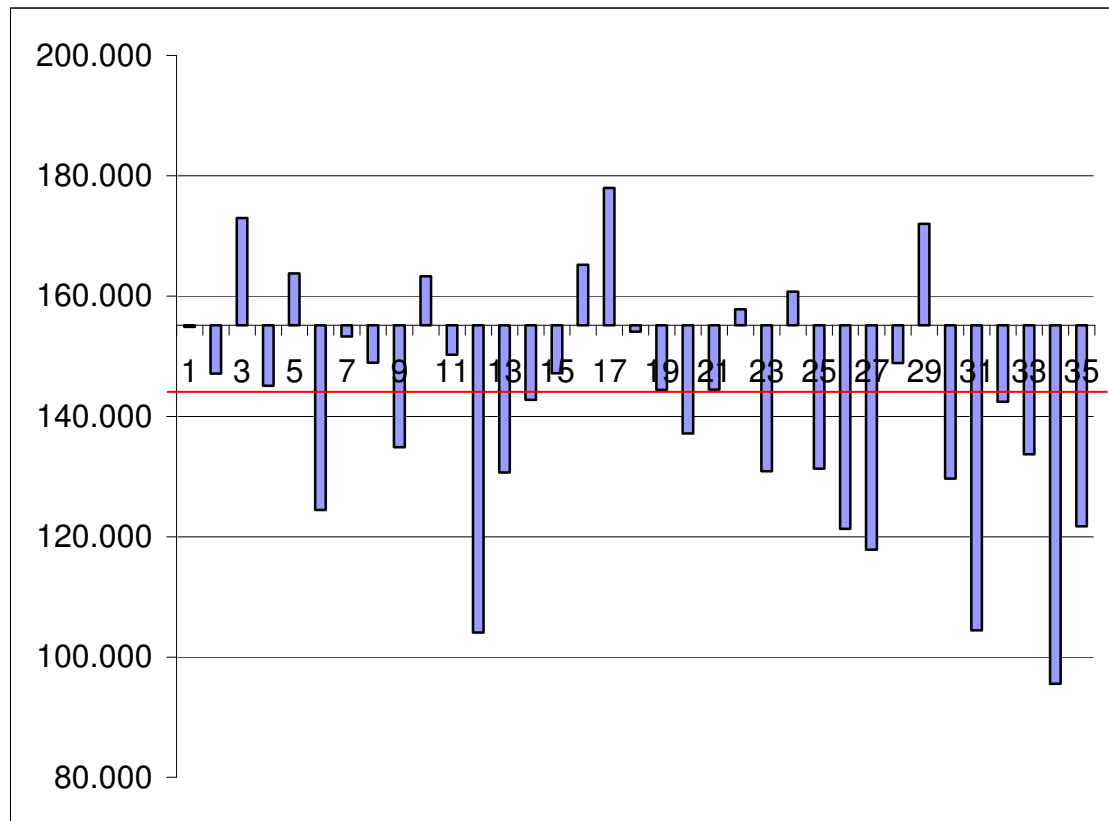
*** viajeros / día**

Señalados en gris están aquellos ensayos en los que se obtuvo un valor de la carga de red superior al obtenido en el ejemplo 2, realizado en el capítulo 4.

Sólo en 8 de los 35 ensayos realizados, la carga total de la red fue superior a la obtenida en el ejemplo 2, cuando se recurrió a elegir a los nodos generadores como aquellos entre los que se producía una demanda máxima.

Aunque en alguna ocasión hay configuraciones de rutas que superan en 20.000 viajeros diarios a la carga obtenida con nuestro algoritmo (ensayo 17), en otras, es muy inferior, de hasta 60.000 viajeros menos en el ensayo 34. En resumen, podemos ver como en 26 de los 35 ensayos (74,28% de las ocasiones), los resultados obtenidos eligiendo los nodos generadores de las rutas al azar fueron peores que empleando el método hasta ahora seguido en nuestro algoritmo.

En la siguiente gráfica se visualiza claramente lo comentado en los párrafos anteriores.



La línea roja sobre el gráfico, representa la media de las cargas obtenidas en los 35 ensayos realizados en este experimento:

Carga media = 142.140 viajeros/día

En concreto, la media es inferior en 13.026 viajeros al resultado obtenido por nuestro algoritmo implementado.

Los resultados de los diferentes ensayos nos muestran una desviación estándar de 19.770 viajeros. Definida ésta del siguiente modo:

$$s = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^{1/2},$$

siendo $\bar{x}$ la carga media.

EXPERIMENTO 2:

A continuación, realizamos el mismo experimento sobre el ejemplo 7 del *ensayo 2*, en el cual además de la matriz de demanda de transporte público se utilizaba la matriz de uso del transporte privado. Los nodos generadores eran aquellos que presentaban un valor mayor de la matriz $F_{publico} + F_{privado} \cdot beta_dir$.

La red de rutas obtenidas, para $N = 7$ y sin línea de metro, supuso una carga total soportada de 174.367 viajeros diarios.

Los parámetros introducidos fueron los siguientes:

“nodos generadores” tomados al AZAR. APLICACIÓN A LA CIUDAD DE SEVILLA.			
Utilizando la matriz de demanda de transporte público y de uso de transporte privado. $F_{publico} + F_{privado} \cdot beta_dir$.			
alfa_bus = 0.65		alfa_metro = 0.85	
beta_dir = 0.65	beta_b_m = 0.15		beta_b_b=0.1
n_entre = 8	n_max_nodos = 14		L = 4000 m.
ruta_metro = [0] NO EXISTE RUTA DE METRO			

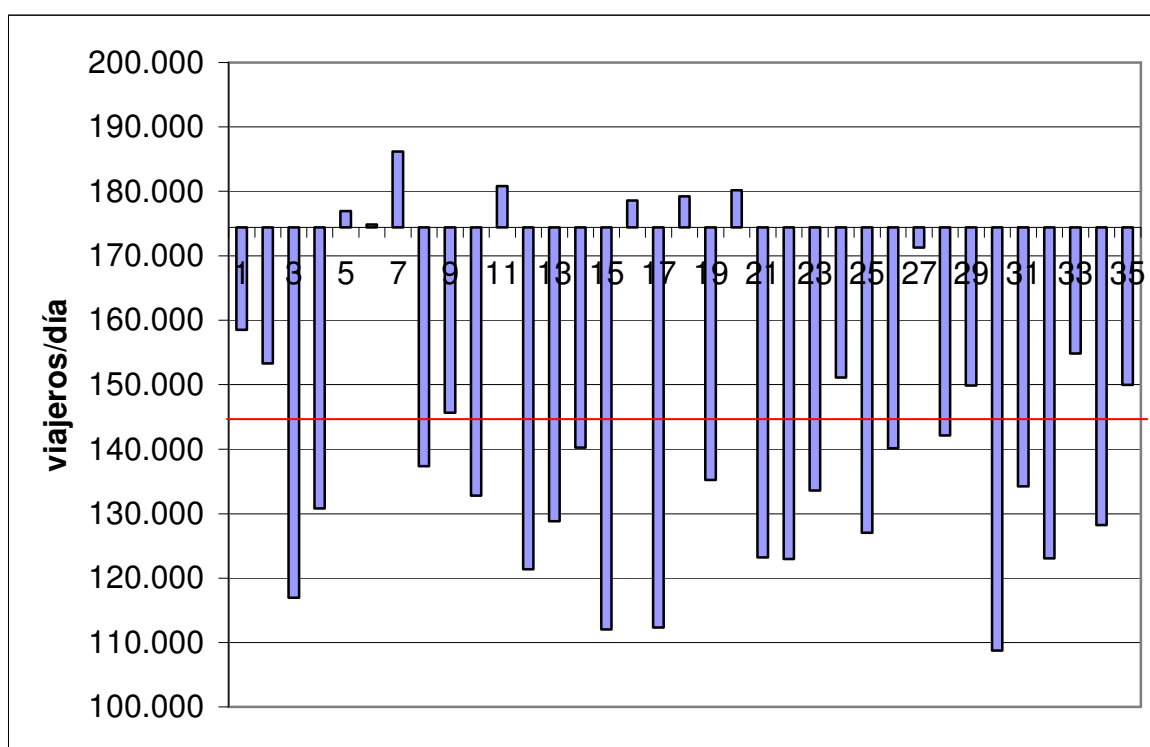
En la tabla siguiente podemos observar los resultados obtenidos en 35 ensayos. Marcados en gris están aquellos en los que se consiguió un valor de carga total de la red superior al obtenido por nuestro algoritmo.

Ensayo	Carga total de la red	Longitud total de la red (m)
1	158.540	27.600
2	153.310	27.500
3	116.960	27.500
4	130.840	27.700
5	176.920	27.500
6	174.850	27.800
7	186.180	27.700
8	137.360	27.900
9	145.640	27.400
10	132.840	27.600
11	180.830	27.600
12	121.360	27.700
13	128.860	27.600
14	140.240	27.700
15	112.020	27.700
16	178.550	27.600
17	112.330	27.600
18	179.230	27.500
19	135.190	27.900
20	180.140	27.200
21	123.200	27.400
22	122.960	27.400
23	133.580	27.700
24	151.130	27.500
25	127.050	27.900
26	140.130	27.900
27	171.300	27.600
28	142.130	27.800
29	149.870	27.700
30	108.740	28.000
31	134.210	27.600
32	123.060	28.000
33	154.830	27.200
34	128.220	27.800

35	149.960	27.800
----	---------	--------

En un 80 % de los ensayos, el valor de la carga total de la red fue inferior a la obtenida tomando los nodos originadores como aquellos con un valor mayor de demanda de viajes. Es decir, el azar sólo nos proporciona en un 20% de las ocasiones mejores resultados. Aunque si nos fijamos en la tabla, tampoco son valores muy superiores a los proporcionados por el algoritmo; sin embargo, sí hay valores muy inferiores.

En la siguiente gráfica en la que se ha situado el eje horizontal en los 174.367 viajeros/día, se aprecia claramente lo dicho en el párrafo anterior. De 35 ensayos, sólo 7 ensayos dieron levemente mejores resultados. En los otros 28, los resultados fueron, en la mayoría de los casos, bastante peores.



Carga media = 144.070 viajeros/diarios.
Desviación estandar = 22.651 viajeros

La carga media es inferior en 30297 viajeros a la carga obtenida por el algoritmo implementado.

CONCLUSIONES:

Enfrentando el método de elección de los nodos generadores de las rutas utilizado en el algoritmo, con otro método en el cual se utiliza el azar para elegir de entre los treinta pares de nodos con flujo máximo, los nodos iniciales de las N rutas; se obtiene como conclusión que el método escogido en nuestro algoritmo resulta bastante fiable y adecuado en comparación con el último analizado. Si bien, es importante dejar claro, que aunque el método elegido da buenos resultados, no es el mejor, pues hay redes de rutas con una carga total superior a la conseguida con el algoritmo implementado.