

Mejías Vera, M.A., Herrera Lorenzo, N., Vera Galván, J.R. y Pérez Pérez, M. (2010): Diseño de un modelo de datos de redes para el transporte multimodal. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 511-521. ISBN: 978-84-472-1294-1

DISEÑO DE UN MODELO DE DATOS DE REDES PARA EL TRANSPORTE MULTIMODAL

Mejías Vera, M.A.¹, Herrera Lorenzo, N.², Vera Galván, J.R.³, Pérez Pérez, M. ⁴

(1) Departamento de Geografía. Universidad de La Laguna. Campus Guajara, 38071. mmejias@ull.es

(2) Proyecto Estructurante de Transporte: Hacia un Sistema de Información para I+D+i en Transporte. IUDR (Instituto Universitario de Desarrollo Regional). Universidad de La Laguna. Campus Guajara, 38071. nherrera@ull.es

(3) Departamento de Geografía. Universidad de La Laguna. Campus Guajara, 38071. jrvera@ull.es

(4) Departamento de Geografía. Universidad de La Laguna. Campus Guajara, 38071. mperezpe@ull.es

RESUMEN

Esta comunicación tiene por objeto el análisis de las relaciones entre redes de transporte y paisaje. Se aborda el análisis de la estructura de la red y su caracterización, para dar soporte a la modelización de distintos escenarios, lo que implica un complejo modelo de datos en el que se trabaja con una red multimodal conformada por los siguientes modos: transporte por carretera, ferroviario, peatonal y náutico. Se hace hincapié en el transporte combinado que emplea los diferentes modos, como ocurre frecuentemente con el viaje turístico. El territorio en el que se construye el modelo, a partir de los mapas topográficos 1:5000 y 1.000, que se complementan con ortofotografía, es la isla de Tenerife.

Palabras Clave: paisaje, redes, transporte, turismo y modelos

ABSTRACT

This paper explores the relationship between transport networks and landscape. The network structure and its characteristics are studied in order to support the modeling of different scenarios. This implies a complex data model which works with a multimodal network. It is composed by different features: roads, railroads, pedestrian paths and nautical tracks. A combined transport system (the touristic travel) employing different modalities is the focus of interest. Tenerife Island acts as a reference of this transport system. Base maps in 1:5000 and 1:1000 scales and a rectified photo are used.

Key Words: GIS, landscape, transport, touristic routes, network data modeling

1. INTRODUCCIÓN

Aproximación y entorno teórico

En el contexto de la Geografía, el estudio del transporte se entiende como el análisis de sus sistemas e impactos espaciales (Hoyle, Knowles, 2000). Así, la estructura de la red y el modelo espacial y sus dinámicas son los aspectos básicos en el conocimiento del sistema de transporte (Seguí y Martínez, 2004).

Dicho sistema permite múltiples formas de desarrollar la movilidad de personas y mercancías, a la vez que mejora la accesibilidad de los territorios a través de sus diferentes modos: el modelo de transporte por carretera se combina con el de ferrocarril, el aéreo y el marítimo para el traslado de los pasajeros y mercancías. En España el

modo de transporte por carretera supone el 90% del conjunto de modos; por lo tanto la dependencia de la red de carreteras es sobresaliente.

Esta comunicación tiene por objeto presentar el modelo de datos de red resultante de la combinación de dos proyectos de investigación desarrollados en el seno de la Universidad de La Laguna entre los años 2005-2008 y 2009-2010. El primero, desarrollado en el marco del Plan Nacional de I+D+i titulado "Sistemas de Información Geográfica orientados al diseño y gestión de rutas e itinerarios turísticos. El paisaje como valor estratégico en la nueva política turística y territorial". El segundo, en el Plan de Proyectos Estructurantes de I+D+i del Gobierno de Canarias, titulado "Proyecto Estructurante de Transporte: hacia un sistema de información para la I+D+i en transporte" (PETRANS 2009-2010).

Esperamos realizar una aportación al debate sobre la importancia que las redes de transporte tienen en la articulación del paisaje introduciendo una caracterización topológica de dichas redes. Precisamente, una representación topológica de las redes añade realismo, precisión y complejidad, entre otras mejoras, con las que se obtienen resultados significativamente más ricos que cuando se obvian tales aspectos y el análisis se desentiende de las características físicas de la red. Las relaciones topológicas, y con ellas la representación fina y detallada de la red, no es asunto suficientemente desarrollado en la literatura científica sobre transporte.

El diseño del modelo de datos implica representar cada parte de la red, no sólo en la estructura, sino también en la caracterización. De la riqueza y finura de esa representación depende, directamente, la capacidad predictiva de la modelización de escenarios. La visibilidad de tales escenarios puede verse realizada también gracias a la caracterización topológica; y la participación pública, entonces, puede facilitarse. En general, se mejora el soporte dado a la decisión.

En la complejidad de la estructura de cada sistema modal radica la mejora tecnológica de los futuros estudios que demandan empresas, administraciones y usuarios. Como referencias nacionales recientes orientadas a problemas crecientes y preocupantes en los que la estructura multimodal es sustancial, destacamos los trabajos de Gutiérrez Puebla y García Palomares (2005) sobre los cambios en la movilidad en el Área Metropolitana de Madrid, que hacen especial hincapié en el creciente uso del transporte privado; o el reciente informe publicado por FUNDICOT⁹ y el Centro Complutense de Estudios e Información Medioambiental, CCEIM, sobre el programa de Cambio Global, España 2020.

Por esta razón, nuestro trabajo se ha centrado en el desarrollo de un modelo de datos espacial y alfanumérico que requiere el diseño, la construcción y la gestión de la información sobre el transporte. En este caso, tal desarrollo se materializa en la realización de un itinerario turístico que combina distintos medios de transporte: marítimo, transporte terrestre por carretera (público), recorrido a pie de un sendero rural, y transporte interurbano público (tranvía).

Usamos la cartografía topográfica (modelo de datos vectorial) y la ortofotografía que elabora GRAFCAN S.A.¹⁰ a escala 1:5000 y 1:1000 de la isla de Tenerife; y la tecnología GIS (ArcGIS) desarrollado por la corporación ESRI.

2. PROBLEMATICA ACERCA DE LA CREACIÓN DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADA AL TRANSPORTE

La revolución digital, especialmente la geográfica, ha multiplicado el número y la complejidad de los datos. Del mismo modo ha aumentado el número de fuentes y los modos de obtención. Planes¹¹, estudios de impacto, movilidad, callejeros, redes de carreteras, senderos, etc., son productos que encontramos con mucha frecuencia. Pero, ¿Cuál es la base cartográfica de referencia? ¿Cómo certificamos su calidad? ¿Cuáles son los criterios de construcción? ¿Cuál es el objeto y su función? ¿Cómo se ha diseñado y para qué? ¿Realmente funcionan como red? Sin duda son cuestiones que abren un debate complejo. Entender la información como sistema (Harvey, 1983)¹²

⁹ Disponible en: www.fundicot.org y en www.ucm.es/info/fgu/pensamiento/cceim/index_cceim.php

¹⁰ Cartográfica de Canarias, S.A. (GRAFCAN) es la empresa pública del Gobierno de Canarias responsable de las actividades de planificación, producción, explotación, difusión y mantenimiento de información geográfica y territorial de Canarias conforme a la política geográfica del Gobierno de Canarias.

¹¹ Plan Especial de Ordenación del Transporte de la Isla de Tenerife.

¹² Harvey, utilizando la definición matemática de Klir y Valach en 1967 define que el conjunto de objetos (en este caso un conjunto de atributos de objetos) de un sistema S puede representarse mediante un conjunto de elementos. A esto podremos añadir otro elemento, que representa el entorno. Págs. 448 – 449.

requiere una organización de los datos homogénea y coherente, partiendo de criterios únicos y regulados. Acciones de homogeneización como la iniciativa europea INSPIRE¹³ para los datos geográficos se convierte en estratégica.

Para poder realizar nuestros proyectos comprobamos que podíamos utilizar los datos existentes, pero éstos no eran suficientes, no sólo porque no estaban los tejidos de las redes modales completas, sino porque carecían de contenidos. Además de no permitir la construcción de redes topológicas. Por tanto, decidimos diseñar nuestra propia red, con el objeto de construir un modelo-demostrador¹⁴. Esta experiencia demuestra que la información directa, creada en origen, aunque más costosa y lenta, es más segura y de mayor calidad.

Resuelto el primer problema, al menos de manera modélica, se nos plantea el siguiente: ¿Qué sentido tiene la aplicación de esta red multimodal? Consideramos que la transversalidad del sistema de red enhebra y organiza (diseña) los diferentes paisajes. Por tanto, su aplicación a un itinerario turístico permite comprobar que la construcción de la red no sólo sirve para la creación de productos turísticos convencionales (mapas turísticos) sino que abre un amplio espectro de soluciones tecnológicas aplicadas a nuevas herramientas de comunicación y necesidades de los nuevos usuarios virtuales, como visores web, mapas digitales, tecnología móvil, etc. La creación de rutas articuladas siguiendo un orden de paradas en función del interés de la atracción, en función al tiempo disponible de un turista, a la dificultad o facilidad de un terreno, a la mayor o menor distancia a recorrer, al medio de transporte que quiere utilizar, etc., son algunas de las funciones que podemos generar.

3. PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS

Introducción

El elemento más simple de una red está conformado por una estructura compuesta por un conjunto de dos nodos (inicial y final) y un arco que los une. Por lo tanto, la conectividad entre los arcos de la red y la creación de nodos es un factor clave a la hora de generar una red. El modelo de datos (vectorial) que constituye esta red se completa con las tablas de atributos alfanuméricos construidos para cada uno de los elementos geográficos (líneas y puntos) que son utilizados para caracterizar la red topológica. La riqueza y complejidad de la red dependerá de la cantidad de ítems, estructurales, cuantitativos o cualitativos, que demande.

Por tanto, el objetivo de esta comunicación es mostrar las líneas básicas de construcción de esta red multimodal de transporte partiendo de su estructura física. En ella incluimos, no sólo las redes terrestres (circulación de vehículos, tranvía o peatón) sino también la conexión marítima.

PRINCIPALES PROBLEMAS TÉCNICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN FÍSICA DE LA RED

Los problemas fundamentales son dos: la digitalización de las líneas que representan el sistema de comunicación y la estructura de su base de datos asociada.

Problema 1: Conectividad de la red

Tras un análisis detallado de la información y un proceso de simplificación, observamos una gran cantidad de errores, especialmente de los puntos de conexión entre líneas. Este hecho se convierte en el principal problema para construir una red. Error que requiere una importante cantidad de trabajo a realizar en un largo periodo de tiempo, con el consiguiente coste económico para resolver la edición. Cuando las líneas no están conectadas a la estructura general del sistema viario, es imposible hacer un análisis de red. Mediante tareas topológicas implementadas en el software (SIG), primero, se detectan aquellas líneas que o bien no conectan a la red o bien poseen errores en la digitalización, como por ejemplo la superposición de vías, y, posteriormente, se procede a la corrección de la cartografía para poner en funcionamiento la red. Por otra parte, la estructura de la red debe tener tantos segmentos (arco-nodo) como tramos de vías existan. Es la única manera de lograr que el funcionamiento sea óptimo. Éste es el paso fundamental para la posterior incorporación de normas de circulación (sentidos, giros, restricciones, etc.), impedancias (accidentes, obras, estado de las vías, tiempo, etc.), y flujos, entre otros. Este proceso de segmentación de las líneas originales se lleva a cabo mediante procesos de edición.

¹³ Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad (INSPIRE). 2004.

¹⁴ Mejías, Herrera y Vera (2010): Modelo de datos GIS orientados a la mejora de la información estructural necesaria para la red multimodal de transporte. Transnova 2010

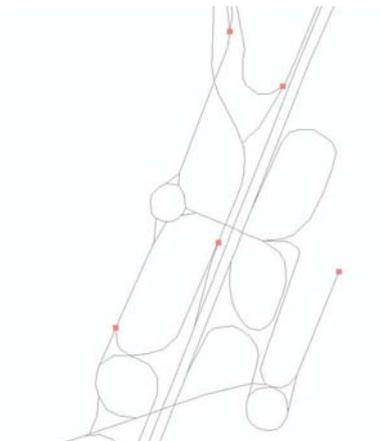


Figura 1. Finales de línea sin conectividad a la red general

Problema 2: Deficiencia y ausencia de datos en las zonas urbanas

En una segunda fase, deben completarse la ausencia y las incorrecciones de los datos topográficos. Para ello tomamos como base de referencia la ortofotografía. En este caso editamos líneas, que representan calles creadas recientemente o el detallado sistema de organización de las rotondas, fundamentalmente las vinculadas a las dos autopistas (TF-1 y TF-5).



Figura 2. Corrección en la digitalización de una rotonda en una zona urbana

Problema 3: Ausencia de datos para la red de senderos rurales

En una tercera fase se aborda la problemática de la carencia de datos en materia de líneas que representan senderos en la cartografía base. Se plantea la generación de cartografía propia a partir de datos tomados en trabajo de campo mediante dispositivos GPS. Posteriormente, se incorpora dicha información al Sistema de Información Geográfica, generando los distintos recorridos y corrigiéndolos con la referencia de la ortofotografía.

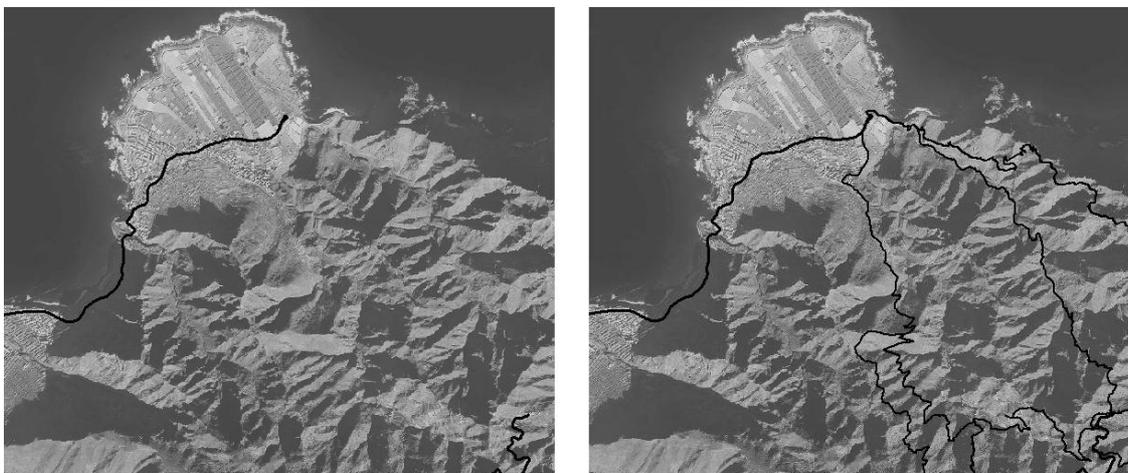


Figura 3. Digitalización de senderos en una zona rural

Problema 4: Deficiente caracterización de la red

Por último, en una cuarta fase, surge el problema de la caracterización de la red. La riqueza temática permite realizar análisis y diagnósticos más potentes. El objetivo es simular y modelizar escenarios reales e hipotéticos que permitan la toma de decisiones de manera eficiente cuando estos hechos se produzcan. Se procede, por lo tanto, a cargar todas aquellas variables que simulen esos escenarios: cálculo de la longitud de cada tramo, nombres, tipos, sentidos, velocidad, tiempo, pendiente, etc.

4. HIPÓTESIS /PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA-TIPO

Planteamos la creación de un itinerario turístico para un viajero que parte del Puerto de La Luz, en la isla de Gran Canaria, y desea realizar una visita en un entorno rural de la isla de Tenerife, para regresar al punto de partida en la misma jornada. Para ello, se utilizará la estructura de la red multimodal generada para este espacio.

En este caso, el segundo hito es el puerto de Santa Cruz de Tenerife, al que el turista llegará mediante un trayecto realizado en barco. Desde aquí, en transporte público (taxi), accederá al punto inicial del sendero rural que parte desde la Cruz del Carmen, en el municipio de San Cristóbal de La Laguna. Desde ese punto, el turista comienza su recorrido a través del sendero, hasta llegar a La Punta del Hidalgo, para finalmente acceder al casco histórico de La Laguna y, en transporte público (tranvía), regresar al Puerto de Santa Cruz y volver a embarcar rumbo a Gran Canaria.

Seleccionamos el sendero homologado, PR-10, que une los centros de la Cruz del Carmen con la Punta del Hidalgo, en el municipio de San Cristóbal de La Laguna, por ser el de mayor afluencia de visitantes, y el primero señalizado por el nuevo decreto de la Red Canaria de Senderos, dentro del Parque Rural de Anaga¹⁵ y, además, un modelo transversal de mar a cumbre.

¹⁵ Decreto Legislativo 1/2000, de 8 de mayo, por el que se aprueba el Texto Refundido de las Leyes de Ordenación del Territorio de Canarias y de Espacios Naturales de Canarias.

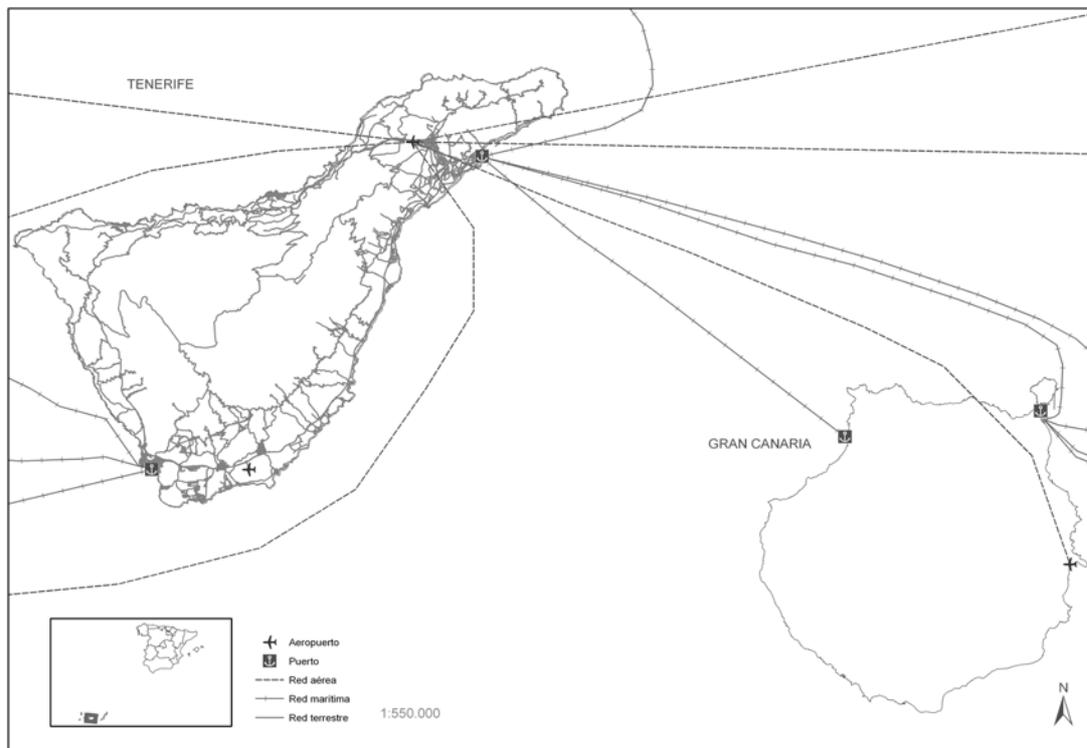
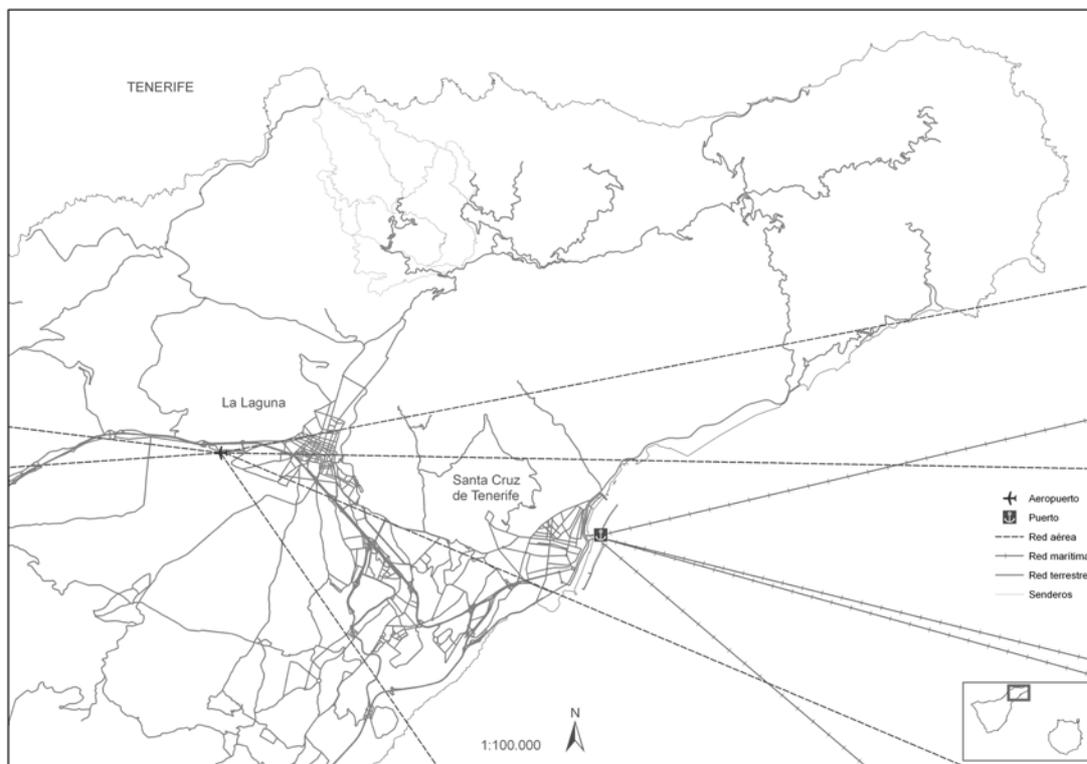


Figura 4. Red multimodal interinsular



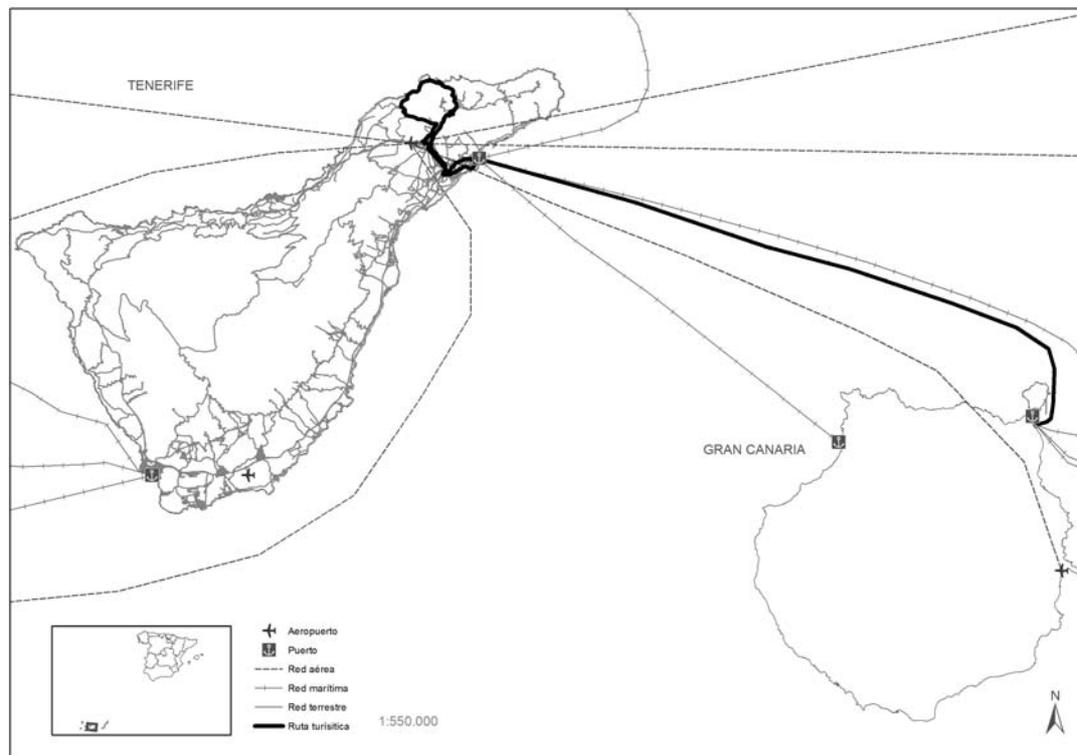
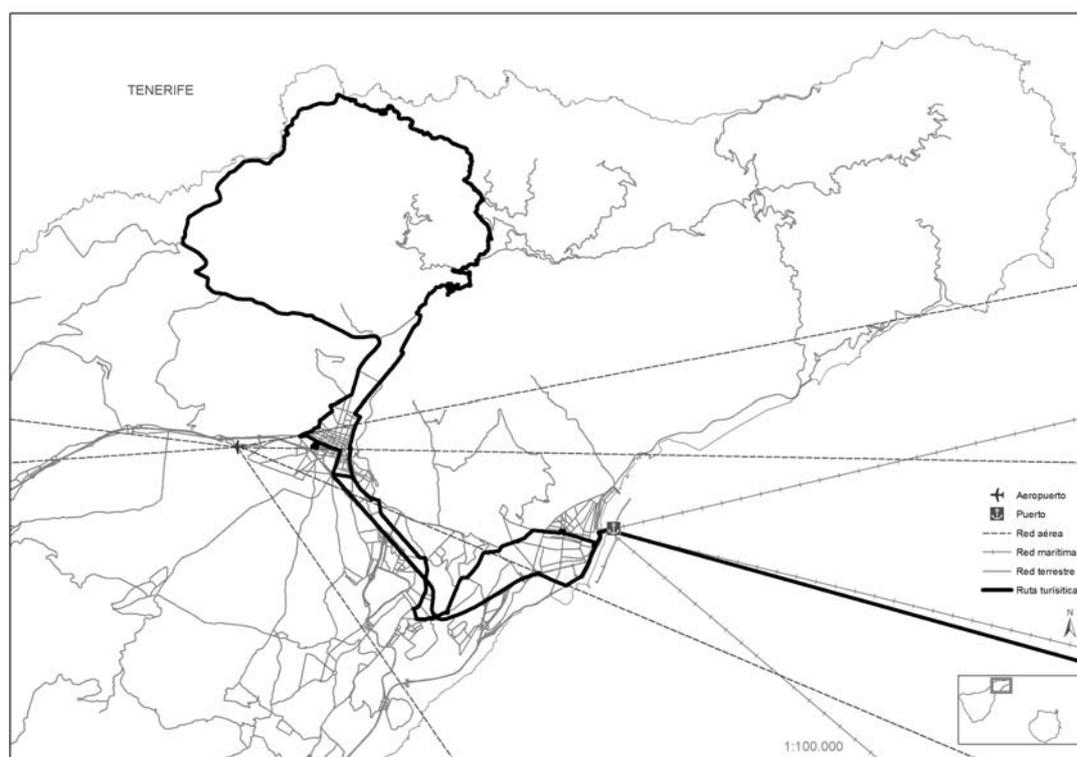


Figura 5. Recorrido turístico con inicio en el Puerto de La Luz en Gran Canaria



5. MÉTODO. LA ESTRATEGIA DEL PROCESO DE TRABAJO

En el diseño de este prototipo de red geométrica aplicada al sistema de transporte, lo prioritario ha sido la búsqueda de resultados a corto y medio plazo. Es decir, necesitábamos cubrir un amplio espectro de posibilidades y soluciones que el producto-resultado requería. Por esa razón, decidimos cubrir redes cortas, pero cerradas, que permitiesen aumentar progresivamente la complejidad del modelo de datos, en conformidad con la realidad. Por lo tanto, cada logro obtenido requiere un reajuste constante y cíclico. Como criterio inicial, atendemos, en una primera edición, a la construcción de los principales ejes estructurales de todo el sistema de comunicación; en una segunda y tercera edición mejoramos la red hasta llegar a los niveles de detalle interno. De esta forma, siempre podemos realizar pruebas de funcionamiento y controles de calidad a diferentes escalas, comprobando su funcionalidad y eficacia. Mientras tanto, hemos estructurado el prototipo desde dos aspectos: uno, la construcción física de la red, otro, la caracterización de la misma. El siguiente paso se centra en la resolución de nuestro problema tipo; en este caso, la construcción de un modelo de itinerario turístico que contempla la utilización de distintos medios de transporte. Para completar el sistema multimodal, hemos diseñado unas rutas marítimas y aéreas esquemáticas vinculadas a la red de comunicación por carretera de la isla de Tenerife.

La problemática propuesta se ha abordado desde dos puntos de vista: por una parte, la construcción física de la red de senderos y su correspondiente vinculación a la red multimodal insular e interinsular y, por otra parte, la caracterización de la estructura de su base de datos asociada.

En este caso las variables principales que componen la estructura de la base de datos son las siguientes: dirección de la vía (principalmente en el ámbito terrestre para tráfico rodado), velocidades medias, tiempos de recorrido (a nivel de vehículos, tanto marítimos como terrestre), clasificación por tipos de vías (peatonales, autopistas, carreteras, caminos, senderos, rotondas, túneles y puentes), pendiente (para cada uno de los tramos del sendero de estudio) y tiempo de recorrido (calculado para los tramos del sendero en función de la pendiente).

6. RESULTADOS

Gracias a la digitalización detallada de la estructura de red intermodal y su configuración como una red compuesta por arcos y nodos, se ha podido realizar un modelo de ruta turística en el que han desempeñado un papel relevante las variables que caracterizan cada tramo de la red. En este caso, se han utilizado los ítems: longitud, tiempo y coste económico. El resultado principal de este estudio se muestra en los siguientes mapas donde se puede observar el recorrido que realiza el turista desde su salida desde Las Palmas de Gran Canaria, realizando todas las paradas contempladas en el recorrido, hasta finalizar en el mismo puerto de partida. En este caso, la longitud total del recorrido es de 265 kilómetros, el tiempo empleado de 8 horas, y el coste económico es de 131,60 €¹⁶.

Tabla 1. Resultados detallados para los distintos tramos del recorrido

| Tramos del recorrido | Número de tramo | Longitud (Km) | Tiempo (min) | Coste (€) | Medio de transporte |
|---|-----------------|---------------|--------------|-----------|---------------------|
| Las Palmas de Gran Canaria - Santa Cruz de Tenerife | 1 | 100,78 | 120 | 47 | Barco |
| Santa Cruz - Cruz del Carmen | 2 | 21,15 | 31,3 | 35 | Taxi |
| Cruz del Carmen - La Punta | 3 | 10,64 | 128,3 | 0 | A pie |
| La Punta - Estación La Laguna | 4 | 17,82 | 32,2 | 1,3 | Autobús |
| Estación La Laguna -Tranvía | 5 | 0,93 | 11,2 | 0 | A pie |
| Tranvía La Laguna -Estación Fundación | 6 | 12,3 | 35 | 1,3 | Tranvía |
| Estación Fundación - Puerto de Santa Cruz | 7 | 0,75 | 9 | 0 | A pie |
| Puerto de Santa Cruz - Puerto de La Luz | 8 | 100,78 | 120 | 47 | Barco |
| TOTAL | | 265,15 | 487 | 131,6 | |

¹⁶ Información económica suministrada por las empresas: TITSA (Transportes Interurbanos de Tenerife), TeleTaxi Isla de Tenerife, Metropolitano de Tenerife y Naviera Armas.

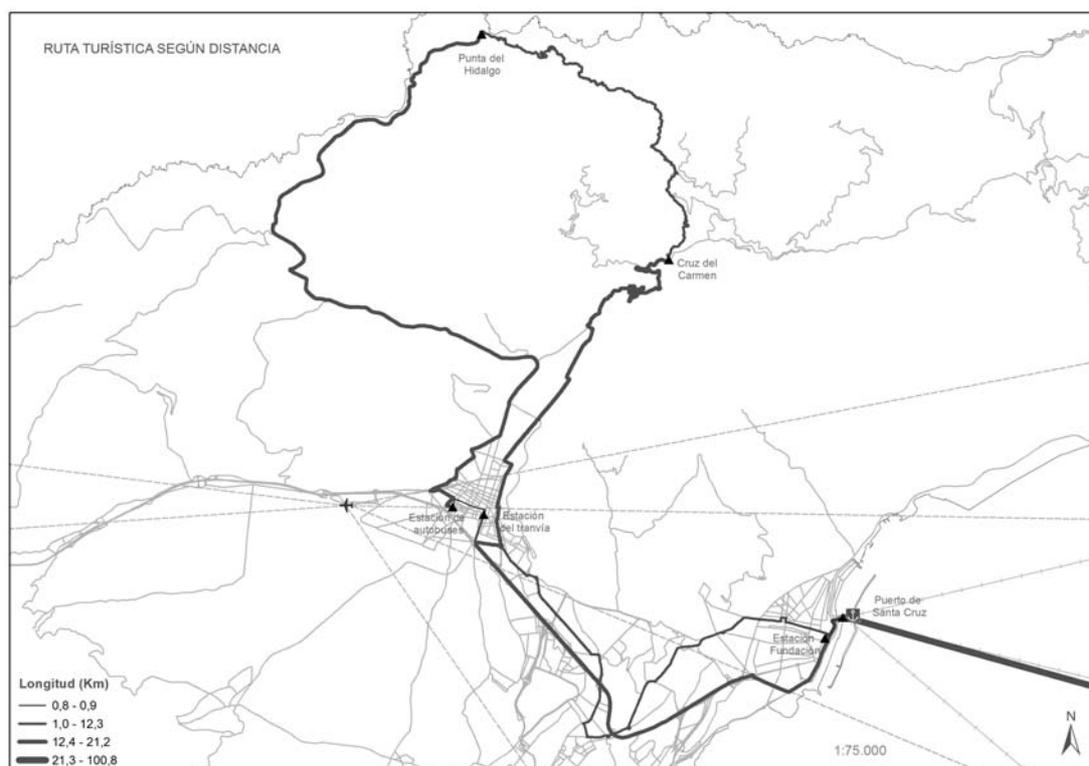


Figura 6. El tramo de mayor longitud es el que comunica las dos islas

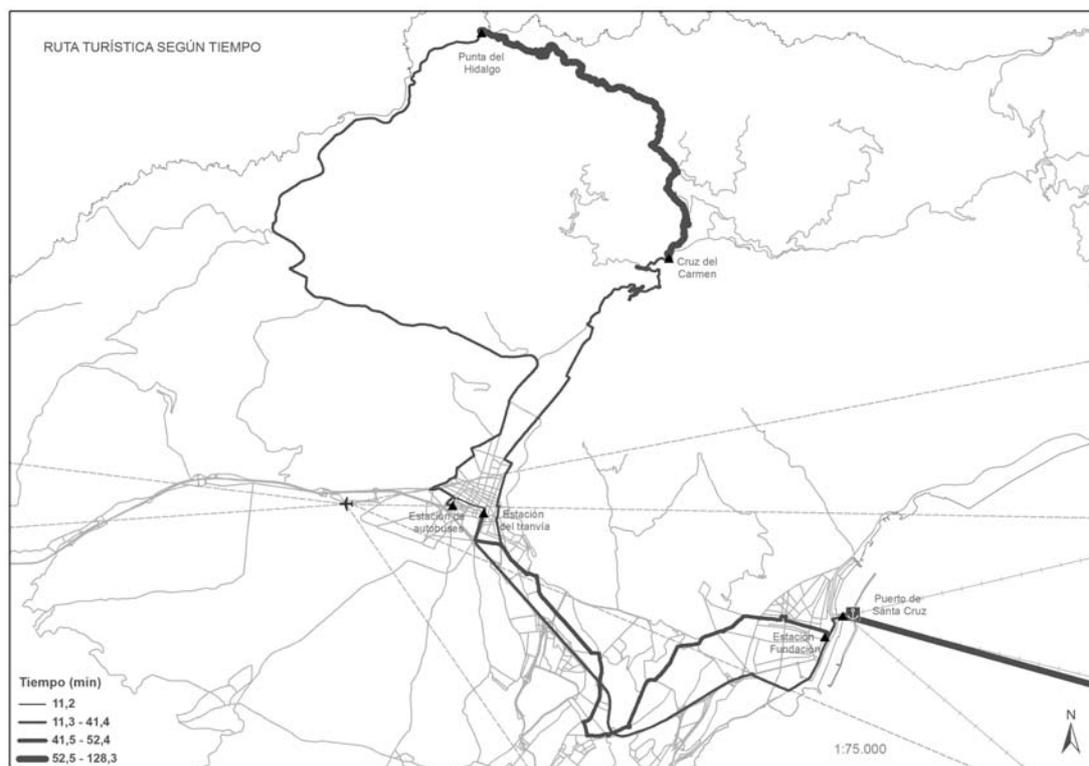


Figura 7. El tramo de la ruta que requiere una mayor inversión de tiempo es del sendero.

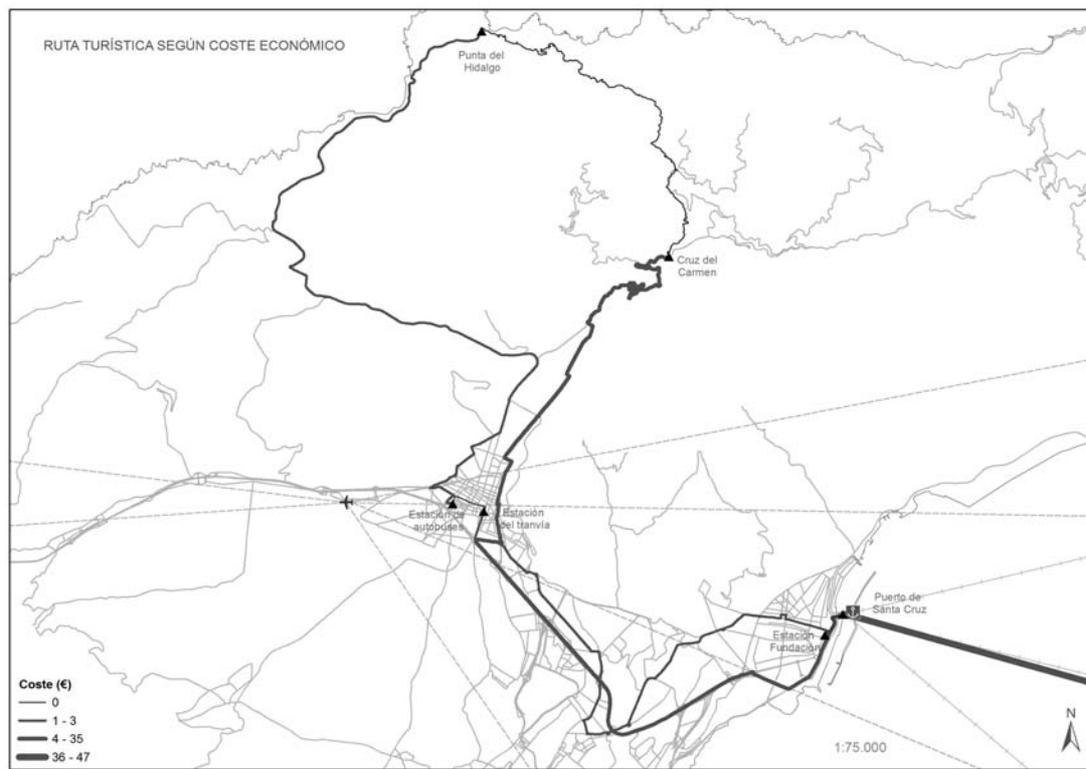


Figura 8. El tramo de recorrido del sendero, sin ningún coste económico, es, sin embargo, el de mayor calidad paisajística.

7. CONCLUSIONES

Esta comunicación ha tratado de sintetizar para un lector multidisciplinar y especializado, una de las aportaciones generadas por el Proyecto Estructurante de Transporte: Hacia un Sistema de Información para I+D+i en transporte (PETRANS 2009-2010), incorporando estos resultados técnicos al sendero especificado y su caracterización desarrollada en el marco del proyecto I+D+i Sistemas de Información Geográfica orientados al diseño y gestión de rutas. El paisaje como elemento estratégico en la estructura territorial y turística.

Para lograr los objetivos ha sido necesario:

- Definir muy bien los problemas, en cuanto a los datos disponibles y los objetivos específicos sobre la red multimodal.
- Diseñar los modelos de datos (espaciales y alfanuméricos) complejos y transversales en forma de red, lo cual, sin ninguna duda, nos permite gestionar escenarios reales, en este caso, vinculados al transporte y el turismo.
- Editar y construir la red topológica.
- Evaluar sobre supuestos su aplicabilidad y buen funcionamiento.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Díaz Pérez, F.M (Coord) (2006): *Política turística, competitividad y sostenibilidad de los destinos*, pp. 257 - 258. Tirant Lo Blanch. Valencia

Gutiérrez Puebla y García Palomares (2005). *Cambios en la movilidad en el área metropolitana de Madrid: el creciente uso del transporte privado*. En *Anales de Geografía* de la Universidad Complutense de Madrid, 25, pp. 331-351.

Harvey, D. (1983): *Teoría, leyes y modelos en Geografía*. Alianza. Madrid.

Hernández Luis, J.A (1990): "La red de transportes interinsular canaria: un sistema reproductor de los espacios neoeconómicos insulares", en *Revista de Geografía Canaria* de la Universidad de La Laguna, nº 3, pp.89-103.

Hoyle, B.; Knowles, R. (1998): *Modern transport Geography*. Londres/Nueva York. Belhaven Press.

López Olivares, D. (1998): *La ordenación y planificación integrada de los recursos territoriales turísticos*. Universitat Jaume I.

Michel Biggi (Coord) (1996): *Les systèmes de transport dans les îles*, L'Harmattan, Paris.

Rodríguez Darías, A.J. (2007): *Desarrollo, gestión de áreas protegidas y población local. El Parque Rural de Anaga (Tenerife, España)*, en *Pasos*. Revista de turismo y patrimonio cultural. Vol. 5 nº1, pp. 17-29.

Seguí, J.M.; Martínez, M.R. (2004): *Geografía de los transportes*. Universitat de les Illes Balears.

Turmo, A. (Coord) (2004): *Manual de Senderos*. FEDME.