

# 1. INTRODUCCIÓN.

---

## 1.1. INTRODUCCIÓN.

Se presenta el diseño e implementación de dos aplicaciones, un cliente y un servidor, que se comunican mediante un protocolo de comunicación diseñado exclusivamente para intercambiar parámetros para el cálculo de recomendaciones de transporte intermodal. El objetivo que tienen estas aplicaciones es la de ser integradas en un sistema de información, que ofrezca un servicio de recomendación de itinerarios intermodales para el transporte público de pasajeros. Este sistema se valdrá de las ventajas de las nuevas tecnologías para proporcionar a sus usuarios una interfaz sencilla, atractiva y eficaz que mimetice toda la complejidad inherente al paradigma de las comunicaciones entre diferentes tipos de redes de transmisión de datos y en tiempo real.

La finalidad de este sistema que ofrece recomendaciones de itinerarios intermodales según unos criterios fijados por el usuario final del mismo, es mejorar la movilidad de pasajeros, considerando únicamente el transporte público. Se implementan las aplicaciones CLIENTE y SERVIDOR con el objeto de proporcionar al usuario del sistema recomendaciones multimodo entre un origen y un destino, considerando transporte público, con restricciones como limitación de plazas, optimización del coste y/o tiempo del viaje, los modos de transporte deseados, y un número máximo de recomendaciones.

### 1.1.1 Transporte intermodal de pasajeros.

Se define la intermodalidad de transporte de pasajeros como la propiedad que hace posible un desplazamiento entre dos puntos de un sistema de transporte, que involucre distintos y sucesivos modos de transporte (dos o más).

Cada modo de transporte con sus ventajas, contribuye a aumentar los niveles de seguridad, la flexibilidad, reducir el consumo de energía y el impacto medioambiental. El transporte intermodal permite a cada modo desempeñar su papel en la construcción de cadenas de transporte que, en conjunto, son más eficientes, de menor costo y sostenibles. Todo ello con un claro objetivo, mejorar la sostenibilidad del transporte y aumentar la eficiencia de sistema de transporte (disminuyendo la congestión y reduciendo el tiempo de viaje).

Las redes de transporte Intermodal para pasajeros deben proporcionar una vía libre de irregularidades para llegar a ser una alternativa atractiva frente al transporte privado. A este respecto, las cadenas intermodales pueden comprender todos los modos de transporte: modo peatonal, transporte público, bicicleta y uso del coche.

Por todo ello, la mejora de la intermodalidad en el transporte de personas y mercancías se ha convertido en una de las grandes prioridades de la Comisión Europea en materia de transporte desde finales de la década de los 90.

### **1.1.2. Una política común de Transportes dentro de la UE.**

La intermodalidad fue una línea prioritaria de financiación a través del VI Programa Marco, y lo será en el VII Programa Marco a través de EUROCIENCIA ingenio 2010. Hasta ahora son numerosas las dificultades para disponer de un sistema de transporte que contemple el intercambio modal como una realidad. La mayoría de los problemas en este ámbito surgen de la diferencia de competencias entre administraciones y de la dificultad para disponer de un sistema de información que facilite la toma de decisiones en cuanto a itinerarios con múltiples modos de transporte, tanto a nivel de movilidad de las personas como en el transporte de mercancías.

El Programa Marco es la principal iniciativa comunitaria de fomento y apoyo a la I+D en la

Unión Europea, financiando fundamentalmente actividades de investigación básica, desarrollo tecnológico, demostración e innovación en régimen de colaboración transnacional entre empresas e instituciones de investigación pertenecientes tanto a los países de la Unión Europea y Estados Asociados como de Terceros Países. Además de lo anterior presta asimismo apoyo financiero a la mejora y coordinación de las infraestructuras de investigación europeas, a la promoción y formación del personal investigador, y a la coordinación de los programas nacionales de I+D y a la puesta en funcionamiento de plataformas tecnológicas europeas[14].

El mercado único dentro de la UE ha contribuido de manera decisiva al hito de alcanzar una política común de transporte entre los estados miembros. Ello se debe a que las medidas de liberalización y la supresión de fronteras han provocado un gran aumento de la demanda de transportes, y para hacer frente a posibles problemas de saturación y congestión, se hace indispensable una aproximación común a dicho escenario.

Como respuesta ha esta necesidad surge el Libro Blanco sobre política de transportes. Este constituye un verdadero plan de acción tendente a mejorar la calidad y la eficacia de los transportes europeos. El objetivo final es adaptar los diferentes modos de transporte de cara al 2010 mediante el desarrollo de la intermodalidad.

La normativa europea va encaminada a equilibrar el actual reparto entre modos de transporte para:

- Descongestionar las carreteras.
- Reducir el consumo energético.
- Proteger el medio ambiente.
- Aumentar la seguridad.

Para conseguirlo la UE a desarrollado actuaciones en los siguientes ámbitos:

- Liberalización de restricciones cuantitativas
- Supresión de obstáculos administrativos.
- Concesión de reducciones fiscales

### 1.1.3. Transporte y Telecomunicaciones.

Transporte: se denomina transporte (del latín *trans*, "al otro lado", y *portare*, "llevar") al traslado de personas o bienes de un lugar a otro. Dentro de esta acepción se incluyen numerosos conceptos, de los que los más importantes son infraestructuras, vehículos y operaciones.

Telecomunicación: la telecomunicación (del prefijo griego *tele*, "distancia" o "lejos", "comunicación a distancia") es una técnica consistente en transmitir un mensaje desde un punto a otro. El término *telecomunicación* cubre todas las formas de comunicación a distancia, incluyendo radio, telegrafía, televisión, telefonía, transmisión de datos e interconexión de ordenadores a nivel de enlace.

Las telecomunicaciones y el transporte pueden ser conceptos tanto excluyentes como complementarios. Por un lado el desarrollo de las telecomunicaciones ha supuesto la no necesidad de tener que desplazarse físicamente para transmitir información, situación que ejemplifica claramente en el empleo del teléfono o la videoconferencia, por citar dos claros ejemplos. Sin embargo, el avance de las telecomunicaciones es y continuará siendo un factor crucial en el desarrollo de los sistemas de transporte de todo tipo.

Un gran ejemplo de ello es el auge actual de la industria Aeroespacial. Los vuelos en avión, tal como los conocemos hoy en día, no serían posibles si no fuera por el papel esencial que juegan las

telecomunicaciones. Estas son cruciales tanto como para gestionar la red de aeronaves mediante el control de tráfico aéreo (ATN: Aeronautical Telecommunication Network), las comunicaciones entre aeronave y estación terrestre (ACARS: Aircraft Communications Addressing and Reporting System); como para el correcto funcionamiento de la aeronave en sí, al que contribuyen los diferentes sistemas del avión (FADEC: full authority digital engine control; FMS: flight management system; AFDX: Avionics Full-Duplex Switched Ethernet; IMA: Integrated Modular Avionics; etc).

Otro claro ejemplo son los sistemas ITS (Intelligent Transportation Systems) o Sistemas Inteligentes de Transporte. Se denomina ITS al conjunto de tecnologías orientadas a resolver problemas de transporte tanto de pasajeros como de bienes. Estos sistemas se sirven de las telecomunicaciones para mejorar la eficiencia de los medios de transporte, aumentando la movilidad, la comodidad y la seguridad, y al mismo tiempo reduciendo el consumo de combustible y los efectos adversos sobre el medio ambiente. Son considerados ITS los Sistemas Avanzados de Gestión de Tráfico (ATMS ) y los Sistemas de Asistencia al Conductor (ADAS), entre otros muchos.

### **1.1.4. El problema del cálculo de recomendaciones.**

El sistema de información que proporciona recomendaciones de transporte intermodal para pasajeros surge como respuesta al siguiente escenario [23]: una persona desea realizar un viaje desde una localidad a otra del territorio nacional, dichas ciudades se encuentran lo suficientemente alejadas como para que sea necesario el uso de varios modos de transporte. El usuario, que es consciente de que tendrá que utilizar varios modos de transporte, desea hacer la reserva del viaje por medio de un sólo trámite. Es decir, el viajero no quiere complicaciones y quiere conocer las diferentes opciones que tiene para llegar desde la ciudad origen a la de destino, para acabar

eligiendo la que más le satisfaga según sus preferencias económicas, de tiempo y modos de transporte a usar. Además, el viajero quiere tener la opción de que si cuando ya está realizando uno de los trayectos surge alguna incidencia que afecte a los trayectos restantes, sea informado de dicha circunstancia y pueda diseñar de nuevo su itinerario para salvar ese inconveniente.

Las recomendaciones serán calculadas de acuerdo a las siguientes restricciones:

- Viajes multimodales: autobús, tren, transporte marítimo y/o fluvial, y avión.
- Múltiples compañías de transporte que actúan sobre una misma red de transporte compuesta por diferentes ciudades y las infraestructuras que las comunican.
- El usuario del sistema desea realizar un reserva con un determinado número de plazas y con antelación, para toda la cadena intermodal.
- El número de plazas para los diferentes medios de transporte es limitado.
- Cada compañía tiene establecido una serie de horarios que puede variar en función de la estación.
- Preferencias de los viajeros: coste mínimo, tiempo mínimo de viaje, optimización del trayecto a recorrer, o una combinación de ellas.

Por todo ello, el sistema dispondrá de una base de datos donde se almacenará toda la información relativa a la red de transporte, horarios, viajes y también se reserva espacio para almacenar los datos de clientes y reservas realizadas. Esta base de datos es la que da soporte al método de recomendación de viajes, que ante una petición de itinerario de usuario (ciudades origen/destino, fecha y hora de viaje, plazas y criterio de búsqueda) calcula las mejores posibilidades de viaje entre las ciudades y muestra el resultado al usuario final.

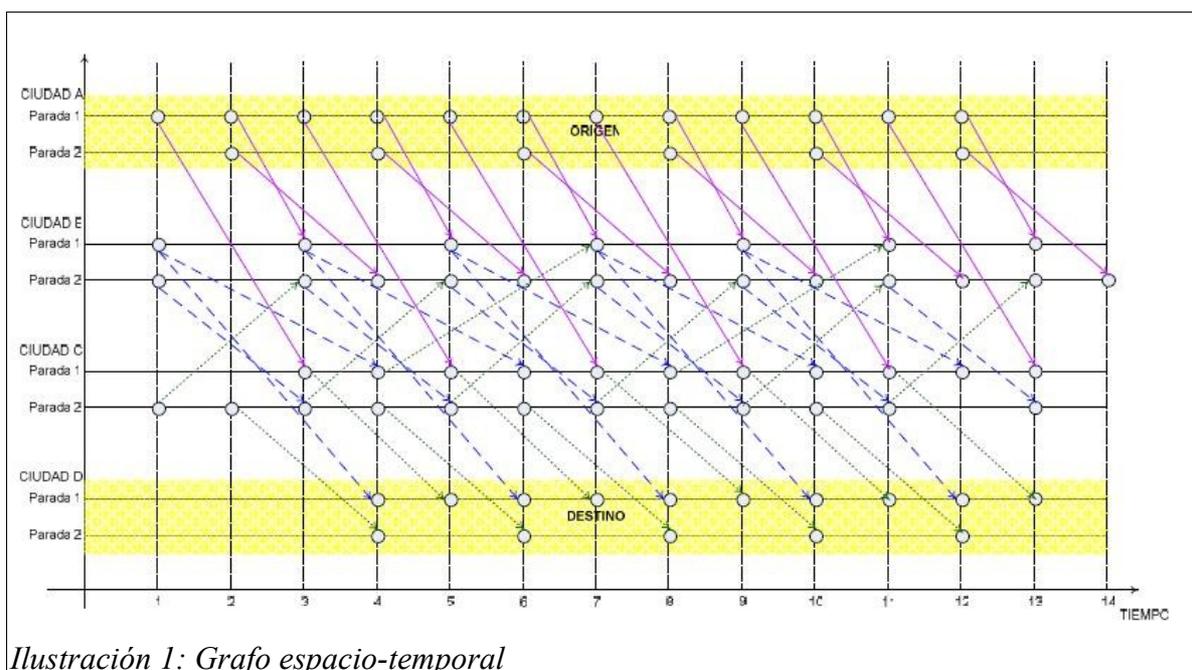
La red de transporte será modelada mediante un grafo espacio-temporal [23] que aglutina todas las alternativas de viajes. Se considerará que las distintas estaciones o paradas de los diferentes medios de transporte serán los nodos del grafo, que conformarán el conjunto  $N$  de nodos y que las

## Introducción

---

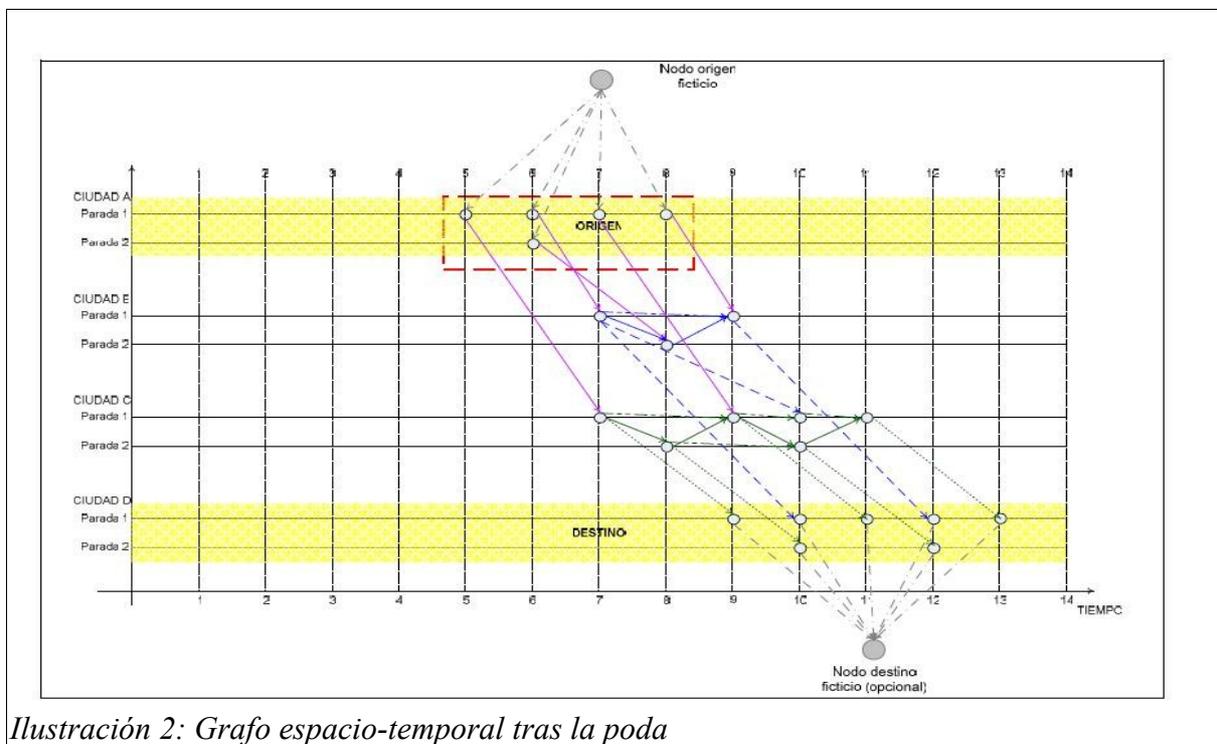
conexiones entre esas paradas serán los arcos, la totalidad de los cuales formarán el conjunto  $A$  de arcos. Si  $i$  y  $j$  son nodos genéricos,  $(i,j)$  será el arco que une esos nodos.  $G=\{N, A\}$  será el grafo que representa la red de transporte. A ello habrá que añadir una serie de variables binarias para modelar las diferentes restricciones de tiempos, número limitado de plazas, etc.

Por lo tanto, para obtener las recomendaciones habrá que resolver dicho grafo. Sin embargo, debido a que se trata de una red de transporte muy extensa con múltiples restricciones y múltiples funciones objetivo, la resolución analítica no es viable desde el punto de vista del consumo de recursos computacionales y de tiempo necesario para obtener las recomendaciones. Por consiguiente, se hace necesario realizar una poda del grafo, para la que se aplicará un algoritmo de poda que eliminará aquellos nodos y arcos que no intervengan en la recomendación. Posteriormente, se aplicará un algoritmo de obtención de K-caminos mínimos que proporcionará las recomendaciones que se buscan. Obteniendo así una solución exacta que es óptima y con un coste computacional completamente admisible para su implementación en aplicaciones de recomendación en tiempo real.



En el grafo espacio temporal las ciudades se representan en el eje vertical. Las diferentes estaciones en la misma ciudad se representan mediante líneas paralelas. Los nodos se representan mediante círculos, estando los más tempranos hacia la izquierda y los más tardíos a la derecha. Un arco entre dos nodos representa un desplazamiento, generalmente una parte de un viaje de una sola compañía. Los arcos representan un desplazamiento en el tiempo, de forma que los viajes están ordenados de la derecha a la izquierda. Esto hace que el grafo espacio-temporal sea dirigido y que, debido a que el tiempo no puede recorrerse en sentido inverso, no existan bucles.

El algoritmo que se utiliza para el cálculo de caminos mínimos es una variante del algoritmo de Dijkstra de K caminos mínimos desarrollado por Queirós y Margarida, que permite buscar distintas rutas mínimas entre dos puntos, pudiendo minimizar tanto el tiempo de viaje como el coste asociado a la ruta, o una combinación lineal de ambos.



*Ilustración 2: Grafo espacio-temporal tras la poda*

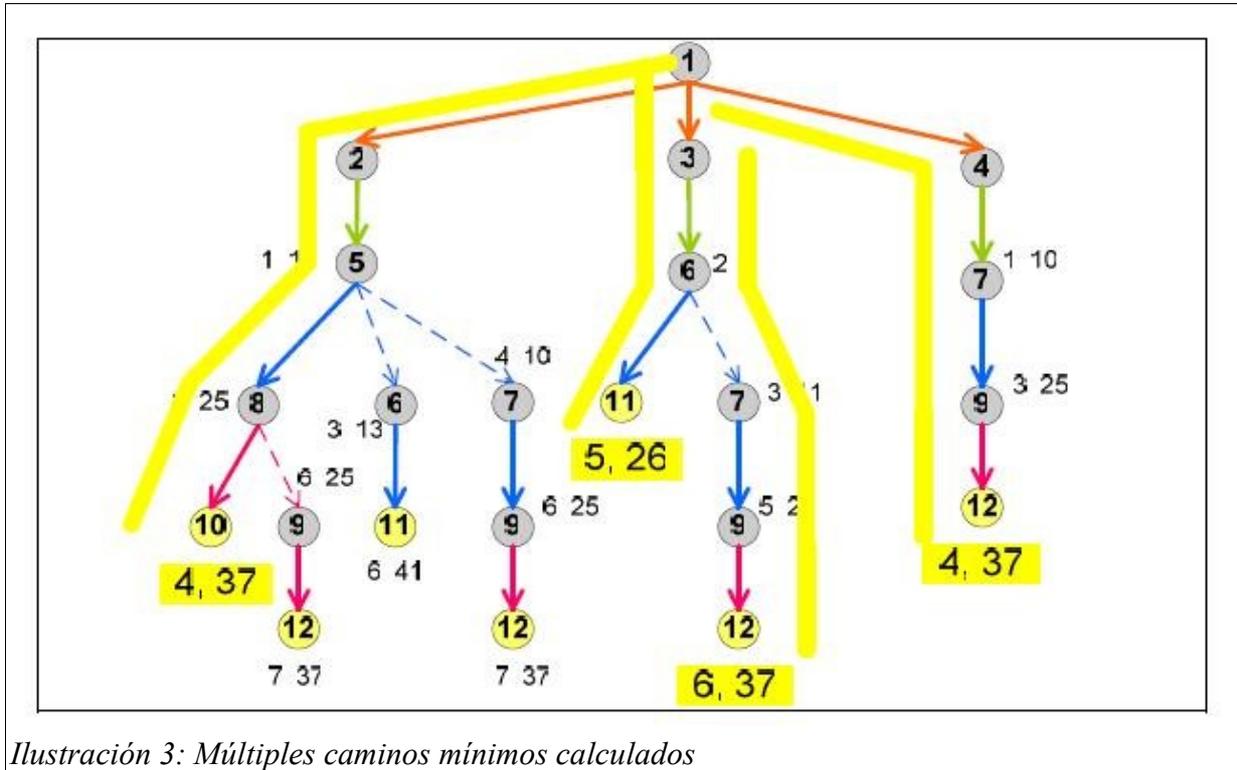


Ilustración 3: Múltiples caminos mínimos calculados

## 1.2. CONTENIDO DE LA MEMORIA.

En este documento se encuentra toda la información relacionada con la realización del proyecto, tanto la parte teórica que ha servido de base al estudio, como el diseño e implementación de las aplicaciones concretas.

Comienza con una descripción de los objetivos del proyecto, donde están presentes cuales son los aspectos que abarca el proyecto, las tecnologías que se han empleado en su desarrollo y una base teórica de las mismas para afrontar el proyecto con las nociones necesarias para su entendimiento y resolución.

En el capítulo Desarrollo del proyecto, se explican los distintos pasos seguidos para el diseño e implementación del proyecto. En primer lugar se hace un análisis de los mensajes que conforman el

## **Introducción**

---

protocolo que define la comunicación entre las aplicaciones CLIENTE y SERVIDOR. Posteriormente, se muestra el proceso de diseño de dichas aplicaciones y por último su implementación en lenguaje C.

Por último se presentan las distintas líneas de aplicación y propuestas de mejora, para finalizar con las conclusiones extraídas del desarrollo de este proyecto.