

PROGRAMA DE DOCTORADO CIBERNÉTICA Y TELECOMUNICACIÓN

TESIS DOCTORAL

"Propuesta de modelo de sistema para la adquisición automática y masiva de datos del transporte público de viajeros por carretera.

Aplicaciones"

GABINO PADRÓN MORALES
SEPTIEMBRE 2015



D. AGUSTÍN J. SÁNCHEZ MEDINA, SECRETARIO DEL INSTITUTO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS CIBERNÉTICAS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

CERTIFICA,

Que la Comisión Ejecutiva del Instituto, en su sesión de fecha veintiuno de septiembre de dos mil quince, tomó el acuerdo de dar el consentimiento para su tramitación a la tesis doctoral titulada "Propuesta de modelo de sistema para la adquisición automática y masiva de datos del transporte público de viajeros por carretera. Aplicaciones", presentada por el doctorando D. Gabino Padrón Morales y dirigida por el doctor D. Carmelo Rubén García Rodríguez.

Y para que así conste, y a efectos de lo previsto en el artículo 6 del Reglamento para la elaboración, tribunal, defensa y evaluación de tesis doctorales de esta Universidad, firmo la presente en Las Palmas de Gran Canaria a veintiuno de septiembre de dos mil quince.

Anexo II

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

Instituto Universitario De Ciencias Y Tecnologías Cibernéticas

Programa de doctorado: Cibernética y Telecomunicación

Título de la Tesis

Propuesta de Modelo de Sistema para la Adquisición Automática y Masiva de Datos del Transporte Público de Viajeros por Carretera. Aplicaciones.

Tesis Doctoral presentada por D. GABINO PADRÓN MORALES

Dirigida por el Dr. D/Da. CARMELO RUBÉN GARCÍA RODRÍGUEZ

El Director, (firma) El Doctorando, (firma)

Las Palmas de Gran Canaria, a 21 de Septiembre de 2015

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis compañeros de trabajo Rubén y Paco la perseverancia que han mostrado preguntándome durante tantos años por el estado de este trabajo. En especial a Rubén, sin su visión no hubiese logrado determinar el destino final.

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a mi mujer a mi hijo, a mis padres, a mis hermanas, y a mis sobrinas, incluso a la que viene en camino. En especial quiero dedicar este trabajo a quien siempre me ha regalado su apoyo incondicional, mi Padre, y que junto a mi Madre, me ha enseñado que con esfuerzo y perseverancia todo es posible, espero ser capaz de transmitir este mensaje en toda su dimensión a mi hijo.

Contenido

RESUMEN	4
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	5
1.1 Motivación	5
1.2 Antecedentes	5
1.3 Identificación del problema.	6
1.4 HIPÓTESIS	6
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE	7
2.1. Arquitecturas ITS	7
2.1.1 Arquitectura ITS de EEUU	8
2.1.2 Arquitecturas ITS en Japón	9
2.1.3 Arquitectura ITS en Europa	11
2.2. SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y MODELOS DE DATOS	12
2.2.1. MIDAS	14
2.2.2. TRANSMODEL	2 3
2.2.3. GOOGLE TRANSIT	27
2.2.4. Situación actual: hacia los servicios ubicuos y la Internet de las Cosas	30
2.3. MODELOS DE OPTIMIZACIÓN DE COSTES LA RED DE TRANSPORTE	36
2.3.1 BAAJ Y MAHMASSANI	38
2.3.2 ISRAELI Y CEDER	39
2.3.3 NGAMCHAI Y LOVELL	39
2.3.4 GRUTTNER, PINNINGHOFF, TUDELA Y DÍAZ	40
2.3.5 Resumen de los parámetros manejados por cada modelo	40
2.3.6 Análisis de los datos empleados por los modelos de estimación de costes	42
CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MODELO DE SISTEMA	46
3.1 ANTECEDENTES: PROBLEMÁTICA A RESOLVER	46
3.2 LA PROBLEMÁTICA GENERAL DE LA INTEROPERABILIDAD Y ESTANDARIZACIÓN EN LOS SISTEMAS DE IN	FORMACIÓN EN EL
CONTEXTO DEL TRANSPORTE PÚBLICO	49
3.3 MODELO DE SISTEMA	52
3.4 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE SISTEMA	60
3.4.1 Funcionalidades	61
3.4.2 Aplicación del modelo de sistema propuesto: elementos del sistema	63
3.4.3 Gestión de los Datos	74
CAPÍTULO 4: APLICACIÓN DEL MODELO	90
4.1 IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS RELEVANTES EN LA RED DE TRANSPORTE.	92
4.1.1 Descripción del problema de la identificación de puntos en la red de transport	e92
4.1.2 Propuesta de método para la identificación de puntos relevantes en la red de	transporte96
4.1.3 Resultados obtenidos al aplicar el método propuesto de identificación de punt	os relevantes en
la red de transporte	99
4.2 ESTIMACIÓN DE LA DURACIÓN DE LOS RECORRIDOS.	101
4.2.1 Descripción del problema de la estimación de la duración de las expediciones	de una ruta 101
4.2.2 Propuesta de método para la obtención de la duración de las expediciones de	una ruta 106

4.2.3 Resultados obtenidos al aplicar el método de estimación de la duración de la	as expediciones de
una ruta	107
4.3 ESTIMACIÓN DE LOS HORARIOS DE PASO POR PARADAS	116
4.3.1 Descripción del problema de la estimación de los horarios de paso por las pa	ıradas de una ruta
	116
4.3.2 Propuesta de método para la obtención de los horarios de paso por las para	das de una ruta
	118
4.3.3 Resultados del método propuesto para la obtención de los horarios de paso	por las paradas
de una ruta	119
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES	122
BIBLIOGRAFÍA	126

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ARQUITECTURA GENÉRICA DE ITS EN ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	8
Figura 2. Arquitectura ITS de Japón	10
Figura 3. Propuesta de Arquitectura ITS para Europa	11
Figura 4. Tipos y distribución porcentual de Sistemas de Información para el Trasporte Público	14
Figura 5. Operaciones de Gestión y Planificación del Transporte Público	16
Figura 6. Estructura Clásica de la Ingeniería de la información	17
Figura 7. Modelo entidad-relación de las tipologías de días	19
Figura 8. Diagrama de Flujo de Datos	20
Figura 9. Secuencia temporal de flujos de información	21
Figura 10. Ciclo de vida de la entidad vehículo	21
Figura 11. Esquema General de NAPTAN	26
Figura 12. Esquema General de NTPG	27
FIGURA 13. EJEMPLO DE BÚSQUEDA EN GOOGLE TRANSIT	28
FIGURA 14. TENDENCIAS EN LA INTERNET DE LAS COSAS	33
FIGURA 15. CLASIFICACIÓN DE LOS FRENTES DE INVESTIGACIÓN EN COMPUTACIÓN UBICUA	34
FIGURA 16. FLUJOS ENTRE OPERACIONES PARA EL OPERADOR DE TRANSPORTE PÚBLICO	50
Figura 17. Base de Datos Centralizada	51
Figura 18. Datos necesarios y nivel de automatización	54
FIGURA 19. ESQUEMA GENERAL DE LA ARQUITECTURA PROPUESTA	57
Figura 20. Visión General del Sistema	61
FIGURA 22. ESQUEMA FUNCIONAL DEL ORDENADOR EMBARCADO	65
FIGURA 23. DIAGRAMA DE FLUJO DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA OBC <-> BBDD CENTRAL	71
FIGURA 24. TRANSACCIONES DURANTE UN MES (OCTUBRE)	72
FIGURA 25. TASA DE ERROR EN LAS TRANSMISIONES	73
FIGURA 26. TIEMPO NECESARIO PARA ACTUALIZAR LOS DATOS DE LA FLOTA	73
FIGURA 27. ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA QUE MUESTRA LA ESTRUCTURA DE DATOS DISTRIBUIDA	76
FIGURA 28. ACCESO DE USUARIOS AL SISTEMA UBICUO DESDE LA PLATAFORMA MÓVIL O DESDE INTERNET	78
FIGURA 29. SISTEMA DE INFORMACIÓN UBICUO PARA TRANSPORTE PÚBLICO INTERMODAL	82
Figura 29. Extracto de la Ontología de Contexto	84
FIGURA 31. EXTRACTO DEL CONTEXTO ONTOLÓGICO	85
Figura 32. Esquema General de Representación en la Base de Datos de las Entidades de Contexto	86
FIGURA 33. MODELO ENTIDAD - RELACIÓN PARA UN PUNTO DE LA RED DE TRANSPORTE	87
Figura 34. Modelo entidad - relación de la Red de Transporte	88
Figura 35. Modelo entidad - relación para una Operación del cuadro de servicio	88
Figura 36. Modelo entidad relación para las Tipologías de días del calendario	89
Figura 37. Algoritmo K-means con 28 paradas de línea	93
FIGURA 37. CLÚSTER CON UNA ÚNICA PARADA DE LA LÍNEA	94
FIGURA 39. CLÚSTER SIN PARADA DE LA LÍNEA EN SU INTERIOR	95
FIGURA 40. FOTO DE LA UBICACIÓN DE LA SEÑAL DE CEDA EL PASO	95
FIGURA 41. CLÚSTER CON MÁS DE UNA PARADA DE LA LÍNEA	96
FIGURA 42. CLÚSTER TIPO 1 Y 2 COMBINADO	97
Figura 43. Primera Iteración k-means	99
Figura 44. Segunda Iteración para un conjunto obtenido mediante aplicación de k-means	99
FIGURA 45. CONJUNTO ORIGINAL DE PUNTOS CON CENTROIDE NL14	100
Figura 46. Ciclo de duración del recorrido	106
FIGURA 47 DURACIÓN PROMEDIO. PLANIFICADA. MÍNIMA Y MÁXIMA DEL RECORRIDO DE IDA EN DÍAS LABORARIES.	108

Figura 48. Función de Cálculo de la Duración Promedio del Recorrido de Ida en días Laborables	109
Figura 49. Duración Promedio, Planificada, Mínima y Máxima del Recorrido de Vuelta en días Laborables	s 110
Figura 50. Duración Promedio, Planificada, Mínima y Máxima del Recorrido de Ida en Sábado	111
Figura 51. Duración Promedio, Planificada, Mínima y Máxima del Recorrido de Vuelta en Sábado	112
Figura 52. Duración Promedio, Planificada, Mínima y Máxima del Recorrido de Ida Domingos y Festivos	113
Figura 53. Duración Promedio, Planificada, Mínima y Máxima del Recorrido de Vuelta Domingos y Festiv	/OS
	113
Figura 53. Función de Cálculo de la Duración Promedio del Recorrido de Ida en días Laborables	114
Figura 54. Parada Urbana 175-031	116
FIGURA 55. GRUPO INICIAL PARA UNA PARADA URBANA	119
Figura 56. Seleccionar puntos de parada urbana	120
Figura 57. Función de Cálculo del Horario de Paso	121

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de Modelos de Estimación de Costes y sus Parámetros	41
Tabla 2. Tipos de Parámetros	45
Tabla 3. Descripción de los Campos de la Trama de Datos	69
Tabla 4.Hoja de Servicio	103
Tabla5.Duración del Recorrido de Ida los días Laborables	108
Tabla6.Duración del Recorrido de Vuelta los Días Laborables	110
Tabla7.Duración del Recorrido de Ida en Sábado	111
Tabla8.Duración del Recorrido de Vuelta en Sábado	112
Tabla9.Duración del Recorrido de Ida Domingos y Festivos	112
Tabla10.Duración del Recorrido de Vuelta los Domingos y Festivos	113
TABLA11. DATOS ESTADÍSTICOS DEL HORARIO DE PASO	120

Resumen.

En la actualidad existe un amplio abanico de sistemas de información implantados en empresas de trasporte regular de viajeros por carretera, en general, el objetivo que persiguen muchos de ellos es ayudar a cumplir con los horarios de paso por parada, frecuencias y disponibilidad de plazas comprometidas con los usuarios, a la vez que tratan de maximizar el beneficio para los operadores del sistema y minimizar los costes de cara al usuario y a la sostenibilidad económica de la actividad del transporte. En cualquier caso, en todos los sistemas, subyace un modelo basado en datos obtenidos por medio de métodos casi siempre basados en estimaciones que se ajustan a la realidad en buena medida, dado que son el resultado de la experiencia acumulada tanto por los operadores como por las autoridades del transporte.

Sin embargo, aunque los datos empleados en los modelos correspondientes se ajustan de modo razonable a un planteamiento global del binomio calidad/beneficio, fallan considerablemente a la hora de suministrar información adecuada sobre el cumplimiento de los horarios planificados y por lo tanto, también a la hora de suministrar información de la mejor calidad posible al usuario del sistema de transporte público.

La necesidad de mejorar los sistemas de planificación, control e información en lo que a calidad respecta, para todos los actores del sistema (usuarios del transporte, empresas operadoras y autoridades), justifica los esfuerzos que se desarrollen para encontrar nuevas soluciones o aproximaciones a las soluciones de problemas clásicos en este tipo de sistemas.

El presente trabajo describe una propuesta concreta de modelo de sistema y de metodología que permiten sustituir las estimaciones usadas habitualmente en muchos sistemas de asignación de rutas y diseño de las mismas, por aproximaciones matemáticas que son el resultado de acumular estadísticamente los valores obtenidos en la realidad de lo que ocurre durante el desarrollo de los servicios de transporte en el día a día o en él minuto a minuto si se prefiere.

Capítulo 1: Introducción

1.1 Motivación

En el ámbito del transporte público de viajeros por carretera, tanto las empresas como las autoridades de transporte público de viajeros, disponen de herramientas para cumplir, entre otros objetivos, con los horarios de paso por parada, las frecuencias de recorrido establecidas y la disponibilidad de plazas necesarias, como forma de garantizar la calidad del servicio. Así, hoy en día se considera como un servicio de calidad aquel que es capaz de cubrir la demanda de transporte en un alto porcentaje, mediante el empleo de medios adecuados y cumpliendo con los horarios y/o frecuencias previstas.

Las autoridades del transporte tratan de definir y velar porque se cumplan los horarios, y las frecuencias, de paso por las paradas y los recorridos definidos sobre una red de transporte destinada a cubrir las necesidades de los usuarios del transporte público de una región concreta. Los distintos operadores de transporte que desarrollan la planificación prevista de acuerdo con los requerimientos de las autoridades de transporte, buscan maximizar los beneficios de explotación. Ambos objetivos suelen ser antagónicos de manera que maximizar los beneficios de la operadora de transporte normalmente supone disminuir aspectos que son importantes para el viajero como es el caso de la frecuencia de las rutas ofertadas.

Al examinar las técnicas empleadas en la actualidad para evaluar los costes desde el punto de vista del operador de transporte y valorar la calidad de los servicios desde el punto de vista de las autoridades del transporte, nos encontramos con una variada oferta de modelos de optimización de costes y funciones objetivo, todas ellas basadas en un conjunto de parámetros que en la mayoría de los casos se obtienen de la experiencia previa pero no de manera sistemática.

Esta tesis trata sobre los datos que se emplean habitualmente para medir la calidad del servicio o la optimización de los costes de explotación, proponiendo un modelo de sistema para obtener de manera sistemática y automática estos datos manteniéndolos lo más ajustados posible a la realidad.

1.2 Antecedentes

Para determinar los costes de operador asociados a la prestación de los servicios de transporte público de viajeros por carretera definidos por las autoridades de transporte se han desarrollado múltiples y diversos modelos basados todos ellos en parámetros como la duración del recorrido, el nivel de ocupación de la línea, etc. Los parámetros empleados son

los responsables de atribuir un coste determinado a un modo de operación concreto, y sin embargo, no se profundiza en la manera de obtener los datos, simplemente se definen un conjunto de valores que suelen provenir de un conocimiento heurístico en muchos casos o en algunos otros de evaluaciones puntuales realizadas mediante encuestas a los usuarios o mediante extrapolación de los registros de datos vinculados a puntos específicos de la red de transporte.

1.3 Identificación del problema.

Por lo expuesto en el punto anterior, surge el problema consistente en que se emplean parámetros que representan la media o una aproximación puntual a valores que claramente son dinámicos y necesariamente son funciones que dependen de varios factores como la hora del día, el tipo de día y el tipo de recorrido. Por ejemplo, un parámetro típico de casi todos los métodos de estimación de coste es la *duración del recorrido*, es evidente, que la duración de un determinado recorrido dependerá, de las circunstancias del tráfico, no durará lo mismo en hora punta que en hora valle, y a su vez del tipo de día, no durará lo mismo en un día festivo que en un laboral, y además, si el recorrido es de tipo urbano, influyen sobre su duración factores de tráfico diferentes al caso en el que el recorrido sea interurbano. Lo mismo ocurre con otro dato fundamental que incide en la calidad del servicio y a la fiabilidad de la información proporcionada al usuario, nos referimos a la *hora de paso* por cada una de las paradas que configuran una ruta.

1.4 Hipótesis

Partiendo de los modelos de optimización, de los modelos de datos y de los modelos de sistemas para el transporte público de viajeros por carretera, así como de las capacidades de las infraestructuras utilizadas actualmente en el transporte público de viajero por carretera y en especial sistemas embarcados, el objetivo de este trabajo de tesis es contrastar la validez de la siguiente hipótesis:

"Es posible, mediante el uso de la infraestructura tecnológica que en la actualidad se despliega en las redes de transporte público de viajeros por carretera, el registro sistemático de los datos relevantes que representan la actividad realizada por los vehículos de transporte público, obtener y mantener los datos utilizados por los métodos de optimización de costes, de definición de la red de transporte y de la evaluación de la calidad de servicio del transporte público regular de viajeros por carretera. Además, es posible determinar funciones que permitan disponer de valores dinámicos de estos parámetros ajustados a la realidad dinámica de la explotación del transporte."

En el presente trabajo se demostrará la validez de la hipótesis planteada y se propone un modelo de sistema que permite obtener estos datos de manera automática.

Capítulo 2: Estado del arte

En este capítulo queremos hacer un recorrido por todos los ámbitos que hemos estudiado y tenido en cuenta durante la realización de este trabajo, con el fin de presentar una visión amplia de todos los aspectos que resultan relevantes para los objetivos que perseguimos.

Al finalizar este capítulo se dispondrá de una visión de los aspectos claves que han influido en la propuesta de solución que se plantea, que son: de las arquitecturas empleadas por los diversos sistemas de información para el transporte regular de viajeros, los datos requeridos por estos sistemas, la problemática que surge en el manejo de estos y los modelos conceptuales que se han desarrollado para facilitar el desarrollo de soluciones al problema abordado.

2.1. Arquitecturas ITS

En este apartado pretendemos hacer un barrido por las Arquitecturas existentes para los Sistemas de transporte Inteligentes (Intelligence Transport Systems, ITS en adelante), el objetivo es comentar las tipologías existentes desde una perspectiva evolutiva, es decir, como se han ido diseñando y como son en la actualidad, así como qué se puede esperar a corto plazo sobre su evolución.

De acuerdo con (Mashrur A. Chowdhury, 2003) las arquitecturas ITS deben cumplir con cinco requisitos básicos que son: la compatibilidad, la expansión, la interoperabilidad, la integración y la estandarización. Pero básicamente, y para esta misma fuente, "Los ITS se refieren a una gran variedad de herramientas y conceptos relacionados con las áreas de ingeniería, software, hardware y tecnologías de comunicaciones, aplicados de forma integrada a los sistemas de transporte para mejorar su eficiencia y seguridad". Los ITS aplican tecnologías avanzadas para encontrar soluciones a los problemas relacionados con los distintos medios de transporte, buscan paralelamente proteger el medio ambiente y generar sostenibilidad, y por último, y como más importante se focalizan en salvaguardar la vida humana (Lino Figueiredo, Isabel Jesus, J. A. Tenreiro Machado, Jose Rui Ferreira, J. L. Martins de Carvalho, 2001).

Las Arquitecturas ITS se caracterizan por proporcionar los procedimientos adecuados para introducir, implantar y desplegar los ITS en la región para la que se proponen, todo ello teniendo en cuenta la necesaria flexibilidad para enfrentarse a los cambios tecnológicos (por ejemplo la evolución de las infraestructuras de comunicaciones de datos desde el GPRS hasta el actual 4G) sin perder de vista que como ya hemos citado deben garantizar la compatibilidad, la expansión, la interoperabilidad, la integración y la estandarización.

En definitiva, proponer una Arquitectura ITS supone definir una serie de servicios para los ITS, que sustentan a la arquitectura a la vez que procuran dar soporte a las soluciones disponibles para el transporte en sus diversas modalidades. Realizaremos un barrido por las propuestas de arquitecturas más relevantes desarrolladas a nivel mundial por los países que más han apostado por estas arquitecturas como soporte para servicios de valor añadido, además del soporte a los servicios diseñados para resolver los problemas del transporte.

2.1.1 Arquitectura ITS de EEUU

EEUU fue el primer país en desarrollar una arquitectura ITS a comienzos de 1990. En sus inicios se presentó como una legislación con respecto a los ITS, concretamente en el año de 1991, y no como una arquitectura (Mashrur A. Chowdhury, 2003). La muestra un esquema de la propuesta de arquitectura general realizada por la oficina de coordinación de la investigación en Sistemas Inteligentes de transporte del Departamento de Transporte de EEUU (Transportation, 2008).

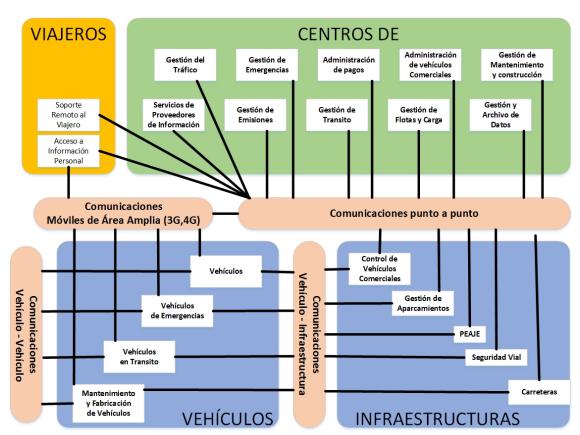


Figura 1. Arquitectura Genérica de ITS en Estados Unidos de América

De acuerdo con (HERRERA QUINTERO, 2011), esta arquitectura es un producto maduro que refleja las contribuciones de un amplio sector de la comunidad ITS (profesionales del transporte, ingenieros de sistemas, desarrolladores de sistemas, especialistas en tecnología, consultores, etc.). La arquitectura define:

- Las funciones que son requeridas por los ITS (por ejemplo, reunir información de tráfico o petición de ruta)
- Las entidades físicas o subsistemas donde residen esas funciones (por ejemplo, el campo o el vehículo)
- Los flujos de información y flujos de datos que conectan a estas funciones y subsistemas físicos en un sistema integrado

En este sentido, la arquitectura recoge dichas definiciones en un diagrama de Bloques (ver *Figura 1*) donde se observan los cuatro conjuntos principales que ayudan a sustentarla y son: viajeros, centros de gestión, vehículos y por último infraestructuras, todos interconectados entre sí mediante diversas tecnologías de comunicaciones. Adicionalmente el control por parte de un organismo federal que vela por el desarrollo armónico de las implantaciones que en cada región del país se llevan a cabo, garantiza de alguna manera el aprovechamiento de las experiencias y de las soluciones abordadas en el conjunto del país.

Para el caso que nos ocupa en nuestro trabajo, que en particular es el transporte público de viajeros por carretera, la Arquitectura ITS de EEUU define un conjunto de servicios para el transporte público en general (con independencia de la modalidad) que contempla los siguientes servicios:

- Gestión del Transporte Público
- Información sobre tránsito en la ruta
- Tránsito público personalizado
- Seguridad en los viajes públicos

2.1.2 Arquitecturas ITS en Japón

Este modelo comenzó a gestarse a raíz del desarrollo de un amplio número de proyectos que buscaban aumentar la seguridad para los ciudadanos y el fortalecimiento de la economía del país mediante los recursos económicos implicados. Uno de los proyectos que más contribuyó a su desarrollo fue el sistema VICS (Vehicle Information and Communication System) relacionado con el ofrecimiento de información al vehículo (Tamura, Kaoru. Hirayama, Makoto, 1993). Su finalización fue en el año de 1999 y en la actualidad se usa ampliamente, a lo largo del país, sus principales objetivos son:

- Construcción eficiente de ITS.
- ITS adecuadas y expandibles
- Desarrollo de estándares tanto nacionales como internacionales

Similarmente que su homóloga Americana, puede ser vista mediante un diagrama de bloques (ver *Figura 2*) que incluye varios conjuntos de recursos, asociados a los sistemas de transporte, para ayudar a sustentarla. Tales conjuntos son: humanos, vehículos, centros, elementos de la carretera y elementos externos, todos relacionados entre sí mediante diversos bloques de comunicaciones.

La arquitectura propuesta en Japón se diseñó para sostener dos principios. El primero, suficientemente flexibilidad ante posibles cambios sociales o tecnológicos de consideración y el segundo, garantizar la interconectividad e interoperabilidad a lo largo de la infraestructura de transporte. Como puede verse en la *Figura 2*, la arquitectura japonesa incluye un nuevo conjunto de entidades llamado "Elementos Externos" que la Arquitectura de EEUU contempla de una manera más implícita y en el caso de Japón teóricamente incluye más funcionalidades y mayores servicios.

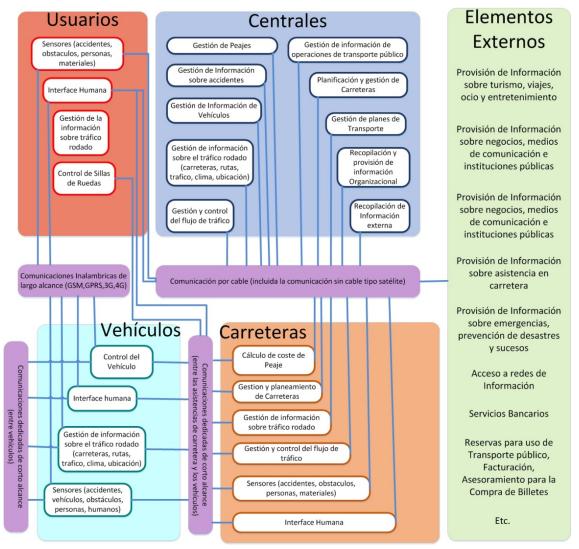


Figura 2. Arquitectura ITS de Japón

Para el ámbito de nuestro trabajo, que en particular es el transporte público de viajeros por carretera, la Arquitectura ITS de Japón define un conjunto de servicios para el transporte público en general que contempla los siguientes servicios:

- Provisión de información sobre transporte público
- Asistencia para operaciones de transporte público y gestión de operaciones

2.1.3 Arquitectura ITS en Europa

Se encuentra en desarrollo y es el resultado del esfuerzo de diferentes proyectos de investigación originados a partir de los programas marco. Es conocida como E-FRAME y se basa en el proyecto KAREN (Keystone Architecture required for European Networks). En realidad, E-FRAME es un marco de referencia para que los países Europeos puedan construir sus propias arquitecturas ITS según sus necesidades particulares. Sin embargo, se le considera como una Arquitectura ITS ya que considera los siguientes aspectos:

- Las necesidades del usuario, que se usan, para definir los objetivos perseguidos por las partes interesadas en el despliegue de ITS.
- La arquitectura funcional, que define, la funcionalidad necesaria para que los ITS conozcan las necesidades del usuario y por ende sus servicios.
- La arquitectura física, que describe como dichas funciones pueden ser agrupadas para ser implementadas.
- La arquitectura de comunicación, que describe los enlaces de comunicación necesarios para apoyar el flujo de datos de la capa física.

E-FRAME tiene como objetivo fundamental ofrecer el apoyo para el desarrollo de sistemas cooperativos escalables e interoperables, además, se perfila como una gran alternativa para la integración de los ITS. No obstante, aún lleva retraso frente a las propuestas de EEUU y Japón.

Un diagrama de la propuesta de arquitectura (ver *Figura 3*), se expuso en la Universidad de Portmund durante diversas actividades relacionadas con los ITS.

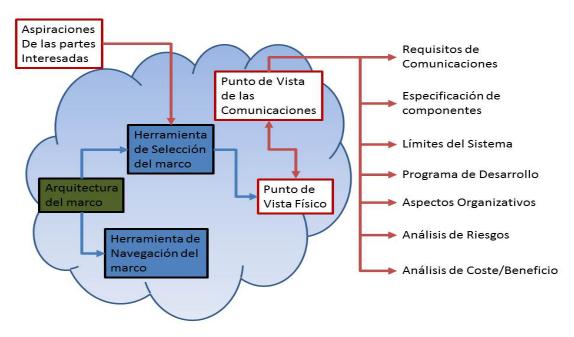


Figura 3. Propuesta de Arquitectura ITS para Europa

En la *Figura 3* puede observarse como en Europa se están considerando los principales factores a tener en cuenta para disponer de un marco adecuado para las ITS, pero es preciso, especificar con mayor detalle cómo integrar nuevas soluciones tecnológicas que ayuden a mitigar los problemas ocasionados en la parte referida a los puntos de vista físicos, es decir, como desarrollar el interfaz entre la capa puramente física y los servicios que con ella se prestan de manera que el impacto de los frecuentes cambios tecnológicos sea el menor posible.

Como resumen se puede afirmar que las arquitecturas ITS son altamente complejas y ofrecen una gran cantidad de servicios ITS para cada una de las áreas de los sistemas de transporte.

2.2. Sistemas de Información y modelos de datos

En el sector del transporte público Europeo, desde principios de los noventa hasta la actualidad, los avances en tecnologías y herramientas tanto hardware como software han sido constantes y progresivos. Como suele ocurrir a menudo en el universo de los sistemas de información, los productos software de distintos proveedores son incompatibles o de difícil integración, dado que emplean distintas estructuras, modelos y tipos de datos.

Para evitar el problema de la integración de sistemas, los operadores de transporte se ven obligados o bien a restringir la elección de herramientas a un rango limitado de productos de un determinado suministrador, lo que pueda garantizar la integración a priori, pero no siempre puede ofrecer la funcionalidad requerida por el operador o disponible en el mercado, o bien, a adquirir productos de suministradores diversos que funcionan por separado soportando una clara ineficiencia, al demandar el almacenamiento de modelos de datos similares en bases de datos diversas lo que no permiten a los operadores sacar todo el partido posible de las sinergias de la integración.

En la por entonces conocida como Comunidad Económica Europea, y en el marco del proyecto conocido como EuroBus (1992 – 1994), diversos grupos internacionales de trabajo compuestos por fabricantes de autobuses, empresas de transporte público, Autoridades de Transporte y Gobiernos, partiendo de experiencias previas más rudimentarias como por ejemplo el sistema estándar nacional Alemán conocido como CASIOPEA, los principales impulsores de esta iniciativa son el conocido eje Franco – Alemán, que mediante el Ministerio de Investigación y Ciencia Alemán, en coordinación con los Ministerios de Transporte tanto de Francia como de Alemania, incorporan colaboraciones técnicas desde el Reino Unido, Holanda, Francia y Alemania, en un grupo interdisciplinar de Juristas, Universidades, Empresas vinculadas directa o indirectamente al trasporte público, en el desarrollo de un sistema de referencia para un modelo de datos en el trasporte público capaz de contemplar todos los aspectos necesarios desde el punto de vista de los sistemas de información que permitan una

operación y gestión del trasporte público, así como una atractiva y precisa información al viajero.

El resultado de este esfuerzo se materializo en lo que se conoce como *Transmodel* (TRANSMODEL, 2001) que es un modelo de datos conceptual que permite:

- Desde el punto de vista del operador: Diseñar sus sistemas de información en base a la particularización que puedan o deseen realizar del modelo conceptual.
- Desde el punto de vista de suministradores de software: trabajar con sus herramientas y modelos de datos en particular, manteniendo la compatibilidad con el modelo conceptual.

Ésta podría ser la solución al problema tanto de la integración de productos de fabricantes diversos como para conseguir maximizar las sinergias derivadas de poder explotar bases de datos que pongan en común toda la base de información del operador. Es en este aspecto donde *Transmodel* resulta útil.

Pero antes de llegar a los actuales esquemas derivados de *Transmodel*, que por otro lado parece estar dejando paso a nuevas tendencias, conviene repasar otras iniciativas que han surgido en la evolución de los modelos de sistemas de información para el transporte y que han resultado claves al poner de manifiesto algunos aspectos a tener en cuenta en el diseño de los sistemas.

En (Tyrinopoulos, 2004) se describen algunas revisiones sobre los modelos que han existido y existen, tanto para el transporte público de viajeros, como para el sector del transporte en sentido amplio (logística, distribución, discrecional, etc.). Comentaremos por considerarlos más importantes y conocidos algunos modelos a continuación.

- Modelo dedicado a las operaciones del transporte público: ÖPNV Data Model (Asociación de garantías del transporte público Alemán 1999), TRANSMODEL (Tyrinopoulos, 2004) TCIP, ATCO-CIF, TransXChange, and VESCOS.
- Modelos de cobertura amplia del sector de transporte: DATEX, Arquitecturas ITS (ocho en total: Estados Unidos, Europa (KAREN), Canadá, Japón, Austria, Corea, China y Taiwán) y Standard ITS (desarrollado por ISO, CEN, NTCIP, etc.).

El análisis de los modelos tiene lugar en dos niveles:

- (1) según el enfoque que centra el modelo (funcional, de datos, dinámicos, de interfaz)
- (2) según los procesos del transporte público cubiertos.

Según el enfoque central del modelo, la mayoría de los esfuerzos (el 52%, véase la *Figura 4*) pone el énfasis en los elementos de datos de los sistemas de información, derivado de los modelos de datos correspondientes. La razón principal, según los desarrolladores, es que la información necesaria para un operador de transporte público permanecen estable a lo

largo del tiempo, mientras que las operaciones tienen un carácter más dinámico y por lo tanto no es necesario modelarlas. Además, ninguno de los modelos disponibles es completo, en el sentido de cubrir los tres tipos de modelos principales.

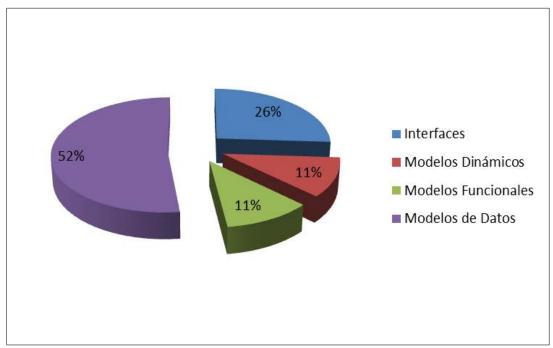


Figura 4. Tipos y distribución porcentual de Sistemas de Información para el Trasporte Público

2.2.1. MIDAS

Con respecto a los procesos de negocios, la mayoría de los modelos examinan los sistemas del transporte público como sistemas estáticos. En particular, la mayoría de los modelos centran su foco en los procesos estáticos del operador de transporte público. Los procesos estáticos, son aquellas actividades que permanecen invariantes durante un largo período de tiempo, como por ejemplo, el diseño de la red de transporte, la planificación de rutas y horarios, la disposición del personal y la tarifa. Los procesos críticos de naturaleza dinámica, se cubren únicamente de manera periférica y sólo por pocos modelos. Los procesos dinámicos, son aquellas actividades que son modificadas constantemente a lo largo del tiempo, cada vez que cambia un elemento del modelo en su valor o en sus características. Procesos de tipo dinámico son la localización automática de vehículos y la información sobre pasajeros en tiempo real.

Las iniciativas actuales en el transporte público, hacen un énfasis significativo en los elementos estáticos del operador, y centran su atención en la fase de planificación de los trabajos del transporte (comúnmente denominados como servicios). Los análisis respectivos resaltan la ausencia y la necesidad de un modelo completo e integrado de gestión de la información que examine ambos procesos del transporte público, los estáticos y los dinámicos.

Un ejemplo que intenta avanzar en la integración de los procedimientos tanto estáticos como dinámicos sobre esta cuestión es el denominado sistema MIDAS, que, propone un modelo integrado de gestión de la información. MIDAS, fue desarrollado en el contexto del programa de doctorado en la Universidad Aristotélica de Tesalónica, en Grecia. Los fundamentos que subyacen en el desarrollo de MIDAS presentan una iniciativa de modelo para el transporte público visto como un sistema integrado y dinámico.

MIDAS se apoya en la tripleta: datos, funciones (procesos de negocios) y tiempo, a partir de la cual, se desarrollan los correspondientes e interrelacionados modelos: de datos, funcionales y dinámicos.

Dos características básicas e innovadoras que diferenciaron a MIDAS de otros modelos disponibles fueron:

- El énfasis en las características dinámicas del sistema de transporte público al modelar los procesos de negocio tales como: la monitorización de la flota, el control de los trasbordos, el soporte a las operaciones, y la información al viajero en tiempo real.
- Modelar los tres elementos del Sistema de Información, los datos, las operaciones y el tiempo, mediante el desarrollo de los modelos dinámicos respectivos.

MIDAS es además, un esfuerzo de arquitectura abierta. Su diseño flexible admite la incorporación de futuras funcionalidades. Ha sido dotado de técnicas especializadas y amigables de modelado que le permiten ser comprendido y asumido tanto por los operadores como por los proveedores de software para el sector del transporte público.

El desarrollo de MIDAS fue enfocado a procesos estratégicos del operador de transporte público, en particular, se ha centrado en la planificación y gestión en tiempo real de los vehículos, conductores y operaciones relacionadas como la topología de la red, información al viajero, etc. Adicionalmente, el modelo incluye componentes específicos para la gestión en tiempo real de operaciones de tránsito, tales como el control y protección de trasbordo y el despacho de vehículos tanto planificados como de sustitución o intensificación. Un elemento importante del modelo es que integra de manera efectiva las tradicionales operaciones del transporte público estáticas y dinámicas.

Siguiendo una técnica de análisis de descomposición descendente, la totalidad del área de negocio del transporte público se ha descompuesto en áreas funcionales, funciones y procesos. La *Figura 5* representa los procesos de negocios modelados por MIDAS, muestra un organigrama de la planificación y la gestión de las operaciones del transporte público con 4 ramas principales y al mismo nivel

- 1) Diseño y planificación de los servicios de transporte en la red.
- 2) Planificación de operaciones del servicio de transporte.
- 3) Ejecución de las operaciones del servicio transporte.
- 4) Información dinámica y estática del servicio de transporte para el viajero.

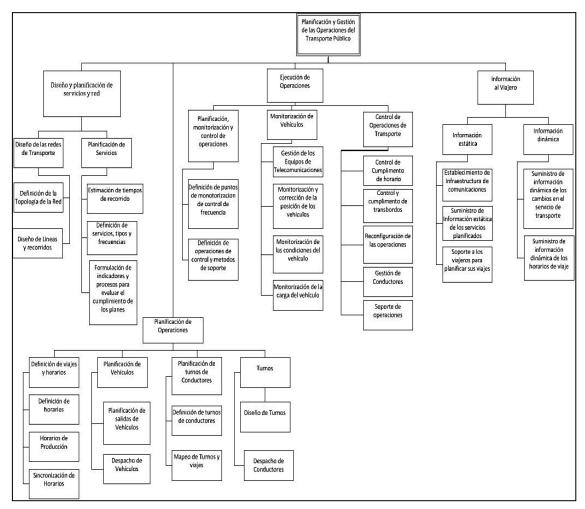


Figura 5. Operaciones de Gestión y Planificación del Transporte Público

2.2.1.1 Metodología MIDAS

Se han desarrollado muchas metodologías para el análisis, diseño e implementación de sistemas de información. Algunas de las más conocidas son: Análisis estructural de sistemas y método de diseño (SSADM), Ingeniería de la Información (IE), Método de sistemas Yourdon (YSM), Sistema de Desarrollo Jackson (JSD). (Avison, D.E. Fitzgerald, G., 1995) La adopción de la metodología más apropiada está sujeta a criterios diversos, tales como el ámbito, la naturaleza, y la funcionalidad de los sistemas que se pretende implementar.

MIDAS está basado en la adopción de una metodología para el análisis y diseño de sistemas de información conocida como Ingeniería de la Información. James Martin creador del entorno conocido como RAD (Rapid Development Application), en (Martin, 1990) describe la Ingeniería de la Información como "la aplicación de un conjunto formal de técnicas entrelazadas para la planificación, análisis, diseño, y construcción de sistemas de información en una amplia base empresarial o a través de las principales secciones de la empresa". La

Figura 6 es la representación piramidal clásica de la metodología de la Ingeniería de la Información.



Figura 6. Estructura Clásica de la Ingeniería de la información

La cara izquierda de la pirámide de la IE corresponde a los datos manejados por el sistema y la cara derecha corresponde a las actividades o procesos del sistema. Los cuatro niveles de tareas en la implementación de la Ingeniería de la Información son:

- 1. Planificación estratégica. Este nivel dirige la tecnología y como suele usarse para crear nuevas oportunidades y/o ventajas competitivas. La planificación estratégica crea una visión general de alto nivel de las funciones y de la información necesaria para la empresa.
- 2. Análisis. Este nivel investiga los procesos de los que debe disponer un área de negocio determinada, como se interrelacionan dichos procesos, y que datos necesita. Este nivel entrega modelos de datos y modelos de procesos para las áreas específicas de negocio.
- 3. Diseño del Sistema. Este nivel examina como los procesos seleccionados en un área de negocio se pueden implementar en procedimientos y cómo funcionan tales procedimientos. Se suelen emplear herramientas automáticas en el diseño de los procedimientos.
- 4. Construcción del sistema. En este nivel, el sistema se construye con la ayuda de herramientas automáticas, tales como generadores de código y lenguajes de programación, junto con herramientas de diseño de sistemas.

Esta metodología cubre las necesidades de MIDAS y sigue una aproximación de negocio para el análisis y diseño de las áreas tomadas en consideración, usa técnicas simples y extensas de modelado basadas en diagramas, e involucra a los usuarios en todas las estrategias.

2.2.1.2 Técnicas de modelado MIDAS

En el desarrollo de MIDAS se emplearon las técnicas especializadas de diagramas y modelado en el diseño y creación de un modelo integrado. Estas son:

- Diagramas de descomposición para descomponer áreas funcionales en funciones y procesos de bajo nivel.
- Diagramas de entidad-relación para modelar el esquema de la base de datos de MIDAS.
- Diagramas de flujo de datos para modelar los procesos de negocio y su interrelación, en términos de flujos de datos.
- Diagramas de secuencia para incorporar la dimensión temporal, y en particular, el efecto del tiempo en los procesos de negocio.
- Entidad de histórico y vida para el análisis de los efectos del tiempo en los datos.
- Matrices de entidad-proceso para mapear las entidades del modelo de datos con el proceso de negocio en el modelo funcional y también con propósitos de validación.
- Diccionarios de datos para proporcionar un almacén extenso de todos los elementos (datos y funciones) usados por MIDAS.

2.2.1.3 La Estructura MIDAS

2.2.1.3.1 Modelos de Datos

Los modelos empleados en MIDAS identifican, analizan y modelan la información necesaria en cada proceso de negocio. El resultado final de este procedimiento es el modelo de datos que contiene las descripciones, estructura, y organización de todos los datos necesarios para la ejecución de ese proceso de negocios.

En MIDAS, se han desarrollado modelos de datos distintivos e interrelacionados para treinta procesos de negocio en el nivel inferior de análisis y descomposición funcional (véase la *Figura 5*). El modelo de datos de cada proceso de negocio incluye la descripción de un proceso en particular desde el punto de vista de la información necesaria en el proceso. Además, la descripción se hace para facilitar el reconocimiento de los atributos de las entidades, así como sus relaciones. Finalmente, la descripción del proceso se acompaña de una sinopsis de las entidades requeridas para su ejecución y termina con uno o más diagramas de entidad-relación que proporcionan un modelo de datos completo para el proceso.

En el desarrollo de MIDAS, los treinta modelos de datos pasaron un proceso de normalización (que llegó a la tercera forma normal) hasta producir modelos de datos normalizados. La normalización es el proceso de asignación de atributos a tablas de relaciones

para reducir la redundancia de datos, eliminar anomalías de datos, y proporcionar una arquitectura de datos robusta para la recuperación y modificación de datos.

La *Figura 7* muestra el diagrama de entidad-relación, en particular, las tipologías de días empleadas en el modelo implementado por nuestro modelo inspirado en parte por MIDAS.

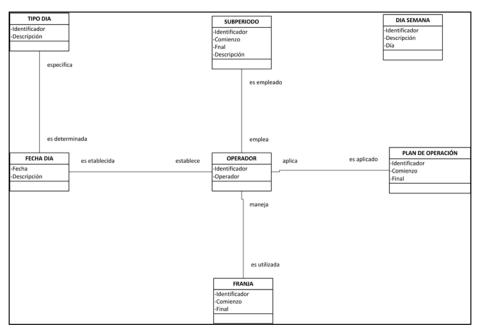


Figura 7. Modelo entidad-relación de las tipologías de días

La *Figura 7*, representa entidades, sus atributos clave, y las relaciones entre las entidades, concretamente, la entidad tipología, que representa el tipo de día con el que debe referenciarse cada plan de operaciones, de un operador concreto. La tipología se puede especificar como uno o varios días de la semana, un período de fechas de comienzo y final, etc. etc. Las líneas en la figura representan la relación entre las entidades y se pueden distinguir como "identificadoras" y "no identificadoras". Sin entrar en la discusión técnica, en las relaciones de "identificación" una entidad no puede existir sin su correspondiente asociada, mientras que en las entidades "no identificadas", una entidad solo exporta su clave de datos a la asociada correspondiente.

2.2.1.3.2 Modelos Funcionales

En general, un modelo funcional incluye las especificaciones funcionales de un sistema de información en forma de funciones y flujos de información entre ellos. En MIDAS, los procesos de negocio de los sistemas de planificación y gestión de vehículos y conductores (cuadro de servicio) están organizados y clasificados en niveles, mientras que sus interrelaciones, se modelan en forma de flujos de información entre ellos.

El modelo funcional de MIDAS consiste en una parte significativa del modelo de gestión integrado, dado que éste contribuye sustancialmente a conocerlo, comprenderlo y aplicarlo.

Además, el modelo funcional proporciona los modelos de datos correspondientes a los necesarios fundamentos funcionales y de negocio, sin ellos no pueden existir estos últimos.

Los diagramas de descomposición y de flujo de datos son las técnicas de modelado empleadas para el desarrollo de los modelos funcionales de MIDAS. La primera técnica, sigue una aproximación descendente, descomponiendo las áreas de negocio bajo consideración en funciones de bajo nivel, mientras la segunda técnica, permite a los sistemas de información mencionados con anterioridad formar una red de procesos funcionales, conectados entre sí por canales y almacenes de datos como muestra la *Figura 8*

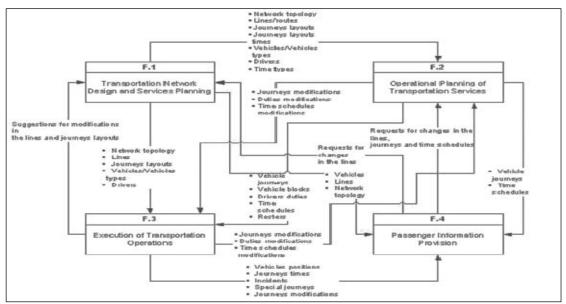


Figura 8. Diagrama de Flujo de Datos

2.2.1.3.3 Modelos Dinámicos

El modelo dinámico completa el modelo de gestión de la información. Este tipo de modelo añade la dimensión temporal al modelo integrado. Particularmente, una descripción integrada del sistema de información necesita el desarrollo de un modelo dinámico, que muestre como varían permanentemente los componentes del sistema en marcos temporales específicos y el efecto de los unos sobre los otros.

El carácter dinámico de un sistema de información del transporte público impone al desarrollo un conjunto de modelos dinámicos, especialmente dado que el área de negocio bajo consideración implica procesos que extensivamente incorporan la dimensión temporal. Esta dimensión afecta no solo a los procesos del sistema de información, sino también a los datos que los procesos deben manejar. Para modelar estos dos aspectos diferentes, se han empleado dos técnicas de modelado que son:

• Diagramas de secuencia, enfocados a la interacción entre las funciones y la secuencia temporal de intercambio de flujos de información entre funciones (ver *Figura 9*)

• Históricos de vida de entidad, que examinan los efectos que la ocurrencia de eventos supone en el sistema de información y en las entidades (almacenes de datos). La potencia de esta técnica es muy apreciable cuando una entidad cambia muy frecuentemente su estado (ver *Figura 10*).

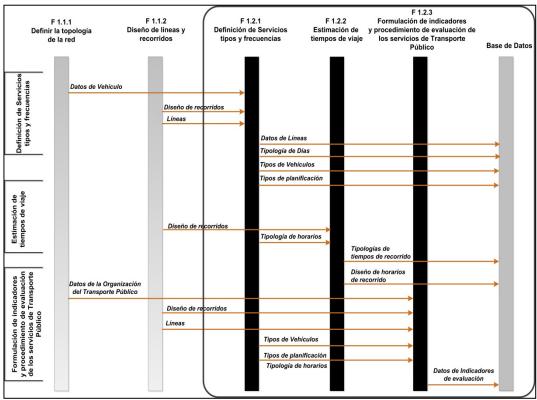


Figura 9. Secuencia temporal de flujos de información

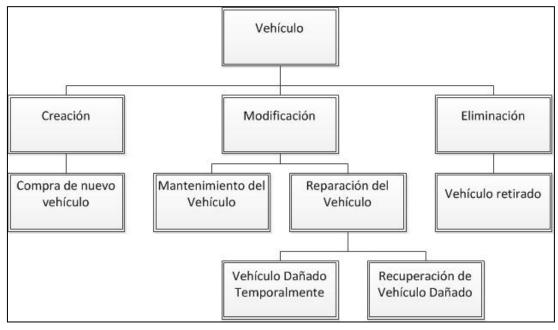


Figura 10. Ciclo de vida de la entidad vehículo

Los tres tipos de modelos de MIDAS presentados se acompañan de su correspondiente diccionario de datos. El diccionario de datos de MIDAS proporciona una lista organizada de todos los elementos de datos (entidades y flujos de información) con una concisa, precisa, y rigurosa definición, de modo que tanto los usuarios como los analistas del sistema tengan un conocimiento común de todas las entradas, salidas y componentes de los almacenes.

2.2.1.3.4 El Gradiente de Potencial del Modelo

La Unión Europea, mediante programas e iniciativas de investigación y el desarrollo, pone un énfasis particular en base a los componentes de modelos para el desarrollo de soluciones de tecnologías de la información avanzadas. MIDAS direcciona el dominio del transporte público previendo una herramienta realizable para las partes — operadores públicos y desarrolladores de software. Además de las dos características innovadoras del modelo identificadas con anterioridad, alguna de las características más importantes que contribuyen significativamente a alcanzar el objetivo final que se propone MIDAS son las siguientes:

- El desarrollo se basa en una metodología bien conocida y estable, la ingeniería de la información, que sigue una aproximación orientada a los procesos.
- Referencia vehículos y no específicamente autobuses, vagones, etc. Por lo tanto puede usarse por cualquier operador de transporte público, con independencia de los tipos de vehículos con los que opere. Cubriendo incluso el transporte ínter modal.
- El modelo funcional proporciona un modelo integral con la dimensión de negocio necesaria, incorporando las reglas del negocio, necesidades, y restricciones que gobiernan el sistema de transporte público.
- Es un modelo de arquitectura abierta que permite la extensión para alcanzar la satisfacción de futuras operaciones o necesidades de información.
- La modularidad del modelo permite adoptar modelos específicos para cubrir en su totalidad las necesidades específicas de un negocio en particular.

2.2.1.3.5 Conclusiones sobre MIDAS

Los operadores de transporte público a lo largo del mundo aún experimentan problemas significativos en la gestión y planificación de los servicios de transporte. Entre los problemas se encuentran los altos costes de operación y mantenimiento de los sistemas de información proporcionados por suministradores distintos, la discontinuidad de la información, el bajo nivel de inter operatividad, las múltiples colecciones y archivos de los mismos datos y los retardos en la disponibilidad de la información. *Integración* es la clave para alcanzar una organización efectiva, de la planificación y de la explotación de las actividades de transporte. El proceso de integración es prioritario para todos los operadores modernos de transporte público. La integración ayuda a resolver problemas significativos y discontinuidades en la explotación, organización y en los niveles de información necesarios y disponibles.

Las modernas teorías del transporte y el constante incremento de necesidades de los operadores del transporte público, requiere de infraestructuras de computación avanzadas, sistemas que integren dominios funcionales diferentes, y que incorporen aspectos tanto estáticos como dinámicos de los procesos de negocio. En años recientes, se ha puesto el énfasis en el desarrollo de modelos de información que guíen la implementación de soluciones de tecnología de la información avanzada. Estos modelos juegan un papel decisivo en el desarrollo de infraestructuras de tecnologías de la información, haciendo factible el concepto de integración.

MIDAS ha sido desarrollado para dirigir la ausencia de un modelo de gestión de la información completo que integre de manera efectiva las operaciones tradicionales del transporte tanto dinámicas como estáticas, así como para incorporar los tres elementos del sistema (funciones, datos y tiempo). La aproximación y las especificaciones propuestas por MIDAS proporcionan un avance significativo en los siguientes aspectos:

- Desarrollo de una colaboración efectiva entre los desarrolladores de sistemas y operadores de transporte público.
- Facilitando las especificaciones del desarrollo de los procesos de los sistemas de información para el transporte público.
- Una Mayor eficiencia y efectividad en el coste del desarrollo de sistemas de información para los procesos.
- En la identificación de los procesos de negocio que pueden mejorarse o reconociendo nuevos procesos.
- En la gestión más eficiente de los servicios de transporte.
- Compatibilizando sistemas de información de distintos desarrolladores.
- Haciendo un uso más razonable de las infraestructuras de tecnologías de la información de los operadores de transporte público.

2.2.2. TRANSMODEL.

Como ya se ha comentado, en la década de los 90 del pasado siglo, en la por entonces Comunidad Económica Europea, los esfuerzos para avanzar en el sector del Transporte requieren de un avance en los modelos de gestión y control del transporte en todas sus dimensiones dado que evidentemente la realidad de un mercado único solo es alcanzable mediante la implementación de sistemas de gestión y control del transporte de todo tipo que faciliten la libre circulación de personas y mercancías, hecho que está claramente definido en el espíritu con que fue creada inicialmente la Comunidad Económica Europea, un avance en la integración política se pretende mediante el tratado de Lisboa y la implantación de la moneda única adoptando el nombre de Unión Europea, quizás tomado como modelo otros países que se han organizado en torno a la unión de estados soberanos que ponen en común una serie de cuestiones fundamentales en la organización política y social, en el corto pero intenso camino recorrido por la unión europea, el avance más significativo ha sido la adopción de la moneda única, pero también el desarrollo de las políticas vinculadas al transporte de personas y

mercancías es un eje fundamental previsto para el desarrollo de una autentica unión, si bien tradicionalmente el sistema de transporte fluvial, aéreo, de ferrocarriles y rodado ha contado con una reglamentación Europea adoptada por los distintos estados miembros, aún quedan muchos frentes por abarcar y entre otros el de los sistemas de información para el transporte y en particular el que nos incumbe en el presente trabajo el que desplaza viajeros que emplean el servicio público a diario para llegar a sus lugares de trabajo, residencia o estudio de manera habitual.

Transmodel permite a los operadores definir su propio modelo de datos en base a sus propias necesidades, siguiendo una metodología que garantiza que se abarcan todos los parámetros que el operador desea tener en cuenta y que si en el futuro desea incorporar nuevos aspectos, dispondrá de un referente desde el que diseñar el nuevo aspecto de una forma que permita su integración en las bases de datos existentes.

Desde el punto de vista del operador de transporte público que necesita utilizar un sistema de información, *Transmodel*, en lugar de ser una plantilla con la propuesta de solución que el operador debe limitarse a implementar, está formado por un conjunto de especificaciones que deben adaptarse y depurarse para convertirse en un modelo comprensible por la organización que desea usarlo como referencia.

De igual manera, desde el punto de vista del suministrador de soluciones software para el mundo de la industria del transporte que desea diseñar, desarrollar y suministrar sistemas de información, *Transmodel*, debe ser depurado y adaptado para convertirse en un modelo de datos adecuado para el producto que se desea crear.

Transmodel es un modelo complejo y extenso, que permite una enorme flexibilidad en su aplicación, a cambio, demanda ciertas habilidades y recursos para poder ser aplicado de forma efectiva. Por ello, en la mayoría de las circunstancias, varias organizaciones deben cooperar para desarrollar el modelo de datos o la especificación de determinados aspectos específicos del sistema de información, quizás una interfaz en particular, como por ejemplo el interfaz entre una máquina de billetaje y un sistema de gestión, o bien sobre los límites de una determinada operación en la interconexión entre varios operadores.

Transmodel es particularmente adecuado para

- Especificar la Arquitectura de la Información de una Organización.
- Especificar Bases de Datos.
- Especificar de Interfaz de Intercambio de Información.

Este modelo de referencia puede soportar tanto el desarrollo de aplicaciones software, como su interacción o combinación en un sistema de información integral, como con el sistema de gestión y organización, como con las reglas telemáticas de uso existentes en una determinada compañía o grupo de compañías que dispongan de aplicaciones que cubran las diversas áreas funcionales implicadas en el transporte público.

Transmodel define los datos elementales necesarios para la descripción de la red de transporte y la gestión de las diversas versiones de la red, que serán empleadas en los distintos dominios funcionales, no solo para entornos de un único operador sino para entornos

multioperador y multimodales. *Transmodel* describe las necesidades de información para los dominios funcionales de:

- Planificación estratégica (diseño de turnos, planificación de vehículos y conductores).
- Distribución del Personal.
- Control y Monitorización de operaciones.
- Información al viajero.
- Recaudación.
- Gestión de la información y estadísticas.

Tal y como se puede encontrar en abundante literatura y comentarios, si algo ha logrado *Transmodel* ha sido conseguir una definición adecuada, aceptada y única para la mayoría de los términos empleados en el mundo del transporte, de este modo es posible fijar y conocer en cada momento con exactitud de que se está hablando, dado que diferencias semánticas entre términos como servicio, expedición, línea, operación, suponen claramente un inconveniente a la hora de abordar el estudio de sistemas de todo tipo.

Así, por ejemplo Trans-Xchange (UK D. f., s.f.), es una implementación de *Transmodel*, desarrollada por el departamento de transporte del Reino Unido. La comentaremos a continuación de manera breve.

Trans-Xchange fue desarrollado para definir un modelo en el que poder representar básicamente los servicios de guaguas, la propuesta pivota sobre siete conceptos básicos:

- 1) Servicio.
- 2) Registro.
- 3) Operador.
- 4) Ruta.
- 5) Parada.
- 6) Patrón del Trayecto.
- 7) Trayecto del Vehículo.

En Trans-Xchange, bajo el concepto *Servicio*, se reúne la información sobre *Registros* de servicio del autobús, puede contener dos tipologías de servicio: *Estándar o Flexible*, o una mezcla de ambas tipologías. La planificación normal de un vehículo se describe, o bien mediante un Servicio de tipo *Estándar* y una Ruta completamente definida, o bien, mediante un Servicio *Flexible* que se caracteriza por no tener asignada una Ruta fija, sino por el contrario, un área de captación o un pequeño conjunto de paradas variable que no prescriben un patrón de uso. Ambas tipologías de servicio pueden ser realizadas por un *Operador*. Un *Registro*, especifica los detalles a registrar del servicio, este es obligatorio en el esquema de registro.

Bajo el concepto *Ruta*, se describe el camino físico seguido por los vehículos como un conjunto de enlaces de Ruta. Un *Servicio Estándar* tiene uno o más elementos de patrón de trayecto, que describen los caminos lógicos comunes a través de las *Paradas* de la Ruta, como

una secuencia de enlaces temporizados, y uno o más trayectos del vehículo, que describen trayectos planificados sobre la Ruta y el *Patrón de Trayecto* en un horario específico.

Un *Patrón de Trayecto* y sus subelementos definen una lista de paradas de acuerdo con el modelo NAPTAN (UK D. o., s.f.), que comentaremos más adelante, con tiempos relativos para cada parada, un *Trayecto de Vehículo* define la misma lista de paradas pero con el horario de paso absoluto.

En TransXchange se usa el modelo de paradas conocido como NapTan. NapTan proporciona un único identificador para cada punto de acceso al transporte público en el Reino Unido, junto con un texto descriptivo y significativo de la parada y su localización. El objetivo de NapTan es proporcionar tanto a los sistemas de información del transporte automáticos, como al público en general encontrar y referenciar de manera no ambigua una parada.

NAPTAN, cuyo esquema general podemos ver en la *Figura 11*, se emplea en TransXchange tanto para definir las *Paradas* y horarios de paso de las *Rutas*, así como para asociar las paradas a posiciones topográficas mediante el conocido como *National Public Transport Gazetteer* (UK N., s.f.), a su vez NPTG es una Base de Datos topográfico de localidades en el Reino Unido destinada a dar soporte georreferenciado al transporte público y sus aplicaciones.

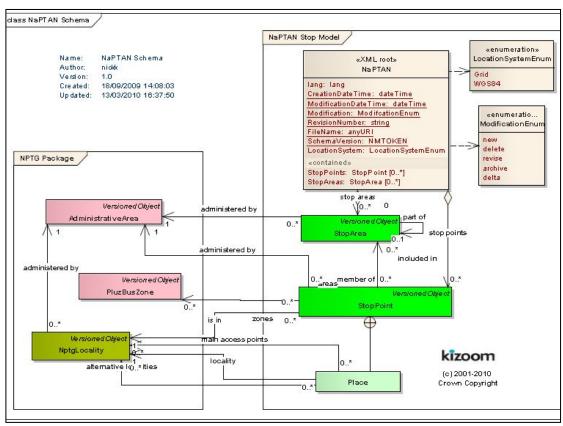


Figura 11. Esquema General de NAPTAN

En TransXchange, una *Parada* es solo una referencia mediante un código de parada a una definición previamente existente en el modelo NapTan, este tipo de referencias se realizan como "Puntos de referencia a parada" no obstante en TransXchange se define un modelo para las paradas, sobre todo para permitir la definición de nuevas paradas aunque posteriormente

estas sean consolidadas en la base general de NapTan. De esta manera, las paradas se definen en base a tres características principales:

- Punto de Parada o simplemente Parada, que describe una parada, contiene un descripción significativa del lugar empleada para asociar la parada con una localidad, las localidades están definidas en el modelo NapTan (derivadas de la base de datos National Public Transport Gazetteer) y están abiertas para que la autoridad del transporte correspondiente las edite. Las Paradas pueden ser de un número determinado de tipos y subtipos, cada uno con características diferentes:
 - Paradas en la calle: que pueden estar señalizadas o no, o de llamada (bajo demanda), de tránsito o simplemente de paso o de zona flexible.
 - Paradas fuera de la calle: En andenes fijos o variables, normalmente en estaciones, intercambiadores y otras infraestructuras similares.
- Áreas de Parada: usadas para agrupar paradas, en este caso deben describirse también con una instancia del modelo TrasXchange, resultan de interés para especificar zonas de agrupamiento de numerosas paradas, típicamente vinculadas a estaciones, intercambiadores e infraestructuras similares.
- Localidad: Usada para representar topográficamente una localidad en la región tal como una ciudad, pueblo o villa de acuerdo con el National Public Transport Gazetteer.

Para aquellas ubicaciones en las que las paradas pueden variar a lo largo del tiempo, TransXchange soporta el concepto de parada variable, en estos casos, el patrón de ruta referencia una dársena variable en una estación y además especifican una planificación de dársenas individuales para un calendario determinado. Un ejemplo de parada variable lo podemos ver en la *Figura 12*.

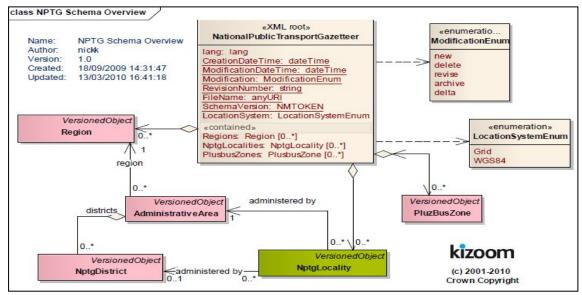


Figura 12. Esquema General de NTPG

2.2.3. GOOGLE TRANSIT

Google Transit es uno de los innovadores servicios de Google, que enriquecen las funcionalidades disponibles para los usuarios libres en el que basa su modelo de negocio Google. En el verano de 2006, Google Transit publicó un nuevo formato de intercambio de datos llamado "Google Transit Data Feed Specification (GTFS)", mediante el cual, las autoridades del transporte pueden hacer "visibles" sus datos mediante el Google Transit site (google, 2015).

Además, la especificación ha ido mejorando en las sucesivas versiones, esta ha alcanzado un "momentum" clave con la disponibilidad de muchos conjuntos de datos de Estados Unidos de América y de muchos países sobre todo el gigante asiático China, además ha engrosado su cuerpo con herramientas de validación. El foco original de *Google Transit* eran las áreas con redes metropolitanas de transporte, basadas principalmente en Autobús, Metro y Ferrys. Los ferrocarriles o autobuses interurbanos están disponibles en pocos países como Suiza, Austria y Japón. La *Figura 13* muestra un ejemplo del aspecto de una búsqueda en *Google* basada en el modelo *Google Transit*.

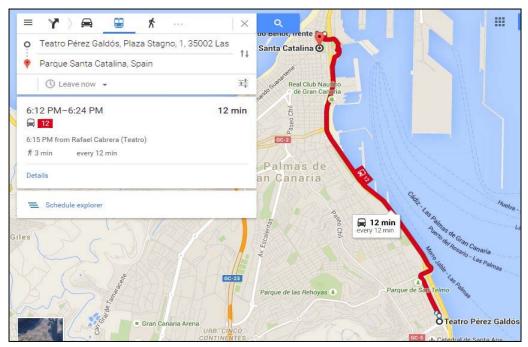


Figura 13. Ejemplo de búsqueda en Google Transit

Desde un sistema de información construido de acuerdo con la filosofía *Transmodel* a aportar información del transporte sobre la región concreta al modelo propuesto por *Google*, debería en todos los casos resultar sencillo, dado que prácticamente solo consiste en derivar los datos necesarios para GTFS desde la particularización de *Transmodel* de que se trate en su caso. En el ejemplo de la *Figura 13* se trata de una búsqueda entre dos puntos de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria para lo que Google Transit no está sugiriendo para la hora actual 18:07 pm usar la línea Nº 12 que dispone de una frecuencia de 12 minutos entre los dos puntos elegidos para el recorrido. La empresa de transportes Guaguas Municipales S.A. que realiza el servicio de transporte urbano en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria lleva operando con modelos de datos y sistemas de información desde principios de la década de los 90 por lo que su evolución hacia las tendencias actuales está garantizada al haber seguido

modelos de datos y sistemas convencionales fácilmente transportables a las necesidades de interconexión de los sistemas actuales.

En http://maps.google.com/help/maps/transit/partners/participate.html, se describe el proceso para que las autoridades de transporte que así lo deseen puedan subir a Google Maps Transit sus datos. El proceso consiste en los siguientes pasos:

- 1. Preparar un conjunto de datos a entregar de acuerdo con las especificaciones de GTFS y el Documento sobre buenas prácticas disponible en la web ambos.
- Validar el conjunto de datos usando el validador disponible en la web del proyecto que verifica la validez de los datos proporcionados de acuerdo con el modelo GTFS.
- 3. Inspeccionar los datos del resultado de la exportación con el visualizador de la planificación.
- Comprimir los archivos en formato zip, en un archivo denominado google_transit.zip.
- 5. Mantener los datos disponibles en un servidor web donde *Google* los pueda buscar.
- 6. Firmar un acuerdo de colaboración con el equipo de *Google Transit*.
- 7. Google desarrollará un área privada de pre visualización destinada a que la autoridad competente visualice y en su caso dé el visto bueno antes de lanzar los datos de manera pública.
- 8. La Autoridad probará los datos en la zona de pre visualización hasta que el resultado sea satisfactorio.
- 9. Se lanza públicamente el conjunto de datos.

El paso desde *Transmodel* a *Google Transit* resulta simple, dado que una vez realizada la implementación de *Transmodel*, el desarrollo de un esquema XML en el que se puedan generar el conjunto valido de datos necesarios para poner en *Google* la información necesaria para los usuarios del servicio es cuasi inmediato. Lo importante de esta aportación de *Google* es la universalidad de dispositivos y sistemas en los que la información pasa a estar disponible de manera prácticamente instantánea.

Cada vez es más y más universal la presencia casi "ubicua" de dispositivos con acceso a Internet que facilitan información sobre el lugar en el que nos encontramos y en el caso que nos incumbe sobre como desplazarse desde la ubicación actual hasta otro lugar o como diseñar un itinerario de acuerdo con nuestras necesidades laborales o de ocio.

Los últimos dispositivos de telefonía móvil de cualquiera de los fabricantes de hardware o suministradores de software como Android, Microsoft o Apple disponen de herramientas y facilidades que permiten al usuario conocer prácticamente sin hacer ninguna indicación como llegar a su casa o a su trabajo desde su ubicación actual mediante el empleo de los mapas, los sensores de localización y las bases de datos disponibles.

Sin duda buena parte de la información empleada en la actualidad en la gestión y explotación de los sistemas de transporte tiene su futuro en aplicaciones similares a la propuesta por el modelo de *Google*.

Además de lo comentado sobre *Google Transit* en el momento en que se redacta este documento aparece la iniciativa sobre información en tiempo real, que es la evolución natural en todo sistema de información al usuario del transporte público, conteniendo no solo la información sobre horarios planificada para los servicios públicos sino la información sobre las incidencias que durante el desarrollo de la planificación prevista pudieran ocurrir, a continuación citamos un ejemplo extraído de la web de *Google Transit* (Developers, 2013) de la ejecución de la misma pudieran ocurrir, en esencia, *Google Transit Real Time* permite a las autoridades de transporte remitir tres tipos de avisos que reflejar en el sistema de información al viajero que son:

- 1. Actualización del Viaje. Con información para el usuario del tipo "El vehículo X tiene una demora de cinco minutos", tiene previsto contemplar la cancelación o incremento de viajes así como el posible cambio de ruta.
- 2. Alertas de Servicio. Con información del tipo "La estación Y está cerrada por obras", está pensado para reflejar los problemas que pueden sufrir las entidades de la red de transporte como estaciones, líneas, zonas de la red, etc.
- 3. Posición de los Vehículos. Con información tipo "Esta vehículo se encuentra en la posición X a la hora Y".

Tal y como se plantea Google Transit la posibilidad de ofrecer a los usuarios información en tiempo real sobre los servicios de transporte público que les resulten de utilidad o interés, con ello, el usuario gana en cuanto a la mejora de su experiencia en el uso de los servicios de transporte, ya que el conocimiento lo más preciso posible sobre los horarios de salida y llegada reales le permite a los usuarios planificar sus viajes de una forma aún más fluida, en el caso por ejemplo de retrasos importantes, el usuario puede cambiar su elección de ruta o destinar su tiempo adicional a otras ocupaciones.

No cabe duda que en un plazo corto Google Maps Transit y sus cada vez más crecientes servicios nos resultaran de uso cotidiano en el asesoramiento para nuestros desplazamientos tanto en transporte privado con sus indicaciones sobre la situación del tráfico como en el transporte público indicando los horarios previstos y los horarios reales de los sistemas que resulten de interés o utilidad al viajero, sin dejar de lado la conexión evidente con la conocida como Internet de las Cosas.

2.2.4. Situación actual: hacia los servicios ubicuos y la Internet de las Cosas

El avance de la tecnología nos permite hablar de la posibilidad de contar con los datos sobre el Flujo de Vehículos y sobre el Flujo de Teléfonos móviles, y en general de otros dispositivos con capacidad de registrar la ubicación de una manera más o menos aproximada, esto se convierten en una nueva fuente exhaustiva de monitorización de los viajeros y de calidad de la oferta de transporte. Mediante los datos que pueden proporcionar los teléfonos móviles, afinando los métodos de reconocimiento y ubicación es posible identificar a los usuarios durante el viaje, así como en los lugares de origen y destino, así como en el modo de

transporte que utilizan, para reconstruir al menos los elementos troncales del viaje, todo esto hará posible:

- Avanzar en el entendimiento de la selección de rutas según el contexto del tráfico
- Observar de manera continua la duración de los viajes como indicador de la calidad de servicio
- Generar tablas de horario de viaje más ajustadas a la realidad para cada modalidad de transporte, de acuerdo con el tipo de día y con la hora del día.
- Evaluar el impacto de las medidas de control de tráfico en el flujo de tráfico.
- Aumentar el conocimiento y el uso de aplicaciones telemáticas por parte del usuario.

Dentro de este aspecto se entronca con buena parte del trabajo desarrollado bajo el epígrafe de los conocidos como sistemas omnipresentes, ubicuos o más comúnmente llamados "pervasivos" y parte del universo coloquialmente conocido como "La Internet de las Cosas" epígrafe del que podemos encontrar muchas y variadas referencias como por ejemplo (Tan, 2010).

En la comprimida historia de Internet, las comunicaciones entre máquinas servían de soporte para el intercambio de información mediante clientes y servidores clásicos de imágenes, páginas de hipertexto, contenidos de audio, video, etc., de manera que el foco central de Internet era el soporte a las comunicaciones entre humanos, los avances tecnológicos, van modificando esa tendencia original hacia comunicaciones entre humanos y cosas, e incluso entre cosas.

De acuerdo de nuevo con (Tan, 2010), la tendencia en el desarrollo de la llamada Internet de las Cosas es que el objeto en concreto cumpla con al menos tres condiciones:

- 1. Inteligencia incrustada.
- 2. Conectividad.
- 3. Interacción.

Así, es necesario disponer en el objeto de la capacidad de ejecutar acciones automáticas (esto es lo que se ha enunciado como inteligencia incrustada), por ejemplo, en un vehículo de transporte público debe ser posible ejecutar determinadas acciones de manera automática ante los cambios en la situación, por ejemplo de las operaciones que realiza el vehículo, dependiendo de que se realice un servicio determinado en una hora determinada en una línea específica o para un desplazamiento en vacío, o una parada de ajuste horario. Además, el objeto debe disponer de la capacidad de comunicarse y por lo tanto debe disponer de una conexión, en el universo de la Internet de las Cosas, las comunicaciones sin cables son las que predominan, con tecnologías inalámbricas de todo tipo RFID, ZigBee, WPAN, WSN, DSL, UMTS, GPRS, WiFi, WiMax, LAN, WAN, 3G, 4G, etc. La disponibilidad de las comunicaciones es la que permite por último la interacción. Por ejemplo, los sistemas de gestión de flota son capaces de regular el despacho de vehículos en la cabecera de un recorrido determinado o en el punto de control que se especifique siempre que dispongan de conocimiento sobre el plan establecido a cumplir y la situación real de los vehículos destinados a ejecutarlo, de esta manera es posible

interactuar con los vehículos para modificar las acciones automáticas que deben ejecutar de acuerdo con las modificaciones que se determinen o requieran sobre el plan pre establecido.

Mark Weiser, el precursor de la Computación Ubicua, en su trabajo de referencia "El computador del siglo XXI", publicado en el año 1991 (Weiser, 1991) comenzaba con el siguiente comentario

"Las tecnologías más profundamente desarrolladas y asimiladas son aquellas que desaparecen. Se tejen en la fábrica de la vida diaria hasta se indistinguibles de lo que las rodea"

Un ejemplo es el de la electricidad, para usar la energía eléctrica en los edificios modernos basta con acercarse a una zona en concreto para que un detector de movimiento situado estratégicamente detecte la presencia de un usuario y dispare la orden para que se ilumine dependiendo además de las condiciones de iluminación ambiente que existan en ese momento, todos estos conceptos están realmente avanzados en la vida diaria de hoy, no ocurre así con el universo de la informática donde, según Mark Weiser, el propósito de un dispositivo de computo es asistirnos en la realización de alguna tarea, el mejor elemento de computo es aquel que realiza las tareas de modo silencioso e invisible, mientras más uses la intuición más listo eres, el ordenador debe extender el inconsciente y la tecnología debería crear calma, hay que tener en cuenta que desde que Weiser enunciara estos términos ha pasado una eternidad en términos informáticos; hablamos de más de un cuarto de siglo.

Siguiendo con (Weiser, 1991) podemos hablar de tres eras claves en la historia de la computación:

- 1. La era MainFrame.
- 2. La era del Ordenador Personal.
- 3. La era Post Ordenador Personal.

Weiser habla de que los MainFrame eran equipos que podemos considerar como frente a los usuarios, los ordenadores personales como dispositivos que se encuentran a nuestro lado y los futuros equipos de la era PostPC serán equipos que están en un segundo plano.

Siguiendo con el paralelismo del ejemplo de la electricidad, los usuarios de los modernos edificios o casas dotados de domótica no perciben frente o junto a ellos a los sensores de presencia, iluminación, relés de contacto, cuadros de protección y derivación, centrales transformadoras o generadoras de tensión, para ellos toda esa tecnología se reduce a disponer de unas condiciones de iluminación adecuadas en cada momento.

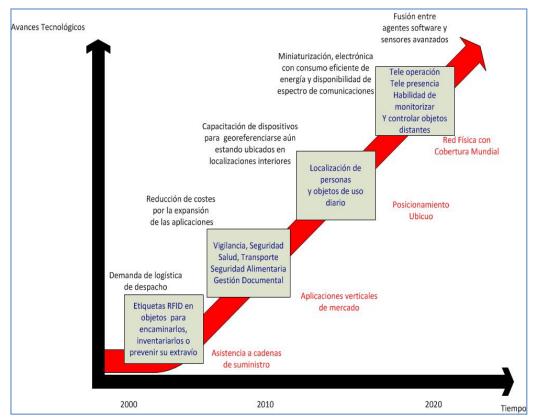


Figura 14. Tendencias en la Internet de las cosas

La

Figura 14 muestra un gráfico donde se prevé la evolución tecnológica que seguirá en los próximos años donde como suele ocurrir en el ámbito de la informática el tiempo se contraerá significativamente anticipando con mucha probabilidad los eventos previstos en el gráfico.

Tomando ahora como centro el paradigma de la Computación Ubicua, enunciado a principios de la década de los 90 del siglo pasado hasta referencias temporalmente más próximas a la actualidad, de acuerdo por ejemplo con (Satyanarayanan, 2001), el ambiente que caracteriza fundamentalmente a la Computación Ubicua es uno saturado de capacidades de comunicación, y a la vez tan integrado con el usuario en el que su base tecnológica se disuelve. Dado que la movilidad es algo inherente a lo cotidiano, la Computación Ubicua debe soportar la movilidad, en caso contrario, el usuario tendrá plena conciencia de la tecnología dado que la echará de menos en cuanto se mueva.

Hasta hace relativamente poco tiempo, antes de que aparecieran los primeros teléfonos inteligentes, el uso de internet en movilidad era algo que no resultaba transparente, en sus comienzos el acceso a internet estaba restringido a aquellos lugares en los que se disponía de conexión por cable o fibra a la red de redes, en la actualidad y de acuerdo con la tendencia de las comunicaciones señalada por ejemplo en (Tan, 2010) el acceso a Internet mediante tecnologías sin cable es cada vez más "ubicuo".

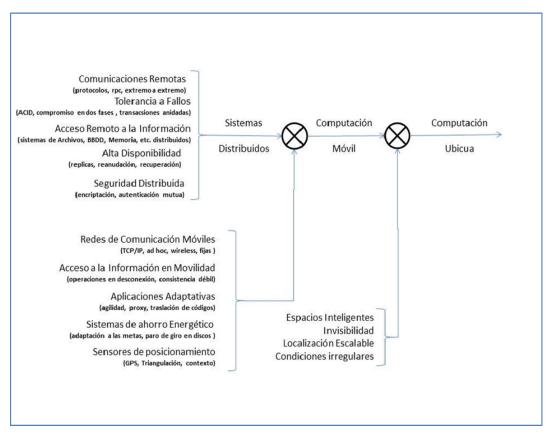


Figura 15. Clasificación de los frentes de investigación en Computación Ubicua

Siguiendo con (Satyanarayanan, 2001) los frentes de investigación en los sistemas de Computación Ubicua están íntimamente ligados a la disponibilidad de conectividad móvil, pero su finalidad va mucho más allá de la computación móvil. Específicamente, los sistemas de Computación Ubicua tienen cuatro frentes de investigación abiertos de acuerdo con la *Figura* 15, que son:

• El uso efectivo de los espacios inteligentes

Un espacio se corresponde con un área cerrada o abierta pero perfectamente delimitada, incrustar la infraestructura de cómputo en la infraestructura que define el área es lo que permite definir un espacio inteligente mediante la fusión de los términos sensores y controladores, el software de aplicación final que acompaña al usuario debe ser capaz de adaptarse al entorno en el que se encuentra, la inteligencia debe además extenderse a los objetos al margen de que se encuentren o no en un espacio inteligente.

Invisibilidad

Hablamos de la desaparición o disolución de la tecnología de Computación Ubicua de la conciencia del usuario. Si la Computación Ubicua consigue dar la respuesta adecuada al usuario en el momento adecuado sin requerir su intervención o sin suponer una sorpresa para el mismo, permitirá una interacción más en el plano inconsciente, además una pizca de anticipación debe ser modulada para evitar las respuestas tardías o sorpresivas que devuelvan al usuario al plano en el que toma conciencia de la presencia de la tecnología.

• Localización Escalable

A medida que los espacios inteligentes crecen en sofisticación, la interacción entre el entorno computacional del usuario y lo que le rodea aumenta. Esto tiene una repercusión importante en el ancho de banda y la energía necesaria. Adicionalmente la presencia simultánea de varios usuarios complica aún más el problema de las comunicaciones inalámbricas. La escalabilidad en el sentido de amplitud es un problema crítico en la Computación Ubicua. En la computación tradicional la escalabilidad no dependía de la ubicación de los clientes, un servidor web escala en cuanto a número de usuarios que despacha simultáneamente, con independencia de su ubicación, en la Computación Ubicua esto no es así, un usuario de Computación Ubicua puede generar interacciones no solo con los objetos próximo sino también con los remotos.

• Enmascarar las condiciones irregulares

El grado de desarrollo de las tecnologías ubicuas no es homogéneo por lo que se suelen encontrar áreas con distintas capacidades de inteligencias que dependen de factores no solo tecnológicos como pueden ser de estructura organizativa, económicos o de modelo de negocio. Las diferencias significativas entre áreas dotadas de mayor o menor capacidades para la Computación Ubicua, alejan a la misma de su capacidad de disolverse en el entorno ya que el usuario notará sin lugar a dudas la diferencia entre los distintos tipos de áreas inteligentes en las que se encuentre.

Uno de los frentes de investigación en el que nos interesa profundizar en el presente trabajo es el de la determinación de la ubicación, siguiendo en el ámbito de la Computación Ubicua, en (LaMarca, 2005) se demuestra como mediante el uso de tecnologías cada vez más "ubicuas" como las redes 802.11 y GSM (o sus variantes más avanzadas) se puede triangular la posición de Ordenadores portátiles, PDA, Tabletas, Teléfonos móviles no solo en ubicaciones exteriores sin hacer uso de la tecnología GPS sino en localizaciones interiores como edificios de oficinas, viviendas, almacenes, etc. donde no es simple disponer de conectividad con las señales emitidas por los Satélites.

En el trabajo de (LaMarca, 2005), se describe la problemática que supone localizar a las personas en la vida diaria, la mayoría de las soluciones no son ubicuas, tienen un alto coste y requieren la instalación de sensores sofisticados, calibrados y costosos. En el citado trabajo se pretende conseguir que mediante el acceso a las fuentes de radio ya disponibles en casi cualquier lugar como las celdas GSM, puntos de acceso WIFI y Bluetooh, situando adecuadamente las fuentes de radio existente, un dispositivo tipo ordenador portátil, PDA o teléfono celular pueda triangular en un mapa su posición en función de la intensidad de las distintas señales que es capaz de captar. En los resultados prácticos de éste trabajo podemos observar, que se alcanza una precisión mínima para ubicar un coche que se mueva por las distintas áreas de 216.2 m en el caso más desfavorable y de 13.4 m en el caso más favorable, sencillamente un resultado muy alentador teniendo en cuenta que se trata del uso de dos tecnologías ampliamente disponibles en muchas ubicaciones en la actualidad.

2.3. Modelos de optimización de costes la red de transporte

Definir la planificación para un sistema de trasporte público regular de viajeros por carretera, implica determinar, a ser posible de manera óptima, un plan de recorridos, frecuencias, horarios, asignación de personal y flota concreto. Este proceso se puede descomponer en 5 etapas de acuerdo con (Israeli Y, Ceder A, 1993):

1era. Diseño de las rutas, determinando el número de líneas y el trazado de sus respectivos recorridos.

2da. Determinación de las frecuencias de paso para cada línea, eventualmente variable en el tiempo, considerando aspectos necesarios para cubrir la demanda no considerados en la primera etapa.

3era. Determinación de horarios y sincronización de despachos entre aquellas líneas que comparten puntos de transferencia.

4ta. Asignación de flota en base a los vehículos disponibles para realizar los viajes.

5ta. Asignación de personal y recursos disponibles a los viajes programados por línea.

Es posible plantear un proceso interactivo con diferentes etapas que requerirá la reiteración de algunas de ellas hasta conseguir una planificación teórica y práctica viable.

La optimización de un sistema de Trasporte Público de Viajeros, nos plantea básicamente dos objetivos que son antagonistas por definición, esto son:

- maximizar la calidad del servicio (minimizar tiempos de viaje y espera)
- maximizar el beneficio de las empresas transportistas.

La solución global al problema depende de la solución de cada una de las etapas del proceso planteado por (Israeli Y, Ceder A, 1993), adicionalmente a lo que ya hemos comentado, es razonable pensar que las soluciones factibles de las tres últimas etapas del proceso de planificación, están fuertemente condicionadas por las soluciones obtenidas en las dos primeras. En otras palabras, determinar los recorridos y frecuencias condiciona los horarios de salida de los vehículos, así como los recursos materiales y humanos a emplear y por lo tanto la maximización del beneficio de la empresa o de la calidad del servicio.

Los problemas relativos a la asignación óptima de flota y personal han sido objeto de variados y múltiples estudios desde diversas disciplinas. Básicamente el enfoque se reduce a modelar un problema clásico de optimización combinatoria, programación lineal entera, y en muchas ocasiones la solución que se obtiene está muy cerca de la solución exacta.

El problema del diseño y optimización de rutas y frecuencias ha sido menos estudiado y es un problema de los denominados NP Completo. Entre otras se suelen enumerar de acuerdo con (Israeli Y, Ceder A, 1993) las siguientes dificultades:

- Definir las variables de decisión (en particular la elección de línea por parte del que viaja) y la función objetivo.
- 2. No linealidad y no convexidad del problema.
- 3. Naturaleza combinatoria del problema, con variables discretas.
- 4. Múltiples objetivos, existe un compromiso, principalmente entre los objetivos de los usuarios del sistema, y los operadores, lo que hace que pueda no existir una única solución óptima, sino varias soluciones no dominadas.
- 5. Disposición espacial de las rutas, formalización de una buena disposición de ellas.

Las primeras herramientas de diseño óptimo de rutas y frecuencias surgen en la década de los 70, basados en ideas intuitivas, sin una formulación del modelo y su función objetivo, en algunos casos, sin exploración del espacio de soluciones. En la década de los 80 se formulan algunas funciones objetivo, y se incorporan nuevos parámetros tales como el cubrimiento de la demanda, factor de carga (proporción de pasajeros de pie, respecto a la cantidad de asientos disponibles) y transferencias de los buses. En la década de los 90 aparecen otros enfoques, como la utilización de soluciones heurísticas y meta-heurísticas, y la exploración del espacio de soluciones.

La facilidad de integrar módulos existentes y de incorporar su interfaz gráfica, estimula el desarrollo de nuevos métodos, que se diferenciarán por su:

- a) Adaptabilidad: respecto de los datos disponibles, principalmente aquellos relativos a la topología de la red de tránsito y a la demanda de viajes (matrices origen-destino)
- b) Interactividad: con el usuario, en el modo de permitir la incorporación de conocimiento humano (técnico humano) en el proceso de toma de decisiones
- c) Eficiencia: calidad en los resultados y tiempos de procesamiento razonables
- d) Flexibilidad: en cuanto al horizonte de la planificación a corto y mediano plazo.

El principal componente que caracteriza a cada uno de los modelos es su formulación. En particular la función objetivo reflejará tanto los intereses de los usuarios como los de los operadores. Los modelos presentados en este punto, en general, buscan maximizar el nivel de servicio, minimizando el uso de los recursos, según determinadas restricciones. Estos objetivos son generalmente antagónicos, es decir, una mejora en uno, implica un detrimento en el otro, casi de manera necesaria. La importancia relativa de los componentes de la función objetivo es una decisión política, por tanto, será definida por las entidades reguladoras del sistema, conocidas como Autoridades del Trasporte.

A continuación vamos a comentar cada uno de los modelos propuestos haciendo énfasis en analizar los datos que utiliza la función objetivo, es decir, en que dato centra los esfuerzos para optimizar y si disponemos o no disponemos de ellos en el modelo de sistema propuesto en nuestro trabajo.

2.3.1 BAAJ Y MAHMASSANI

En este modelo (Baaj,M.H. y Mahmassani, H.S., 1991), se plantea minimizar tanto los tiempos totales de transferencia de pasajeros, como el tamaño de la flota requerido, el modelo permite fijar restricciones de frecuencia, factor de carga y tamaño de flota. La formulación del modelo y sus parámetros se indican en el cuadro *Modelo 1*. Este modelo sirve de base para otros modelos propuestos por varios autores que mencionaremos posteriormente. El modelo tiene explícitamente en cuenta los principales aspectos del problema, así como una variedad de parámetros y restricciones sobre los mismos.

$$\begin{aligned} & Min\left\{C1\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}d_{ij}t_{ij}+C2\sum_{k\in\mathbb{R}}f_{k}t_{k}\right\} & (Functon\ Objetivo) \end{aligned}$$

$$f_{k}>f_{min}, \forall k\in\mathbb{R}\ (Frecuencia\ factible)$$

$$LF_{k}=\frac{(Q_{k})max}{f_{k}CAP} \leq LF_{max\square}, \forall\ k\in\mathbb{R}\ (Factor\ de\ carga)$$

$$\sum_{k\in\mathbb{R}}N_{k}=\sum_{k\in\mathbb{R}}f_{k}t_{k}\leq W, \forall\ k\in\mathbb{R}\ (Tamaño\ de\ flota)$$

$$Donde:\ n:cantidad\ de\ nodos\ de\ la\ red\ dij:demanda\ (cantidad\ de\ viajes\ por\ unidad\ de\ tiempo)entre\ nodos\ i\ y\ j\ tij\ tiempo\ total\ de\ viaje\ entre\ t\ y\ (en\ vehleulo, espera\ y\ transferencia)\ N_{k}:cantidad\ de\ buses\ operando\ en\ la\ ruta\ k\ f_{inti.timlinma}\ frecuencia\ de\ buses\ permittida\ para\ toda\ ruta\ T_{k}tiempo\ total\ de\ viaje\ de\ la\ ruta\ k\ (e_{k})_{max}:maxime\ flujo\ per\ areo\ en\ la\ ruta\ b\ (e_{k})_{max}:maxime\ flujo\ per\ areo\ en\ la\$$

Modelo 1 BAAJ Y MAHMASSANI

Es flexible, ya que permite la incorporación del conocimiento previo de los usuarios del modelo, por ejemplo, se puede agregar con facilidad una restricción para la mínima proporción de demanda cubierta en base a viajes sin transferencias o con al menos una transferencia. Los componentes de la función objetivo se expresan en distintas unidades, obligando a utilizar coeficientes de conversión.

2.3.2 ISRAELI Y CEDER

En este modelo (Israeli Y, Ceder A, 1993), que es similar al anterior, salvo porque se formula como un problema de optimización multiobjetivo, en este caso con dos objetivos. La descripción del modelo y sus parámetros están en el cuadro *Modelo 2*.

$$Min\ Z_1 = a_1 \sum_{t=1}^n \sum_{f=1}^n PH_{tf} + a_2 \sum_{t=1}^n \sum_{f=1}^n WH_{tf} + a_3 \sum_{k \in \mathbb{R}} EH_k \ (Funct 6n\ objectivo\ 1)$$

 $Min Z_2 = FS$ (Function objetive 2)

Donde:

n:cantidad de nodos de la red

 PH_{ij} : cantidad de $\frac{pasajeros}{hora}$ entre nodos i y f(mide el tiempo de viaje en vehiculo)

 WH_{tj} :tiempo de espera de pasajeros entre nodos i y j

 EH_k :tiempo de viaje vacio, que refleja la utilización de los buses en la ruta kFS:tamaño de la flota

R:confunto de rutas para una solución dada

a 1, a 2 y a 2: pesas que reflejan la importancia relativa de las t**é**rminas

Modelo 2 ISRAELI v CEDER

2.3.3 NGAMCHAI Y LOVELL

Este modelo (Ngamchai, S., y Lovell, D. J, 2000), con una formulación similar a la propuesta por los dos modelos precedentes, permite calcular frecuencias de rutas, aunque requiere del uso de coeficientes de conversión de todos los componentes de la función objetivo. El modelo y sus parámetros están en el cuadro *Modelo 3*.

Min{FC + UVC + UWC} (Function Objective)

$$FC = \frac{2C_v}{V} \sum_{k=1}^{R} \frac{d_k}{h_k} \text{ (Costo de la flota)}$$

$$UVC = \frac{\gamma_v}{V} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} q_{ij} D_{ij}$$
 (Costo en viaje en vehiculo de los usuarios)

$$UWC = \frac{\gamma_w}{2} \sum_{k=1}^{R} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} q_{ij} a_{ijk} h_k \text{ (Costo de espera de los usuarios)}$$

Donde:

n : cantidad de nodos de la red

R: cantidad de rutas para una solución dada

C_w: costo por hora de operación de los vehículos

V : velocidad de los buses en la red

 d_k : largo de la ruta k

🐠: demanda entre los nodos i y j (cantidad de viajes por hora)

Largo de la ruta mas corta seleccionada por los pasajeros viajando de i a j

aijk: si la ruta k utiliza el arco (i,j), aijk=1, de lo contrario aijk=0

Yw: coeficientes que reflejan el valor subjetivo de los tiempos de viaje y espera

 h_k : espaciamiento temporal del servicio en la ruta k (inverso de la frecuencia)

2.3.4 GRUTTNER, PINNINGHOFF, TUDELA Y DÍAZ

Este modelo (Gruttner, Pinninghoff, Tudela y Díaz, 2002) difiere de todos los anteriores en la especificación de los componentes del sistema. Propone un modelo de asignación alternativo, que usa el método basado en el modelo econométrico Logit (propuesto en 1944) que permite en este caso estimar el rendimiento útil de cada línea para cada posible origen-destino (i,j) de la red. No se contemplan aspectos tales como la determinación de frecuencias y dimensionamiento de flota. Requiere la utilización de coeficientes de conversión y de valores subjetivos de tiempos. El modelo y los parámetros propuestos se pueden ver en *Modelo 4*.

$$\begin{aligned} &Max: \sum_{k=1}^{R} (\alpha F O_k - \beta F U_k) \text{ (Function objectivo)} \\ &FO_k = IO_k - CO_k \text{ (Function de beneficio del operador)} \\ &FU_k = CU_k = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \left(\delta t_{ijk}^{w} + t_{ijk}^{y} + \mu t_{ijk}^{y} \right) VST_{ijk} V_{ijk} \\ &\text{ (Function de costo del usuario)} \end{aligned}$$

Donde:

n : cantidad de nodos de la red

R: cantidad de rutas para una solución dada

AFk: Afluencia total de viajes que atrae la ruta k

 $T_{m{k}}$: Tarifa cobrada en la ruta k

 IO_k :Ingreso operador de la ruta k, $IO_k = AF_kT_k$

 $d_{\mathbf{k}}$: largo de la ruta k

 K_k : Costo unitario de operación por kilómetro de la ruta k

 CO_k : Costo operador de la ruta k, $CO_k = G_k K_k$

 $t_{ijk}^{a},t_{ijk}^{a},t_{ijk}^{a}$:Tiempo de acceso a la ruta k, de viaje y de espera, respectivamente

 VST_{ijk} : Valor subjetivo del tiempo para cada arco(i,j) correspondiente a la ruta k

💯: Número de viajes sobre cada arco (i,j) correspondiente a la ruta k

Modelo 4 GRUTTNER, PINNINGHOFF, TUDELA Y DÍAZ

2.3.5 Resumen de los parámetros manejados por cada modelo

A continuación, en la *Tabla 1* mostramos un resumen que para cada modelo (primera columna de la *Tabla 1*) indica los datos necesarios para su aplicación (tercera columna de la *Tabla 1*), junto con un breve comentario acerca del objetivo perseguido por el modelo (segunda columna de la *Tabla 1*).

Queremos indicar que cada modelo, tal y como se aprecia en la columna resumen (segunda columna de la *Tabla 1*), persigue optimizar una función de coste determinada, en algunos casos aplicando restricciones de máximos o mínimos dado que como ya se ha

comentado, los objetivos perseguidos de calidad de servicio y máximo beneficio del operador suelen ser antagónicos por naturaleza.

Modelo	Descripción	Datos necesarios
BAAJ Y MAHMASSANI	Minimizar los tiempos totales de transferencia de pasajeros y el tamaño de la flota requerido, sujeto a restricciones de frecuencia, factor de carga y tamaño de flota	ntoantidad de nodos de la red d _u t demanda (cantidad deviajes por unidad de tiempolentre nodos i y f t _u t tiempo total de viaje entre i y j (en ve h f oulo, espera y transferencia) N _i t cantidad de buses operando en la ruta k, N _i = f _i T _i f _i t frecuencia de buses en la ruta k f _{min} t minima frecuencia de buses permitida para toda ruta T _i t tiempo total de viaje de la ruta k Wittempo total de viaje de la ruta k (t _i t tiempo total de viaje de la ruta k Wittempo total de viaje de la ruta k (t _i t tiempo de la flota disponible, cantidad de buses por hora 2F _i t factor de carga de la ruta k (t _i t) _{man} t velima jugo por arco en la ruta k CAP toapacidad de pasajeros sentados en los vehiculos 1F _i t unimimo factor de carga permitido Riconjunto de rutas para una solveión dada: Ci y Cit factores de conversión de los términos de la función objetivo
ISRAELI Y CEDER	Minimizar los tiempos totales de transferencia de pasajeros y el tamaño de la flota requerido, sin especificar restricciones con enfoque multiobjetivo	nticantidad de nodos de la red pasaferos PH _H ticantidad de hora, entre nodos i y júnide el tiempo de viaje en vehículo. WH _H tilempo de espera de pasaferos entre nodos i y j EH _h tilempo de viaje vacio, que refleja la utilización de los Buses en la ruta k Fittamaño de la flota Riconjunto de rutas para una solución dada: a1, a2, a3:pesos que reifejan la importancia relativa de los tórminos en la fun
NGAMCHAI Y LOVELL	Minimizar los tiempos totales de transferencia de pasajeros y el tamaño de la flota requerido, restricciones sobre el factor de carga con enfoque detallado	**: cantidad de nodos de la red **: cantidad de rutas para una solución dada ***: costo por hora de operación de los vehículos ***: velocidad de los buses en la red ***: largo de la ruta k ***: demanda entre los nodos i y j (cantidad de viajes por hora) ***: largo de la ruta mas corta seleccionada por los pasajeros viajando de i a j ***: si la ruta k utiliza el arco (i,j), a _{ijk} =1, de lo contrario a _{ijk} =0 ***: velocidad de los buses en la red ***: coeficientes que reflejan el valor subjetivo de los tiempos de viaje y espera ***: espaciamiento temporal del servicio operante en la ruta k (inverso de la frecuencia)
GRUTTNER, PINNINGHOFF, TUDELA Y DÍAZ	Máximo beneficio de operador y mínimos costes de usuario, sujeto a restricciones de distancia de origen a destino con un modelo alternativo de asignación basado en el método econométrico Logit	*** : cantidad de nodos de la red *** : cantidad de rutas para una solución dada *** *** : coeficientes que reflejan la importancia relativa de cada objetivo **** : Afluencia total de viajes que atrae la ruta k **** : Tarifa cobrada en la ruta k **** : Ingreso operador de la ruta k **** : Largo de la ruta k **** : Costo unitario de operación por kilómetro de la ruta k **** : Costo operador de la ruta k **** : Costo operador de la ruta k **** : Costo operador de la ruta k **** : Valor subjetivo del tiempo para cada arco(i,j) correspondiente a la ruta k **** : Número de viajes sobre cada arco (i,j) correspondiente a la ruta k **** : Número de viajes sobre cada arco (i,j) correspondiente a la ruta k **** : Pesos relativos de los tiempos de acceso y de espera con respecto al tiempo de viaje

Tabla 1. Resumen de Modelos de Estimación de Costes y sus Parámetros

Profundizando en los objetivos perseguidos por los métodos de optimización comentados, podemos indicar que la calidad del servicio se considera como un ideal inalcanzable en el que la frecuencia de paso por las paradas es máxima de manera que el tiempo de espera del usuario es nulo, es decir, el máximo de la calidad de servicio se alcanza mediante el empleo de una especie de cinta trasportadora continua por la que el usuario nunca tiene que esperar y que se mueve a velocidad infinita dejándolo en el destino en tiempo 0, o bien, cuando el usuario no invierte ningún tiempo en el recorrido ya que se encuentra en el destino final siempre. Por el contrario, si se detalla en algunos métodos lo que se considera como tamaño de la flota requerido, es decir, el número de vehículos que deben circular por la red en un momento dado para cumplir con las frecuencias definidas en la planificación para cumplir con los antes mencionados criterios de calidad del servicio.

Resulta evidente la necesidad de determinar bajo qué criterios se alcanza el óptimo en cuanto a tiempo de recorrido, tiempo de espera, frecuencia de paso, etc. etc. ya que el ideal matemático se encuentra alejado de la realidad alcanzable.

2.3.6 Análisis de los datos empleados por los modelos de estimación de costes

En los modelos de estimación de costes comentados con anterioridad, se emplean una serie de parámetros comunes a todos ellos, que proponemos denominar como *parámetros estáticos* como por ejemplo:

- La cantidad de nodos de la red.
- El conjunto de rutas de la planificación (denominadas como rutas para una solución dada).
- El tamaño de la flota de guaguas disponible.

Los parámetros que proponemos denominar como *parámetros estáticos*, se caracterizan porque no cambian significativamente y en caso de cambiar lo hacen de manera predecible. Las redes de transporte, a pesar de ser dinámicas suelen conservar su topografía durante largos períodos de tiempo, y ésta, solo se ve afectada por obras o condiciones de tráfico especiales (accidentes), en cuyo caso se puede ver modificado el número de nodos de la red o su ubicación durante un periodo de tiempo determinado. Con respecto a las rutas planificadas, éstas se diseñan para períodos de tiempo determinados como: Horario de Invierno, Horario de Verano, Época Escolar, Semana Santa, etc. etc. En el caso del tamaño de la flota, se suele disponer de vehículos denominados de reten con los que se suelen suplir sustituciones de vehículos de servicios que puedan ser necesarias por accidentes, averías, revisiones no planificadas u otras contingencias que afecten la disponibilidad de los vehículos.

En segundo lugar existen parámetros que proponemos denominar como *parámetros de coste/beneficio*, como por ejemplo:

- Demanda de viajes entre nodos de la red.
- Número de pasajeros/hora entre dos nodos de la red.
- Factor de carga de la ruta.
- Coste por hora de operación de vehículos o Coste de operador para la ruta.
- Ingresos Operador de la ruta.

Estos parámetros que proponemos denominar como *parámetros coste/beneficio* son los que suponen un mayor peso a la hora de aplicar una función de minimización costes y/o maximización de beneficios, que fundamentalmente es el objetivo que persigue la aplicación de los métodos propuestos con anterioridad.

El primero de los parámetros de éste conjunto, <u>demanda de viajes entre nodos de la red</u>, se puede estimar mediante algún tipo de técnica de encuesta o de histórico de registro de viajes, como se propone por ejemplo en (SCHALLER, 2005), o con (Friedrich, 2004), dado que no resulta simple conocer la intención de los viajeros que demandan los recorridos entre dos nodos de la red, se suelen emplear métodos de muy diversa naturaleza para estimarlo como por ejemplo: con respecto al área en la que se ubican los nodos, total de población del área, número de puestos de trabajo del área, servicios sanitarios o administrativos ubicados en el área junto con una estimación de los usuarios de tales servicios.

Habitualmente solo se plantea recalcular la demanda de viajeros entre dos nodos de la red cuando su valor alcanza valores límite, es decir, los vehículos dejan a los usuarios en las paradas del recorrido porque van llenos de viajeros recogidos en paradas previas, o por el contrario el nivel de ocupación es muy bajo en cuyo caso se suelen suprimir frecuencias o recorridos al considerar la demanda muy baja. En el trasporte público español no se emplean técnicas de "estimulo" de la demanda tan habituales por ejemplo en el sector comercial privado, de manera que por medio del estudio de las características de la población se diseñan campañas publicitarias destinadas a fomentar la demanda de determinados bienes y servicios, técnicas con un largo rodaje y que permiten a comerciales e industria en general mantener acotada la demanda en al menos cifras macroeconómicas.

Respecto al Número de pasajeros/hora entre dos nodos de la red, el factor de carga de la ruta, el coste de operación por hora o coste de operación de la ruta y los Ingresos de operador por la ruta, a diferencia de la demanda de viajeros entre dos nodos de la red, son parámetros que se pueden calcular de manera precisa y efectiva en todas sus dimensiones, mediante el registro adecuado de la información generada en los vehículos y su posterior tratamiento que permita mantener actualizado su valor mediante aproximaciones estadísticas, tal y como demostraremos en éste trabajo y por lo tanto se pueden aplicar los métodos de estimación/optimización de costes deseados no en base a estimaciones de valores sino en base a valores derivados de aproximaciones estadísticas.

De acuerdo de nuevo con (Friedrich, 2004) los métodos basados en las encuestas siguen siendo la principal fuente de información sobre el comportamiento real durante el viaje de las personas. En las encuesta se les suele requerir al viajero que indique el propósito, destino, modo y demás características del viaje que realiza, pero esta metodología tiene varias limitaciones, la fundamental es que solo cubre una muestra de la población total debido a sus altos costes. La combinación de las encuestas con otras técnicas de apoyo como por ejemplo la encuesta asistida por ordenador o el registro mediante dispositivos GPS (que requiere la participación de voluntarios). Los datos de ubicación geográfica que pueden ser registrados empleando los equipos embarcados junto con los registrados por los modernos teléfonos móviles tanto dotados de GPS como registrando las células de red en las que los usuarios

registran sus móviles en la red GSM, se revelan cada vez más, como una nueva fuente capaz de avanzar en un seguimiento exhaustivo y continuo de los viajes y viajeros. La confluencia de los métodos de análisis de mapas y registro de información de vehículos y personas permitirá reconstruir los elementos básicos de la ruta, lo que facilitará:

- Registrar continuamente los tiempos de viaje como indicador principal de la calidad del servicio.
- Generar horarios de viaje por tipo y hora del día más ajustados a la realidad y por lo tanto de mayor calidad.

El trabajo que aquí presentamos trata de incidir fundamentalmente en uno de sus aspectos de aplicación práctica en estos factores, ya que determinará, por medio de una aproximación estadística, una función que permita conocer la duración de un determinado recorrido planificado teniendo en cuenta todas sus dimensiones, es decir, el tipo de día y la hora del día en la que se realice.

Por último podemos hablar de parámetros que proponemos denominar como *parámetros de calidad*, estos son los encargados de medir la calidad del servicio prestado de manera directa o indirecta, entendiendo por calidad, el cumplimiento de un compromiso en lo que respecta a un máximo tiempo de espera y a un mínimo tiempo de viaje, todo ello vinculado a las frecuencias máximas y mínimas permitidas para las diferentes rutas, estos parámetros que están propuestos en los modelos comentados con anterioridad son:

- Tiempo total de viaje, entendiendo como tal el tiempo en el vehículo, en espera y en trasferencia.
- Frecuencia de vehículos en la ruta.

Podemos agrupar en estos dos epígrafes a los parámetros de los modelos que persiguen medir la calidad de los servicios de cara al viajero, teniendo en cuenta que la calidad esta siempre vinculada a la sostenibilidad de los costes de explotación para las empresas y por lo tanto a la recaudación que el sistema es capaz de generar con las tarifas aplicables en cada momento.

Existen modelos para calcular tiempos de viaje tanto en vehículo, como en espera y como en transferencia, incluso discerniendo entre viajes urbanos e interurbanos como por ejemplo (Furth, P.G; Muller, Th.H.J; Strathman, J.G.; Hemily, B., 2003). Respecto a la frecuencia de autobuses en la ruta, nuestra propuesta se desarrolla en toda su amplitud en esta faceta, es decir, en como mediante la metodología propuesta, basada en una aproximación estadística que parte del registro de la información a bordo de los vehículos, es posible calcular para cada ruta establecida la frecuencia de paso por cada uno de los nodos que la componen, categorizándola por perfil de planificación tipo verano/invierno o por tipo de día de la semana, laboral/festivo o por hora de tráfico hora punta/ hora valle, o como cualquier combinación de todos estos factores.

Desde el punto de vista de cómo se dispone de los parámetros necesarios para aplicar los distintos modelos de optimización de costes proponemos las siguientes categorías:

- Disponibles en la planificación.
- A ser estimados mediante algún proceso o modelo.
- Calculados mediante la aplicación de nuestra propuesta.

Tal y como ya hemos comentado, la mayoría de los modelos se suelen aplicar mediante el uso de parámetros que provienen o bien de estimaciones o bien de conocimientos heurístico/empíricos o de la simple tradición o costumbre, de modo que el rendimiento de la aplicación del modelo de optimización en sí mismo, no solo tiene las limitaciones propias del modelo sino que se le añaden las limitaciones propias de los parámetros con los que se trabaja.

Adicionalmente, en la mayoría de los casos, los modelos trabajan con los valores de los parámetros empleados durante la planificación, que muy a menudo difieren del valor real obtenido en la explotación, la influencia de esta diferencia, puede suponer un porcentaje importante como veremos en algunos de los casos prácticos planteados en este trabajo, por ejemplo, la velocidad del vehículo en la ruta suele estar vinculada a la hora del día en la que se efectúa el recorrido, es por lo tanto una función que depende al menos del tipo de día (laboral, fin de semana o festivo) y de la hora del día, un parámetro por tanto como mínimo bidimensional que se suele simplificar habitualmente por un valor único a la hora de aplicar un modelo, el valor empleado suele ser el promedio de la función que representa y que en determinados casos donde la variabilidad es pequeña puede no ser significativa la diferencia entre el uso del valor promedio y el uso de la función que lo modela, no obstante, la fidelidad del resultado obtenido será mucho mayor cuanto más se aproxime a la realidad de la explotación el parámetro empleado.

A modo de resumen presentamos en la *Tabla* 2 la clasificación que proponemos para los parámetros empleados en las funciones de optimización/estimación de coste.

Tipo de parámetro	Parámetro	Fuente
ESTÁTICOS	Cantidad de nodos de la red Conjunto de rutas de la planificación Tamaño de la flota de vehículos	Datos de la planificación
COSTE/BENEFICIO	Demanda de viajes entre los nodos de la red Cantidad de pasajeros/hora entre dos nodos de la red Factor de carga de la ruta Coste de operador para la ruta Ingreso Operador de la ruta	Modelos de estimación y cálculo de coste/demanda
CALIDAD	Tiempo total de viaje (vehículo, espera y trasferencia) Frecuencia de guaguas en la ruta	Estimación

Tabla 2. Tipos de Parámetros

Este trabajo se centra en cómo obtener de manera automática, continuada y fundamentalmente mediante aproximaciones estadísticas, los valores de los parámetros necesarios para mantener actualizados los modelos de optimización de costes y los parámetros de calidad u obligación de servicio público para el transporte regular de viajeros por carretera.

Capítulo 3: Propuesta de modelo de sistema

En este capítulo se presenta el modelo de sistema propuesto. La gestión de datos propuesta en este modelo ha sido utilizada por la Empresa de Transporte Global SALCAI - UTINSA S.A. y la Autoridad Única de Transporte de Gran Canaria. La primera para soportar la gestión de todos sus datos de la producción y la segunda para soportar distintos servicios telemáticos avanzados como un sistema de pago basado en la tarjeta inteligente sin contacto y el sistema de información al viajero en paradas y estaciones.

3.1 Antecedentes: problemática a resolver

Actualmente, en la Isla Gran Canaria el transporte público de viajeros por carretera sólo se realiza mediante el transporte por autobús, existiendo 5 empresas operadoras. De estas 5 empresas, 3 de ellas son pequeñas empresas de transporte con flotas de vehículos que no superan los 15 vehículos y las dos restantes son empresas medianas con flotas de vehículos entorno a las 200 unidades. Algunas de estas empresas son de carácter exclusivamente urbano, otras son de carácter exclusivamente interurbano y otras de tipo mixto. Adicionalmente, algunas operadoras pequeñas realizan además del trasporte público regular de viajeros por carretera, otro tipo de trabajos en el sector del transporte de viajeros, como el discrecional y el escolar.

Gran Canaria es la única isla del archipiélago canario que posee una autoridad del transporte, equivalente a la que se puede encontrar en múltiples territorios a nivel de estado o región como por ejemplo en países como EE.UU y Canadá. Esta autoridad se denomina Autoridad Única del Transporte de Gran Canaria y su ámbito de actuación es la gestión es el transporte regular de viajeros por carretera de forma conjunta y coordinada. Entre los objetivos, la Autoridad Única del Transporte de Gran Canaria, se encuentra la gestión coordinada del transporte público con el fin de optimizar los recursos destinados a realizar el servicio público de transporte de viajeros en la Isla y desarrollar actuaciones para promover y facilitar el uso de transporte público regular de viajeros por carretera de Gran Canaria, como por ejemplo: sistemas de pago o sistemas de información al ciudadano de todo aquello relacionado con el transporte público que sea de su interés (recorridos, horarios, paradas, tarifas, etc.). Para llevar a cabo esta labor, es necesario disponer de un mínimo de infraestructura en lo que respecta a los sistemas de información para poder plantearse suministrar información fidedigna a los usuarios respecto no solo a la planificación de líneas con sus determinados recorridos y sus correspondientes horarios, información de naturaleza estática, sino para dar un paso más allá y disponer de forma dinámica de la información sobre las posibles incidencias que se producen durante el normal desarrollo de los planes de servicio previstos por los operadores.

En el punto de partida de este trabajo, la situación del estado tecnológico de los operadores del transporte y de la Autoridad Única era muy distinta, cada operador disponía de sistemas de información diferentes y con distinto grado de automatización de las diversas tareas implicadas en la actividad del transporte. Además, los modelos de datos empleados por los operadores eran muy diferentes entre sí; eran específicos para las necesidades de cada operador, siendo en algunas ocasiones una adaptación de un determinado producto de mercado a la realidad del operado. Como dato ilustrativo se debe mencionar que la herramienta tecnológica más evolucionada utilizada por los operadores, concretamente las dos compañías más grandes, era el Sistema de Ayuda a la Explotación (SAE). Un SAE permite al operador realizar un seguimiento detallado de la flota y tomar decisiones de explotación sobre qué recursos asignar en cada caso ante determinadas contingencias, e incluso informar al viajero.

En consecuencia, y tras analizar el estado tecnológico de los operadores del transporte público de viajeros por carretera en la Isla de Gran Canaria, se concluyó que era necesario diseñar y desarrollar un entorno tecnológico homogéneo adaptado a la realidad y de los diversos operadores. Esta infraestructura tecnológica homogénea debería estar orientada a producir información de calidad que permitiera la mejora del transporte público. Específicamente, por información de calidad se concluyó que era aquella que permitiera alcanzar los siguientes objetivos:

- ii. Presentar información al viajero sobre su próximo viaje en diversas plataformas y medios.
- iii. Diseñar un itinerario que adecue lo ofertado por los operadores a las necesidades de los usuarios y a la disponibilidad económica para financiar el sistema.
- iv. Permitir la coordinación entre operadores de forma que el viajero pueda combinar de manera simple las diversas ofertas.
- v. Conocer al detalle los flujos de viajeros en la red para poder simularlo y rediseñar aquellos aspectos que se consideren necesarios.
- vi. Estudiar con detalle los costes de explotación de los operadores y como repercuten en el precio de cara al usuario para poder definir un esquema de tarifas justo.

Para alcanzar esto objetivos se identificaron los elementos básicos necesarios y que como consecuencia de ello dio lugar a este trabajo:

- Diseñar un modelo de datos capaz de representar adecuadamente los requerimientos de todos los actores implicados fundamentalmente: operadores y Autoridad Única del Transporte y Usuarios.
- 2. Diseñar un soporte tecnológico que permita implementar y desplegar el modelo. Además este despliegue de permitir la incorporación inmediata de los datos generados por los operadores en su actividad diaria.
- 3. Diseñar, implementar y desplegar un sistema de información que basándose en los elementos anteriores, facilite la consecución de los objetivos perseguidos.

A la hora de acometer estas acciones y tal y como ya se ha expuesto, se tuvieron en cuenta las diferentes realidades de las empresas operadoras y las necesidades específicas de estas para diseñar, desarrollar e implantar unos sistemas de información cuyo mantenimiento y explotación sea asumida por el operador de manera adecuada a su propia realidad, sobre todo, dado que la mayoría de las empresas son pequeñas y su objeto es transportar viajeros en lugar de explotar sistemas de información, si bien es cierto que existen algunos operadores que por su dimensión, disponen de equipos humanos y técnicos para realizar la explotación de los sistemas de información. Se trata, por lo tanto, del diseño de un sistema capaz de adaptarse a diversas realidades y para ello resulta claramente oportuno considerar las recomendaciones y experiencias de organismos, instituciones e investigadores que han analizado y desarrollado propuestas orientadas a proporcionar entornos estándares e interoperables en el que desplegar servicios avanzados de información en el contexto del transporte público.

Como consecuencia de lo expuesto, y como primer paso, la Autoridad Única del Transporte de Gran Canaria encargó mediante convenio a la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria el desarrollo del modelo conceptual de datos para el transporte público de viajeros de la Isla de Gran Canaria, fruto de este trabajo se dispone de una implementación del estándar Transmodel particularizado a la realidad del transporte de viajeros por carretera en esta isla, el modelo se ajusta a dos realidades bien diferenciadas de operadores:

- 1) Operadores con sistemas de información en funcionamiento para la explotación diaria y/o la información al viajero antes de la implantación del modelo.
- 2) Operadores sin sistemas de información para la explotación y/o la información al viajero.

En el primero de los casos se encuentran los operadores urbano (Guaguas Municipales) e Inter Urbano-Urbano (Global SALCAI UTINSA) mientras que en el segundo caso se encuentran el resto se operadores interurbanos de las localidades de la ciudad de Telde (TELBUS MELENARA La Pardilla) y ciudad de Galdar (Gumidafe y Guzmán). Para salvar esta diferencia a los operadores del segundo caso se les dotó de un equipamiento tecnológico que les permitiera hacer uso del modelo de datos desarrollado.

Este modelo de datos se ha desarrollado siguiendo las especificaciones del modelo conceptual de datos para el transporte público *Transmodel. Como ya se ha comentado, se trata de un* estándar europeo fruto de la experiencia de diversas empresas y autoridades de transporte, por tanto es una garantía de acierto para un entorno típico del transporte de viajeros por carretera donde intervienen distintos actores tanto desde el punto de vista de los operadores como de empresas suministradoras de sistemas de información, dado que permite incorporar de manera progresiva distintos aspectos de los sistemas de información con independencia de la empresa que los diseñe, desarrolle e implemente así como modelar de modo completo y adaptado a la realidad del operador correspondiente la información necesaria para un determinado proceso.

3.2 La problemática general de la interoperabilidad y estandarización en los sistemas de información en el contexto del transporte público

De acuerdo con (Tyrinopoulos, 2004), el sector del transporte público ha experimentado un periodo cambiante, en el que una parte relevante de la inversión de los operadores de trasporte público, se ha centrado en el desarrollo y dotación de sistemas de información tanto en los centros de gestión y administración, como a bordo de los vehículos, con el fin de actualizar y mejorar sus operaciones internas los servicios proporcionados. Además, los sistemas de transporte público se han tornado cada vez más y más dinámicos, en el sentido de que el rendimiento, la efectividad, y la calidad de sus procesos depende, en gran medida, de la capacidad de gestión del trabajo diario desarrollado en muy buena parte por los vehículos de la flota de transporte. Siguiendo con este autor, éste propone el modelo de sistema MIDAS ya explicado en el capítulo anterior. Recordando esta propuesta de sistema de información, ésta se fundamenta en tres modelos conceptuales interrelacionados: el modelo de datos, el modelo funcional y el modelo dinámico. Sobre los tres modelos se desarrolla el sistema de información para la planificación (estática) y gestión (dinámica) de las operadoras de transporte público. Siguiendo con lo propuesto por este autor, el objetivo final todo sistema telemático para el transporte público es el de mejorar la oferta de servicios y optimizarla desde el punto de vista ambiental y económico, por medio de la ínter modalidad y de los mecanismos de comunicación de la información. Estas metas pueden ser alcanzadas en mayor medida mediante información de alta calidad que abarca a múltiples sistemas. De este modo, el uso más eficiente de las infraestructuras disponibles y un refinamiento de los flujos de transporte aumentaran la eficiencia y seguridad, y además reducirán el consumo de energía y los accidentes.

Otro beneficio de adoptar un modelo común y estandarizado es que se facilita la interoperabilidad. Efectivamente, la Información es un gran valor para todos los operadores modernos de transporte público que buscan actualizar sus infraestructuras de computación y mejorar los servicios prestados a sus clientes los pasajeros. La información debe ser precisa, comprensible, y debe proporcionarse oportunamente. Sin embargo, un flujo eficiente de información, precisa, fiable y comprensible, está asociada directamente con la interoperabilidad efectiva entre varias aplicaciones que manejan la información. Alcanzar la interoperabilidad significa comunicaciones más rápidas, proporcionar la información en el momento oportuno y un sistema de toma de decisiones efectivo. En esta línea se debe tener en cuenta las conclusiones del proyecto europeo TITAN (TRANSPORT-MODEL-based integration of Transport Aplications and Normalization en lo que se refiere a la problemática del manejo de datos en transporte público, concluyendo que la carencia de un modelo común estandarizado trae como consecuencia:

• El mismo dato es generado por diferentes fuentes (por ejemplo: la medición manual de los tiempos de recorrido y la recolección de datos mediante un vehículo automatizado y un sistema de monitorización).

- El mismo dato es importado más de una vez a aplicaciones software diferentes o a diferentes almacenes de datos.
- Existe incompatibilidad entre las distintas aplicaciones software (por ejemplo: distancias diferentes entre las mismas paradas de guagua en el sistema de planificación, en el sistema de monitorización automática y en el GIS).

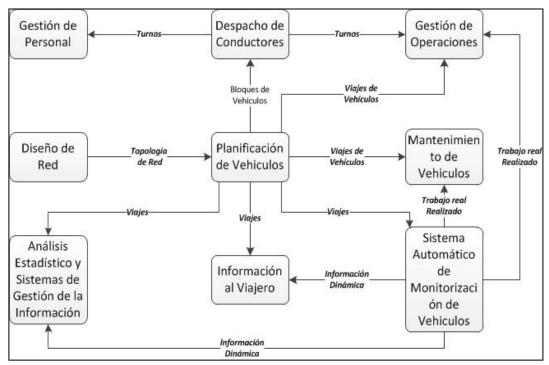


Figura 16. Flujos entre Operaciones para el Operador de Transporte Público

La *Figura 16*, muestra la interacción entre varias claves indicativas de operaciones de un operador de transporte del sector público en forma de flujo de información básico entre ellas. Podemos apreciar, que la interoperabilidad entre dominios funcionales es una necesidad importante para los operadores de transporte público (principalmente para los de mediano y gran tamaño). Ésta se puede conseguir al menos mediante dos enfoques:

- 1. Interfaz Múltiple entre diferentes aplicaciones.
- 2. Una aproximación centralizada usando datos compartidos comunes.

En la práctica está probada la ineficiencia del uso de una interfaz múltiple entre aplicaciones diferentes, por diversas y variadas razones, entre las que cabe citar que el cambio de determinada interfaz en una aplicación suele requerir la modificación del resto de aplicaciones del conjunto que tengan la necesidad de interactuar con ella, además, esta aproximación no es capaz de proporcionar una forma simple y adecuada de compartir datos y comunicaciones, es muy propensa a errores y retardos en la disponibilidad de información. Adicionalmente, esta aproximación supone grandes limitaciones en la fiabilidad de la información y su sostenibilidad, incrementa el coste de operación y mantenimiento de las aplicaciones. En el marco del mencionado proyecto europeo TITAN lo investigadores

exploraron la problemática que surge debido a la falta de un mecanismo efectivo de integración de aplicaciones de tecnologías de la información en el sector del transporte público, esta problemática incluye:

- Incompatibilidad entre aplicaciones
- Flujo insuficiente de información
- Almacenamiento múltiple del mismo conjunto de datos
- Retardos en la disponibilidad de la información
- Alto coste de operación y mantenimiento de las aplicaciones

La aproximación centralizada incluye la unificación del entorno tecnológico del operador del transporte público, integrando varias aplicaciones de tecnologías de la información. En particular, el operador de transporte representa su actividad mediante un modelo conceptual de datos común y lo materializa mediante una base de datos centralizada, que es accesible a todas las aplicaciones relacionadas. Esta aproximación se describe en la *Figura 17*.

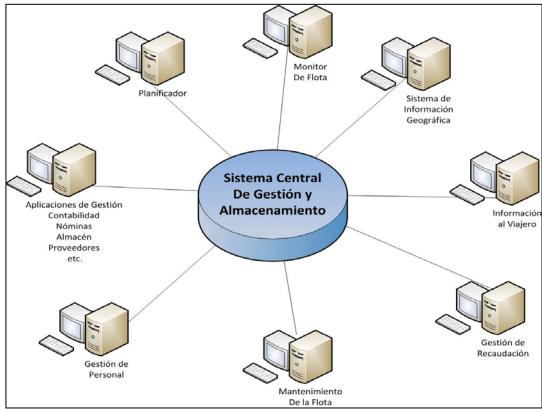


Figura 17. Base de Datos Centralizada

Las infraestructuras de cómputo integral basadas en la centralización y compartición de datos facilitan la existencia de un modelo completo de gestión de la información. Tal modelo, simula la integración y los procesos de comunicación entre diversas aplicaciones y genera una robusta e ininterrumpida cadena de información en el sistema. Además este modelo facilita el uso de los nuevos paradigmas de computación y almacenamiento que proporcionan alta disponibilidad y alto rendimiento, ejemplo de estos paradigmas son la computación en la nube para proporcionalidad alta disponibilidad y la computación en malla para obtener alto rendimiento en aquellos procesos intensivos en cómputo.

3.3 Modelo de sistema

A continuación se describe un modelo de sistema de información para el transporte regular de viajeros por carretera. El objetivo del modelo propuesto es proporcionar marco en el que diseñar, construir y desplegar servicios avanzados de información para el transporte público de viajeros por carretera. Por servicios avanzados se entiende servicios basados en sistemas inteligentes que son capaces de realizar su cometido de manera autónoma procesando el contexto en el que se ejecutan. Este modelo se ha diseñado utilizando los modelos de arquitecturas ITS y principios de Computación Ubicua. Los ITS tienen por finalidad proporcionar sistemas que mejoren la seguridad de los viajeros, aumentar sus niveles de movilidad, mejorar su eficiencia y disminuir el impacto medioambiental del uso de los sistemas de transporte. Para alcanzar estos objetivos se han desarrollado un gran número de sistemas basados en un amplio abanico de tecnologías. El objetivo principal del modelo de sistema propuesto es el proporcionar un marco que permita el desarrollo sistemático de servicios inteligentes en el contexto de las redes de transporte público de viajeros por carretera. Desarrollo sistemático significa que se construyen mediante unas especificaciones comunes y basadas en estándares internacionales con la finalidad de conseguir un alto grado de:

- Integración. Los servicios deben desplegarse de una manera no traumática en las infraestructuras de transporte ya existentes y en la medida de lo posible haciendo uso de los elementos de estas infraestructuras.
- Interoperabilidad. Los servicios deben ejecutarse haciendo uso de infraestructuras tecnológicas diferentes y distintos tipos de compañías de transporte de viajeros por carretera, por ejemplo: urbano e interurbano, grandes compañías y pequeñas compañías, etc.
- Escalabilidad. Los servicios y los elementos en los que se basan deben ser fácilmente expandibles con el objeto de aumentar el número de usuarios que los utilizan y los lugares de la red de transporte donde se ejecutan.

Además, con el fin de facilitar la usabilidad, los servicios que se ejecutan en el sistema propuesto deben ser autónomos, capaces de procesar el contexto e interactuar de manera natural con el usuario. Por tal motivo, se ha asumido el paradigma de la Computación Ubicua como uno de los fundamentos en los que se basa la arquitectura. Específicamente, el uso de este paradigma permite afrontar dos retos tecnológicos]:

- El uso efectivo de los espacios inteligentes. Un espacio se corresponde con un área cerrada o abierta, en la red de transporte, que integra sensores, controladores y el software ubicuo que acompaña al usuario y que es capaz de adaptarse al entorno en el que se encuentra, la inteligencia debe además extenderse a los objetos al margen de que se encuentren o no en un espacio inteligente.
- Localización Escalable. A medida que los espacios inteligentes crecen en sofisticación, la interacción entre el entorno computacional del usuario y lo que le rodea aumenta. Esto tiene una repercusión importante en el ancho de banda y la energía necesaria. Este aspecto adquiere importancia capital en puntos de tránsito masivo de viajeros.

Uno de los objetivos perseguidos tanto por las compañías de transporte regular de viajeros por carretera como por las autoridades competentes en esta materia es garantizar la calidad del servicio prestado, lo que pasa por alcanzar el máximo grado de cumplimiento de la planificación establecida para los servicios de transporte, lograr este cumplimiento exige disponer de información adecuada en el momento adecuado y en cantidad adecuada. Para ello se debe proporcionar información actualizada al usuario (gestores del transporte, técnicos, viajeros, etc.), significa que las compañías deben disponer de la capacidad de dar respuestas a las incidencias que con total seguridad se presentaran durante el desarrollo de la planificación prevista, lo que a su vez supone que las compañías tengan la capacidad de emplear sus recursos (fundamentalmente conductores y vehículos) donde resulten más adecuados para sus objetivos. Para evaluar el grado de cumplimiento será necesario identificar los factores que afectan a las operaciones de servicio, además los datos vinculados a tales factores deben poder ser obtenidos y representados, y por último esta información debe ser procesada de manera adecuada para poder obtener los parámetros necesarios para el control, la supervisión y planificación de toda la actividad de la flota. En cuanto a la identificación de la información necesaria, ésta, está en función del grado de automatización del que se disponga, en todo caso será necesario determinar:

- 1. La información requerida por y sobre cada elemento de la producción.
- 2. En qué momento es necesario disponer de la información.
- 3. La cantidad de información requerida.

De acuerdo con estos principios se proponen tres categorías de información, en función del grado de automatización que presente la tarea de producción a la que pertenecen:

- Información básica: Constituida por los datos necesarios para alcanzar un nivel mínimo de automatización en la producción, estos datos están vinculados a aspectos estáticos de la actividad del transporte (paradas, rutas, tarifas, etc.) y al registro del pago de los viajeros realizado por los conductores. Empresas de transporte con un bajo nivel de desarrollo tecnológico operan manejando sólo este nivel de información.
- Información de nivel intermedio: Constituida por los datos necesarios para conseguir el control de los recursos (conductores y vehículos) de las operaciones. Estos datos están fundamentalmente asociados al control de las operaciones planificadas y para ello se deben utilizar recursos del tipo información básica, datos que describen cada evento de la producción relevante georreferenciándolos en el espacio y en el tiempo e infraestructuras de comunicación que permitan el flujo de datos en tiempo real
- Información de alto nivel: Constituida por los datos necesarios para conseguir funcionalidades avanzadas relacionadas con la mejora del servicio, tales como, información en tiempo real para los viajeros, respuestas óptimas a las incidencias que se produzcan durante la producción y para la mejora de la producción mediante la optimización de la planificación. Esta información se obtiene mediante el uso de datos, normalmente en grandes cantidades, pertenecientes a los niveles anteriores y el uso de técnicas avanzadas de procesamiento de datos, como por ejemplo: métodos de optimización de rutas y asignación de recursos y minería de datos.

La Figura 18 ilustra esta propuesta de estructuración de la información.

Alto Nivel Intermedios Información al Viajero en tiempo real Gestión de Incidencias en tiempo real Optimización de la Planificación Gestión de recursos Conductores y Vehículos Uso de métodos de optimización para Planificación con Control de Operaciones Planificación de rutas y recursos Registro de instante y ubicación geográfica en la Minería de Datos que se genera toda la información Básicos Comunicaciones de larga Distancia para conocer el Tarifas, Rutas, Paradas Estado de la Planificación y Horarios. En tiempo real Planificación elemental

Figura 18. Datos necesarios y nivel de automatización

El modelo de sistema diseñado persigue como objetivo principal, automatizar todos los flujos de datos relativos a todas las actividades productivas de la empresa de transporte, actividades tales como: Sistemas de pago y registro de pagos, Control de Operaciones, Información a los pasajeros y Gestión y Planificación.

Esta automatización es inteligente, entendiendo por inteligente que su acción se realiza de forma autónoma, sin intervención humana y afectando lo menos posible a la actividad del transporte y los procesos asociados al mismo. Para conseguir este grado de autonomía es necesario que el sistema sea capaz de procesar los distintos contextos de operación en los que se puede desplegar (vehículos, paradas, estaciones, etc.). Para ello, los datos se registran de forma automática por los sistemas embarcados, a continuación se transfieren de forma automática para su posterior procesamiento y validación, permitiendo obtener los estadísticos correspondientes (aproximaciones estadísticas como veremos más adelante) para con ellos, realimentar los procesos productivos y mantener los parámetros actualizados.

Para lograr este procesamiento inteligente hemos identificado las capacidades de las que los sistemas deben disponer, que son:

- Sistemas que operando en movilidad dispongan de la capacidad suficiente para adquirir, almacenar y procesar todos los datos relevantes, que son necesarios para representar la actividad del vehículo, en el instante adecuado y en lugar que ocurrieron, es decir cuando resultan de utilidad y/o sean necesarios.
- Sistemas que operando en movilidad deben tener la capacidad de identificar su contexto de operación, esto es, la capacidad de conocer en todo momento en qué

- punto de la red de transporte se encuentran y en función de su localización y de lo que debe realizar según lo planificado decidir qué corresponde hacer.
- Capacidad para controlar las actuaciones necesarias en caso de incidencias en el desarrollo normal de la operatoria prevista.
- Capacidad de evaluar el grado de cumplimiento de la planificación y construir posibles variantes de la planificación.
- Capacidad de realimentar los datos procedentes de las plataformas móviles en los centros de control, gestión e información al pasajero.

Tal y como se ha descrito, el modelo de sistema planteado utiliza como puntos de partida las recomendaciones de arquitecturas estándares de ITS, con el objeto de garantizar la integración, interoperabilidad y escalabilidad de los servicios a desarrollar, y de la Computación Ubicua para que estos servicios sean capaces de adaptarse de manera autónoma a distintos ambientes y a las necesidades de los usuarios. También, el modelo de sistema planteado, hace uso del modelo de Arquitectura Orientada a Servicio (SOA), con el objeto de poder utilizar aquellos elementos de la infraestructura que no son estándares, aislando sus especificidades del resto de los elementos de la arquitectura. La *Figura 19* ilustra el modelo de sistema propuesto que se ha estructura en los siguientes tres módulos principales que describimos a continuación.

Módulo de Infraestructura de Transporte (TIM). Éste, está formado, por todos los elementos hardware y de comunicación que forman parte de la infraestructura de transporte. Está constituido a su vez por: el módulo de sistemas de comunicaciones y por el módulo de sensores y actuadores usados en la infraestructura de transporte, ambos se describen a continuación de manera concreta:

- Módulo de Sistema de comunicaciones. Está formado por todas las tecnologías de comunicación utilizada en la actividad del transporte que permiten la comunicación entre los vehículos y las infraestructuras (V2I, I2V), entre los vehículos (V2V) y entre las distintas redes de las infraestructuras (I2I), lo constituyen básicamente tecnologías y protocolos tales como:
 - Comunicaciones locales: RS-232, RS-485, IR, Bluetooth (IEEE 802.15.1),
 ZigBee (IEEE 802.15.4), WIFI (IEEE 802.11), etc.
 - Comunicaciones de larga distancia: Redes de Fibra o Cobre, GSM, GPRS,
 3G, 4G, WIMAX (IEEE 802.16), LTE, iBurst.

La infraestructura de comunicaciones, es un componente horizontal del modelo, dado que presta sus servicios a todos los elementos del modelo. A su vez, está organizado en una estructura de capas compuesta por dos Subsistemas:

- Subsistema de transacciones: Es el responsable de que el flujo automático necesario entre los sistemas, tanto móviles, como de la infraestructura, se lleva a cabo con plenas garantías de integridad, no duplicidad y fiabilidad.
- Subsistema de red: Es el responsable de habilitar el recurso material de comunicaciones en los módulos con las distintas tecnologías comentadas.

- **Módulo de sensores y actuadores.** Está formado por toda la tecnología de sensores que se despliega tanto en lugares de la red de transporte (estaciones, paradas, cocheras, etc.) como en los vehículos. Concretamente lo integran:
 - Sensores en infraestructura: sistemas de cámaras, redes ad-hoc inalámbricas de sensores (WSN), etc.
 - Sensores en vehículos: redes de sensores móviles mediante redes de comunicaciones ad-hoc para vehículos (VANET), sensores de uso interno en los vehículos, etc.

Módulo de Servicios Corporativo (CSM). Está formado por todos aquellos procesos y servicios relacionados con la actividad del transporte. Por tanto este módulo es responsabilidad de los operadores de transporte y/o de las autoridades de transporte. Éste a su vez está compuesto por dos módulos: el módulo de monitorización de la infraestructura y actividad del transporte y el módulo de servicios o sistemas. Específicamente, para el transporte público de viajeros por carretera:

- Módulo de monitorización de la infraestructura y actividad del transporte, que contiene todos los datos proporcionados por los sistemas de supervisión de las infraestructuras en las paradas y las estaciones, y el sistema de alarmas y excepciones de los vehículos.
- **Módulo de servicios o Sistemas**, que contiene aquellos sistemas que proporcionan datos originados en las distintas actividades asociadas a la actividades del transporte:
 - o Control de operaciones.
 - o Pago.
 - o Planificación de operaciones.
 - o Información al viajero.

Para que estos servicios se proporcionen con alta disponibilidad en todo momento y lugar, en este módulo se integran recursos basados en nuevos paradigmas de computación como es el caso de la computación en la nube.

Módulo de servicios de usuario (USM). En este módulo se despliegan los servicios inteligentes de usuario, tales como, asistentes en ruta, sistemas de pago, sistemas de avisos de emergencia, sistemas de guía para discapacitados, etc. Los servicios inteligentes de este módulo se construyen utilizando los recursos suministrado por los módulos anteriores. Los dispositivos móviles inteligentes de los usuarios juegan un papel importante para hacer posible el acceso a estos servicios.

El modelo SOA se utiliza para construir la interfaz entre los módulos CSM y USM. Este modelo se ha utilizado para alcanzar un alto grado de integración, interoperabilidad, escalabilidad y compatibilidad de los servicios de usuario como marcan las arquitecturas ITS comentadas previamente. El elemento central de la interfaz SOA es el sistema de registro y descubrimiento de servicios, mediante el sistema de registro, los datos obtenidos por los sensores son recogidos por los sistemas de monitorización, estos datos son accedidos por los

servicios CSM que los publican para que puedan ser descubiertos por los servicios inteligentes de usuario. Todo servicio posee el siguiente esquema de funcionamiento:

- Paso 1. Inicialización del servicio. Antes de proporcionar datos, todo servicio debe inicializar sus datos e inicializar la ejecución de los recursos que requiere para su ejecución.
- Paso 2. Publicación del servicio. Una vez realizado con éxito la inicialización, todo servicio publica su disponibilidad a los potenciales consumidores de sus datos.
- Paso 3. Ejecución del servicio. En este punto se ejecuta la lógica del servicio asumiendo que todos los recursos requeridos están disponibles e inicializados.

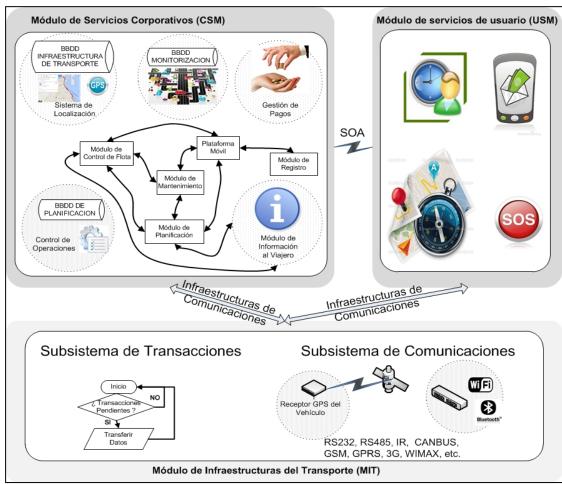


Figura 19. Esquema General de la Arquitectura Propuesta

La *Figura 19* representa una visión general de la arquitectura del sistema diseñado. A partir de la arquitectura propuesta podemos comentar los módulos de los servicios corporativos (CSM) destacando sus principales aportaciones.

Plataformas Móviles: Disponen de la tecnología adecuada para registrar, monitorizar, controlar y comunicar todas las operaciones ejecutadas en los vehículos. Particularmente deben disponer de sensores que les faciliten registrar el consumo de carburante, las condiciones de temperatura y energía, registrar imágenes con la finalidad de garantizar la seguridad, GPS para localizar el vehículo en todo momento y mantener la sincronización de las operaciones de toda la flota. El modelo usado para el

control del vehículo es también muy relevante, en este caso, se optó por un modelo basado en excepciones que avisa de desvíos de la planificación solo ante situaciones que se alejan de lo previsto y a partir de un umbral definible o autoajustable, de esta manera, se optimiza el ancho de banda necesario para las comunicaciones, el umbral que se defina, o se autoajuste dependerá del tamaño de la flota y de lo estricto del control que sobre ella se quiera ejercer.

- Módulo de control de Flota: Controla las operaciones de la flota y es el responsable de garantizar el máximo ajuste posible entre las operaciones planificadas y las realizadas. Los eventos que pueden afectar a la planificación se pueden clasificar en tipos distintos de acuerdo con su naturaleza, por ejemplo, alarmas técnicas, incumplimiento de horario establecido, incumplimiento de operación planificada, etc. Todos los eventos deben ser registrado en las plataformas móviles correspondientes y en la Base de Datos Central.
- Módulo de Registro: Este módulo es responsable de registrar, todas las operaciones de servicio realizadas a bordo de los vehículos como por ejemplo los pagos realizados por los viajeros, los comienzos y finales de expediciones de línea, etc. describiremos específicamente más adelante en un apartado, detalladamente este módulo, por su importancia específicamente en el desarrollo de este trabajo y por supuesto en la realidad de la gestión del transporte.
- Módulo de Información al Viajero: Es el responsable de suministrar información a los viajeros sobre los servicios. La información se puede clasificar en dos tipos la que se suele llamar estática que consiste en los horarios correspondientes a los servicios planificados para la hora en concreto de que se trate y la que se suele llamar dinámica vinculada a las posibles excepciones que puedan afectar a la información estática de manera significativa y que son recibidas en este módulo desde los sistemas móviles y/o desde el control de operaciones.
- Módulo de Planificación: Se encarga de definir el plan de operaciones de la flota, especificando los recursos requeridos (fundamentalmente conductores y vehículos) y los tiempos en los que debe realizarse una operación. El objetivo principal de este módulo es optimizar la cobertura de la demanda de los usuarios con la mejor calidad posible (entendiendo por calidad básicamente el cumplimiento del plan establecido) con el uso de los recursos disponibles de la forma más óptima posible, como ya hemos comentado ambos objetivos (calidad y rendimiento) suelen ser antagonistas.
- Módulo de Mantenimiento: Este elemento soporta todas las tareas vinculadas al mantenimiento y administración de todos los elementos que integran la plataforma corporativa, es decir, los sistemas centrales, los sistemas móviles, los puntos de información al viajero, etc. y en su caso la infraestructura de transporte, como paradas, marquesinas, paneles de información, etc. El objetivo de este sistema es facilitar el necesario mantenimiento de todo el equipamiento, mejorar el tiempo de respuesta ante alarmas de tipo técnico y optimizar el coste de mantenimiento, todo ello de manera coordinada con la planificación y con la realidad del servicio de transporte.

Todos los procesos involucrados en los servicios que presta el Módulo de Servicios Corporativos (CSM) pueden clasificarse como procesos de:

- Adquisición: son los responsables de la adquisición de cualquier dato que represente algún aspecto relevante para la producción, tanto físico, como por ejemplo, la posición o la velocidad, como lógico, los estados del vehículo, la demanda de clientes, etc. Estos procesos están vinculados a las plataformas móviles y a los dispositivos disponibles en la infraestructura de transporte como cámaras, sensores, paneles de información, etc.
- Monitorización: son los procesos responsables de verificar y cuantificar el nivel de ajuste a la planificación. Son capaces de detectar eventos que pueden afectar a la planificación y transmitirlos al módulo de control. Estos procesos son ejecutados en las plataformas móviles su diseño toma como base la administración de redes y los modelos de Computación Ubicua, para conseguir un alto grado de escalabilidad, inter operatividad y flexibilidad de acuerdo con la filosofía de las Arquitecturas ITS.
- ❖ Control: el objetivo de este módulo es proporcionar soluciones a los eventos de operación que se produzcan, tales como: alarmas técnicas, incumplimientos de la planificación o eventos no planificados. Desde el punto de vista de la empresa de transporte, se trata de establecer criterios uniformes de actuación en las propuestas de solución de los distintos eventos de producción que permitan garantizar la idoneidad de las soluciones propuestas.
- Optimización: aquí se encuentran todos los procesos que pueden modificar la planificación para conseguir mejorarla, para ello, adquieren información por un lado del módulo de control, centrándose en la búsqueda de excepciones sistemáticas a la planificación actual, y por otro lado del módulo de estadística para obtener parámetros relevantes de la producción como: tiempo de duración de las rutas, representación geográfica de las rutas, velocidad de los vehículos, ocupación de las rutas, horarios de paso por paradas, etc.
- Estadísticas: constituida por todos los procesos que pueden obtener parámetros relevantes por medio de la aplicación de métodos estadísticos. Estos parámetros son de diferentes tipos, como por ejemplo: tiempo de las rutas, demanda de origen destino de los clientes, nivel de ocupación de los vehículos, etc.
- Visualización: todos los procesos que presentan información a los usuarios del sistema de manera fácil pertenecen a esta categoría. El principal requisito que deben cumplir estos procesos es el de presentar la información de manera independiente al dispositivo que se use (teléfono móvil, Consola del Conductor, Puesto de Control de flota, panel de información en parada, etc.).

Un aspecto crítico del sistema es la arquitectura del sistema de gestión de la información, dado el gran volumen y la alta complejidad de los datos que se tratan. Por ello, la Base de Datos usada es un recurso crítico del sistema, en este caso está construida sobre un modelo de cuatro capas o niveles:

- Capa de Nivel 0: Datos geográficos, en ella se representan todas las entidades de la producción mediante su ubicación geográfica.
- Capa de Nivel 1: Red de transporte, en ella se combinan los elementos de la capa de nivel 0 para construir entidades como: paradas, líneas, tiempos de ruta, expediciones, horarios, etc.
- Capa de Nivel 2: Excepciones, en ella se representan mediante la combinación de las capas de nivel 0 y de nivel 1 todos los incidentes registrables añadiendo la información disponible como tipo de incidente, hora en la que tiene lugar, duración, etc.
- Capa de Nivel 3: Planificación, en ella se especifica en base a las capas de nivel 0 y de nivel 1 todas las operaciones que configuran la planificación, particularmente contiene el tipo de operación, el lugar donde debe ocurrir, la hora o duración que debe tener, etc.
- Capa de Nivel 4: Resultados de la producción, en ella se registran todos los datos generados por la producción como los pagos realizados por los clientes, la demanda de clientes, el momento exacto de los eventos previstos en la planificación, etc.

3.4 Implementación del modelo de sistema

Se presenta en esta sección la implementación del modelo de sistema propuesto, al amparo de la cual se han desarrollado los aspectos prácticos de este trabajo, el modelo es un modelo real que se implementó para el transporte público regular de viajeros por carretera en la Isla de Gran Canaria. De acuerdo con (Gabino Padrón, Carmelo R. García, Alexis Quesada, Francisco Alayón and Ricardo Pérez, 2014) los datos suministrados por el sistema desarrollado por las autoridades reguladoras del transporte público pueden controlar, verificar y mejorar los recorridos que realizan los vehículos, pudiendo además suministrar nuevos datos para mejorar la representación de la red de transporte y suministrar nuevos servicios en contextos de áreas metropolitanas inteligentes. La implementación realizada, se basa en un módulo que básicamente es un sistema que se ejecuta de manera automática y autónoma a bordo de los vehículos y que transfiere los datos registrados de forma masiva a repositorios remotos para su posterior procesamiento. Como ya se ha expresado, tanto las compañías de transporte como las autoridades reguladoras están interesadas en disponer de los datos necesarios para verificar que el servicio de transporte se realiza de la manera planificada, para optimizar sus operaciones y para mejorar la calidad del servicio que prestan. Según (Furth, P. G. and T. H. J. Muller, 2006), esta información se obtiene acudiendo a cuatro fuentes de datos: las encuestas a los viajeros, los registros de operaciones de explotación obtenidos en los vehículos, los sistemas automáticos de conteo de pasajeros (APC) y los sistemas automáticos de localización de vehículos (AVL). El sistema que se propone es un sistema híbrido entre los sistemas APC y AVL.

El sistema obtiene los datos de manera autónoma y los transfiere de manera automática sin interferir en la operatoria de los demás sistemas instalados en el vehículo. En la *Figura 20* se muestra una visión general del sistema.

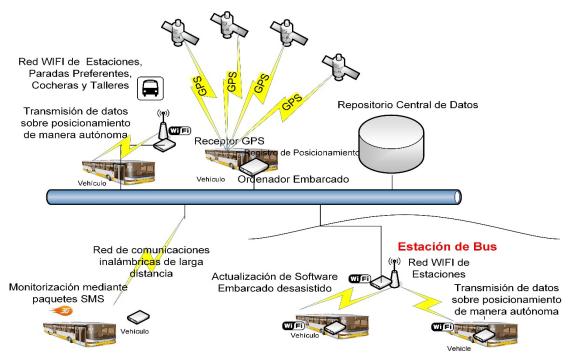


Figura 20. Visión General del Sistema

3.4.1 Funcionalidades

Entre las distintas responsabilidades de las agencias reguladoras y empresas del transporte público se encuentran: el control y la verificación de la actividad de las empresas de transporte público, la mejora de la red de transporte y la mejora de los servicios. Por tanto, considerando lo expuesto con anterioridad y resumido en la *Figura 18*, se trata de información de nivel intermedio y avanzado. Para llevar a cabo estos cometidos, las autoridades tradicionalmente solicitan información a los operadores transporte, no siendo fácil el suministro de esta información debido a que en ocasiones implica el manejo de un gran volumen de datos y también porque en ocasiones las empresas no disponen de la tecnología adecuada para satisfacer estas peticiones empleando en muchos casos procesos manuales o poco automatizados que pueden producir errores en los datos, tal y como ya se ha expuesto (Tyrinopoulos, 2004). El sistema desarrollado está concebido para proporcionar estos datos, datos que son obtenidos a bordo de los vehículos de una flota de transporte público por carretera.

Cuándo el problema a resolver implica el manejo de grandes volúmenes de datos, entonces se requieren técnicas para la transmisión y el procesamiento automático de estos datos. Por ello, otro de los retos superado por el sistema consiste en el manejo inteligente de grandes volúmenes de datos utilizando las infraestructuras de comunicación disponibles y

apoyándose en la información de contexto disponible para determinar en qué momentos procede o no, la transmisión masiva de datos. En este contexto, entendemos que manejo o gestión inteligente de datos implica disponer de las capacidades de adquisición, de transmisión y de procesamiento de forma autónoma, automática y transparente para el resto de sistemas involucrados en el transporte.

Para el procesamiento automático de los datos, el sistema propone el uso de modelos de datos estándares que faciliten la interoperabilidad de los datos y el empleo de técnicas que permitan obtener información útil de estos datos. Para la producción de información útil, a partir de los grandes volúmenes de datos obtenidos en los vehículos, se propone el uso de técnicas de reconocimiento de patrones, patrones que están asociados a entidades contempladas en los modelo de datos utilizados para la representación de la red de transporte. El uso de las técnicas de reconocimiento de formas permitirá la identificación automática de entidades básicas, concretamente de paradas y puntos en los que los vehículos se detienen de forma sistemática sin ser paradas y que por tanto inciden en los tiempos de los recorridos. Por tanto, una primera aplicación del sistema consiste en el enriquecimiento del modelo de datos que representa la red de paradas, ya que además de obtener de forma automática los valores de los atributos que representan a la entidad básica utilizada por los modelos de datos del transporte público asociada a los puntos en los que los vehículos se detienen de manera sistemática para la recogida o bajada de viajeros, entidad parada, incorpora la representación de aquellos puntos en los que el vehículo se detiene de forma sistemática sin ser un parada, por ejemplo: señales de tráfico o elementos en la carretera que obligan a que el vehículo se detenga. A partir de esta información sobre la red de transporte, se realizará una estimación de la duración los recorridos de una manera más realista y una estimación de los horarios de paso por parada más ajustada a la realidad con el objeto de verificar el cumplimiento de dichos horarios y de comunicarlos a los usuarios, aspecto importante de la calidad del servicio en el transporte público, (Furth, P. G. and T. H. J. Muller, 2006).

Para alcanzar estas funcionalidades y objetivos el sistema soporta las siguientes funcionalidades básicas:

- Capacidad de registrar y almacenar todos los eventos relevantes que se producen en el vehículo. Este registro debe contener todos los atributos requeridos de los eventos.
- Capacidad de obtener, registrar y almacenar la posición y la velocidad del vehículo y el instante en el que fue obtenida.
- Capacidad de transmitir todos los datos que forman parte de estos registros al repositorio central de manera autónoma y automática.

El comportamiento autónomo del sistema se soporta a través de su capacidad de mediante procesamiento, obtener el contexto en el que se encuentra en cada momento. Este comportamiento inteligente se logra a través de las siguientes funcionalidades:

Capacidad de ubicar el vehículo en la red de transporte. Los datos que se requieren
para soportar esta funcionalidad son las coordenadas de posición actual suministradas
por el dispositivo GPS del vehículo (u otros elementos auxiliares que permitan

- determinar la ubicación, como puntos de acceso WIFI, etc.) y el modelo de la red de transporte que contenga todas las ubicaciones posibles del vehículo.
- Capacidad de conocer qué operación planificada se está realizando en todo momento.
 Los datos que se requieren para esta funcionalidad son conocer la operación que se está realizando en el vehículo en cada momento y la planificación a realizar por el vehículo en el que se encuentra el sistema.
- Transmisión inteligente de los datos. concretamente el sistema debe identificar los lugares dónde puede realizar a la transferencia de los datos y en qué momento puede llevar a cabo estas transferencias. Los datos requeridos para soportar esta funcionalidad son los siguientes las coordenadas geográficas del vehículo, su velocidad, su localización en la red de transporte y el tiempo programado en el que el vehículo permanecerá detenido.

3.4.2 Aplicación del modelo de sistema propuesto: elementos del sistema

Para soportar las funcionalidades descritas intervienen un conjunto de elementos que son de dos tipos: entidades hardware y entidades software. Estas entidades pertenecen al Módulo de Infraestructura del Transporte (MIT) o al Módulo de Servicios Corporativos (CSM):

Entidades pertenecientes al Módulo de Infraestructura de Transporte (MIT):

- Sistema de posicionamiento del vehículo. El sistema propuesto utiliza la tecnología de posicionamiento más utilizada en el mundo del transporte, que es el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Este sistema, en su versión estándar, proporciona un error de máximo de posicionamiento de 100 metros. Este error depende de aspectos tales como la climatología, el radio de curvatura terrestre de la ubicación de que se trate e incluso de un error aleatorio introducido por el propio sistema. Para mejorar la precisión de posicionamiento de una configuración estándar GPS, se utiliza lo que se denomina Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS). Esta configuración se basa en utilizar transmisiones periódicas de correcciones de posición a las estaciones receptoras GPS.
- Sistema de comunicaciones de datos del vehículo. Uno de los avances tecnológicos que han permitido el desarrollo de los ITS son los realizados en las comunicaciones móviles. El sistema propuesto utiliza la tecnología WIFI para las transferencias de archivos que contienen los datos registrados en los vehículos. Esta tecnología proporciona una calidad de servicio adecuada cuando el vehículo se mueve a velocidades no superiores a 10 Km/hora.
- Ordenador embarcado. En este elementos se almacenan los datos adquiridos, se ejecutan todos los procesos que proporcionan inteligencia al sistema y se realizan las transferencias de datos por medio del el sistema de comunicaciones de datos del vehículo.

A partir de los datos obtenidos por las entidades del Módulo de Infraestructura del Transporte, el sistema utiliza como base la información proporcionada por las siguientes entidades pertenecientes al Módulo de Servicios Corporativos (MSC):

- Sistema de localización del vehículo. A partir de la posición del vehículo el sistema de localización del vehículo ubica al vehículo en un lugar de la red de transporte, para ello utiliza una base de datos que contienen la ubicación geográfica de las entidades que forman la red transporte: estaciones, paradas, puntos de control horario, etc. La representación geográfica se realiza mediante las coordenadas geográficas latitud, longitud y altura de cada entidad.
- Sistema de control de operaciones. Este sistema es el responsable de verificar si la actividad del vehículo se realiza cumpliendo la planificación establecida: horas de comienzo de las expediciones, tiempos de paso por las paradas, tiempos de paso por los puntos de control horario, etc. Gracias a esta información el sistema puede predecir cuánto tiempo el vehículo estará detenido en un punto dado de la red y proceder a la transferencia de los datos almacenados.

Seguidamente se explicarán con más detalles los principales aspectos de esta implementación de modelo.

3.4.2.1 El ordenado embarcado (OBC)

El Ordenador Embarcado es el responsable de obtener, procesar y almacenar todos los datos relevantes proporcionados por el sistema de posicionamiento y controlar la trasferencia de los datos a los repositorios de datos de la red de transporte. Este es un ordenador capaz de operar en condiciones ambientales adversas (alimentación variable, temperatura y vibraciones), de dimensiones reducidas y con una capacidad de cómputo y almacenamiento suficiente para ejecutar todos los procesos de este entorno inteligente. Las características más relevantes del ordenador utilizado por el sistema propuesto son las siguientes: dimensiones reducidas (11,5 x10,1 x2,7 cm), peso no supera los 330 gramos, dispone de una CPU de trabaja a 2 GHZ, con una memoria de 2GB DDR2, el consumo no excede los 10W, la temperatura de funcionamiento oscila entre 0 y 70º y el voltaje de alimentación puede oscilar entre 8 y 14 Voltios; de esta manera se facilita su instalación puesto que estos niveles de voltaje pueden ser proporcionados por un sistema eléctrico convencional de vehículo (proporciona voltajes de hasta 25 voltios), por último para las comunicaciones dispone de una interfaz de comunicación WIFI y cuatro puertos USB 2.0. Al computador se le ha añadido un disco duro de estado sólido (SSD) de 2,5" compatible de 64 GB. La decisión de optar por un disco de estado sólido se basa en que estos dispositivos de almacenamiento soportan un mayor de nivel de vibraciones que los dispositivos magnéticos convencionales, no producen un aumento de temperatura al tener un consumo reducido de energía frente a los discos magnéticos convencionales.

En el OBC se ejecuta un sistema operativo Linux ligero cuyo núcleo se ha adaptado a las características hardware del OBC y las funcionalidades requeridas. Las funcionalidades alcanzadas por el OBC se logran mediante un sistema multihilo formado por:

- Hilo principal (MTH). Este hilo inicia su ejecución con el arranque del sistema y se ejecuta de forma ininterrumpida. Este hilo crea al resto de hilos que se ejecutan en el sistema y los canales de comunicación requeridos por estos.
- Hilo de comunicación con la infraestructura del vehículo (CTH). Este hilo es el primer hilo que MTH crea, ejecutándose también de forma ininterrumpida. La misión de este hilo es la de comunicarse con la infraestructura del vehículo para obtener los datos requeridos por los servicios que se proporcionan en ruta. Estos datos los almacena en una zona de memoria compartida para que el resto de hilos puedan acceder a ellos.
- Hilos de servicio (STH). Estos son los hilos que proporcionan los distintos servicios en ruta, obtendrán los datos requeridos por los distintos servicios y, cuando sea necesario, los transmitirán a los dispositivos móviles del viajero.

La comunicación entre hilos se realiza mediante los variables que comparten. Estas variables son creadas por MTH y las heredan todos sus hilos hijos. Los datos de operación del vehículo son comunicados por la infraestructura del vehículo, CTH los recibe y los almacena en estas variables. La *Figura 21* ilustra los distintos elementos que intervienen en el contexto del vehículo, la estructura general del paquete de datos utilizado se muestra en la *Tabla 3*.

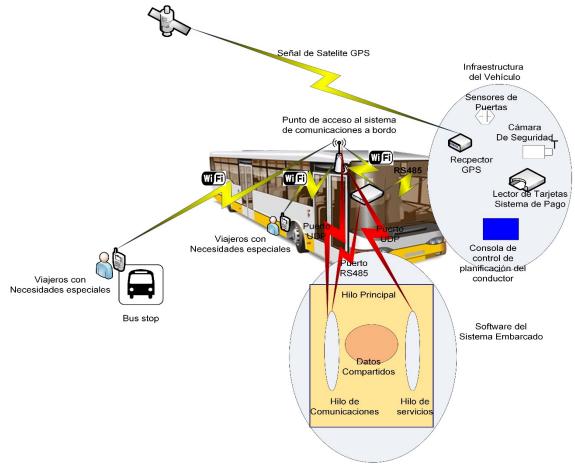


Figura 21. Esquema Funcional del Ordenador Embarcado

3.4.2.2 El Sistema de Posicionamiento del Vehículo (VPS)

En el sistema empleado se utiliza un receptor GPS del fabricante TRIMBLE©. Los datos obtenidos de este receptor fundamentalmente son, la posición del vehículo (Latitud, Longitud y Altura), la velocidad del vehículo, la calidad de la medida que es función del número de satélites visibles para el receptor, y el instante de tiempo en que se tomó la medida en Coordenadas de Tiempo Universales (UTC). Debemos recordar que los GPS comercialmente disponibles, proporcionan mediciones de posición geográfica con un error que es función de distintos factores: condiciones climatológicas en el momento de la adquisición del dato, radio de curvatura terrestre en la ubicación en la que se encuentra el receptor y presencia del error selectivo aleatorio. En general, y en ausencia del error selectivo aleatorio, el error máximo de posicionamiento GPS es de 100 metros. La conexión con el OBC se realiza mediante una interface asíncrona serial RS232 configurada con los siguientes parámetros de comunicación:

Baud rate: 9600.
Bits de datos: 8.
Stop Bits: 1.
Handshake: no.
Paridad: no.

La interacción entre el GPS y el OBC se realiza mediante el protocolo conocido como TAIP (Trimble ASCII Interchange Protocol©), este protocolo define un conjunto de mensajes que permiten definir modos de funcionamiento para el dispositivo receptor GPS así como inicializar sus parámetros de funcionamiento y en general la práctica totalidad de las funciones disponibles en un dispositivo GPS.

El formato general del protocolo TAIP es el siguiente

>ABB{C}[;ID=DDDD][;*FF]<

Siendo:

>: Indicador de comienzo de paquete.

A: Calificador de mensaje.

BB: *Identificador de mensaje*.

C: Cadena de caracteres.

ID=DDDD: Identificador de vehículo (opcional).

FF: Checksum (opcional).

{x}: Significa que puede ocurrir cualquier número de veces.

[x]: Significa que puede ocurrir una sola vez.

Inicialmente el GPS se programa, mediante el siguiente paquete enviado desde el OBC

>FPV00010000<

Este paquete, conocido como FPV (Frecuency of Position and Velocity) le indica al dispositivo GPS que con una frecuencia de 1 segundo (0001) a partir de la hora en punto (0000) remita un paquete que contiene la posición y la velocidad registrada por el dispositivo receptor del GPS.

El paquete remitido como respuesta por el receptor GPS cada segundo es un paquete conocido como LNM (Long Navigation Message) de acuerdo con el siguiente formato:

AAAAA.BBBCCCDDDDDDEEEEFFFFFFGGGGGGGHHIIIJKKKKLMMMNOOPPQQPPQQ...PPQQRR RRRRRRRST

Siendo:

C1:AAAAA.BBB Fecha y hora GPS.

C2:CCCDDDDDD Latitud expresada en grados.

C3:EEEEFFFFFF Longitud expresada en grados.

C4:GGGGGGHH Altitud expresada en pies.

C5:IIIJ *Velocidad vertical.*

C6:KKKKL Velocidad horizontal.

C7:MMMN Encabezamiento.

C8:00 Número de satélites usados en la medida.

C9:PP *Identificador de constelación de satélites*.

C10:QQ *IODE (Efemérides del dato enviado).*

C11:RRRRRRRRR Reservado.

C12:S Fuente de la medida.

C13:T Edad de la medida.

La estructura de datos utilizada para almacenar cada lectura de posición la hemos denominado en este trabajo Registro de *Referencia Geográfica Temporal* (RGT) y posee la siguiente estructura:

- Campo 1: Fecha y hora UTC del GPS (Campo C1 del mensaje LNM, tipo entero, 4 bytes).
- Campo 2: Latitud (Campo C2 del mensaje LNM, tipo float, 4 bytes).

- Campo 3: Longitud (Campo C3 del mensaje LNM, tipo float, 4 bytes).
- Campo 4: Altura (Campo C4 del mensaje LNM, tipo float, 4 bytes).
- Campo 5: Velocidad vertical (Campo C5 del mensaje LNM, tipo float, 4 bytes).
- Campo 6: Velocidad horizontal (Campo C6 del mensaje LNM, tipo float, 4 bytes).
- Campo 7: Fuente de la medida (Campo C12 del mensaje LNM, tipo char, 1 byte).
- Campo 8: Edad de la medida (Campo C13 del mensaje LNM, tipo char, 1byte).
- Campo 9: Vehículo (tipo entero, 2 bytes).

Todos los registros de RGT se almacenan en una base de datos del OBC.

3.4.2.3 Sistema de comunicaciones

El OBC se integra en la infraestructura del vehículo mediante una comunicación asíncrona basa en la interface industrial RS485. La comunicación serie RS485 es apropiada para entornos que requieran robustez frente a condiciones eléctricas adversas como puede ser el caso de un autobús de transporte público, dado que cada línea de Transmisión/Recepción es bipolar y dispone de una referencia de tensión positiva y negativa de modo que el posible ruido ambiente de tipo eléctrico afectará por igual a ambos polos de la línea, y como en destino lo que se mide es la diferencia, esta será siempre la similar tanto si se ha producido afectación por ruido como si no se ha producido afectación por ruido. La comunicación entre el OBC y la infraestructura del vehículo se realiza mediante un protocolo gobernado por la un elemento de infraestructura del vehículo, normalmente la consola del conductor, que asume el papel de nodo maestro (MN) del bus en las comunicaciones RS485, siendo el OBC uno de los nodos esclavos (SN) de esta comunicación. El formato general de los paquetes de datos intercambiados entre los nodos y el significado de los campos se muestra en la *Tabla 3*.

El control de flujo de paquetes de datos del protocolo es simple. Cuando el nodo maestro (MN) de la infraestructura envía un paquete de datos, entonces éste espera durante un tiempo máximo de 200 milisegundos la respuesta del nodo esclavo (SN) correspondiente.

 Si se consume este intervalo de tiempo si llegar la respuesta, entonces se repite el envío durante un número máximo de intentos (NT). Si se alcanza el valor NT, entonces la infraestructura asume un fallo en el sistema y se produce el registro y notificación de dicha incidencia. Si se recibe una respuesta de SN, entonces si el campo STATUS del paquete recibido posee un valor de 6 y el campo SEC-NUM coincide con el paquete enviado, entonces significa que el paquete se ha recibido correctamente por parte de SN. En caso contrario, si el paquete recibido contiene en el campo STATUS el valor 7, entonces indica que el paquete con número de secuencia igual al valor del campo SEC-NUM se ha recibido con errores, procediendo MN al reenvío del paquete.

Con el objeto de llevar a cabo trasferencias de datos entre el OBC y la infraestructura (V2I y I2V), el OBC posee una interface WIFI. La infraestructura WIFI, que permite a los vehículos transferir datos de manera autónoma, se compone de un conjunto de puntos de acceso ubicados en diferentes puntos de la red de transporte por los que pasan frecuentemente los vehículos y en los que además, los vehículos permanecen detenidos durante periodos de tiempo de duración significativa (mayor a la duración de una parada normal del recorrido). Fundamentalmente los puntos de acceso a la infraestructura WIFI se encuentran en Estaciones, Paradas Preferentes, Paradas iniciales de recorridos, Cocheras y Talleres.

Campo	Longitud	Descripción
STX	1 byte	Comienzo de paquete de datos OxFF
SRC-ADD	1 byte	Identificador del nodo origen:
		0: Nodo master.
		1: OBC.
DST-ADD	1byte	Identificador del nodo destino:
		0: Nodo maestro (MN).
		N<>0: Nodo esclavo N (SN).
SEC-NUM	1 byte	Número de secuencia del paquete: 0 - 255
STATUS	1 byte	Estado de infraestructura/operación del vehículo:
		0: Infraestructura fuera de servicio.
		1: Error en la infraestructura.
		2: Vehículo fuera de servicio.
		3: Estado en servicio de línea.
		4: Final de servicio de línea.
		5: Finalización forzada de comunicación con la infraestructura.
		6: Paquete recibido correctamente.
		7: Paquete de datos erróneo.
DATA-LEN	1 byte	Número de bytes del campo de datos.
DATA	Valor de	Campo de datos cuya estructura depende del estado (campo
	DATA_LEN	STATUS).
СНК	1 byte	Byte de Checksum para el control de errores en el paquete

Tabla 3. Descripción de los Campos de la Trama de Datos

En este punto se explicará cómo el sistema es capaz de procesar el contexto para funcionar de forma autónoma. Concretamente se describirá como es capaz de llevar a cabo la adquisición selectiva de datos y como es capaz de llevar a cabo la transmisión de los datos al repositorio corporativo para su incorporación a la base de datos corporativa.

El proceso de adquisición selectiva de datos por parte de los sistemas embarcados consiste en adquirir los datos de posicionamiento de manera autónoma, es decir sin intervención humana, cuando el vehículo esté en servicio. Para ello se utilizan datos proporcionados por el sistema de control de operaciones del vehículo, este sistema indica en qué estado de la explotación se encuentra el vehículo en todo momento y esta información se refleja en el paquete de datos y más concretamente al campo Status, ver *Tabla 3*, que es comunicado por la infraestructura al OBC. Cuándo el estado de operación indica que el vehículo se encuentra en estado de "Servicio de línea", entonces los datos de posicionamiento del vehículo, proporcionados de manera periódica, cada segundo, por el receptor GPS del vehículo (latitud, longitud, altura, velocidad y calidad de la medida) son registrados en el OBC. Cuando el estado de operación del vehículo cambia, entonces este registro se detiene.

El proceso de transmisión automática de los datos entre el OBC y el repositorio de datos corporativo (infraestructura), consiste en transferir estos datos de manera autónoma, es decir sin intervención humana. Este proceso se inicia cuando el vehículo se encuentre en un punto de transferencia automática de datos. Estos puntos son lugares con cobertura WIFI, de manera que cuando el vehículo está a una distancia inferior a 100 metros del punto de transferencia, y el vehículo está detenido, o sea, posee velocidad cero, y está planificado que esté detenido durante un periodo de tiempos suficiente para llevar a cabo la transferencia de los archivos de datos, entonces se establece la comunicación entre el ordenador embarcado y la infraestructura para intercambiar los datos entre el OBC y el repositorio de datos corporativo. Esto se realiza utilizando los datos de posicionamiento del vehículo, proporcionados de manera periódica, cada segundo, por el receptor GPS del vehículo. Estos datos son: latitud, longitud, altura y velocidad y calidad de la medida. Cuándo la calidad de la medida indica que se trata de una posición fiable, entonces se comprueba si la posición del vehículo se encuentra a una distancia inferior a 100 metros de la posición de próximo punto de transferencia por el que debe pasar el vehículo. La posición del punto de transferencia es proporcionada por el sistema de localización del vehículo y la distancia se obtiene calculando la distancia Euclídea entre los dos puntos. Si la distancia obtenida es inferior a 100 metros, entonces el sistema infiere que se está en un área de cobertura WIFI para la transferencia de datos. Antes de establecer la comunicación obtiene el intervalo de tiempo en el que el vehículo debe permanecer detenido en el punto de transferencia, siendo proporcionado este dato por el sistema de control de operaciones del vehículo. En la Figura 22 se muestra el flujo de control de este proceso:

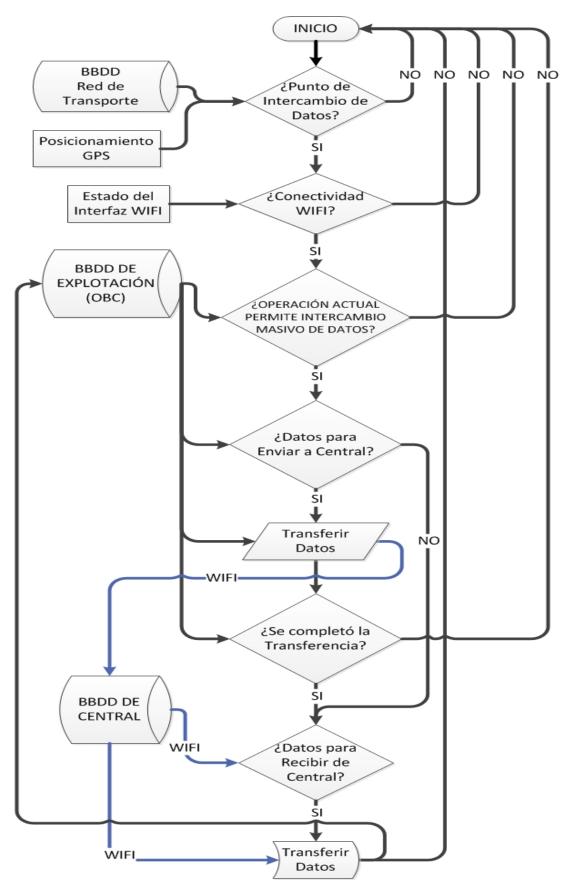


Figura 22. Diagrama de Flujo de transferencia automática OBC <-> BBDD Central

Este sistema se ha utilizado para transmitir los datos relacionados con la producción y el control de operaciones de los vehículos de la Empresa de Transporte Global SALCAI - UTINSA, responsable del transporte interurbano de la Isla de Gran Canaria. Esta empresa posee una flota de 250 vehículos y transporta al año más de 30.000.000 de pasajeros. Estos datos son los utilizados por: los sistemas de pago disponibles en los vehículos (pago directo, pago mediante tarjeta), el registro de operaciones de producción realizadas (anotaciones), el control del cumplimiento de las operaciones planificadas (horarios de paso) y vista parcial de la base de datos geográfica de la rede de transporte (paradas y recorridos). Las tasa de transacciones erróneas de datos definidas como el porcentaje de transacciones correctas frente a las incorrectas motivadas por la autonomía de movimiento de los procesos que se ejecutan en los vehículos (más adelante se explicará que se trata de un modelo de agentes), generando conexiones y desconexiones de carácter aleatorio. En este caso el resultado muestra como la autonomía de movimientos impredecible de los sistemas móviles afecta a la integridad, lo que ha supuesto menos del 8% de las transacciones realizadas. En las figuras Figura 23 y Figura 24 se ilustra el comportamiento del sistema de transmisión de datos, comprobándose que este sistema es capaz de realizar de manera autónoma cientos de miles de transacciones de datos de manera autónoma sin restringir la movilidad de los sistemas implicados y con una tasa de error del 10%.

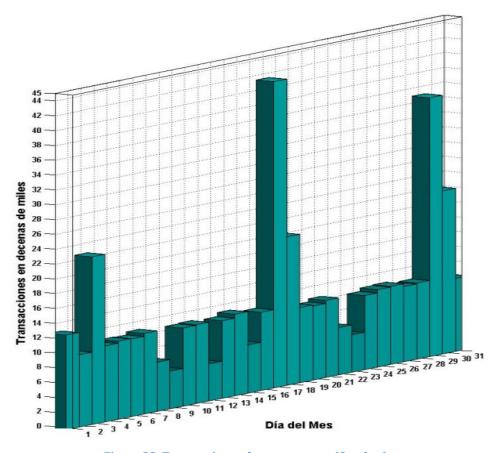


Figura 23. Transacciones durante un mes (Octubre)

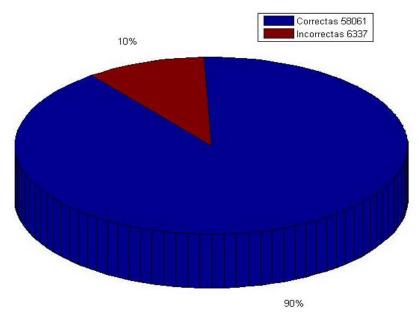


Figura 24. Tasa de error en las transmisiones

Finalmente, con respecto a los tiempos de actualización, los sistemas móviles no se encuentran conectados de manera permanente al sistema donde se encuentra el repositorio global, esta conexión se realiza de manera autónoma y espontánea cuando un agente a bordo del vehículo detecta la existencia de un punto de sincronización, usando la infraestructura WIFI. Los resultados obtenidos muestran que el tiempo necesario para actualizar la totalidad de los datos necesarios en los dispositivos móviles a bordo de los autobuses cuando se realizan modificaciones en el repositorio central varía entre menos de un día para 66 vehículos (20% de la flota), entre uno y dos días para 182 vehículos (56% de la flota), entre dos o y diez días (10% de la flota) y más de 10 días para el resto (45 vehículos 14% de la flota).

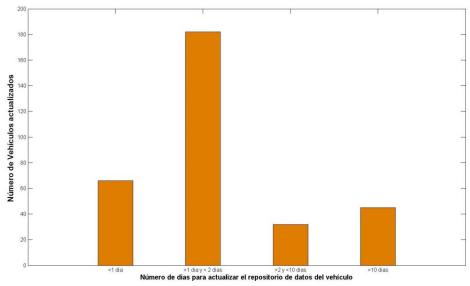


Figura 25. Tiempo necesario para actualizar los datos de la flota

3.4.3 Gestión de los Datos

Seguidamente se describe la gestión de datos realizada por el sistema. Está basada en un modelo de gestión de datos para la provisión de servicios avanzados de información en el contexto del transporte público de viajeros por carretera. No es un modelo desarrollado específicamente para este trabajo de tesis, se trata de una propuesta general para este contexto de operación, que resuelve los retos tecnológicos de: carácter masivo de los datos, carácter heterogéneo de estos; tanto desde el punto de vista conceptual como de la representación concreta del dato y alto riesgo de inconsistencia en las representaciones de los datos debido al carácter móvil de los elementos de almacenamiento y transmisión. Además de aplicar el modelo de gestión de datos propuesto en este trabajo de tesis, el modelo ha sido utilizado por la Empresa de Transporte Global SALCAI - UTINSA S.A. y la Autoridad Única del Transporte de Gran Canaria.

Considerando que el sistema almacena cada segundo la posición del vehículo y su velocidad, desde el punto de vista del manejo de datos, el sistema propuesto representa un caso de sistema móvil de manejo de datos masivos. Para garantizar la integridad de los datos, el sistema utiliza los principios del manejo de datos en entornos ubicuos. Según (Perich, F., Joshi, A.; Finin, T.; Yesha, Y., 2004) este tipo de sistemas se caracterizan por cuatro propiedades.

- I. Su capacidad de operar en entornos dónde el número de espacios de datos y aplicaciones que acceden a estos espacios de datos es dinámico.
- II. Su capacidad de operar con distintos catálogos y esquemas de datos.
- III. Mecanismos que resuelvan el alto riesgo de inconsistencias de los ambientes ubicuos motivadas fundamentalmente por el carácter asíncrono de las conexiones y desconexiones de las aplicaciones que acceden a ellos.
- IV. Mecanismos de colaboración entre las aplicaciones con objeto de facilitar el acceso a los datos de las mismas.

En nuestro caso, estos retos se resuelven mediante un modelo colaborativo de agentes que obtienen los datos proporcionados por los distintos sistemas anteriormente mencionados. Este modelo (Carmelo R. García, Gabino Padrón, Pedro Gil, Alexis Quesasda-Arencibia, Francisco Alayón, Ricardo Pérez, 2012) se describirá a continuación y parte de un modelo conceptual y su implementación en forma de base de datos que también se expondrá en este trabajo.

Básicamente, todo evento relevante que se produce en el vehículo se representa mediante un conjunto de datos producidos por dispositivos (sensores, consola del conductor, lectores de tarjetas, etc.). El número de datos y estructura de este conjunto de datos es variable y depende del tipo de evento representando. Para garantizar la interoperabilidad de los datos se utiliza una ontología que se implementa mediante un catálogo y esquema de datos basado en el modelo TRANSMODEL (TRANSMODEL, 2001) profundizaremos en esto a continuación empezando por una solución basada en los principios de los Sistemas Ubicuos para continuar describiendo el modelo de sistema empleado.

El modelo de gestión de datos en el transporte de Viajeros por carretera propuesto en (Carmelo R. García, Gabino Padrón, Pedro Gil, Alexis Quesasda-Arencibia, Francisco Alayón, Ricardo Pérez, 2012) está inspirado en la gestión de los datos de los sistemas ubicuos, como ya se ha citado con anterioridad, de acuerdo con (Perich, F., Joshi, A.; Finin, T.; Yesha, Y., 2004) los sistemas ubicuos se caracterizan fundamentalmente por ser:

- Autónomos. Poseen un alto grado de autonomía dada la inexistencia de un control centralizado de los datos manejados por las aplicaciones ubicuas.
- Distribuidos. Los datos que gestionan están distribuidos, por lo que, se están estructurados en dispositivos diferentes, de modo que existen diferentes réplicas de los datos.
- Heterogéneos. Dado que los datos representan heterogéneas Ontologías.
- Móviles. Intrínsecamente toda aplicación de un sistema ubicuo lo es, dado que el sistema que ejecuta la aplicación cambia su localización de modo que las infraestructuras de comunicaciones también cambian, razón por la que no siempre está disponible el mismo conjunto de datos en el sistema.

Como ya hemos comentado con anterioridad y de acuerdo con los autores citados, este tipo de sistemas, además se caracteriza por su capacidad de:

- Operar en entornos donde el número aplicaciones y espacios de datos es dinámico.
- Operar con distintos catálogos y esquemas de datos.
- Operar sin garantía de reconexión a pesar del alto riesgo de generar inconsistencias en los datos.
- Proporcionar una plataforma de colaboración controlada.

El modelo de sistema ubicuo de gestión de datos desarrollado es una propuesta general, orientada a la provisión de servicios avanzados de información en el contexto del transporte público de viajeros por carretera. En este contexto, este tipo de sistema puede emplearse, por ejemplo, en los asistentes para los viajeros en ruta de transporte público o en el control de operaciones que se ejecutan en cada vehículo de la flota del transporte público. Ambos ejemplos se caracterizan por manejar una gran cantidad de datos dado que necesitan la representación de la red de transporte, es decir, todas las paradas y estaciones de vehículos incluidos los datos de geolocalización, además, se requieren datos que representen las diferentes rutas cubiertas por los vehículos y la planificación prevista para las operaciones con su horario a lo largo de los diversos puntos de la red de transporte.

Por último, otra propiedad es que requieren datos dinámicos, es decir, representaciones de entidades que varían en el tiempo, por ejemplo: nivel de ocupación de los vehículos, tiempos estimados de llegada a los destinos, etc., los ejemplos citados requieren catálogos y esquemas de datos diferentes debido fundamentalmente a la movilidad de los sistemas involucrados (dispositivos móviles para las guías de pasajeros y sistemas embarcados en los vehículos para el control de operaciones), por lo que ocurrirán, conexiones y desconexiones (al entrar o salir de cobertura) espontaneas de los sistemas con la consiguiente posibilidad de que se produzcan inconsistencias en los conjuntos de datos empleados.

La *Figura 26* muestra el Esquema General del sistema y la estructura de naturaleza distribuida del mismo, describiremos a continuación los principales aspectos de diseño e implementación desde el punto de vista de la gestión de los datos. La arquitectura del sistema diseñado se basa fundamentalmente en tres paradigmas, la Computación Ubicua, la orientación a agentes y la orientación a servicios. Teniendo en cuenta la importancia de las comunicaciones móviles en los sistemas ubicuos, nos centraremos en como gestionan los datos las aplicaciones y la infraestructura y como las comunicaciones afectan a dicha gestión.

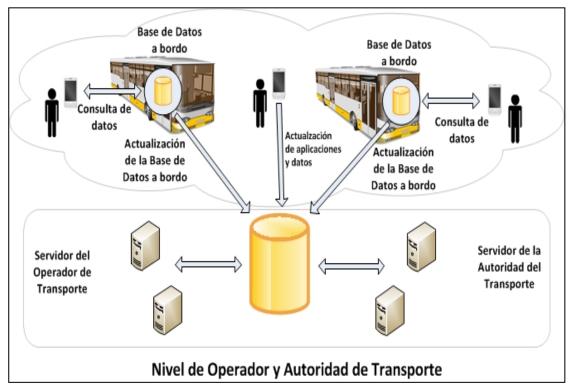


Figura 26. Esquema General del Sistema que muestra la estructura de datos distribuida

En este sistema, cada dispositivo de computación, de la infraestructura o del usuario, puede ejecutar una o varias aplicaciones ubicuas, conceptualmente cada pareja formada por un dispositivo y una aplicación ubicua la denominamos **Agente**. Cada Agente interactúa con autonomía y de manera espontánea con su entorno. El entorno está representado por un espacio de datos distribuido que se puede usar por un Agente para obtener o generar datos. Este espacio de datos distribuido se estructura en diferentes subconjuntos de datos que denominamos contextos lógicos, cada contexto lógico está asociado con un área funcional del sistema ubicuo: Información al viajero, Control de operaciones, Producción, etc.

Los servicios de información los proporcionan Agentes que denominados *Agentes* proveedores de información, estos Agentes, son tanto móviles como no móviles y se ejecutan en la infraestructura de transporte para producir los datos requeridos por los que llamaremos *Agentes consumidores de información*, estos datos requeridos pueden pertenecer a una única área o a diversas áreas o contextos del transporte. Los datos se encuentran almacenados en repositorios distribuidos que se localizan en elementos diferentes de la infraestructura de transporte como se ve en la *Figura 26*.

Específicamente en el sistema diseñado, existe un repositorio central de datos que contiene todos los datos requeridos por los diferentes sistemas de información que se encuentran distribuidos por toda la red de transporte, además existe un repositorio local en cada vehículo que contiene todos los datos necesarios para realizar el servicio ofrecido por el vehículo y además, si los servicios son accesibles por los dispositivos móviles de los usuarios, repositorios locales en cada terminal móvil para cada servicio de información accesible desde el terminal. Todos los datos requeridos por los servicios de información están basados en un modelo conceptual común y la declaración sobre la disponibilidad de los servicios de información se lleva a cabo por los Agentes proveedores mediante un servicio de registro.

Debido a la naturaleza heterogénea de los ambientes ubicuos, el servicio de registro se emplea también para declarar las especificaciones básicas para acceder al servicio. Básicamente, el mensaje usado en el registro del servicio incluye la dirección de red del dispositivo donde el Agente proveedor de información se está ejecutando (address), el identificador del servicio (service), el identificador del mapa de datos (map), y el tiempo de caducidad del mensaje de registro (time to live).

R = (address, service, map, time to live)

Por ejemplo, en caso de un servicio de información al viajero, el Agente proveedor de servicio es un Agente móvil que se encuentra a bordo del vehículo y no un Agente móvil ejecutándose en un punto relevante de la red de transporte, como por ejemplo una estación. En los vehículos, el Agente proveedor de información sobre la ruta del vehículo que suministra información basada en los datos dinámicamente almacenados en el repositorio local, dispone de un acceso que se puede obtener mediante el campo **map** del mensaje de registro **R**. El Agente proveedor de información de este tipo, no móvil, suministra información estática sobre la red de transporte y nuevas versiones de datos para los Agentes consumidores de información; los datos requeridos para suministrar la información estática se almacenan tanto en un repositorio local como en los repositorios remotos.

Los Agentes consumidores de información, se programan para ser ejecutados en los dispositivos móviles de los usuarios. La información que consumen estos agentes se basa en datos de contextos diversos, y se genera a demanda por los agentes proveedores de información. En el caso de un sistema de guía y asistencia al viajero, un agente consumidor de información se ejecuta en el teléfono móvil del viajero que debe tener la capacidad de encontrar un agente proveedor de este servicio, lo cual se consigue mediante el análisis de los mensajes de registro de servicio que envían los agentes proveedores de información, especialmente mediante los campos s y m del registro y las necesidades especificadas por el viajero.

A continuación describiremos los principios de funcionamiento del sistema, que están basados fundamentalmente en las propiedades específicas de los sistemas ubicuos, autonomía, heterogeneidad, distribución y la inexistencia de catálogos y esquemas de datos.

Haremos especial énfasis en cómo estas propiedades típicas de estos sistemas afectan a la gestión de la información. La *Figura 27* muestra los canales de comunicaciones desde los que se puede acceder al sistema por los dispositivos de usuario, tanto desde Internet como desde las plataformas móviles, en el primero de los casos (Internet) se accede a la versión disponible en el repositorio central y en el segundo caso (Plataformas móviles) a la versión disponible a bordo de los vehículos.

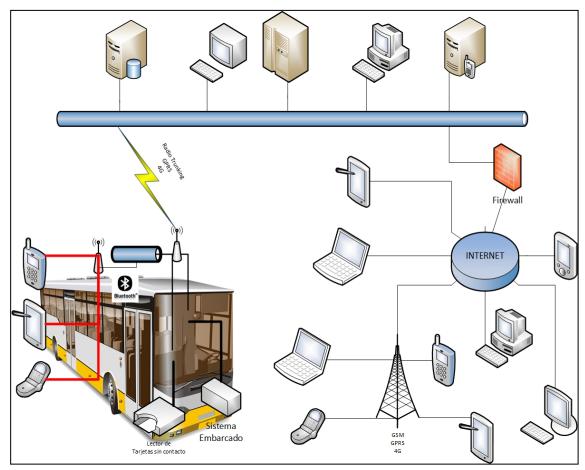


Figura 27. Acceso de usuarios al Sistema Ubicuo desde la plataforma móvil o desde Internet

Los Agentes son autónomos porque tienen la capacidad de identificar los diferentes ambientes y usar los recursos disponibles en cada uno los ambientes. Los recursos que solicitan los Agentes a la infraestructura del sistema son canales de comunicación y datos que no siempre están disponibles en todos los entornos, por ejemplo, en el contexto del transporte, solo están disponibles en los autobuses y en las estaciones y paradas. Esta variabilidad de la disponibilidad de los recursos básicos en lugares diferentes de la red de transporte implica que los sistemas de información varían dependiendo de la ubicación de cada lugar. En el caso de un Agente consumidor de información como el de información de asistencia al viajero, se necesita un canal local de comunicación como una red de proximidad WIFI o Bluetooth, además, se requiere la información sobre el transporte. Por ejemplo, información estática como rutas y paradas, e información dinámica como la ubicación en la red de transporte.

Los sistemas ubicuos operan en ambientes con un alto nivel de heterogeneidad, lo que se puede ver con facilidad en términos de dispositivos y tecnologías móviles de comunicación empleadas por los usuarios, en el contexto de los sistemas de información del transporte los viajeros usan dispositivos móviles basados en diversos sistemas operativos como por ejemplo: Android, iOS, Windows Mobile, etc. Además de la heterogeneidad presente en los dispositivos de usuarios se debe añadir la que supone el almacenamiento y la organización de los datos al no existir ningún esquema común para la información.

La heterogeneidad de las tecnologías de comunicación móvil se aborda proporcionando canales de comunicación genéricos e independientes de la tecnología empleada. En la actualidad las redes de proximidad más extendidas son las redes WIFI y Bluetooth, aunque se puede apreciar una tendencia cada vez mayor al uso de las redes de largo alcance tipo 3G o 4G a medida que las tarifas de datos de los operadores descienden. Cada uno de los canales de comunicación disponibles se usa para descubrir los servicios y una vez descubierto e identificado, para intercambiar datos con entre el Agente consumidor y el Agente proveedor. Los Agentes consumidores pueden obtener información desde múltiples agentes proveedores, cada proveedor dispone de un subconjunto de datos del repositorio global de información del sistema. En el sistema que describimos, los Agentes proveedores de información se pueden ejecutar en los sistemas embarcados en los autobuses y/o en los sistemas no móviles de las estaciones y puntos de interés general de la red de transporte. Por ejemplo, en el caso de los sistemas de guía para el viajero, los datos necesarios para el Agente consumidor se encuentran distribuidos en tres repositorios:

- 1. El repositorio central que dispone de los datos actualizados sobre la red de transporte, las operaciones planificadas y las incidencias.
- 2. El repositorio disponible en cada vehículo de la flota que contiene una vista parcial del repositorio central del sistema y que básicamente contiene los datos necesarios para el sistema de guía y control del servicio a bordo.
- 3. El repositorio situado en el dispositivo móvil del usuario que entre otra información almacena las preferencias y los resultados de las preguntas más frecuentemente realizadas al sistema.

La integridad de los datos se consigue mediante la realización de procesos de sincronización entre los repositorios locales de los Agentes móviles y el repositorio global de datos. Como mencionamos antes, los Agentes móviles son capaces de detectar de manera autónoma las infraestructuras WIFI o Bluetooth, y cuando las detectan, el proceso de sincronización entre los repositorios se dispara de manera automática. Cada versión de datos se identifica por medio de una clave que está basada en la hora proporcionada por el GPS del sistema. Además, todos los agentes del sistema usan un temporizador común, en el caso del sistema de información al viajero, cuando un viajero se encuentra en una estación de la red de transporte, el Agente que se ejecuta en el dispositivo móvil del viajero verifica si la versión de datos es anterior a la versión disponible en los Agentes proveedores de información en cuyo caso procede a la actualización correspondiente.

Cuando un Agente se mueve, esto puede afectar el rendimiento de Agentes vecinos, dado que el movimiento de Agentes no está restringido y generalmente no es predecible, cabe la posibilidad de la perdida de conectividad entre Agentes. Esta pérdida de conectividad puede generar inconsistencias en los datos por las posibles transacciones incompletas que se puedan generar. El sistema aborda este problema por medio de una búsqueda anticipada de los datos requeridos por el Agente consumidor. Específicamente, cuando se detecta un nuevo contexto por parte de un Agente, el proceso (un hilo en el caso de las plataformas Midlet e iOS y una tarea en el caso de Android) del Agente consumidor, que se ejecuta de manera concurrente, ejecuta la búsqueda de un Agente proveedor de información y si se detecta su existencia, se realiza la solicitud de un conjunto de datos de la máxima probabilidad de uso al Agente proveedor detectado de acuerdo con las circunstancias específicas, y esta información se almacena en la cache del Agente consumidor. De este modo cuando el hilo principal del Agente necesita datos, en primera instancia intenta obtenerlos de la cache local y si no están disponibles los solicita a los Agentes proveedores por medio de los canales de comunicación. En el caso del sistema de seguimiento y control de los vehículos, esta propiedad se realiza cuando el Agente consumidor detecta que se encuentra en un ambiente de parada de autobús, el Agente consumidor de información busca un proveedor de servicios de manera autónoma y en caso de encontrarlo, el Agente proveedor proporciona los datos que usará el Agente de asistencia al viajero, esto es, número y descripción de la ruta, parada actual, destino y paradas de la ruta. En caso de que el viajero decida tomar el vehículo, la mayoría de la información necesaria se encontrará disponible en la cache el dispositivo del usuario.

Con respecto al uso de catálogos y esquemas de datos diferentes, la heterogeneidad se encuentra básicamente en que cada empresa operadora de transporte puede emplear distintos sistemas de información con sus respectivos catálogos y esquemas de información. Para salvar esta heterogeneidad se utiliza, tal y como ya se ha comentado, el modelo TRANSMODEL (TRANSMODEL, 2001) dando lugar un modelo conceptual común que incluye ontologías y conjuntos de modelos entidad relación que permiten la interoperabilidad.

3.4.3.1 Modelo conceptual de datos

Ahora vamos a centrar nuestra exposición en la definición del modelo conceptual de datos empleado en el sistema, de acuerdo con (Carmelo R. García, Gabino Padrón, Pedro Gil, Alexis Quesasda-Arencibia, Francisco Alayón, Ricardo Pérez, 2012), todos los actores involucrados en el transporte público (autoridades, operadores y usuarios) coinciden en la conveniencia de proporcionar servicios de calidad a su actividad. La calidad del servicio implica mejorar la seguridad, la accesibilidad, la eficiencia ambiental y económica, por ejemplo, un uso más eficiente de las infraestructuras de transporte existentes, potenciará la seguridad y la reducción de los consumos energéticos y los accidentes. Las tecnologías de la información y las comunicaciones pueden jugar un papel importante en el cambio necesario mediante la introducción de servicios novedosos y atractivos para los usuarios. La interoperabilidad es un aspecto clave en los sistemas de información del transporte público moderno, y que puede ser alcanzada mediante la aplicación de los paradigmas de la Computación Ubicua en el diseño de los sistemas, específicamente es necesario el desarrollo de modelos conceptuales aplicables a

los aspectos apropiados a los objetivos perseguidos. En esta línea describiremos a continuación un modelo de contexto para el desarrollo de sistemas de información ubicuos para el transporte público. Las principales características del modelo presentado es que éste es: completo, porque abarca todas las áreas de las actividades vinculadas al transporte público, y permite la interoperabilidad porque puede ser usado por compañías de transporte del mismo ámbito o de ámbitos diferentes (aire, mar y tierra) y con tecnologías diferentes.

El objetivo principal del modelo de contexto que se describe es facilitar el desarrollo de nuevos servicios de información para el transporte público, de manera que se garantice las funcionalidades requeridas por los servicios ITS como: accesibilidad, usabilidad e interoperabilidad, el modelo de contexto está inspirado en los paradigmas de la Computación Ubicua y más específicamente el procesamiento de contextos. El modelo se basa en el uso de información de contexto espacial (posición y tiempo) y la interpretación semántica del contexto del transporte público por medio de ontologías.

3.4.3.2 Modelo de contexto.

Nuestro modelo de contexto está diseñado desde la perspectiva de los sistemas ubicuos para proporcionar servicios de información interoperables para el transporte público. Por lo tanto, los servicios de información están disponibles con independencia del modo de transporte (aéreo, marítimo o terrestre), la ubicación en la red de transporte (estaciones, autobuses, aviones, trenes, etc.), el dispositivo del usuario (teléfonos móviles, Smartphone, Tabletas, portátiles, etc.) y la infraestructura tecnológica (ordenadores móviles o estáticos y elementos de comunicación). Para proporcionar servicios de interoperación en cualquier lugar y momento, los elementos tecnológicos de un sistema de información ubicuo se encuentran desplegados en diversos lugares de la red de transporte. Básicamente, estos elementos son dispositivos de computo (ordenadores estáticos o móviles), dispositivos de gestión de cobros tanto manuales como automáticos (consolas de emisión de tickets, lectores de tarjetas magnéticas o sin contacto, etc.), sensores (contadores de viajeros, apertura y cierre de puertas, video cámaras, etc.), sistemas de geolocalización (GPS, tacómetro, etc.) e infraestructuras de comunicaciones (tanto móviles como estáticas). La Figura 28 muestra una visión general del sistema dentro de un esquema intermodal donde los repositorios tanto locales como remotos son consultados de acuerdo con la disponibilidad por los Agentes que corresponden en cada caso.

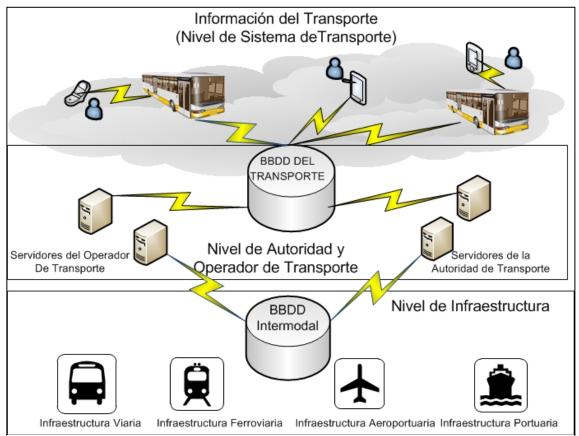


Figura 28. Sistema de Información Ubicuo para Transporte Público Intermodal

Ontología del Sistema

La conceptualización del sistema se basa en una ontología que define, por medio de un lenguaje ontológico, los conceptos y las relaciones, adjuntando el significado semántico a la información de contexto y habilitando la interpretación de la máquina en el dominio de la red de transporte público intermodal. Conceptualmente, el dominio se estructura en cuatro subdominios:

- 1. El dominio de los actores. Todos los conceptos relativos a los actores que participan en la red de transporte público intermodal pertenecen a este dominio. Los actores principales son: usuarios, operadores de transporte y las autoridades de transporte, y el papel principal de los actores es fundamentalmente el de proveedor de infraestructuras o servicios, o el de consumidor de servicios. Las especificaciones sobre el viajero, como por ejemplo, tipo de viajero, y las especificaciones sobre el operador, como por ejemplo tipo de operador (urbano o interurbano), forman parte de este dominio.
- 2. El dominio de la infraestructura. Los conceptos relativos a los recursos básicos para la ejecución de las aplicaciones ubicuas (procesos internos de computación del operador, proveedores de servicios de información y aplicaciones clientes) forman parte de este dominio. Los recursos a los que nos referimos son: capacidad de cómputo,

comunicaciones, localización y sensores. Este es el dominio más complejo de la arquitectura del sistema ya que los conceptos y las funcionalidades proporcionadas por este dominio deben garantizar la interoperabilidad de todos los sistemas de información ubicuos. Físicamente, este dominio está desplegado en los elementos de la red de transporte y la autoridad del transporte es el actor responsable del dominio y los actores beneficiarios del mismo son fundamentalmente los operadores.

- 3. El dominio de proveedores de servicio. Los conceptos relativos a los diferentes sistemas de información ubicuos, como por ejemplo, el sistema de pago, el sistema de asistencia al viajero, el control de operaciones, etc., pertenecen a este dominio- Los actores responsables de este este dominio son las autoridades del transporte y los operadores de transporte y los actores beneficiarios pueden ser los empleados de los operadores, los empleados de las autoridad del transporte y los viajeros. Las especificaciones sobre aspectos funcionales o tecnológicos pertenecen a este dominio.
- 4. El dominio del consumidor de información. Todos los conceptos relativos a accesibilidad, usabilidad y fiabilidad de los clientes de las aplicaciones ubicuas pertenecen a este dominio. Por lo tanto esto es un dominio de abstracción de alto nivel. Los actores responsables de este dominio son las autoridades de transporte y los operadores de transporte, los actores beneficiarios son los empleados de las autoridades de transporte, los empleados de los operadores de transportes y los viajeros.

Este modelo sigue la línea propuesta por (Hervás, R., Bravo, J., Fontecha, J. A., 2010) que describe un modelo de contexto de cuatro ontologías relacionadas: usuarios, dispositivos, ambiente y servicio. Esta ontología es global para el sistema de información público, por lo tanto, cubre los cuatro dominios conceptuales. Existe una relación jerárquica entre sub dominios basado en el concepto de "pertenencia"; el dominio de actores está en el primer nivel de la jerarquía, los dominios de infraestructura y servicios están en el segundo y tercer nivel de la jerarquía respectivamente y finalmente, en el último nivel de la jerarquía encontramos el dominio de los consumidores de información. Además, los conceptos específicos definidos en cada uno de los sub dominios están jerárquicamente organizados. En el dominio de los actores, el concepto raíz es la "autoridad del actor", en el siguiente nivel de la jerarquía los "actores operadores" se definen y en el siguiente nivel los "actores empleados", los "actores viajeros" y los "actores públicos" también son definidos. En el caso del dominio de infraestructura, el elemento principal de la infraestructura es la red de transporte público (estaciones, paradas, centros de servicio y mantenimiento, vehículos, etc.) pertenece al primer nivel de la jerarquía, para pertenecer a este nivel el criterio conceptual empleado es "ser un contenedor de infraestructura tecnológica requerida para proporcionar servicios de información ubicua". Para el dominio de los proveedores de información, el primer nivel está formado por las actividades principales del transporte público, como se definen en (TC278, 2005), descrito en este documento y conocido como Transmodel que es en esencia un modelo Europeo de especificaciones estándar para el transporte público. Estas actividades son: planificación estratégica, disposición del personal, operación multimodal, gestión de la información, cuadro tarifario, control de operaciones e información al viajero. Cada servicio de información ubicuo es proporcionado por una de estas áreas principales dependiendo de la

infraestructura tecnológica, en primer lugar, y del operador de transporte en segundo lugar. Finalmente, en el dominio del consumidor de información, el primer nivel está formado por diferentes aplicaciones clientes, la principal infraestructura tecnológica requerida para ejecutar las aplicaciones clientes se define en un segundo nivel, los requerimientos de información sobre el transporte configuran el siguiente nivel y finalmente, las funcionalidades requeridas, bajo el punto de vista de la accesibilidad, usabilidad y fiabilidad de las aplicaciones clientes, se localizan en el último nivel jerárquico de este subdominio.

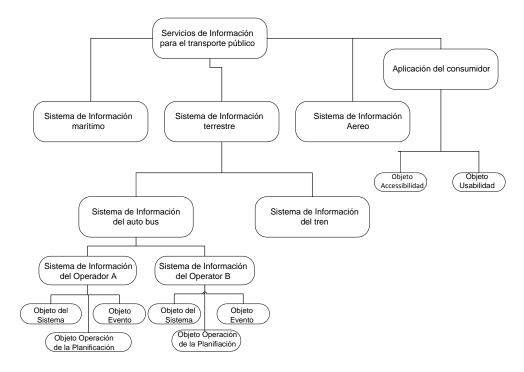


Figura 29. Extracto de la Ontología de Contexto

Modelo de Contexto

Nuestro propósito es modelar toda la información del transporte público, permitiendo la inter operatividad de los sistemas de información ubicuos. Por ejemplo, un servicio de información ubicuo, como el de asistencia al viajero, puede realizar una consulta sobre un itinerario, de acuerdo con las preferencias del viajero, que requiera información sobre la posición de ciertos elementos de la red de transporte, por ejemplo, vehículos o estaciones, que debe ser proporcionada en un intervalo concreto de tiempo, independientemente del modo de transporte, el operador de transporte, la tecnología de posicionamiento y la infraestructura de comunicaciones.

El modelo define los tres principales tipos de objetos: Objetos de Operaciones Planificadas, Objetos de Eventos y Objetos de Sistema. El objeto de Operaciones Planificadas se usa para representar la actividad planificada por los operadores de transporte público; las entidades que pertenecen a esta categoría de contexto son la planificación diaria de servicios, expediciones, paradas operacionales, etc. El objeto Evento se usa para representar cualquier evento relevante que se produzca durante el servicio de transporte, por ejemplo, las entidades que pertenecen a esta categoría son: retrasos, adelantos, alarmas técnicas, etc. El objeto Sistema se usa para representar los recursos requeridos para proporcionar los servicios de

transporte público (información del servicio público de transporte o información sobre el transporte público). Conductores, autobuses, trenes, estaciones, sistemas embarcados, etc. son casos de entidades pertenecientes a esta categoría de contexto.

Cada entidad del contexto perteneciente a cualquiera de los tres tipos principales se representa por al menos dos entidades de datos, que son: el actor responsable de la entidad y la localización geográfica de la entidad. Adicionalmente, si la entidad es una Operación Planificada o un Evento, un dato sobre el instante exacto se añade para representar el contexto de la entidad; para la Operación Planificada, el tiempo representa cuando debe empezar y cuando debe terminar, mientras que en el caso de un Evento la información de tiempo representa el instante en que ocurrió. Con este modelo de contexto todos los servicios de transporte y los datos están operacionalmente, geográficamente y temporalmente referenciados.

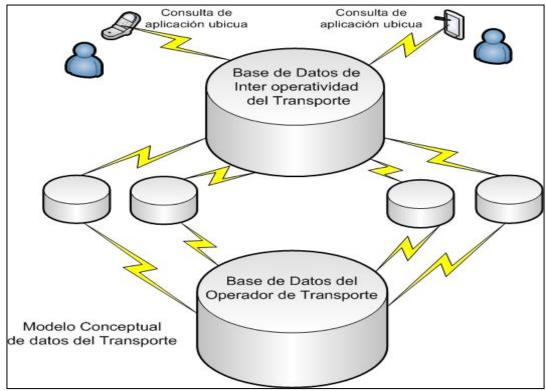


Figura 30. Extracto del Contexto Ontológico

Desde el punto de vista de la gestión de los datos, el modelo de contexto esta implementado en una Base de Datos distribuida, en ella, todas las entidades son estructuras en tres niveles: en el primer nivel, denominado Nivel del Núcleo de Datos, y en él se representa el modelo conceptual de datos completo de la red de transporte público, en el segundo nivel, denominado Nivel Intermedio, es proporcionado por los actores del transporte público (autoridades del transporte y operadores de transporte) y finalmente, el tercer nivel es el denominado Nivel de Inter operatividad de Datos que está formado por los componentes cuyo propósito es conciliar la representación de datos de las entidades de datos proporcionadas por los operadores y autoridades de transporte. La *Figura 30* muestra una visión de conjunto de esta organización.

El modelo de datos que representa la ontología del sistema juega un importante papel en la interoperabilidad del sistema. Cada operador representa los dominios conceptuales que hemos descrito con anterioridad. La Base de Datos de Interoperabilidad se usa para compatibilizar la representación definida por los distintos operadores. Esta Base de Datos está estructurada en tres niveles. En el primer nivel, las entidades que participan en el servicio son definidas por cada servicio de información interoperable. Esta definición se compone de un descriptor de la entidad y una descripción. Los campos de la entidad se describen en el segundo nivel. Esta representación usa tres componentes: el identificador del atributo, su nombre y el formato de datos que representa el atributo. Finalmente, en el tercer nivel las entidades se representan mediante los atributos descritos en el nivel previo. Esta representación está organizada en dos subconjuntos de atributos: el primer subconjunto es el formado por los atributos de todos los actores (operadores de transporte y autoridades de transporte) que pueden ser usados en la representación de las entidades. La estructura de un registro de representación de una entidad tiene un atributo identificador, su posición en el registro y su valor como muestra la *Figura 31*.

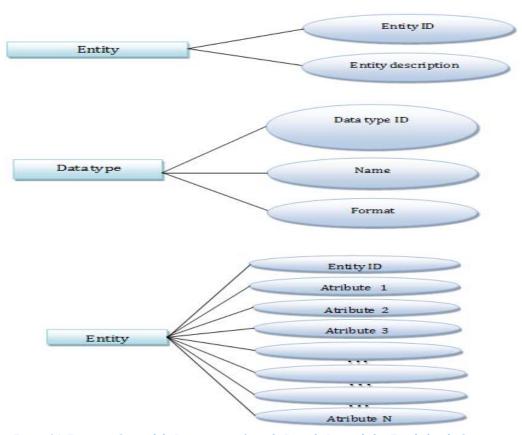


Figura 31. Esquema General de Representación en la Base de Datos de las Entidades de Contexto

El modelo de contexto descrito se ha aplicado por la Autoridad del Transporte de Gran Canaria, que tal y como se ha especificado es la responsable de la gestión del transporte público de viajeros por carretera en la Isla. La red de transporte público de Gran Canaria integra siete compañías de transporte, algunas compañías trabajan en el ámbito del transporte urbano y metropolitano y una compañía es la concesionaria del transporte interurbano. Las

dimensiones de los operadores son diversas, algunas cuentan con pequeñas flotas de unos 15 vehículos que transportan en torno a los 100.000 viajeros al año y dos de las operadoras son de tamaño mediano con flotas de más de 150 vehículos que transportan más de 20.000.000 de pasajeros por año. Esta diversidad se refleja incluso en la infraestructura tecnológica, por ejemplo, algunas compañías sólo poseían sistemas de pago manuales (abonos y mediante pago directo), mientras que en otras, proporcionaban sistemas de pago automáticos como las tarjetas sin contacto.

El modelo de contexto descrito es uno de los componentes de un marco para el desarrollo de los sistemas de información en el transporte. Actualmente, usando este modelo de contexto, la autoridad del transporte ha desplegado tres casos de sistemas de información ubicua. El primero es un método de pago basado en tarjetas inteligentes en soporte sin contacto, mediante este servicio el usuario puede pagar sus viajes mediante el uso de una tarjeta personal en los vehículos de transporte público, la tarjeta funciona como un monedero electrónico, donde se almacena el saldo disponible para viajar. Esto significa que la información requerida para efectuar el pago se obtiene directamente de la infraestructura del vehículo, la cantidad que se descuenta del monedero de la tarjeta depende de la distancia recorrida por el viajero. El segundo sistema de información desarrollado consiste en un servicio de información del transporte para los pasajeros en tránsito. Este servicio está desplegado en la red de transporte público de Gran Canaria (en concreto en estaciones, paradas y vehículos); mediante el uso de este servicio, el viajero puede obtener información en tiempo real sobre el transporte (horarios, retrasos, incidencias, etc.) Las Figuras Figura 32 y Figura 33 muestran respectivamente el modelo entidad relación de un punto cualquiera de la red de transporte y la estructura completa desarrollada e implementada para la red de transporte en Gran Canaria. Finalmente, el tercer servicio de información al transporte desarrollado empleando el modelo de contexto descrito es un servicio de información web sobre aspectos generales del transporte público de Gran Canaria (horario, asistencia para planes de viaje, tarifas, noticias, etc.); los usuarios pueden acceder a este servicios vía internet mediante cualquier dispositivo, las Figuras Figura 34 y Figura 35 muestran el modelo entidad relación para una Operación del cuadro de servicio y el modelo entidad relación para las distintas Tipologías de días que se emplean en el modelo, estas últimas serán empleadas de manera preponderante en la parte práctica de este trabajo.

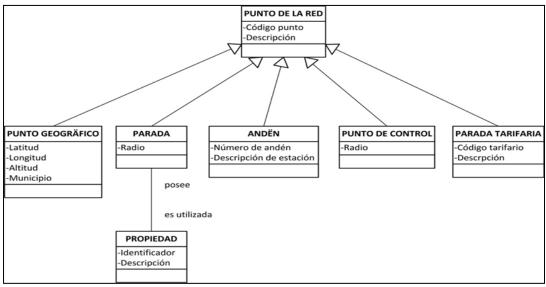


Figura 32. Modelo entidad - relación para un punto de la red de transporte

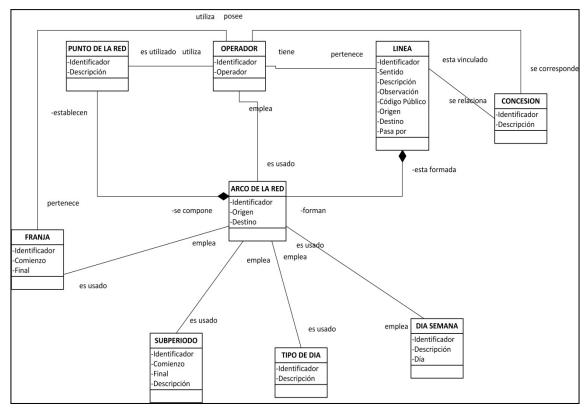


Figura 33. Modelo entidad - relación de la Red de Transporte

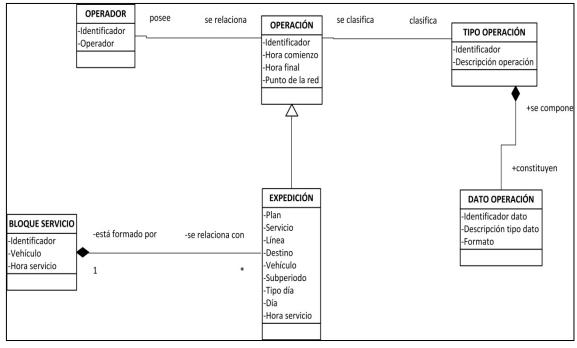


Figura 34. Modelo entidad - relación para una Operación del cuadro de servicio

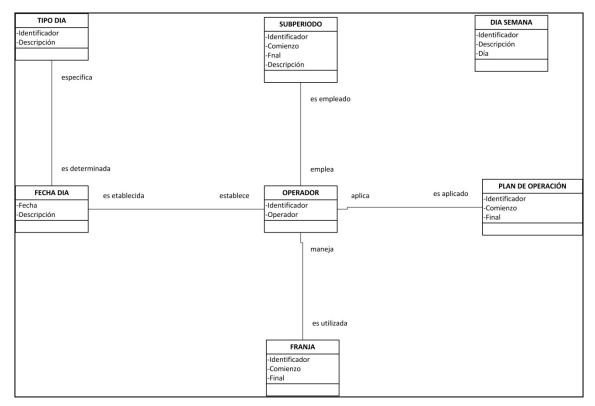


Figura 35. Modelo entidad relación para las Tipologías de días del calendario

A modo de resumen, el modelo contextual descrito es un componente básico en un marco para el desarrollo de los servicios de información ubicuos para el transporte público, permite implementar la inter operatividad de los servicios de información ubicuos de todos los actores del transporte público (viajeros, operadores de transporte y autoridades de transporte) proporcionando todos los componentes necesarios (ontología, datos y esquemas de datos para la representación del contexto) para el desarrollo de servicios de información integrados e inter operables. Un servicio integrado significa que se encuentra disponible con independencia del modo de transporte y del operador de transporte en cualquier lugar de la red y en cualquier instante. Un servicio Interoperable significa que es accesible y usable con independencia de la tecnología usada por el actor del transporte público. En Gran Canaria mediante el uso del modelo de contexto descrito se han desarrollado tres servicios de información integrados: un sistema de pago en tarjetas inteligentes sin contacto, un sistema de información al viajero en tránsito y un portal web que proporcionan información accesible desde internet sobre aspectos generales del transporte público en Gran Canaria (tarifas, horarios, quejas y sugerencias, etc.).

Capítulo 4: Aplicación del modelo

En este capítulo se describen la aplicación de modelo de sistema planteado para la obtención de datos relacionados con la actividad de explotación realizada por los vehículos de la flota de transporte público de viajeros con el objeto de mejorar dicha explotación. Los tres casos de aplicación que se presentan tienen en común la necesidad de un manejar una gran cantidad de datos, es decir un manejo masivo de datos, para su realización. Los tres casos de uso propuestos inciden de manera directa en la mejora de los parámetros empleados para la determinación de coste/beneficio y calidad de los servicios de transporte público por carretera.

Las aplicaciones que trataremos en este capítulo son:

- i. Determinar la ubicación de puntos relevantes de la red de transporte. En este caso se trata de obtener de manera automática los puntos en los que el vehículo se detiene de manera sistemática durante su servicio. Estas paradas pueden ser debido a que se corresponde con una parada programada en los recorridos, o bien se trata de puntos en los que por condiciones de tráfico o de la vía por el que circula el vehículo, éste se detiene de manera sistemática. Este caso de uso es de especial interés para las autoridades reguladoras, ya que deben supervisar que las compañías operadoras de transporte cumplen con lo pactado. También es de interés este caso ya que posibilita el enriquecimiento del modelo de datos utilizados para representar la red de transporte mediante la incorporación de estas entidades correspondientes a puntos en los que los vehículos de detienen de manera sistemática durante sus recorridos, no siendo paradas de línea.
- ii. Cálculo de la duración del recorrido en función del tipo de día y de la hora del día. La duración de las expediciones es un dato fundamental a la hora de establecer la planificación de los servicios que han de realizar los conductores. Este caso de uso consiste en un método para estimar la duración de los recorridos considerando variables tales como franja horaria del día, día de la semana o tipo de día (laboral o festivo). El método planteado permite realizar una estimación ajustada, considerando un registro histórico de datos masivo.
- iii. Cálculo del horario de paso por una parada determinada en función de la hora del día y del tipo de día. El cumplimiento del horario de paso anunciado al viajero por parte de la compañía operadora en una medida de calidad de servicio. En este tercer caso de uso del sistema, con el registro histórico de los tiempos de paso de los vehículos por las paradas, se propone un método para la estimación del horario de paso por las distintas paradas de una ruta considerando variables análogas a las del caso anterior: hora del día, día de la semana y tipo de día.

En resumen, gracias al modelo de sistema planteado se pueden obtener datos de calidad que permiten conocer la realidad de la explotación y por tanto acometer una mejora en la planificación y en la información suministrada al viajero. Para demostrar esta afirmación se presentan los tres caos de uso. El primer caso permite la identificación de ubicaciones en la red de transporte en las que los vehículos realizan paradas con alguna sistemática y que no suelen ser incluidas en los modelos clásicos de redes de transporte. En el segundo caso de uso, se plantea un método que permite realizar un refinamiento de un parámetro común en cualquier función de estimación de costes como es el tiempo de recorrido, pero en lugar de tratarlo como un valor estático, se propone la definición de una función que proporciona unos mucho más ajustado a su valor real. En el último caso de uso permite mejorar la calidad de la información disponible para los usuarios, las autoridades y para los propios operadores, al facilitar la disponibilidad de funciones simples que permiten determinar el horario de paso de un vehículo por un punto determinado de la red.

4.1 Identificación de puntos relevantes en la red de transporte.

En una aproximación estadística como la que se propone en este trabajo, garantizar la calidad en los datos es un requisito necesario para garantizar la fiabilidad en los resultados y sobre todo el ajuste de los resultados a la realidad; cuanto más exactos y precisos sean los datos empleados en una aproximación estadística, las desviaciones serán menos significativas y por lo tanto el ajuste a la realidad mayor. Así, tenemos la necesidad de plantearnos un método capaz de clasificar todos los puntos registrados de manera correcta que se justifica en la necesidad de que los resultados obtenidos por medio de las aproximaciones estadísticas que planteamos sean fiables y ajustados a la realidad.

4.1.1 Descripción del problema de la identificación de puntos en la red de transporte

Para abordar correctamente la aproximación a la soluciones de los dos problemas planteados en los dos casos segundo y tercero descritos anteriormente: la duración del recorrido y el horario de paso por parada, se dispone de un conjunto de datos suficiente, aunque para garantizar que los datos son más exactos y precisos, proponemos emplear un método que nos permite de manera automática y en aproximaciones interactivas sucesivas, vincular la ubicación donde se ha registrado un determinado evento a bordo del vehículo con el punto más cercano de la red.

Para mejorar la clasificación de los datos, se pueden emplear diversos métodos, aquí proponemos un método aplicado en problemas de naturaleza muy variada en los que se requiere una clasificación. El método, conocido como algoritmo *K-means*, nos permitirá clasificar los puntos en agrupaciones ("clusters") o conjuntos homogéneos. Este método dispone de implementaciones diversas, de acuerdo con los parámetros disponibles para su aplicación.

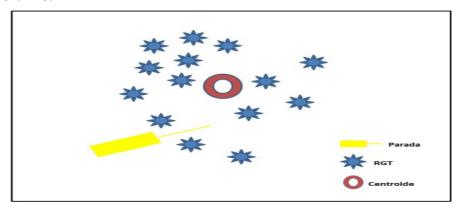
En el caso de nuestra propuesta, dado que las paradas teóricas del vehículo son conocidas, y coinciden con las paradas previstas en la planificación para la expedición objeto de estudio, se puede usar como primera aproximación a la solución buscada el conjunto de paradas del recorrido, en particular la *Figura* 36 muestra el resultado de aplicar el algoritmo *K-means* para un conjunto inicial de 28 paradas en la línea tomada como ejemplo; recorrido identificado por la compañía que la explota con el código 210.



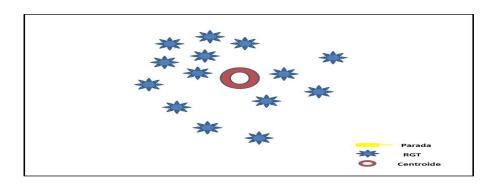
Figura 36. Algoritmo K-means con 28 paradas de línea

El algoritmo *K-means* nos dará como resultado una agrupación de las RGT de velocidad 0 en la que se pueden distinguir claramente 3 tipos de agrupamientos.

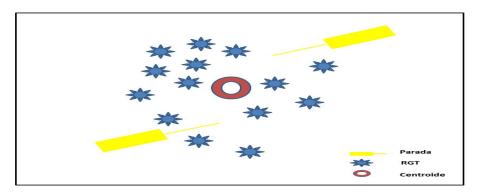
1. Clúster con una única parada de la línea, cuyo centroide está muy próximo a la parada de la línea.



2. Clúster sin paradas de la línea.



3. Clúster con más de una parada de la línea.



A continuación comentaremos las implicaciones de cada uno de los tipos de agrupamientos para nuestro trabajo analizando con detalle los resultados obtenidos.

La *Figura 37* es un ejemplo del primer tipo de agrupamiento o clúster, se aprecia una distancia pequeña entre el centroide del conjunto de medidas RGT (definido en la sección 3.4.2.2 que describe el sistema de posicionamiento del vehículo) de velocidad 0 (denominado NL28) y la parada prevista en el recorrido de la línea 210 (227011 señalada con una icono amarillo en la Ilustración), en éste ejemplo, la distancia es de aproximadamente 12 metros, tal y como ya hemos comentado, la precisión del dispositivo de captura de datos es de 100 metros en condiciones normales, tanto el sensor embarcado en el vehículo como el empleado para determinar la posición geográfica de la parada de la línea.



Figura 37. Clúster con una única parada de la línea

En la *Figura 38* se aprecia la ausencia de paradas de la línea ubicadas en las inmediaciones del clúster (no hay ningún icono chincheta amarilla), es un caso perteneciente a la tipología 2 de los posibles resultados de aplicar algoritmo *K-means*, en éste caso concreto, el resultado está vinculado a la presencia de una señal de tráfico en las inmediaciones del clúster, tipo ceda el paso, stop, paso de peatones, semáforo o en general indicaciones de regulación de tráfico

en las que el vehículo no tiene la prioridad de paso. Resultaría útil ampliar el modelo de representación de la red de transporte para incluir este tipo de señales de tráfico como puntos del recorrido de las líneas en el modelo, ya que influyen de manera sistemática en el comportamiento del vehículo. La *Figura 39* es una fotografía en la que se aprecia la situación de señal de tráfico de la que se trata en este caso concreto, una señal de ceda el paso.



Figura 38. Clúster sin parada de la línea en su interior



Figura 39. Foto de la ubicación de la señal de ceda el paso

En la *Figura 40*, se aprecian dos paradas de la línea 210 etiquetadas con una marca amarilla y numeradas como 175041 y 175031 dentro del Clúster 14. En este caso además el centroide del clúster se encuentra a una distancia considerable de cualquiera de las dos paradas y en una ubicación que no se corresponde con un lugar por el que el vehículo pueda

circular, en este caso se trata de la tercera posible tipología que podemos obtener como resultado de aplicar el algoritmo *K-means*.



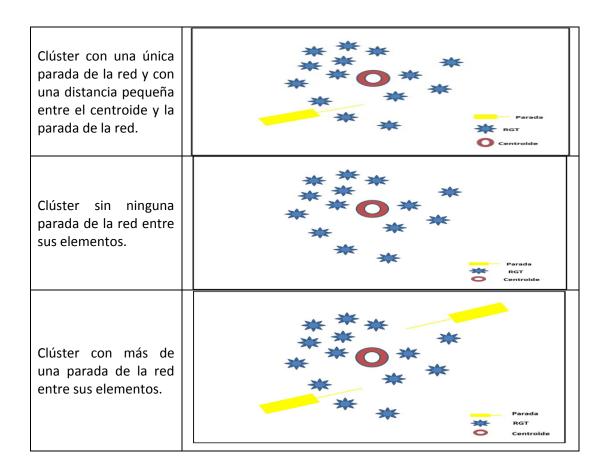
Figura 40. Clúster con más de una parada de la Línea

Mediante la aplicación del algoritmo *K-means* como método de agrupamiento no se puede determinar con exactitud, para todos los puntos registrados a bordo del vehículo, RGT en los que la velocidad es 0, a qué posible parada, representada en la red de transporte y perteneciente al recorrido, pertenecen y por lo tanto no es trivial determinar los períodos de tiempo en la parada y los períodos de tiempo entre paradas.

4.1.2 Propuesta de método para la identificación de puntos relevantes en la red de transporte

A continuación vamos a describir el método que proponemos para vincular de manera automática cada RGT a un nodo o punto específico de la red de transporte, de manera que resulte trivial realizar una aproximación estadística precisa a los tiempos de recorrido y a los tiempos en parada y que en todo caso se ajusten mejor que las estimaciones que normalmente se manejan en los métodos de optimización utilizados en el trasnporte.

Dado un conjunto de muestras RGT correspondientes a posiciones de un vehículo que realiza un recorrido planificado, es posible determinar a qué paradas de las realizadas por el vehículo pertenece cada una de las RGT, aplicando el algoritmo de clasificación de puntos comúnmente conocido como *K-means*, para ello, usaremos como conjunto inicial de centroides, es decir, como aproximación inicial a la solución, el conjunto de paradas de la red que se prevé que realizara el vehículo de acuerdo con la planificación de la expedición de que se trate, como resultado de este proceso, y como ya hemos comentado, obtendremos agrupaciones que pertenecerán a uno y solo uno de los 3 grupos siguientes:



Además de los 3 grupos descritos, se pueden encontrar combinaciones de la tipología 1 y de la tipología 2, es decir, clústeres con una sola parada de la red, pero con una distancia grande (superior a 25 metros) entre el centroide y la parada como se pone de manifiesto en la *Figura 41*.



Figura 41. Clúster tipo 1 y 2 combinado

En la *Figura 41* la distancia entre el centroide y la parada prevista es de unos 50 metros en línea recta (al margen de su ubicación fuera de un lugar verosímil).

Como ya hemos indicado, mediante una única aplicación del algoritmo *K-means* no es posible etiquetar como pertenecientes a una parada del recorrido todos los puntos registrados (RGT) de velocidad 0, es necesario como proponemos en este trabajo la aplicación reiterada

del algoritmo *K-means* hasta alcanzar una solución en la que cada RGT de velocidad 0 se pueda asignar unívocamente a una y solo una de las paradas previstas en el recorrido, para ello proponemos aplicar el método que se describe a continuación, partiendo del resultado obtenido en la primera aplicación del algoritmo *K-means*.

Para cada Clúster obtenido como resultado de la primera aplicación del algoritmo *K-means*, reiterar la aplicación del algoritmo *K-means*, pero en este segundo y sucesivos pasos, se debe restringir el conjunto de puntos a los que aplicaremos el algoritmo exclusivamente a los que pertenecen a cada uno de los clúster obtenidos en el paso previo, así, aplicaremos el algoritmo *K-means* de manera individual a cada uno de ellos.

La propuesta es que los clúster obtenidos en el primer paso (o en general en un paso previo determinado) pasen a ser aproximaciones iniciales a la solución final que se busca, dentro de un clúster concreto, se utilizarán en la segunda y sucesiva iteración como aproximación inicial los centroides que se corresponden con las paradas previstas en el recorrido que se encuentren en el clúster del que se trate.

Para aquellos clúster donde solo hay una parada y la distancia entre el centroide y la parada es pequeña, por ejemplo, inferior a 25 metros (la cuarta parte de la precisión teórica de las medidas GPS fijada en unos 100 metros), al aplicar la propuesta, se obtendrá dos grupos, uno con los puntos más próximos a la parada y otro con los más alejados. Si la distancia entre los dos nuevos centroides obtenidos es inferior a 25 metros, entonces podemos considerar que todos los puntos del grupo pertenecen a la parada. Si la distancia es superior a 25 metros, entonces podemos considerar que los puntos que están más alejados de la parada son medidas que no se deben considerar como paradas a efectos de calcular los tiempos para llegar a la parada, ya que esos puntos se corresponden con ubicaciones donde el vehículo tuvo que detenerse, por ejemplo, bien porque la parada prevista está ocupada por otro vehículo, o bien porque al reincorporarse a la vía principal tuvo que detenerse de nuevo al no tener la prioridad en el paso.

En aquellos clúster en los que no hay ninguna parada, se puede reiterar el algoritmo *K-means* para ir obteniendo los lugares en los que se encuentran las señales de tráfico, aunque se podría avanzar de una manera más directa si las señales de tráfico se incluyen como puntos de la red y se prevén como paradas en los recorridos de las líneas, con la singularidad de ser paradas donde no suben ni bajan viajeros. Adicionalmente, este tipo de clúster permite incorporar zonas en obras, desplazamientos de paradas originales o desvíos en el recorrido no previstos en el grafo de la red.

En los clúster en los que hay más de una parada, se reiteraría el algoritmo *K-means* usando como aproximación inicial el número de paradas del clúster más uno (el centroide por ejemplo) y se obtendrá una nueva agrupación donde los puntos están agrupados en las paradas y algunos de ellos quedan fuera de todos los grupos con una parada, en este caso, o bien se corresponden con puntos a no tener en cuenta por las razones que ya se han comentado, o bien se trata de puntos donde las señales de tráfico obligan a que el vehículo se detenga.

4.1.3 Resultados obtenidos al aplicar el método propuesto de identificación de puntos relevantes en la red de transporte

A continuación presentamos algunos ejemplos de la aplicación reiterada del método, la *Figura* 42 muestra el resultado del grupo 14 en una primera iteración.



Figura 42. Primera Iteración k-means

Este clúster que denominamos NL 14 consta de 8896 puntos y tiene en su interior dos paradas, la 175031 y la 175041, al tratarse de una zona urbana, existen pasos de peatones, semáforos y vías donde el vehículo no tiene la prioridad de paso como se podrá observar mediante la reiteración del método propuesto.

Al aplicar por segunda vez el algoritmo *k-means* empleando como puntos iniciales el centroide del primer paso, NL14 y las dos paradas de la red 175031 y 175041 se obtiene el siguiente resultado *Figura 43*.



Figura 43. Segunda Iteración para un conjunto obtenido mediante aplicación de k-means

En la primera ejecución del algoritmo *K-means* obtenemos como centro de los 8896 puntos el que figura en la imagen con la etiqueta NL14, al reiterar la ejecución del algoritmo K-means esta vez sobre los 8896 puntos y dando como centroides de aproximación inicial las paradas de la red 175031, 175041 y las coordenadas del centroide de la primera iteración representadas por NL14 se obtienen los centroides NL3 con 6028 puntos y NL2 con 2868 puntos, ambos con distancias inferiores a 25 metros por lo que se pueden considerar como definitivos eliminando el primer centroide obtenido (NL14)

El punto de partida para llegar al resultado descrito en este ejemplo se aprecia en la *Figura 44,* apreciamos la alta densidad de puntos de los que estamos hablando y como han quedado condensados en dos puntos del grafo de la red.



Figura 44. Conjunto Original de puntos con centroide NL14

Por último, comentar que pueden existir RGT con un registro de buena calidad en la medida pero en ubicaciones absurdas o muy alejadas del foco de atención, esto se debe al efecto de disponibilidad selectiva del GPS, en caso de emplear sistemas GPS diferenciales este efecto desaparecería, si no se dispone de GPS diferencial, es necesario emplear criterios de poda específicos para eliminar este tipo de medidas, estadísticamente son relativamente fáciles de descartar dado que aumentan la dispersión del conjunto de puntos del clúster de manera importante, son muy pocas las medidas y aplicando métodos de minimización es posible eliminarlos del conjunto para que no desplacen inadecuadamente el centroide del grupo. Otra posible forma de eliminar la disponibilidad selectiva y dado que se trabaja en un área geográfica reducida (la isla de Gran Canaria) es determinar mediante la estadística en un punto concreto de la red en qué momento ocurre la disponibilidad selectiva, por ejemplo, porque la ubicación experimenta una variación significativa (más de 100 metros) respecto a la registrada constantemente y utilizar esos instantes de tiempo como criterio para podar medidas que aumentan significativamente la dispersión de los clúster.

Es mencionable que a efectos de cálculo de tiempo es irrelevante su ubicación por absurda que pudiera ser dado que al etiquetar un punto como miembro de un clúster, se puede considerar que el vehículo está en la parada correspondiente (o señal de tráfico) a la

hora indicada por la medida y con ello se consigue determinar a qué hora está en el siguiente punto del recorrido ya que no es necesario calcular distancias y velocidades para calcular el tiempo.

Nuevamente queremos indicar la conveniencia de incluir los puntos de señales de tráfico en el modelo, ya que tanto los semáforos, los ceda el paso, los stop, los pasos de peatones, los giros estrechos, suponen ubicaciones en las que los vehículos experimentan cambios en la velocidad parecidos a los que ocurren en las paradas.

En esencia, una vez definidos mediante las iteraciones necesarias los centroides de todos los puntos almacenados, para un rango de tiempo determinado, se puede establecer el tiempo en parada y el tiempo en recorrido empleado por el vehículo, posteriormente catalogarlo por tipo de día (Laboral, fin de semana, festivo) hora del día (mañana, tarde, noche) tipo de hora (punta o valle) para plantear la aplicación de algún modelo de optimización en base al comportamiento del parámetro, en lugar de como se hace tradicionalmente en base a la experiencia o a la estimación teórica.

4.2 Estimación de la duración de los recorridos.

Como hemos comentado, en la práctica totalidad de modelos de optimización de costes se encuentra, un parámetro de los que hemos propuesto clasificar en este trabajo dentro del grupo de los denominados *parámetros de calidad* (ver *Tabla* 4 página 103 de este documento), el parámetro al que nos referimos es la duración del recorrido, que se suele considerar a su vez compuesto por el tiempo de espera en la parada, el tiempo de viaje y los tiempos de transferencia en el caso de viajes de múltiples etapas. Nos centraremos en los viajes de trayecto simple donde la duración del recorrido será el tiempo necesario para que un viajero realice el recorrido desde el origen hasta el destino.

4.2.1 Descripción del problema de la estimación de la duración de las expediciones de una ruta

Tal y como se indica en la *Tabla* 4 una característica común de todos los parámetros de calidad, es que se emplean estimaciones muy próximas al valor real; en este trabajo, nos proponemos plantear el uso de valores calculados mediante aproximación estadística obtenida del registro sistemático de información generada a bordo de los vehículos que converge hacia el valor real permitiendo a su vez el mantenimiento automático de los valores usados para representar un parámetro de calidad, así, la diferencia entre el valor real del parámetro y el empleado, será cada vez menor y sobre todo, el valor usado mediante la propuesta que hacemos en este trabajo se mantendrá más fiel a las posibles variaciones que pueda sufrir de acuerdo con la hora del día y la tipología de día.

Los operadores de transporte desarrollan su actividad de acuerdo con una planificación desarrollada siguiendo los criterios de algún modelo y especificada con un determinado grado de detalle, en la que como mínimo, se dispone de un conjunto de rutas a realizar cumpliendo con un conjunto determinado de restricciones o requerimientos, en algunos casos, las restricciones no son necesariamente impuestas ni por los criterios de optimización de calidad o de coste/beneficio (normalmente antagonistas), ni por las denominadas obligaciones de servicio, que imponen un mínimo de frecuencias o recorridos para garantizar el servicio a los usuarios de una zona determinada, definida por la autoridad competente en materia de transporte regular de viajeros. La planificación suele estar descrita mediante lo que se suele denominar como *cuadro de servicio*, que puede presentar una periodicidad diaria, semanal, quincenal, mensual, trimestral, semestral o incluso puede obedecer a las condiciones climatológicas o a la existencia o ausencia de circunstancias diversas, en la mayoría de los casos la planificación incluye fundamentalmente la asignación de vehículos y conductores designados al efecto.

La *Tabla 4* representa una hoja de servicio concreta del cuadro de servicio de uno de los operadores de transporte, en concreto el operador Interurbano de la Isla de Gran Canaria, la empresa Global SALCAI UTINSA S.A.L. a continuación describimos el contenido de la hoja de servicio indicando el significado de cada uno de sus campos y comentando aquellos aspectos significativos que queremos destacar por su implicación en el trabajo que nos ocupa.

La hoja de servicio representada en la Tabla 4 está asociada a un conductor identificado por su número de identificación, que es el designado para ejecutar las acciones previstas en la hoja de servicio con el vehículo 1310 durante el Turno de Tarde. El campo Tipología indica que se debe realizar todos los días de la semana de Lunes a Viernes (excluyendo los días festivos que pertenecen a otra tipología normalmente denominada como fines de semana y festivos), la Fecha de entrada en vigor de éste servicio, en este caso 18/07/2014 a continuación aparece el *Grupo* que indica la ubicación de los recursos materiales y humanos responsables de realizar este servicio, el Sector dado que en un determinado Grupo de recursos pueden ubicarse varios sectores, a continuación el Descanso que en este caso corresponde a los Sábados y Domingos, a qué tipo recurso humano le corresponde la ejecución de este servicio en el campo Tipo que en este caso es a un Conductor Perceptor, la duración total de la Jornada de Trabajo que en este caso es de 7 horas y 50 minutos (se trata de una estimación) del Total de la jornada (8:55) 1 hora 50 minutos son denominados como Estructural dado que por obligación legal o por convenio colectivo de trabajadores es obligatorio disponer de ciertos períodos de descanso cada cierto tiempo continuado de conducción, adicionalmente figuran 1 hora y 50 minutos como Horas Nocturnas dado que estas horas de trabajo se retribuyen de una forma distinta que las diurnas y por lo tanto hay que tenerlas en cuenta para evaluar los costes, por último en la cabecera figura el campo Concepto con el valor Dieta que nos indica en este caso en los emu8numentos del conductor cómo serán reflejadas las horas adicionales, nocturnas o en general con costes diferentes a los de las horas de Jornada normal.



Id: 230155 Guagua: 1310 Turno: Tarde Tipología: Lunes a Viernes Fecha: 18/07/2014 Grupo: Arucas Sector: Arucas Descanso: Sábados y Domingos Tipo: Conductor Perceptor Jornada: 07:50:00 TOTAL 08:55 Estructurales: 1:50 Horas Nocturnas: 01:50 Concepto: Dieta

		/					
De	Α	Operación	Nodo	Expedición	Línea	Itinerario	Tiempo
14:10	14:10	I.S	Estación Arucas(5)				00:00
14:10	14:46	S.L	Las Palmas	45	I/210V	Arucas-Cardones-Las Palmas	00:36
14:46	14:47	T.G	Estación de San Telmo (8)				00:01
14:47	15:10	P.O	Estación de San Telmo (8)				00:22
15:10	15:43	S.L	Arucas	50	2/2101	Las Palmas-Cardones- Arucas	00:33
15:43	15:44	T.G	Estación Arucas(5)				00:01
15:44	16:10	P.O	Estación Arucas(5)				00:25
16:10	16:46	S.L	Las Palmas	49	I/210V	Arucas-Cardones-Las Palmas	00:36
16:46	16:47	T.G	Estación de San Telmo (8)				00:01
16:47	17:10	P.O	Estación de San Telmo (8)				00:22
17:10	17:43	S.L	Arucas	54	2/2101	Las Palmas-Cardones- Arucas	00:33
17:43	17:44	T.G	Estación Arucas(5)				00:01
17:44	18:10	P.O	Estación Arucas(5)				00:25
18:10	18:46	S.L	Las Palmas	53	I/210V	Arucas-Cardones-Las Palmas	00:36
18:46	18:47	T.G	Estación de San Telmo (8)				00:01
18:47	19:10	P.O	Estación de San Telmo (8)				00:22
19:10	19:43	S.L	Arucas	58	2/2101	Las Palmas-Cardones- Arucas	00:33
19:43	19:44	T.G	Estación Arucas(5)				00:01
19:44	21:30	P.O	Estación Arucas(5)				01:45
21:30	22:06	S.L	Las Palmas	65	I/210V	Arucas-Cardones-Las Palmas	00:36
22:06	22:07	T.G	Estación de San Telmo (8)				00:01
22:07	22:15	P.O	Estación de San Telmo (8)				00:07
22:15	22:48	S.L	Arucas	30	2/2101	Las Palmas-Cardones- Arucas	00:33
22:48	23:05	С	Arucas				00:16
23:05	23:05	F.S	Arucas				00:00

Leyenda I.S Inicio de Servicio **T.G** Traslado de Guagua en vacío **C** Complemento **S.L** Servicio de Línea **P.O** Parada Operativa **F.S** Fin de Servicio

Tabla 4.Hoja de Servicio

Continuaremos con la descripción de la hoja de servicio comentando cada una de las columnas que la componen para definir cada operación reflejada en las filas de la hoja de servicio. Las dos primeras columnas (**De** y **A**)fijan la hora de comienzo y la hora de fin de la operación representada en la fila, la tercera columna (**Operación**) define el tipo de operación de que se trata, la columna denominada **Nodo** identifica el lugar de la red de transporte en el que la operación tiene lugar o en caso de un servicio de línea el nodo final de la misma, la columna **expedición** es un número que identifica de manera única un recorrido de una determinada línea en una hora concreta, La **línea** es la identificación que se le da a un recorrido por un conjunto de paradas específicas en un orden determinado por las que pasará el vehículo al realizar la expedición, **Itinerario** es el resumen de paradas del recorrido que suele identificar de manera clara para el usuario de que variante del recorrido entre el origen y

el destino se trata, y por último el **tiempo**, valor que se le adjudica a la duración de la operación y que en todos los casos es una estimación realizada por la empresa.

Al analizar la *Tabla* 4, vemos como la hoja de servicio identifica en cada una de sus filas una operación concreta y prevista por la empresa para el normal desarrollo de la planificación. Por ejemplo la siguiente fila:

14:10	14:10	I.S	Estación Arucas(5)				00:00
-------	-------	-----	--------------------	--	--	--	-------

Nos describe la operación *I.S* (Inicio de servicio) que, de acuerdo con el plan previsto, debería tener lugar en el nodo de la red identificado como *Estación de Arucas andén 5* a las 14:10 por el conductor 230155 en la guagua 1310, esta operación se le adjudica una duración nula ya que en realidad consiste en que el conductor especifique a la máquina expendedora que utilizará para registrar todos los movimientos del servicio (operaciones definidas en la hoja de servicio así como venta de billetes de pago directo a bordo y cancelaciones de títulos) los datos necesarios para registrar el inicio de las operaciones.

Continuando con el análisis descriptivo de la hoja de servicio que hemos puesto como ejemplo, podemos observar la siguiente fila que citamos a continuación:

	14:10	14:46	S.L	Las Palmas	45	I/210V	Arucas-Cardones-Las Palmas	00:36	
--	-------	-------	-----	------------	----	--------	-------------------------------	-------	--

En este caso la operación *s.t.* nos indica un Servicio de Línea, en concreto el de sentido ida y con el número 210 asignado que realiza un recorrido entre los lugares conocidos como Arucas y Las Palmas pasando por Cardones, esta expedición, la número 45, tiene lugar cada día de Lunes a Viernes entre las 14:10 y las 14:46 para la que se supone por lo tanto una duración de 36 minutos, tal y como nos indica la última columna de esta fila. Es sobre el valor de esta última columna sobre el que nos proponemos profundizar y estudiar las implicaciones que nuestra propuesta puede tener básicamente en tres aspectos concretos:

- 1. Determinar el grado de cumplimiento de los servicios planificados.
- 2. Optimizar el uso de los recursos destinados a los servicios.
- 3. Mejorar la calidad de la información proporcionada al viajero.

Si somos capaces de identificar con exactitud en qué momento se inicia un determinado servicio de línea, y en qué momento se alcanza el extremo final de su recorrido, es simple calcular la duración exacta del servicio de línea y también resultará simple realizar una estadística acumulativa de este valor para agruparlo por tipología de día, franja horaria o cualquier otro criterio que se demande.

Otra consecuencia directa de poder determinar con exactitud la ubicación del vehículo en un momento dado es que podremos conocer a qué hora exacta pasa por cada una de las paradas del recorrido y aplicar los valores obtenidos de la realidad en lugar de la estimación, de nuevo podemos categorizar el valor por tipología de día y hora del día a la que se realiza el recorrido mejorando la precisión de la información sobre el horario de paso por la parada suministrada al viajero lo que derivara en un aumento de la calidad del servicio.

Retomando la descripción de la hoja de servicio de la *Tabla* 4 en la tercera fila que presentamos a continuación:

14:46	14:47	T.G	Estación de San Telmo (8)				00:01
-------	-------	-----	---------------------------	--	--	--	-------

Se describe una operación de duración 1 minuto nombrada como τ . σ (Traslado en vacío) que consiste en trasladar el vehículo desde la zona de la Estación en la que los últimos viajeros deben bajarse, hasta el lugar de la Estación en el que tendrá lugar la siguiente operación de la hoja de servicio, en este caso, se trata del Andén 8 de la Estación de San Telmo en Las Palmas de Gran Canaria.

La siguiente fila de la Tabla 4:

14:47 1	5:10	P.O	Estación de San Telmo (8)				00:22	
---------	------	-----	---------------------------	--	--	--	-------	--

Nos indica lo que se conoce como una Parada Operativa (*P.O*) esta operación contempla entre otras cosas, la revisión que el conductor debe realizar del vehículo para asegurarse de que el interior del vehículo se encuentra en condiciones adecuadas para realizar el siguiente viaje (tanto higiénicas, como de seguridad, como técnicas y funcionales) así como recoger los posibles objetos que los usuarios hayan podido dejar olvidados a bordo del vehículo para entregarlos en objetos perdidos de la estación, además este suele ser un período en el que el conductor realiza un descanso que le permite cumplir entre otras con las condiciones legales fijadas para el tiempo máximo de conducción sin descanso.

La siguiente operación de la hoja de servicio que encontramos en la *Tabla* 4 es:

15:10	15:43	S.L	Arucas	50	2/2101	Las Palmas-Cardones- Arucas	00:33	1
-------	-------	-----	--------	----	--------	--------------------------------	-------	---

En este caso de nuevo se trata de un servicio de línea identificado por la expedición número 50 que tiene lugar entre las 15:10 y las 15:43 para la línea 210 que realizará el recorrido entre Las Palmas de Gran Canaria y Arucas pasando por el lugar conocido como Cardones, en este caso la duración prevista para esta expedición es de 33 minutos (3 minutos menos que el mismo recorrido en sentido contrario) y se trata de nuevo de una estimación.

El esquema de operaciones prácticamente se repite en recorridos desde el núcleo urbano de Arucas al núcleo urbano de Las Palmas con una duración teórica estimada de 36 minutos y de Las Palmas a Arucas con una duración teórica estimada de unos 33 minutos. En medio se hacen los traslados en vacío necesarios, así como las paradas operativas correspondientes. Resumimos en un esquema el ciclo al que hacemos referencia *Figura 45*.

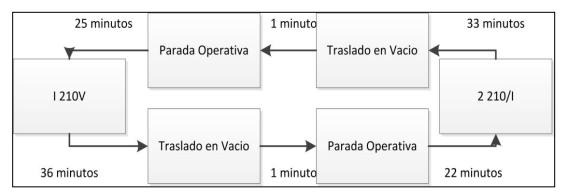


Figura 45. Ciclo de duración del recorrido

Cabe destacar como el ciclo de recorrido de ida y vuelta coinciden en una duración total de 59 minutos por trayecto incluyendo los traslados en vacío y las paradas operativas, el tiempo de viaje se diferencia en 3 minutos según hablemos del recorrido de ida o vuelta. Sin embargo, la duración teórica estimada para la expedición 50 que tiene lugar entre las 15:10 y las 15:43 es de 33 minutos y es también 33 minutos para la expedición 58 que tiene lugar entre las 19:10 y las 19:43 cuando las circunstancias del tráfico entre los puntos de origen y finalización de la expedición no son las mismas a las 15:10 que a las 19:10, resultando extraño que el desplazamiento entre dos puntos tenga la misma duración con independencia de la hora en que se realiza e incluso del tipo de día en el que tenga lugar (laboral o festivo). Como ya hemos comentado para realizar la planificación de la que se derivan las hojas de servicios y finalmente las operaciones a realizar se utilizan estimaciones teóricas que reflejan una realidad promedio en el mejor de los casos.

4.2.2 Propuesta de método para la obtención de la duración de las expediciones de una ruta.

Nuestra hipótesis de trabajo que ya hemos enunciado con anterioridad es la siguiente:

"Es posible determinar una función que defina la duración del recorrido de un servicio de línea partiendo de los datos georreferenciados acumulados para un determinado recorrido"

Para demostrar la hipótesis planteada, partiremos de la información registrada por los sistemas embarcados que recordamos, básicamente, consiste en la posición en la que se encuentra el vehículo en un momento concreto y el momento exacto en que se registra una operación de cualquier tipo en el vehículo.

A continuación describimos la secuencia de pasos que proponemos realizar para obtener una función que modele la duración del recorrido en función del tipo de día (laboral o festivo) y en función de la hora del día.

- 1. En primer lugar aplicaremos el método interactivo basado en sucesivas aplicaciones del algoritmo k-means, usaremos para ello el conjunto de paradas de la línea objeto de estudio y aplicando el método para el horario en el que se ha registrado que el vehículo está realizando el servicio de línea objeto de estudio. El resultado será que los puntos pertenecientes al horario de realización del servicio de línea serán vinculados unívocamente a cada una de las paradas previstas en el recorrido. De entre todos los puntos, seleccionaremos como resultado para este paso solo aquellos registros que pertenecen al clúster del origen o al clúster de destino del recorrido.
- 2. En segundo lugar ordenáremos cronológicamente los registros obtenidos en el primer paso, así, tendremos en orden temporal los registros registrados tanto en el punto de comienzo del servicio de línea como en el punto de final del servicio de línea, así, tendremos parejas de registros (origen, destino). Filtraremos las parejas de registros usando la información del registro de operaciones a bordo del vehículo, en concreto los registros de comienzo y final del servicio de línea, acotando así el número de parejas a utilizar.
- 3. En tercer lugar con las parejas de puntos (origen, destino) realizaremos un proceso de tipo estadístico para calcular la duración de las expediciones, teniendo en cuenta los parámetros estadísticos obtenidos, fijaremos una función de interpolación que nos permitirá especificar de una manera no estimada sino ajustada a la distribución específica de que se trate en cada servicio de línea, la duración de la expedición en función tanto de la hora del día como del tipo de día de que se trate.

4.2.3 Resultados obtenidos al aplicar el método de estimación de la duración de las expediciones de una ruta

A continuación presentamos algunos resultados obtenidos. Los datos pertenecen al recorrido del servicio de línea de tipo interurbano que atraviesa tanto zonas urbanas como zonas interurbanas en concreto se desarrolla en la Isla de Gran Canaria entre las ciudades de Las Palmas de Gran Canaria y Arucas (parte de estos servicios de línea se cubren con la hoja de Servicio comentada en la *Tabla* 4).

Para poder realizar el estudio que aquí presentamos se han obtenido, mediante procesos de registro encargados de almacenar la información que ya hemos comentado con anterioridad (RGT y OST) de modo que todos los registros llevan una clave de identificación que es la hora universal suministrada por el GPS instalado en el vehículo y que nos permite relacionar con facilidad la geo referencia con las operaciones del servicio.

Se ha usado como soporte una Base de Datos, que en nuestro caso, emplea herramientas del entorno MySql (en concreto MySql Workbench), y sobre ella podemos establecer un conjunto de consultas SQL estándar que nos permiten seleccionar de todos los puntos

registrados aquellos que son necesarios para realizar los cálculos que se presentan de manera resumida en las tablas de resultados que presentamos a continuación.

El estudio realizado se ha segmentado en tres tipologías:

- 1. Laborales que contienen la información registrada durante los días de la semana de Lunes a Viernes (excluyendo los festivos)
- 2. La que tiene lugar el Sábado
- 3. La que tiene lugar los Domingos y/o Festivos.

Presentamos en la *Tabla5*, el resultado de calcular los tiempos de recorrido acumulando los tiempos registrados para uno de los servicios de línea en concreto el de sentido IDA.

		ID	A		Lunes a Viernes					
Hora	Duración teórica	Duración Mínima	Duración Máxima	Duración Promedio	Minutos	segundos	Desviación	Minutos	segundos	
6	2400	1845	2572	2162,5	36	2	196,71365	3	16	
8	2400	1918	2688	2273,37037	37	53	193,026532	3	13	
10	2400	2326	3133	2471,206897	41	11	254,539132	4	14	
12	2400	2013	3056	2509,851852	41	49	243,530239	4	3	
14	2400	2054	2581	2305,384615	38	25	154,782965	2	34	
16	2400	2025	2746	2445,12	40	45	206,236781	3	26	
18	2400	2081	2864	2477,888889	41	17	219,129505	3	39	
20	2400	1891	2565	2187,565217	36	27	192,113562	3	12	

Tabla5.Duración del Recorrido de Ida los días Laborables

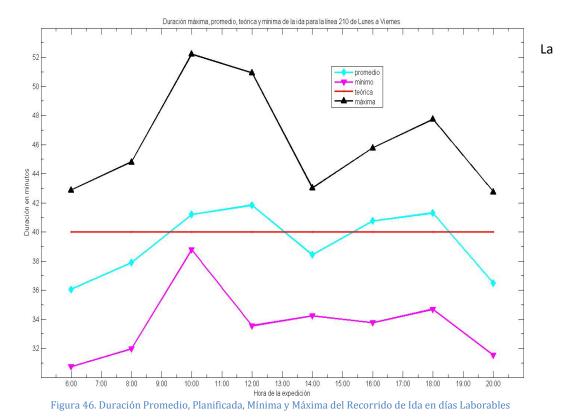


Figura 46 representa gráficamente los datos de la Tabla5, de acuerdo con la leyenda se aprecia la recta (roja) que representa la duración teórica estimada para el recorrido y las curvas en

burdeos, azul y verde que representa la duración mínima, máxima y promediada, respectivamente.

Se ha trabajado sobre un conjunto de datos que ha sido obtenido mediante el registro sistemático de todos los servicios realizados durante un año completo, en el que se han almacenado tanto los recorridos realizados como las operaciones de servicio realizadas por un vehículo, las filas de la Tabla5 representan cada una de ellas, una hora determinada del día en la que se realiza el servicio de línea que se estudia, en la columna 2 se presenta la duración teórica estimada por la empresa (la que se ha consignado en el cuadro de servicio expuesto en la Tabla 4), en la columna 3, se representa la duración mínima registrada de manera acumulada, es decir, la duración mínima del recorrido para la hora que corresponde a la fila registrada durante todo el año, en la columna 4 la duración máxima registrada, es decir, la duración máxima registrada para el recorrido a la hora que corresponde a la fila durante todo el año, en la columna 5 se presenta la duración promedio, como el resultado de sumar todas las medidas obtenidas para el recorrido a la hora que representa la fila durante todo el año, dividido por el número de medidas, esto es, el promedio acumulado de todas las medidas realizadas en segundos y a continuación en las columnas 6 y 7 por comodidad y claridad se representa la conversión a minutos y segundos del tiempo promedio, en la columna 8 se representa la desviación típica de las medidas respecto al promedio en segundos y en las columnas 9 y 10 de nuevo por claridad y comodidad la desviación en minutos y segundos.

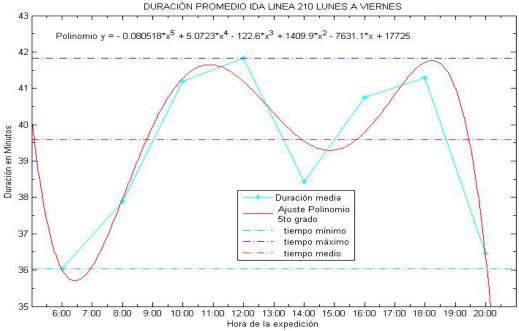


Figura 47. Función de Cálculo de la Duración Promedio del Recorrido de Ida en días Laborables

Profundizando en la *Figura 46* cabe aproximarse más, por ejemplo a la duración promedio del trayecto, para ello presentamos la *Figura 47*.

Como primer foco nos gustaría destacar, como resulta apreciablemente distinto, el tiempo promedio de recorrido en función de la hora del día, lo cual acompaña el planteamiento de que la duración del recorrido variará con las circunstancias de tráfico a lo

largo del día y por lo tanto la diferencia en la duración del recorrido en la hora punta que es de 42 minutos y 49 segundos y la hora valle donde el recorrido se realiza en 36 minutos y 2 segundos es de 5 minutos y 47 segundos, es de notar que estos 5 minutos representan un porcentaje del 12,5% de diferencia entre lo previsto y lo obtenido en la realidad.

En cualquier caso, los datos de la *Tabla5* ponen de manifiesto que como primera aproximación se puede usar el promedio para una hora determinada en lugar de un valor fijo. Lo razonable sería modelar el comportamiento de la duración del viaje de acuerdo con algún tipo de ajuste a la función de distribución que mejor se aproxime a los datos registrados con lo que no solo dispondríamos de una aproximación más ajustada que la estimación teórica constante, sino que sería posible predecir la duración del recorrido si se variasen los horarios, con la utilidad que esto representa tanto para las empresas como para las autoridades competentes.

Respecto al recorrido de vuelta la Tabla6 muestra el resultado de calcular los tiempos de recorrido de manera acumulada para una de las variantes de la línea.

		VUE	LTA		Lunes a Viernes					
Hora	Duración teórica	Duración Mínima	Duración Máxima	Duración Promedio	Minutos	segundos	desviación	Minutos	Segundos	
5	2400	1970	2779	2296,16666	38	16	189,53683	3	9	
7	2400	2180	3180	2421,07407	40	21	206,02929	3	26	
9	2400	2143	2778	2432	40	32	148,76587	2	28	
11	2400	2166	2756	2467,72413	41	7	183,44790	3	3	
13	2400	2002	2618	2343,04	39	3	162,5588	2	42	
15	2400	1996	2854	2385,04	39	45	213,23372	3	33	
17	2400	1852	2537	2251,68	37	31	154,75860	2	34	
19	2400	1850	2674	2304,88461	38	24	215,50467	3	35	

Tabla6. Duración del Recorrido de Vuelta los Días Laborables

Gráficamente la *Tabla6* nos permite dibujar la *Figura 48* en la que se aprecia la duración del recorrido de vuelta los días laborables.

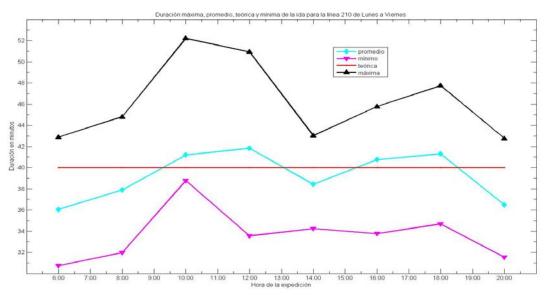


Figura 48. Duración Promedio, Planificada, Mínima y Máxima del Recorrido de Vuelta en días Laborables

La *Tabla7* nos muestra los promedios del recorrido de ida los sábados y esta nos permite dibujar la *Figura 49*.

		IC	DΑ		SABADOS						
Hora	Duración teórica	Duración Mínima	Duración Máxima	Duración Promedio	Minutos	segundos	Desviación	Minutos	segundos		
8	2400	1867	2392	2117,857143	35	17	212,028637	3	32		
10	2400	1990	2242	2143,875	35	43	91,5757883	1	31		
12	2400	1866	2331	2116,875	35	16	142,083916	2	22		
14	2400	1844	2164	2003,5	33	23	114,714553	1	54		
16	2400	2073	2894	2251,714286	37	31	288,056542	4	48		
18	2400	2249	2579	2388	39	48	147,286116	2	27		
20	2400	2062	2733	2297	38	17	229,995652	3	49		

Tabla7.Duración del Recorrido de Ida en Sábado

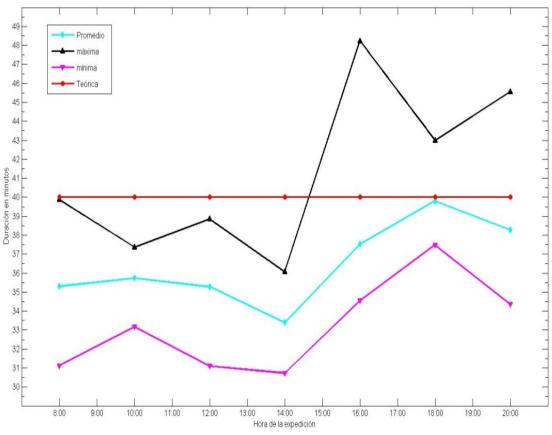


Figura 49. Duración Promedio, Planificada, Mínima y Máxima del Recorrido de Ida en Sábado

La Tabla8 y la Figura 50 muestran los promedios del recorrido de vuelta los sábados.

			VUELTA	A	SABADOS					
Hora	Duración teórica	Duración Mínima	Duración Máxima	Duración Promedio	Minutos	segundos	Desviación	Minutos	segundos	
7	2400	1716	2298	2063	34	23	205,38825	3	25	
9	2400	2030	2522	2243,375	37	23	167,773604	2	47	
11	2400	2087	2466	2310,375	38	30	127,643407	2	7	
13	2400	1851	2236	2084,5	34	44	128,928552	2	8	
15	2400	2082	2530	2352,5	39	12	158,360349	2	38	
17	2400	2090	2463	2263,428571	37	43	136,399972	2	16	
19	2400	2014	2430	2165,857143	36	5	141,490198	2	21	

Tabla8.Duración del Recorrido de Vuelta en Sábado

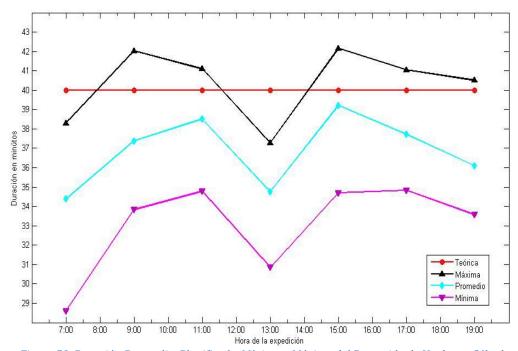


Figura 50. Duración Promedio, Planificada, Mínima y Máxima del Recorrido de Vuelta en Sábado

La Tabla9 y la Figura 51 nos muestran los promedios del recorrido de vuelta los domingos.

		ID	Α		DOMINGOS					
Hora	Duración teórica	Duración Mínima	Duración Máxima	Duración Promedio	Minutos	segundos	desviación	Minutos	segundos	
8	2400	1673	2148	1848,285714	30	48	149,187482	2	29	
10	2400	1875	2321	2197,714286	36	37	159,801663	2	39	
12	2400	1843	2563	2097,428571	34	57	235,676231	3	55	
14	2400	1856	2342	2028	33	48	191,163543	3	11	
16	2400	2085	2445	2231,8	37	11	162,039193	2	42	
18	2400	2037	2467	2305,8	38	25	174,398108	2	54	
20	2400	1855	2616	2154,4	35	54	293,236764	4	53	

Tabla9. Duración del Recorrido de Ida Domingos y Festivos

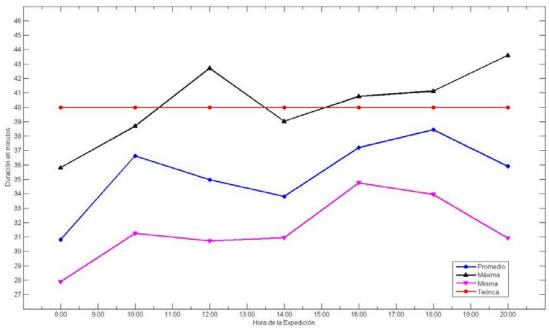


Figura 51. Duración Promedio, Planificada, Mínima y Máxima del Recorrido de Ida Domingos y Festivos

La TABLA10 y la *Figura 52* nos muestran los promedios del recorrido de vuelta los domingos.

		VUELTA				DOI	MINGOS		
Hora	Duración teórica	Duración Mínima	Duración Máxima	Duración Promedio	Minutos	segundos	Desviación	Minutos	segundos
7	2400	1669	2114	1917,5	31	57	144,615747	2	24
9	2400	1843	2368	2142,428571	35	42	204,76479	3	24
11	2400	1759	2278	2030,714286	33	50	208,013392	3	28
13	2400	1850	2345	2067	34	27	187,428653	3	7
15	2400	2088	2232	2180,8	36	20	62,5875387	1	2
17	2400	1862	2395	2148	35	48	196,980964	3	16
19	2400	1990	2325	2155	35	55	141,811495	2	21

Tabla10. Duración del Recorrido de Vuelta los Domingos y Festivos

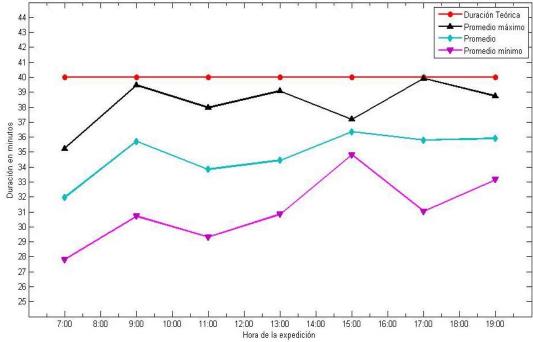


Figura 52. Duración Promedio, Planificada, Mínima y Máxima del Recorrido de Vuelta Domingos y Festivos

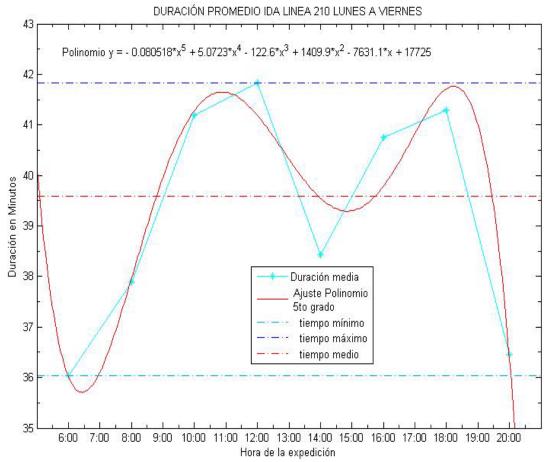


Figura 53. Función de Cálculo de la Duración Promedio del Recorrido de Ida en días Laborables

En la *Figura 53* se observa una posible función que se podría utilizar para estimar la duración del recorrido en función de la hora del día, se trata de un Polinomio de grado 5 que nos permitiría una aproximación muy precisa a los valores promedios de la realidad de la explotación.

$$y(x) = -0.081 * x^3 + 5.072 * x^4 - 122.6 * x^3 + 1409.9 * x^2 - 7631.1 * x + 17725$$

Se pueden emplear funciones de ajuste más elaboradas que permitan contemplar los valores cercanos a los extremos de mejor manera que la que acabamos de comentar, no obstante, todas ellas se reducirían a calcular una función simple de tipo polinomio o similar, lo cual hace viable que esta función se pueda calcular en cualquier elemento de la red de transporte no solo en la central de explotación sino en el propio vehículo, en los sistemas de información a los viajeros distribuidos por la red, e incluso en los dispositivos móviles de los usuarios del servicio público de transporte, tales como teléfonos móviles y tabletas . Mediante el uso expansivo de las funciones de cálculo de los parámetros se puede claramente refinar más y más el volumen, tipo y calidad de la información demandada por cada uno de los actores implicados.

Sobre todos estos datos podemos realizar un análisis algunos de sus aspectos que nos permiten poner de manifiesto la utilidad de realizar estos estudios y la oportunidad de mejora que supone disponer de los mismos para todos los actores implicados, por un lado a las empresas conocen de manera real la realidad de la explotación en lugar de la suposición tradicionalmente aceptada sobre dicha realidad que como podemos apreciar en las gráficas en prácticamente ningún caso se cumple.

A partir de los datos se pueden reordenar muchas cuestiones sobre diversos y variados aspectos de un operador de transporte, como por ejemplo el descanso real del personal, los kilómetros realmente recorridos y los tiempos invertidos en el recorrido a lo largo del día con total detalle o para cada franja horaria que se quiera definir o determinar dado que se aprecia claramente cuando se dan las horas punta del recorrido y cuando las horas valle.

4.3 Estimación de los horarios de paso por paradas

En este caso pretendemos aplicar los resultados de los estudios realizados en este trabajo, para presentar una posible forma de mejorar la información relativa al horario de paso por parada, empleada tanto en los métodos de optimización como en la información suministrada tanto a usuarios como a autoridades competentes como a los propios operadores de transporte.

4.3.1 Descripción del problema de la estimación de los horarios de paso por las paradas de una ruta

Para ilustrar en qué consiste el problema abordado, así como su relevancia, tomaremos como ejemplo una parada concreta. La parada seleccionada es la identificada con el código 175-031 de la Línea 210 Las Palmas de Gran Canaria – Cardones – Arucas. Esta línea tiene tanto tramos de tipo urbano como tramos de tipo interurbano, incluso dentro de los tramos urbanos los hay que podríamos denominar de centro de ciudad mediana/grande y urbanos de pequeñas localidades o zonas de menor densidad de tráfico, en los de tipo interurbano hay paradas en las que prácticamente solo se bajan los viajeros y otras en las que éstos solo suben al vehículo. Realizaremos el estudio sobre la parada de tipología urbana 175-031 que podemos caracterizar como una parada de centro de ciudad mediana/grande en la que prácticamente solo suben viajeros.



Figura 54. Parada Urbana 175-031

En la *Figura 54* observamos la parada urbana 175-031 la empresa suministra una información sobre el horario de paso presente en uno de los paneles estáticos que se pueden observar en el báculo de la parada con el siguiente contenido para la línea 210.

210 Las Palmas de G.C. - Cardones - Arucas

HORAS / HOURS	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
minutos/minutes:																	
Lunes a viernes / From	40	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	40	25
monday to friday / Von Montag bis Freitag		50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
Sábado / Saturday / Samstag]		50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	40	25
Festivos / Bank holiday /			50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	40	25
Feiertagen																	

La tabla con la información presentada por la empresa se encuentra en Español, Inglés y Alemán, para la franja horaria comprendida entre las 7:00 y las 20:00 en los días laborables muestra una frecuencia de 30 minutos y para los Sábados y festivos una frecuencia de 60 minutos en la franja horaria de 8:00 a 20:00. Todos los días, con independencia de su tipología existen dos expediciones de cierre de día una a las 21:40 y otra a las 22:25, además para los días laborables existe 1 expedición de comienzo a las 6:40 horas de la mañana, tanto las de comienzo como las de final están destinadas a trasportar usuarios que comienzan o terminan su turno escolar o laboral sobre de las 7 o después de las 20:30 horas.

4.3.2 Propuesta de método para la obtención de los horarios de paso por las paradas de una ruta

Nuestra hipótesis de trabajo será la siguiente:

"Es posible determinar mediante el registro sistemático de la posición del vehículo y de las operaciones de servicio que realiza una función que permita determinar el horario de paso de un vehículo por una parada concreta de un determinado servicio de línea"

La dinámica a seguir de acuerdo con nuestra propuesta, para comprobar la validez de la hipótesis es la siguiente:

- 1. Seleccionar los registros de velocidad 0 de entre todos los disponibles vinculados geográficamente a la parada en estudio. Esto es, todos los que resulten de aplicar el algoritmo K-means en el centroide correspondiente.
- 2. Filtrar los registros seleccionados en el paso 1 para considerar solo aquellos que correspondan a la línea objeto de estudio. Para ello volveremos a emplear información sobre operaciones de servicio de manera que con las parejas de registros (origen, destino) ordenadas cronológicamente podemos determinar que registros coinciden o no con el servicio de línea que se estudia.
- 3. Agrupar los registros resultantes del paso 2 para cada hora de paso de la línea correspondiente.
- Realizar el cálculo acumulativo del máximo, mínimo y promedio para cada hora y estimar mediante la función de ajuste que se considere más conveniente el horario de paso.

Aplicando la secuencia de pasos descritos obtendremos una función que permite estimar el horario de paso para una parada concreta del recurrido en función del tipo de día y de la hora del día de la que se trate.

4.3.3 Resultados del método propuesto para la obtención de los horarios de paso por las paradas de una ruta

En la *Figura 55* observamos el resultado de aplicar el método k-means a los registros de posición con velocidad 0 próximos a la zona donde se encuentra la parada 175-031, de acuerdo con lo indicado en el paso 1) de nuestra propuesta, en realidad aquí encontraremos 4 centroides que deberemos ir procesando en sucesivas iteraciones del algoritmo k-means hasta converger a la solución final.



Figura 55. Grupo inicial para una parada urbana

En la Figura 55 podemos señalar varias de las características clásicas de una parada urbana:

- La presencia de edificios de altura considerable que dificulta la recepción de la posición GPS exacta y da origen a una mayor dispersión de los puntos registrados conocido como efecto cañón en terminología de medidas GPS.
- 2. La presencia de señales de tráfico tipo semáforos, pasos de peatones, ceda el paso y en general lugares en los que la guagua no tiene la prioridad de paso.
- 3. La proximidad de varias paradas, es habitual que en los recorridos urbanos por avenidas y calles de doble sentido las paradas se encuentre a una distancia más próxima que en el caso de paradas interurbanas.

Aplicando el método explicado en este trabajo para vincular los puntos a una parada, obtenemos el resultado que se muestra en la *Figura 56* para la parada urbana 175-031.



Figura 56. Seleccionar puntos de parada urbana

HORA DE PASO PREVISTA	MEDIA en segundos	Minutos	Segundos	Desviación estándar en segundos	Minutos	Segundos
8:20	374.494	6	14	243.624	4	3
10:20	406.711	6	46	211.494	3	31
12:20	417.613	6	57	189.401	3	9
14:20	485.685	8	5	167.882	2	47
16:20	492.600	8	12	161.682	2	41
18:20	449.885	7	29	161.773	2	41
20:20	481.838	8	1	157.791	2	37

Tabla11. Datos Estadísticos del Horario de Paso

De acuerdo con lo que proponemos como segundo paso de nuestra propuesta, filtraremos las medidas para seleccionar solo aquellas que se correspondan con la línea objeto de estudio, y vinculados a la parada 175-031 o clúster NL3, tal y como se muestra en la *Figura 56* sobre tales registros y de acuerdo con el paso 3) se agrupamos los registros obtenidos en grupos alrededor de las horas previstas de paso, es decir, en este caso: 8:20, 10:20, 12:20, 14:20, 18:20, 20:20. La *Tabla11* muestra un caso de los datos estadísticos que se han obtenido como resultado, sobre cada grupo de horario previsto hemos calculamos de manera acumulativa máximos, mínimos, promedios y desviaciones típicas, con esos valores podemos obtener la función que se aprecia en la *Figura 57*, en este caso, se ha empleado una función sencilla, un polinomio de grado 3 que se ajusta a la hora promedio de paso obtenida de acuerdo con la evaluación acumulada de los diversos horarios de paso y que nos permitirá conocer la hora de paso para cada esta.

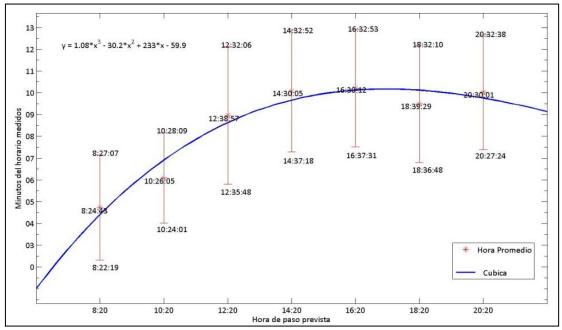


Figura 57. Función de Cálculo del Horario de Paso

La función obtenida en este caso es:

$$y = 1.08 * x^8 - 30.2 * x^2 + 233 * x - 59.9$$

Donde *X* sería la hora teórica de paso e *Y* sería la hora estadísticamente valorada de acuerdo con nuestra propuesta. En esencia, estamos hablando de calcular 4 coeficientes numéricos que se pueden recalcular de manera constante tanto en la central como a bordo de los vehículos, como en las paradas de la ruta que dispongan de elementos de cómputo, como en terminales de usuario que pudiesen descargar la información necesaria para procesar esta función. De manera que sería más dinámica y exacta la información obtenida.

Capítulo 5: Conclusiones.

En la actualidad existe un amplio abanico de sistemas de información implantados en empresas de trasporte regular de viajeros por carretera. En general, son herramientas que tienen por objetivo mejorar la actividad del transporte desde distintas vertientes: cumplir con los horarios de paso por parada, frecuencias y disponibilidad de plazas comprometidas con los usuarios, a la vez que tratan de maximizar el beneficio para los operadores del sistema y minimizar los costes de cara al usuario y a la sostenibilidad económica del sistema. En cualquier caso, en todos los sistemas, subyace un modelo basado en la información obtenida por medio de métodos casi siempre basados en estimaciones que se ajustan a la realidad en buena medida, dado que son el resultado de la experiencia acumulada tanto por los operadores como por las autoridades del transporte. Pero existen múltiples factores que afectan a la actividad del transporte, como por ejemplo: condiciones del tráfico, condiciones climáticas, periodos de calendario, franjas horarias, etc. por tanto se hace necesario disponer de sistemas que de forma automática proporcionen datos que reflejen en todo momento el estado de esta actividad que posee un alto grado de dinamismo .

La necesidad de mejorar los sistemas de planificación, control e información en lo que a calidad respecta, tanto para los usuarios como para los actores del sistema, justifica el esfuerzo realizado en este trabajo de tesis para poder encontrar nuevas soluciones o aproximaciones a las soluciones de problemas clásicos en este tipo de sistemas. Por otro lado, aunque los parámetros empleados en los modelos correspondientes se ajustan de modo razonable a un planteamiento global del binomio calidad/beneficio, fallan considerablemente a la hora de suministrar información adecuada sobre el cumplimiento de los horarios planificados y por lo tanto, también a la hora de suministrar información de la mejor calidad posible al usuario del sistema de transporte público. Para poder alcanzar estos objetivos se requieren sistemas que sean capaces de manejar en contextos de movilidad los grandes volúmenes de datos utilizados en la actividad del transporte público.

Considerando las motivaciones que originaron este trabajo de tesis y fijándonos en los retos que deben resolver las propuestas actuales de sistemas de información que requieren grandes volúmenes de datos en contextos de movilidad, especialmente en entornos en los que interactúan una gran cantidad de usuarios, se concluye que estos retos se originan por el alto grado de espontaneidad y heterogeneidad de las aplicaciones o servicios que intervienen. Por otro lado, se ha constatado que el paradigma de la computación ubicua posee técnicas y modelos característicos que resuelven de manera satisfactoria estos retos. La tesis propuesta se ha inspirado en estos principios de manejo de datos para proponer un sistema de manejo inteligente de los datos que intervienen en la actividad del transporte público por carretera. La solución planteada consiste en un sistema basado en procesos agentes, que haciendo uso de recursos hoy día muy comunes en las infraestructuras de transporte (sistemas de localización, comunicaciones móviles y sensores), lleva a cabo un manejo inteligente de los grandes volúmenes de datos requeridos para planificar y evaluar la actividad.

En el contexto de este trabajo, por manejo inteligente se entiende la gestión automática del flujo de datos utilizado en este tipo de transporte mediante un uso sostenible de los recursos tecnológicos utilizados. Por uso sostenible de recursos se entiende recursos que están disponibles comúnmente en las infraestructuras de la red de transporte, sin interferir de manera significativa en los procesos habituales asociados a esta actividad (planificación, explotación e información a los grupos de interés) y sin influir en la actividades realizadas por los agentes responsables de estos procesos (conductores, personal de supervisión, personal técnico y viajeros). Para lograr este manejo inteligente de los datos se han tenido en cuenta las propuestas de arquitecturas ITS y modelos de datos auspiciados por organizaciones internaciones y el paradigma de la Computación Ubicua. Las arquitecturas ITS han servido de inspiración para conseguir un alto grado de escalabilidad, integración e interoperabilidad en el modelo de sistema propuesto, tratándose de un modelo de sistema orientado a la prestación de servicios de información de valor añadido. Aspectos claves en el paradigma de la Computación Ubicua, concretamente las técnicas para el procesamiento de contexto y del diseño de Middleware se han utilizado para la definición y construcción del sistema propuesto.

El modelo de sistema propuesto se ha implementado y se han puesto en funcionamiento en condiciones reales de operación. Como consecuencia de ello, tanto la Autoridad reguladora del transporte público de viajeros en la Isla de Gran Canaria (AUTGC), como la Empresa de Transporte de Viajeros GLOBAL SALCAI-UTINSA S.A. se han beneficiado de las aportaciones del sistema. Concretamente la Autoridad reguladora ha asumido su modelo de datos y gracias a este modelo ha desarrollado su base de datos del transporte público regular de viajeros, que integra a todos las empresas de transporte regular de viajeros de la Isla y es el componente básico de distintos servicios de información, tales como: Sistema de Información en Paradas y Estaciones y su Portal Web. Por otro lado, la empresa mencionada ha asumido su sistema de transferencia inteligente de datos masivos, gracias a este sistema todos los datos masivos relacionados con su explotación (tarifas, planificación de operaciones, control de operaciones y gestión de incidencias y excepciones de la explotación) son transferidos de manera automática e inteligente entre los repositorios corporativos y los vehículos de su flota.

Gracias a los datos proporcionados por el sistema se han podido desarrollar tres casos de uso que tienen por objetivo mejorar el servicio del transporte público. Estos consisten en tres metodologías que utilizando datos masivos proporcionados automáticamente por el sistema permiten sustituir las estimaciones usadas habitualmente en muchos sistemas de asignación de rutas y diseño de las mismas, por aproximaciones estadísticas que son el resultado del registro sistemático de datos relevantes obtenidos durante el desarrollo de los servicios de transporte, con una granularidad temporal lo fina que se requiera: en el día a día, o en él minuto a minuto, o incluso cada segundo si fuera necesario.

Las tres metodologías desarrolladas en los casos de uso poseen un núcleo metodológico común. Este núcleo común consiste básicamente en registrar la información sobre ubicación física del vehículo y el instante exacto en el que el vehículo se encontraba en dicha ubicación, junto con las operaciones habituales del servicio de transporte y el instante en el que ha tenido lugar su comienzo. El cruce de ambas fuentes de datos, es decir, la ubicación precisa y las operaciones habituales del servicio, usando como clave común el instante en el que han sido registradas, nos permite tener constancia de la ubicación exacta de cada vehículo la flota

en cada instante significativo del servicio que se realiza. De esta manera, apoyándonos en técnicas estándar de análisis de clúster se puede determinar en qué instante se encuentra el vehículo en una parada concreta del recorrido previsto, permitiendo discriminar entre los distintos lugares en los que se detiene un vehículo de manera precisa y clara, pudiendo concluir cuando se trata de una parada y de qué tipo es la misma, urbana, interurbana o señal de tráfico donde el vehículo no tiene la prioridad de paso.

Los datos procesados mediante el algoritmo de análisis de clúster conocido como K-means, nos ha permitido desarrollar un método de cálculo de la función que define el horario real de paso por parada de los vehículos. Con esta función, que puede ser tan simple como una interpolación polinómica, se puede calcular, de manera dinámica a bordo del vehículo el horario real de paso y notificarlo, vía la central de control o directamente a la infraestructura disponible (otros vehículos para el trasbordo, paneles de información al usuario, terminales móviles de usuario, etc.). Así, se puede proporcionar información más ajustada a la realidad que la que proporcionan las habituales técnicas de estimación, y lo que es más deseable, obtener información mediante el uso de una función ajustada a la tipología y hora exacta del día del que se trate (laborable/festivo). Mediante esta técnica se ha obtenido una función de estimación de la duración de las expediciones de una ruta. La duración de las expediciones es un dato que se utiliza en distintos ámbitos; todas las técnicas de optimización de rutas y también se utiliza en la construcción de las planificaciones de servicios que han de llevar a cabo los conductores y vehículos.

En este trabajo también se propone una clasificación de los parámetros usados habitualmente en los modelos de estimación de coste de los sistemas de transporte que los categoriza en tres grupos. Uno de estos grupos es perfectamente automatizable mediante el empleo de métodos y técnicas similares a las propuestas en este trabajo, es decir, a medida que el resto de parámetros evolucionen hacia magnitudes relacionadas con las del grupo que hemos denominado como parámetros de calidad, será posible, básicamente mediante el empleo de aproximaciones estadísticas y la interpolación determinar el valor de los mismos para cada instante y tipo de tiempo que se desee.

De cara a continuar este trabajo de tesis se plantean tres líneas de actuación. La primera línea tiene que ver con mejoras en los aspectos tecnológicos del sistema planteado, la segunda con el desarrollo de nuevos servicios basados en el modelo de sistema desarrollado y la tercera con la mejora del diseño de la red de transporte y de las operaciones a realizar mediante el uso de los datos proporcionados por el sistema.

En cuanto a la primera línea de trabajo futuro se propone la incorporación de nuevas tecnologías de comunicaciones móviles, como por ejemplo el uso de la tecnología 802.15.4 (ZigBee) para las comunicaciones de corta distancia con el fin de prestar servicios a bordo de los vehículos. De cara a mejorar la calidad de servicio en las comunicaciones masivas de datos también se propone el uso de la tecnología IEEE 802.16 (WIMAX móvil), además con esta tecnología se podrían proporcionar servicios intensivos en ancho de banda como aquellos que utilizan señales de video. También y con el objeto de poder desarrollar nuevos servicios orientados a la seguridad y accesibilidad del transporte, se propone la incorporación de nuevos dispositivos sensores, como por ejemplo sensores de imagen.

En cuanto al desarrollo de nuevos servicios se propone utilizar el sistema como plataforma para desplegar aplicaciones, especialmente aquellas relacionados con la seguridad y accesibilidad del transporte. Como ya se apuntó en el párrafo anterior, se propone el desarrollo de sistemas inteligentes de vigilancia que permitan monitorizar la seguridad en los vehículos y el acceso a estos. También en esta línea se propone el desarrollo de asistentes en ruta que mejoran la accesibilidad y seguridad de viajeros, especialmente aquellos con necesidades especiales. Como ejemplo de estas aplicaciones podemos citar algunos trabajos actualmente en marcha que se han materializado en algunos proyectos implementados en la actualidad y que han generado alguna publicación como (Gabino Padrón, Carmelo R. García, Alexis Quesada-Arencibia, Francisco Alayón, and Ricardo Pérez, Dic, 2013), en esta publicación se aborda la aplicación de los modelos y conceptos comentados en el presente trabajo para construir un sistema capaz de generar de manera automática, un informe con la información visual de todo el proceso de remolque de un vehículo por medio de una grúa, de forma que exista constancia de las distintas fases del proceso y con la finalidad de dar las garantías suficientes a la administración pública (responsable de la grúa) y al ciudadano.

Por último, en lo que se refiere a las actuaciones que tienen por objetivo la mejora de la red de transporte y de la planificación de operaciones, se plantea:

- La aplicación de los modelos y técnicas desarrolladas en este trabajo para completar el catálogo de parámetros disponibles en la aplicación de los modelos de optimización de costes como: La demanda de viajes entre los nodos de la red, la cantidad de pasajeros/hora entre dos nodos de la red, el factor de carga de la ruta, el coste de operador para la ruta, ingresos del operador de la ruta, tiempo total de viaje tanto en el vehículo como en la espera como en la trasferencia, frecuencia de guaguas en la ruta.
- El estudio de diversas funciones de ajuste para modelar la duración de los recorridos, aplicándolas a diversas tipologías.
- El uso de herramientas de simulación, que utilizando los datos proporcionados por el sistema, permita estudiar el comportamiento de funciones de coste/beneficio frente a variaciones en el horario de paso.
- Mejorar el modelo de datos identificando e incluyendo nuevas entidades. Por ejemplo, se propone profundizar en la aplicación de los métodos de clasificación de puntos para incluir no solo los de velocidad cero sino aquellos en los que la velocidad de la ruta difiera significativamente de la prevista en la planificación.
- Mejorar el conocimiento de los aspectos que inciden en la demanda de los viajeros mediante técnicas de Minería de Datos que utilizando los datos obtenidos por el sistema y los proporcionados por agentes externos, permitan desarrollar un modelo de demanda.
- Desarrollar herramientas que permitan cuantificar el coste de las desviaciones de la planificación.

Bibliografía

- Tim Brooke, Jenna Burrell. (2003). From ethnography to design in a vineyard. *Proceedings of the 2003 conference on Designing for user experiences* (pp. 1-4). San Francisco Califomu: ACM.
- Avison, D.E. Fitzgerald, G. (1995). *Information systems development: Methodologies, techniques, and tools.* New York: McGraw-Hill.
- Baaj, M.H. y Mahmassani, H.S. (1991). An Al-based approach for transit route system planning and design. *Journal of Advanced Transporteation*, 187-209.
- Becker, C., Nicklas, D. (2004). Where do spatial context-models end and where do ontologies start? A proposal of a combined approach. *Proceedings of the First International Workshop on Advanced Context Modeling, Reasoning and Management in conjunction with UbiComp'04* (pp. 48-53). Nottingham, England: University of Southhampton.
- Carmelo R. García, Gabino Padrón, Alexis Quesada-Arencibia, Francisco Alayón, Ricardo Pérez. (2012). Ubiquitous Data Management in Public Transport. In D. L.-d.-l. José Bravo, & S. B. Heidelberg (Ed.), *Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence* (pp. 342-349). Vitoria-Gasteiz, Pais Vasco, Spain: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Carmelo R. García, Gabino Padrón, Pedro Gil, Alexis Quesasda-Arencibia, Francisco Alayón, Ricardo Pérez. (2012). Context Model for Ubiquitous Information Services of Public Transport. In D. L.-d.-l. José Bravo, & S. B. Heidelberg (Ed.), *Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence* (pp. 350-358). Victoria-Gasteiz, Pais Vasco, Spain: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Carmelo R. García, Ricardo Pérez, Álvaro Lorenz, Francisco Alayón, Gabino Padrón. (2008). A proposal of information system architecture for public transport. In P. Mickulecký, & e. al, Ambient intelligence perspectives: selected papers from the First International Ambient Intelligence Forum, 2008 (pp. 106-111). Praga: IOS Press.
- Developers, G. (2013, 02 21). *Google Transit Real Time*. Retrieved from Google: https://developers.google.com/transit/gtfs-realtime/feed-types?hl=es
- Europe, E. I. (1997, mayo 5). *ERTICO*. Retrieved 11 12, 2011, from http://www.ertico.com/gdf-geographic-data-files/
- Europe, E. I. (n.d.). *ERTICO ITS EUROPE*. Retrieved 11 12, 2011, from http://www.ertico.com/gdf-geographic-data-files/
- Friedrich, M. (2004). Prospects of Transportation Modelling. *2nd International Symposium Networks for Mobility* (p. 14). Stuttgart: Universität Stuttgart.

- Furth, P. G. and T. H. J. Muller. (2006). *Service Reliability and Hidden.* Washington, D.C: Transportation Research.
- Furth, P.G; Muller, Th.H.J; Strathman, J.G.; Hemily, B. (2003). *Uses of Archived AVL-APC Dato to Improve Transit Management and Performance: Review and Potential.* Washington, DC, USA: Transportation Research Board.
- Gabino Padrón, Carmelo R. García, Alexis Quesada, Francisco Alayón and Ricardo Pérez. (2014, March 13). Utilizando datos masivos de posicionamiento de vehículos para mejorar el control y la planificación del transporte público por carretera. *Sensors*, *14*, 7342-7358.
- Gabino Padrón, Carmelo R. García, Alexis Quesada-Arencibia, Francisco Alayón, and Ricardo Pérez. (Dic, 2013). Applying Ambient Intelligence to Improve Public Road Transport. In G. O. Gabriel Urzaiz, *Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence: Context-Awareness and Context-Driven Interaction: 7th International Conference* (p. 401). Carrillo Costa Rica: Springer.
- Giner, P. & Pelechano, V. (2008). An Architecture to automate Ambient Business system development. In *European conference on Ambient Intelligence (AmI 08)* (pp. 240-257). Springer LNCS.
- google. (2015, 09 8). *Google Transit*. Retrieved from Google maps: http://maps.google.com/landing/transit/index.html
- Gruttner, Pinninghoff, Tudela y Díaz. (2002). Recorridos Óptimos de Líneas de Transporte
 Público Usando Algorítmos Genéticos. *Jornadas Chilenas de Computación*. Copiapó
 Chile.
- HERRERA QUINTERO, L. F. (2011). Modelo de Prestación de Servicios ITS de Valor Agregado.

 Aplicación a los Sistemas de Gestión de Aparcamiento. Universidad de Alicante,

 DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA INFORMÁTICA Y COMPUTACIÓN. Alicante:

 Universidad de Alicante.
- Hervás, R., Bravo, J., Fontecha, J. A. (2010). Context Model based on Ontological Languages: a Proposal for Information Visualization. *Journal of Universal Computer Science*, 16(12), 1539-1555.
- Israeli Y, Ceder A. (1993). Transit route design using scheduling and multiobjective programming techniques. *Proceedings of the Sixth International Workshop on Computer Aided Scheduling of Transport*. Springer.
- LaMarca, A. (2005). Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild. In Y. C. Anthony LaMarca, & R. W. Hans -W. Gellersen (Ed.), *Lecture Notes in Computer Science. Pervasive Computing* (pp. 116-133). Munich, Alemania: Springer.
- Leaflet, T. A. (2005). *Understanding the Benefits and Cost of Intelligent Transport Systems A Toolkit Approach.* UK Department for Transport.

- Lee, D., Meier, R. (2007). Primary-Context Model and Ontology: A Combined Approach for Pervasive Transportation Services. *Proceedings of the First International Workshop on Pervasive Transportation Systems (PerTrans'07)* (pp. 419-424). New York, USA: IEEE.
- Lehmann, O., Bauer, M., Becker, C., Nicklas, D. (2004). From Home to World Supporting Context-Aware Applications through World Models. *Proceedings of the Second IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom'04)* (pp. 297-307). Orlando, USA: IEEE.
- Lino Figueiredo, Isabel Jesus, J. A. Tenreiro Machado, Jose Rui Ferreira, J. L. Martins de Carvalho. (2001). Towards the Development of Intelligent Transportation Systems.

 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings (pp. 1206-1211).

 *Oakland (California) USA: IEEE.
- Martin, J. (1990). Information Engineering: A Trilogy. New Jersey: Englewood Cliffs.
- Mashrur A. Chowdhury, A. W. (2003). *Fundamentals of Intelligent Transportation Systems Planning*. Norwood, Massachusetts U.S.A: Artech House, 2003.
- Matthias Lampe, Martin Strassner, Elgar Fleisch. (2004). A Ubiquitous Computing environment for aircraft maintenance. *SAC '04 Proceedings of the 2004 ACM symposium on Applied computing* (pp. 1586-1592). Nicosia, Cyprus: ACM.
- Meier, R., Harrington, A., Cahil, A. (2005). A Framework for Integrating Existing and Novel Intelligent Transportation Systems. *Proceedings of the Eight International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (IEEE ITSC'05)* (pp. 650-655). Vienna: IEEE.
- Ngamchai, S., y Lovell, D. J. (2000). Optimal Time Transfer in Bus Transit Route Network Design Using a Genetic Algorithm. *Computer-Aided Scheduling of Public Transport*. Berlin.
- Perich, F., Joshi, A.; Finin, T.; Yesha, Y. (2004). On Data Management in Pervasive Computing Environments. (IEEE, Ed.) *IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering, 16*(5), 621-663.
- Ranganathan, A. Campbell, R. H. (2003). A Middleware for Context-Aware Agents in Ubiquitous Computing Environments. *Proceedings of the ACM/IFIP/USENIX International Middleware Conference (Middleware'03)* (pp. 143-161). Rio de Janeiro, Brazil: Springer Berlin Heidelberg.
- Roussos, G. (2002). A case study in pervasive retail. *WMC '02 Proceedings of the 2nd international workshop on Mobile commerce* (pp. 90-94). New York USA: ACM.
- Satyanarayanan, M. (2001, August). Pervasive Computing: Vision and Challenges. (C. M. University, Ed.) *IEEE Personal Communications*, 10-17.
- SCHALLER, B. (2005). *On-Board and Intercept*. WASHINGTON, D.C.: TRANSIT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM.

- System, N. T. (2008). *NTS.* Retrieved from www.lteris.com: http://www.iteris.com/itsarch/documents/keyconcepts/keyconcepts.pdf
- Tamura, Kaoru. Hirayama, Makoto. (1993). TOWARD REALIZATION OF VICS, VEHICLE INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEM. In I. o. Engineers (Ed.), Vehicle Navigation and Information Systems Conference (pp. 72-77). Ottawa, Ontario. CANADA: Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York.
- Tan, L. (2010). The Internet of Things. *3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), 2010. 5*, pp. V5-376-V5-380. Chengdu, China: IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS.
- TC278, C. (2005). *Reference Data Model For Public Transport.* Comité Européen de Normalisation.
- TRANSMODEL. (2001). http://www.transmodel.org/index.html. Retrieved 2012, from http://www.transmodel.org/index.html: http://www.transmodel.org/en/cadre1.html
- Transportation, U. D. (2008). Office of assistaint secretary for Reserch and Technology.

 Retrieved july 22, 2015, from Intelligent Transport Systems Join Program Office: http://www.iteris.com/itsarch/html/entity/paents.htm
- Tyrinopoulos, Y. (2004). A Complete Conceptual Model for the Integrated Management of the Transportation Work. *Journal of Public Transportation*, 7(4), 101-121.
- UK, D. f. (n.d.). *Trans-Xchange*. Retrieved 2011, from http://www.dft.gov.uk/transxchange/overview.htm
- UK, D. o. (n.d.). NAPTAN. Retrieved from http://www.dft.gov.uk/naptan/
- UK, N. (n.d.). Departament for Transport. Retrieved from http://www.dft.gov.uk/nptg/
- VDV. (2008). *VDV*. Retrieved 11 11, 2011, from http://www.vdv.de/wir_ueber_uns/vdv_projekte/oepnv_datenmodell.html
- Weiser, M. (1991). The Computer for the 21st Century. *Scientifoc American Ubicomp* (p. 10). ACM New York USA.