

# **SISTEMA PARA LA PRIORIDAD SEMAFÓRICA VEHICULAR BASADO EN EL ANÁLISIS GEO-REFERENCIAL**

F. ZURITA RUIZ

Departamento de Tráfico Vial y Marítimo, Indra Sistemas, España

[FZRUIZ@INDRA.ES](mailto:FZRUIZ@INDRA.ES)

## **RESUMEN**

A nivel mundial y como consecuencia del aumento de la población y de su concentración en las grandes ciudades, es imprescindible mejorar la movilidad y potenciar el uso del transporte público, por lo tanto, la prioridad vehicular inteligente es uno de los caminos que nos conduce a la movilidad sostenible en las ciudades.

Leemos u oímos en los medios de comunicación que es necesario fomentar el uso del transporte público en detrimento del vehículo particular para reducir la contaminación atmosférica, aplicando la innovación tecnológica y la ingeniería, podemos afirmar que se fomenta el uso del transporte urbano de superficie garantizando al ciudadano la puntualidad, calidad y fiabilidad del servicio, por lo tanto, basándonos en la experiencia en implantación de diferentes sistemas para prioridad vehicular, definimos que el análisis geo-referencial es el método más eficaz para conseguirlo.

La implantación del sistema de prioridad vehicular geo-referencial, permite no solo priorizar al transporte urbano en superficie, sino que aprovecha la infraestructura para conseguir que los vehículos de bomberos, ambulancia y policía, tengan prioridad de paso en determinadas intersecciones de la ciudad.

Los datos que se han obtenido en ciudades españolas como San Sebastián y Albacete demuestran la eficacia de este sistema.

En concreto en el presente documento destacamos especialmente la implantación del sistema de Prioridad en la ciudad de San Sebastián que se encuentra a la cabeza de España en utilización de autobuses urbanos ya que posee el mayor ratio de viajeros por habitante: cada habitante realiza 152,9 [1] viajes al año.

## **1. EL CAMINO ADECUADO PARA LA MOVILIDAD SOSTENIBLE INTELIGENTE EN LAS CIUDADES**

Los datos obtenidos en diferentes ciudades donde se ha implantado el sistema de prioridad bus geo-referencial, permiten ser optimistas en el camino de favorecer con este sistema la movilidad sostenible en las ciudades.

En nuestro caso planteamos los casos de Albacete y Donostia-San Sebastián en España pero podemos hablar de otros ejemplos de prioridad geo-referencial en otras ciudades europeas como Aalborg en Denmark [2], Glasgow y Cardiff en UK [2],

El análisis de tiempos obtenidos en ciudades como Donostia-San Sebastián (España) aplicando el sistema de prioridad bus en determinadas zonas de la ciudad, demuestran que se mejora la velocidad comercial y el índice de puntualidad de los autobuses se aproxima al 98% [3].

## 1.1. El valor de la ingeniería aplicado a la movilidad sostenible

El sistema de análisis geo-referencial da nombre a un sistema complejo de ingeniería de tráfico con tecnologías actuales y la descripción hace referencia al primer eslabón de la cadena de un sistema para la prioridad vehicular.

Se trata de mucho más que un dispositivo que analiza y desglosa la información obtenida del GPS, se trata de la técnica de Ingeniería que nos permite lo siguiente:

- Analizar todas las rutas de paso de los vehículos a priorizar.
- Identificar intersecciones críticas para la prioridad.
- Identificar los puntos óptimos para la mejora de tiempos de recorrido.
- Definir las acciones más adecuadas en cada intersección asociándolas a las rutas de onda verde definidas con anterioridad.
- Considerar las necesidades reales de prioridad para cada vehículo.

Este sistema puede habilitarse para cualquier medio de transporte que requiera de prioridad de paso instantánea o controlada como pueden ser autobuses, tranvía, bomberos, ambulancias, policía, etc.

El sistema Geo-referencial considera además de su paso por cada intersección, otros parámetros relevantes como el conocer con antelación si el autobús requiere realmente las acciones de prioridad o va en el horario previsto.

Con este sistema se trataría de reducir los tiempos de los recorridos, gracias a este aumento de la velocidad comercial tendiendo a igualar a los mejores tranvías, lo que acortará ostensiblemente la duración de los recorridos.

### 1.1.1 *La sinergia entre las empresas de transporte urbano en superficie y los departamentos de gestión de movilidad en las ciudades*

La base para encontrar el camino hacia la movilidad inteligente se basa en conseguir la Sinergia entre las empresas de Transporte Público y las Áreas de Movilidad Urbana de las ciudades.

El enfoque es diferente según se vea desde la empresa de transporte o desde el Área de movilidad de las ciudades:

- Empresa de transportes “ *Ganar el mayor tiempo posible en cada una de las intersecciones y mejorar la velocidad comercial*”
- Área de Movilidad. “*Mantener la actual regulación semafórica en las intersecciones de la ciudad que está diseñada para las características cinéticas del vehículo privado*”.

La ingeniería aplicada al sistema de prioridad bus geo-referencial logra mantener el equilibrio entre las dos entidades implicadas gracias a solicitar puntualmente la prioridad aplicando el menor impacto posible sobre las características cinéticas diseñadas para cada intersección y ruta.

### 1.1.2 *Ingeniería de tráfico urbano aplicada a sistemas de prioridad vehicular*

Es crítico y prioritario en la implantación de un sistema de prioridad vehicular el estudio detallado de una ruta, una intersección y cada uno de los semáforos implicados en la priorización de vehículos.

Esta labor de "Ingeniería" la puede aportar empresas que durante años han trabajado con sistemas de priorización de todo tipo, con sistema de posicionamiento o con tecnologías de detección de pasos de vehículos.

Los datos empleados para la definición de la ingeniería de priorización son los siguientes:

- "Intersecciones". Estudio de los diagramas de fases ya definidos y definición de Puntos de Control de aproximación, paso y confirmación.
- "Estudio de sub-rutas y rutas". Efecto sobre cada tramo considerando las acciones de priorización.
- "Vehículos". Tipo de vehículo, línea de autobús y número de vehículos simultáneos.
- "Tipo de Prioridad". Demanda de priorización, aproximación, parada y confirmación de paso.
- Estudio detallado de la congestión de tráfico en las zonas a aplicar la congestión. Se determinan tramos de la ciudad donde el impacto sobre la congestión sea mínimo.
- Aplicación de prioridad bus especialmente con zonas con carriles bus.
- Criterios de prioridad de buses cuando se cruzan entre si. El criterio está en función del nivel de retraso de cada uno de los autobuses que coinciden en la intersección. Se definen igualmente líneas prioritarias que imperan con respecto a las demás.

Forma parte igualmente de la ingeniería aplicada a la prioridad bus, el configurar los niveles de retraso a considerar para cada una de las líneas y desde luego considerando las diferentes franjas horarias del día.

Los datos arrojados en los históricos de pasos de autobuses por los puntos de control virtual definidos por la ciudad, son los que nos ayudarán a fijar los criterios en la aplicación de prioridad vehicular para permitir acciones de prioridad solo cuando el autobús esté con un nivel de retraso por debajo del umbral configurado.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRIORIDAD VEHICULAR GEO-REFERENCIAL**

El sistema GPBI (Gestor de Prioridad vehicular Instantáneo) de gestión de la prioridad vehicular que exponemos, está basado en criterios de localización geo-referencial, trata la información obtenida del módulo GPS, la identifica, valida la posición virtual y vía radio envía los datos instantáneos al controlador semafórico y/o centro de gestión indicando la posición geo-referencial, velocidad instantánea, código identificativo del vehículo y algunos parámetros adicionales que proporcionarán al sistema toda la información necesaria para micro-regular el tráfico.

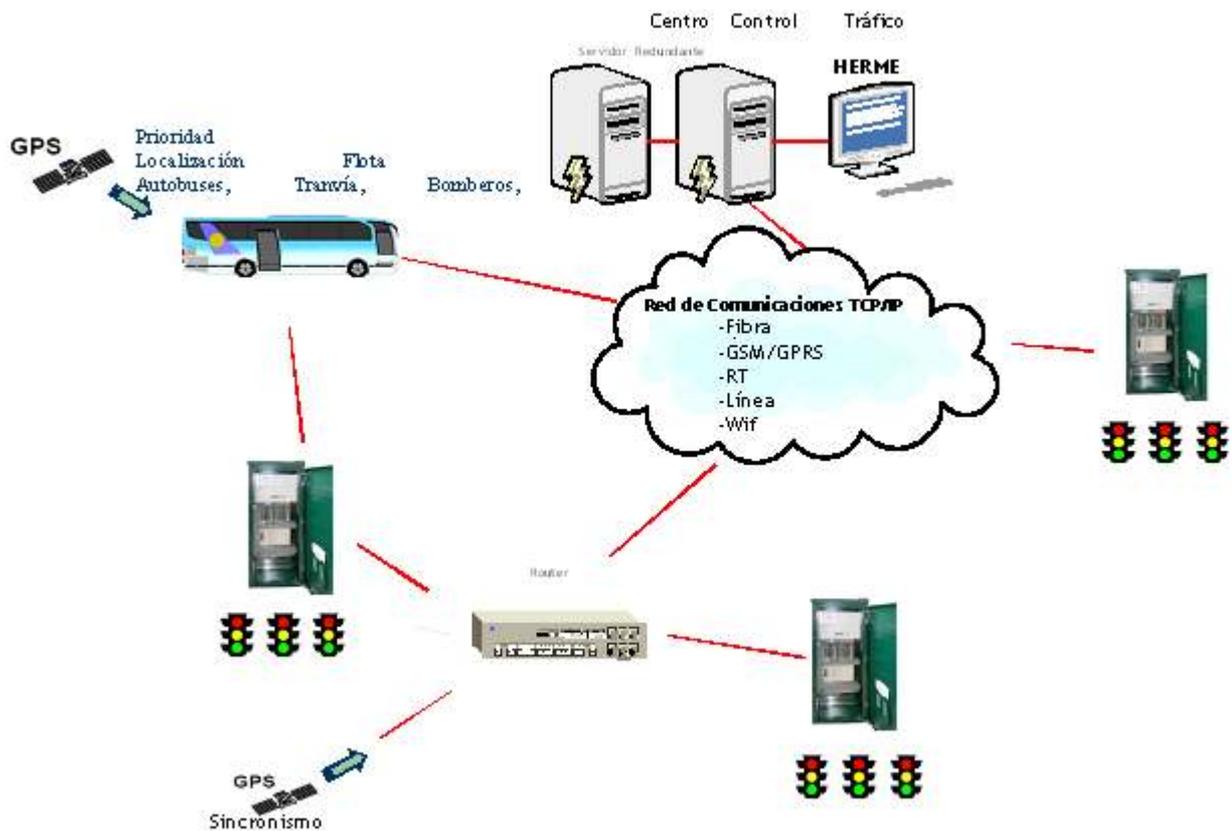


Figura 1 – Diagrama general de un sistema semaforzado de prioridad vehicular

## 2.1. Descripción básica y conceptos de la prioridad vehicular

Después de varios años de desarrollos, investigación y de formar parte de la comunidad de empresas involucradas en el transporte público y en la gestión de movilidad de las ciudades, se ha definido que la combinación de tecnologías es el camino ideal para realizar la priorización vehicular en el tráfico urbano.

### Combinación de diferentes tecnologías

- Equipo embarcado, basado en plataforma PC.
- Aplicación de módulo GPS de posicionamiento.
- Comunicación radio entre módulo de prioridad bus embarcado y controlador semafórico.
- Comunicación GPRS/3G entre equipo embarcado en el vehículo y el centro de gestión del tráfico.
- Sistema de gestión centralizado de movilidad.
- Controladores semafóricos última generación adaptados a la priorización por fases y grupos

## 2.2. Descripción General del Sistema de Prioridad Bus Geo-Referencial

El Sistema de Prioridad forma parte de un conjunto de sistemas instalado en el autobús. Analiza la información obtenida del GPS y los combina con otros parámetros obtenidos en el autobús.

Identifica posiciones virtuales o puntos de control.

Se comunica con el regulador semafórico vía inalámbrica.

La información de paso por la posición virtual es recogida en la aplicación de Centro de Control.

El regulador semafórico identifica la baliza virtual y desencadena la acción de prioridad asociada a ese punto de control.

Para completarse el proceso de prioridad bus la aplicación de gestión de tráfico considera la información de los autobuses y aplica los algoritmos evolutivos para el control del transporte público.

### *2.2.1 Descripción Funcional y la importancia del equipo embarcado*

El sistema embarcado GPBI identifica zonas de paso basándose en un Sistema Georeferencial, discrimina posiciones virtuales y establece el protocolo de confirmación con los controladores y centro de gestión.

Módulo para la Gestión de Posiciones Virtuales o puntos de control virtuales

- Analiza segundo a segundo la información de los elementos de Posicionamiento del autobús.
- Cualquier punto de la esfera terrestre puede ser localizado mediante dos coordenadas, "latitud y longitud".
- Del módulo GPS se obtiene en todo momento las coordenadas, hora UTC, rumbo y velocidad del vehículo.
- En base a las coordenadas obtenidas, se validan posiciones virtuales de paso del autobús.
- Se analiza el rumbo y la velocidad de aproximación.
- Se realiza cálculos de tiempo de recorrido y necesidad real de priorización en combinación del sistema SAE.
- Se notifica por protocolo radio al Controlador semafórico y por GPRS/3G al centro de Gestión de tráfico.
- Al controlador semafórico se envían los datos de la posición virtual, identificación de autobús y el resto de información que determinará la acción más adecuada según la situación instantánea del vehículo a priorizar su paso.
- Reconoce automáticamente la asignación de línea en base a posiciones virtuales detectadas y su orden de localización.

Las características del dispositivo a embarcar y del sistema de gestión definido, se puede equipar en cualquier transporte vehicular que requiera prioridad de paso como ambulancia, bomberos, policía y vehículos de organismos oficiales.

Los dispositivos de prioridad vehicular urgente, abre la posibilidad de que en las ciudades se puedan prever rutas de evacuación de emergencia, pasos imperativos de cruces conflictivos, acceso de emergencia a hospitales, definición de rutas de seguridad para miembros gubernamentales, etc.

### *2.2.2 Requerimientos básicos de los controladores semafóricos*

El regulador semafórico debe ser de última generación y disponer de la tecnología de comunicación radio y tcp/ip para poder cumplir con los requerimientos más adecuados para la prioridad vehicular.

La funcionalidad asociada a la prioridad permite identificar las balizas virtuales enviada por el autobús o vehículo prioritario, la asocia a las tablas configuradas y desencadena las acciones de prioridad que estén configuradas.

En paralelo a la comunicación con el equipo embarcado, intercambia con el centro de control de Gestión de movilidad, toda la información relativa y necesaria para la prioridad vehicular.

Incorporará los algoritmos de micro-regulación que permitan el “control por grupos” que facilitan flexibilidad y “control por fases”.



Figura 2 – Diagrama de colores para la microregulación

- **AIV:** Avance Inicio de Verde
- **AFV:** Avance Fin de Verde
- **RIV:** Retraso Inicio de Verde
- **RFV:** Retraso Fin de Verde
- **FRFV:** Fin Retraso fin de Verde

La acción FRFV de cancelación de fin de verde optimiza el tiempo de retorno del cruce al estado normal de funcionamiento.

### 2.2.3 Optimización del sistema de prioridad empleando los datos de tiempos de recorrido

El Sistema de prioridad vehicular geo-referencial utiliza los datos históricos e instantáneos de tiempos de recorrido y niveles de retraso por autobús obtenidos desde el SAE, esto permite aplicar prioridad solo cuando el autobús realmente tenga un nivel de retraso configurado y supere el umbral definido. El umbral de retraso se configura por franja horaria y para cada línea de bus de la ciudad.

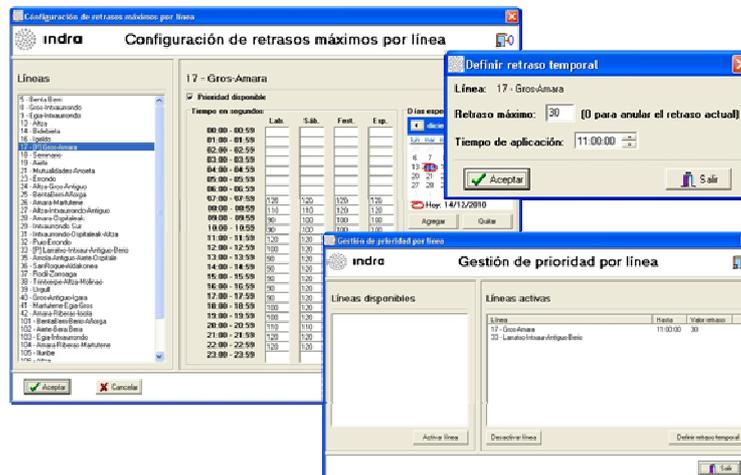


Figura 3 – Configuración de niveles de retraso por línea de autobús

La actuación conjunta entre necesidad real de priorización semafórica y el sistema de gestión de tráfico, nos permite controlar que el número de solicitudes de prioridad en los cruces sea optimizado y por lo tanto una prioridad vehicular inteligente.

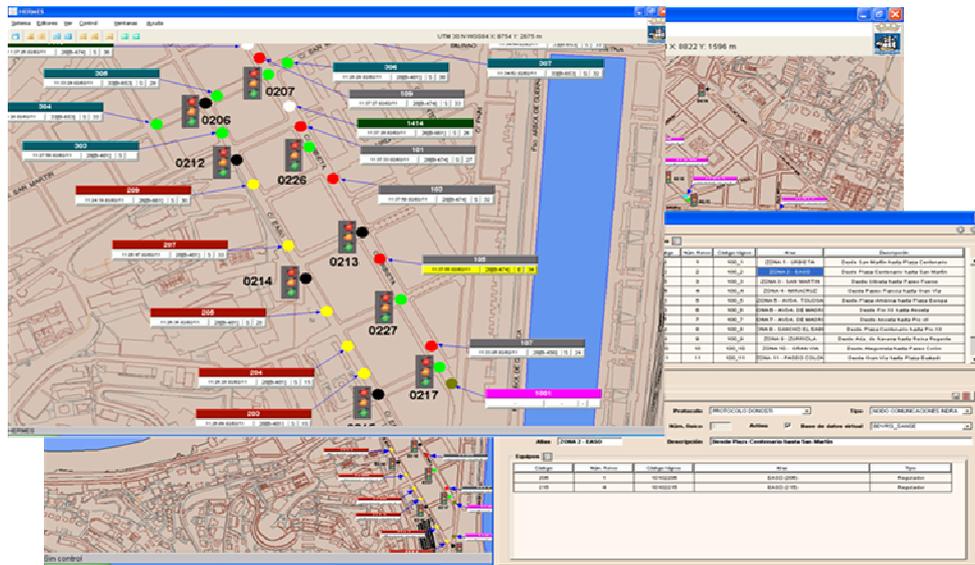


Figura 4 – Aplicación Gestora de Prioridad Bus

En la figura anterior se va reflejando los pasos de autobuses por los distintos puntos de control definidos en la ciudad y se genera el consecuente histórico de datos que permite posteriormente realizar estudios estadísticos, realizar estudios de detalle de la puntualidad y tiempo de recorrido de los autobuses y demás vehículos de prioridad vehicular.

### 3. INGENIERÍA DE TRÁFICO DE LA CIUDAD Y DATOS REALES DE TIEMPOS DE RECORRIDO OBTENIDOS

En el presente capítulo se muestra el método de análisis los datos obtenidos con el sistema de prioridad bus geo-referencial en las ciudades españolas de Albacete y San Sebastián-Donostia, en ambos casos se trata de empresas privadas de autobuses.

La política seguida desde su diseño para la ciudad de Donostia-San Sebastian, pretendía potenciar un mayor peso del transporte público respecto al automóvil privado en el reparto modal que existe en la actualidad. Para desarrollar este aspecto, son objetivos del Plan de Movilidad [4]:

- 1) Ampliar la cobertura del transporte público hasta alcanzar el 97% de la población y el 97% del empleo en 2013 (radio 150 m) y el 99%, en 2024.
- 2) Incrementar el peso del transporte colectivo, planteando como objetivo de reparto modal un porcentaje de movilidad en transporte público del 26% en 2016 y del 30% en 2024.
- 3) Mejorar la velocidad comercial del autobús urbano y comarcal evitando las fricciones con el tráfico automovilístico. Alcanzar aumentos de las velocidades comerciales medias del 10% en 2013 para los servicios urbanos y del 20% en 2024.

- 4) Aumentar la velocidad media de los servicios urbanos y comarcales, que utilicen las futuras plataformas reservadas en un 15 y 25%, respectivamente.
- 5) Reducción de los tiempos medios de viaje en transporte público respecto del automóvil: disminución de la ratio Tiempo TP / Tiempo VP del 10% en 2013 y del 20% en 2024.
- 6) Mejorar los intercambios modales internos al sistema de transporte colectivo y externos. Reducción de los tiempos de trasbordo entre un 10 y un 25%.
- 7) Mejorar la accesibilidad peatonal. Remodelar el 100% de las paradas de transporte público en 2013.
- 8) Renovar la flota con vehículos más eficientes. Disponer de un 15% de autobuses urbanos "limpios" en 2013 y del 100% en 2024.

El objetivo principal del diseño inicial era buscar un rediseño de la red de buses y medidas operacionales para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la red de San Sebastián:

- Planificación estratégica: se tratará de buscar una red óptima en base a la demanda existente. Un nuevo diseño de red podría reportar ventajas para un servicio más eficiente.
- Planificación táctica: se tratará de buscar una frecuencia óptima para las líneas.

El objetivo secundario consistía en una planificación operacional, tratando de administrar los recursos necesarios en base a una programación de horarios. En definitiva, se buscaba una planificación óptima, de forma que se minimicen los costes operativos, maximizando las prestaciones, consiguiendo así una mejora global del sistema. Se trató de rediseñar completamente la red urbana de autobuses de San Sebastián y además se propondrán una serie de actuaciones para potenciar las prestaciones ofrecidas.

En la búsqueda de esta red óptima, se utilizó el modelo de Baaj y Mahmassani [5], pero cuyo objetivo simplemente es minimizar los costes del usuario y los costes del operador de transporte.

### 3.1. Casos reales de Ingeniería vial aplicada a la Prioridad Bus.

La microrregulación se aplica a nivel local de controlador semafórico pero para la definición de la prioridad para una línea de autobús se analiza para toda su ruta considerando las diferentes intersecciones a su paso.

La prioridad está condicionada por el instante de aproximación del autobús y dicho instante está siempre dentro de la misma franja de tiempo debido a la onda verde de la coordinación de ruta y como consecuencia de la distancia entre las paradas del autobús a las intersecciones. Esta franja coincidente de tiempo es lo que denominamos "paso de ruta recurrente".

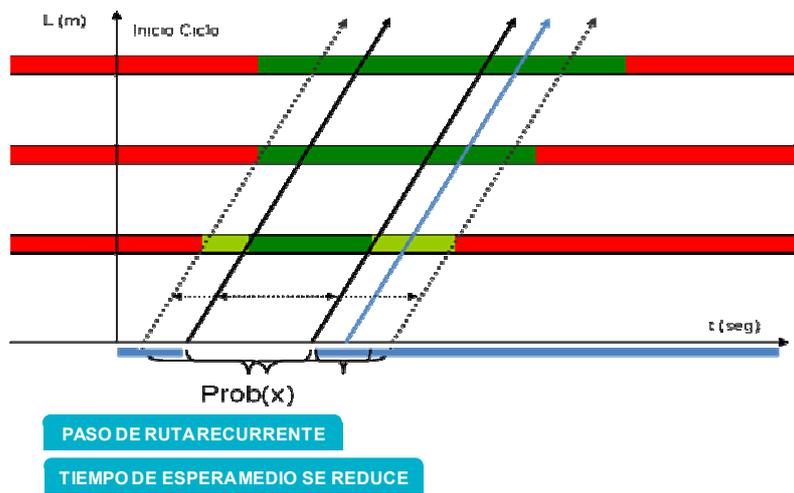


Figura 5 – Análisis de la aproximación del bus a la intersección

En concreto para la ciudad de San Sebastián (España), se ha contrastado el estudio previo realizado y se ha concretado que considerando 14 zonas que afectan a las líneas de autobuses principales de la ciudad, podemos conseguir la mejora de tiempos de recorridos y aproximar al 100%, los índices de puntualidad de los autobuses.

El estudio de ingeniería de cada zona se ha realizarlo considerando factores como la existencia del carril bus, ubicación de las paradas, líneas coincidentes, cruce de diferentes líneas y los gráficos de tiempos de las intersecciones. La figura 6 muestra un ejemplo del estudio gráfico al que se somete cada intersección.

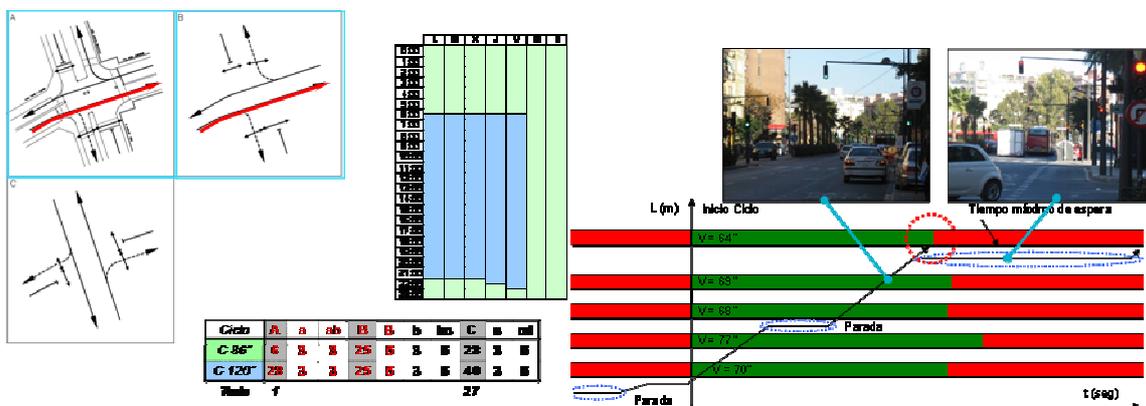


Figura 6 – Análisis de un tramo de recorrido bus

### 3.2. Mejora de la velocidad comercial y análisis de resultados obtenidos en la ciudad de Donostia-San Sebastián.

Con respecto a los resultados obtenidos con la prioridad bus geo-referencial en la ciudad de San Sebastián, se concretan que son muy buenos y que cumplen las expectativas depositadas por el cliente en este sistema. El coste de inversión en desarrollo se está viendo amortizado por el incremento de pasajeros en los últimos meses y por que el índice de puntualidad se aproxima al 100%. El índice de puntualidad se considera óptimo si el autobús finaliza su trayecto con más /menos dos segundos de puntualidad prevista.

En San Sebastián el envío de datos del autobús al centro de gestión de prioridad se realiza con tecnología inalámbrica GPRS/3G y desde que el autobús identifica un punto

de control hasta que este dato es tratado, está invirtiendo 2 segundos de tiempo en la mayoría de los casos, lo que permite que el sistema funciones según los puntos y criterios definidos.

La prioridad bus aplicada está acompañada del buen funcionamiento de la gestión del transporte de la empresa de autobuses, ya que a través del servicio de explotación comunican al centro de control cualquier incidencia de vehículos en el carril bus o mal aparcados. Situaciones de este tipo conllevan que autobuses que han perdido demasiado tiempo y que no será recuperado por el sistema de prioridad, se determina que este autobús no tome pasajeros en un tramo considerado y sean los autobuses posteriores a él los que lo realizan. Planes de maniobra ya predefinidos combinados con la prioridad bus mantienen el buen funcionamiento del transporte público en la ciudad.

Los entornos congestionados no alteran excesivamente la gestión de la prioridad ya que estas zonas identificadas como de alta densidad vehicular son las que disponen en la mayoría de los casos de carriles bus de aproximación a la intersección. Con respecto a las zonas de congestión se prioriza la solicitud de prioridad bus a los vehículos con vía congestionada, lo que está permitiendo observar que gracias a las peticiones de prioridad bus se ajusta favorablemente la liberación de vehículos de la zona congestionada.

Para el estudio de los beneficios del sistema de prioridad bus geo-referencial, es necesario analizar los tiempos de recorridos de autobuses entre dos puntos concretos de diferentes zonas donde se está aplicando la prioridad bus.



Figura 7 – Plano parcial de ciudad con posiciones virtuales para la prioridad bus

En el plano de la figura 7, se considera un punto de entrada en zona y un punto de salida de la misma. En el punto de entrada se analiza si el autobús tiene un nivel de retraso considerable para aplicarle la prioridad bus, de ser así, en los diferentes cruces del tramo definido de la ciudad, se aplicará las acciones de microrregulación que facilitarán la recuperación de tiempo al autobús.

Cada intersección tiene un tiempo mínimo que hay que respetar para mantener los criterios de seguridad vial, además de analizar la onda verde de la ruta para que las acciones de priorización no alteren los criterios de ingeniería definidos para cada intervalo horario del día.

Por esta zona de análisis transcurren las líneas 17 y 33 de autobuses urbanos y para ambos el resumen de tiempos medios entre el punto de entrada en la zona y el de salida son los siguientes:

	13/11/2010 a 14/11/2010	11/12/2010 a 12/12/2010
Total viajes	135	128
Solicitudes de Prioridad	0	59
Tiempo Medio por tramo (segundos)	444seg	408

La tabla refleja que los días 11 y 12 de diciembre con 128 pasos de autobuses, se solicitaron 59 peticiones de prioridad por tramo y la media de tiempo que tarda en recorrer el tramo indicado es de 6 minutos y 48 segundos, mientras que los días 13 y 14 de noviembre en los que no se realizó la prioridad bus, se tardó de media en recorrer dicho tramo 7 minutos y 24 segundos, por lo que con el sistema de prioridad bus se obtiene una mejora real media de **36 segundos**.

Estos 36 segundos obtenidos más las mejoras en las 12 zonas restantes de la ciudad, permiten que en los estudios realizados desde inicio de año, todas las líneas que se vieron afectadas por la prioridad bus tiene un índice de puntualidad en todo el recorrido de entre el 98% y 100%.

En la ciudad de San Sebastián (España) se ha considerando hasta el mes de mayo de 2011 la prioridad para las líneas 5, 13, 17, 19, 26, 28 y 33 a lo largo del recorrido de las 14 zonas definidas para la prioridad bus en la ciudad. En el Anexo I se indican los planos con indicación de posiciones virtuales sobre los que se aplican las diferentes acciones.

Este estudio de resultados refleja el tiempo recorrido entre la entrada y salida de cada una de las zonas tanto para los casos en que NO se aplica prioridad bus como cuando SI se aplica esta prioridad en la zona. La diferencia entre el valor medio de aplicar la prioridad y la de no aplicarla, nos proporciona (aparentemente) la ganancia de tiempo que proporciona el sistema a los autobuses que demandan prioridad de paso.

A continuación se reflejan algunas apreciaciones que se deben considerar a la hora de analizar los resultados obtenidos:

- Se está aplicando prioridad bus precisamente en horarios de máxima densidad de tráfico por lo que la mejora aplicada en esos intervalos se ve reducida por la propia circulación.
- Los autobuses que demandan prioridad y por lo tanto llevan un tiempo de retraso considerable, precisamente por esta condición, van recogiendo mayor número de pasajeros que el autobús que pasa a continuación de este. Lo que reduce la acción de mejora de prioridad bus.
- Los autobuses siguientes a los que llevan un nivel de retraso considerable, se encuentran las paradas con menor número de usuarios, por lo que indirectamente la aplicación de la prioridad al autobús que le precede, provoca que el tiempo de recorrido por tramo de este autobús sin necesidad de prioridad sea muy rápido.

- El valor de tiempo de recorrido por tramo de este caso anterior que se aprovechan del menor número de usuarios por parada, implica que estos valores de tiempos de recorridos reducen el valor “aparente” de la ganancia por zona.
- Sería ideal para la aplicación de la prioridad bus que el autobús que lleva un nivel de retraso considerable, que no recoja todos los pasajeros de las paradas sino que reparta su carga con el autobús siguiente.
- Los datos de ganancia en un mismo tramo pueden ser diferentes en función de la línea de autobús debido a las diferentes paradas intermedias.

Para la obtención de datos se ha utilizado la aplicación de Informes y en concreto la opción que permite consultar por:

- Zona de PB
- PC inicio.
- PC final
- Línea Autobús.
- Fecha Inicio
- Fecha Final

Se ha realizado durante diferentes meses de 2010 y 2011 para cada uno de los tramos y posteriormente se han separado los valores en los que se aplicó la PB y en otra tabla diferente los que no se requirió de la aplicación de prioridad.

Se muestra a continuación una tabla ejemplo que refleja de donde se obtienen los datos reflejados:

Con Prioridad bus aplicada:

Línea	Bus	Zona	PC_0	Entrada PC_0	PC_n	Salida PC_n	Diff(s)	Prioridad	Resultado
17	532	8	821	13/04/2011 19:06	833	13/04/2011 19:10	236	Habilitada	POK
17	669	8	821	11/04/2011 10:07	833	11/04/2011 10:11	235	Habilitada	POK
17	739	8	821	13/04/2011 9:48	833	13/04/2011 9:52	200	Habilitada	POK
17	739	8	821	14/04/2011 8:18	833	14/04/2011 8:21	150	Habilitada	POK
17	739	8	821	14/04/2011 18:33	833	14/04/2011 18:36	139	Habilitada	POK

Sin necesidad de Prioridad bus:

17	739	8	821	14/04/2011 16:20	833	14/04/2011 16:23	184	Deshabilitada	
17	739	8	821	14/04/2011 17:48	833	14/04/2011 17:53	263	Deshabilitada	
17	739	8	821	14/04/2011 19:15	833	14/04/2011 19:20	289	Deshabilitada	
17	739	8	821	14/04/2011 19:59	833	14/04/2011 20:03	268	Deshabilitada	
17	739	8	821	14/04/2011 20:41	833	14/04/2011 20:44	183	Deshabilitada	247,33

En este caso de ejemplo, la ganancia entre estos dos puntos de la zona 8 para el autobús 17 sería:

$$\text{Ganancia Zona 8, Línea 17} \rightarrow 247,33\text{seg} - 192\text{seg} = \mathbf{55,33 \text{ segundos}}$$

La suma de las ganancias de cada una de las zonas para cada línea nos da la ganancia de tiempo que obtiene un autobús de una línea a lo largo de todo su recorrido por la ciudad, en concreto la línea 17 de la empresa privada DBUS de San Sebastián obtiene en abril de 2011 **173,77 segundos**.

LÍNEA 17	
GANANCIA TOTAL ZONA 6	29,78
GANANCIA TOTAL ZONA 8	12,3+55,33
GANANCIA TOTAL EN ZONA 9	29,29+21,31
GANANCIA TOTAL EN ZONA 10-11	25,76
GANANCIA TOTAL EN RECORRIDO	<b>173,77</b> segundos

Para cada una de las líneas en las que se aplica la prioridad bus se realiza similar análisis obteniendo los siguientes resultados durante el mes de mayo de 2011 en la ciudad de San Sebastián.

LÍNEA 5	
GANANCIA TOTAL EN RECORRIDO	67,4 segundos
LÍNEA 13	
GANANCIA TOTAL EN RECORRIDO	73,99 segundos
LÍNEA 17	
GANANCIA TOTAL EN RECORRIDO	168,6 segundos
LÍNEA 21	
GANANCIA TOTAL EN RECORRIDO	115,11 segundos
LÍNEA 26	
GANANCIA TOTAL EN RECORRIDO	99,41 segundos
LÍNEA 28	
GANANCIA TOTAL EN RECORRIDO	173,31 segundos
LÍNEA 31	
GANANCIA TOTAL EN RECORRIDO	52,26 segundos
LÍNEA 33	
GANANCIA TOTAL EN RECORRIDO	91,05 segundos

### 1.2.1 Casos de éxito y valor añadido de la aplicación de la Prioridad Bus

Gracias a las actuaciones de la prioridad bus geo-referencial, no solo se genera la confianza en el usuario para fomentar el uso del transporte público de superficie, sino que además en casos como el que se muestra a continuación, esa mejora de la velocidad comercial permite ampliar la zonas de recorrido por la ciudad manteniendo la misma frecuencia de paso de los autobuses.

Al conseguir una mejora de la velocidad comercial en algunas líneas del orden 5% → 8 % y como consecuencia de la mejora se redefinió la actualización de la línea aumentando el tramo de recorrido.



Figura 8 – Plano de autobuses línea “A” ampliado por la prioridad bus Geo-referencial

La posibilidad de que los autobuses puedan indicar vía radio la posición de aproximación al cruce, permite utilizar esta señal como una demanda de cambio de fase en la intersección.

En concreto en Albacete (España) las demandas generadas por los autobuses que incorporan el sistema de prioridad bus geo-referencial, permiten la demanda de fase de giro exclusivo para bus.



Figura 9 – Giro exclusivo bus

La mejora vial en este caso puntual implica:

- Aumento de 900 metros en la línea (+ 3/6 minutos).
- Aprovechamiento del sistema existente (balizas + equipos).
- Fase que permite el giro únicamente se activa bajo petición del autobús, (afección mínima sobre el resto de usuarios).
- El aumento de 900 m. en el itinerario no supone un aumento del tiempo de recorrido total de la línea.

#### 4. CONCLUSIONES FINALES

“La Prioridad Bus basada en el análisis geo-referencial **es una realidad**”

“Con sistemas de este tipo para la gestión del tráfico urbano en las ciudades, estamos en el camino adecuado hacia **la movilidad inteligente**”

“Prioridad Bus SI, pero inteligentemente solo **en intersecciones y horarios que sea realmente necesaria**”

“En el sistema GPBI geo-referencial combinado con **SAE** (Sistema de Explotación al Usuario), consigue completar todos los requerimientos para mejorar la velocidad comercial de los autobuses”

“El sistema de análisis geo-referencial se emplea como **Sistema de Prioridad Vehicular** para bomberos, ambulancias, policía y vehículos que requieran prioridad de paso en la intersecciones”

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Excmo. Ayto. de Donostia-San Sebastián (2009). Datos sobre movilidad y tráfico en la ciudad. Departamento de Movilidad.
2. UITP\_WORKING\_GROUP\_Interaction\_of\_buses\_signals\_at\_road\_crossing-FINAL\_REPORT\_V2.0-april\_2009
3. 0 04 07 0 120319 10 ES 03 Estudios de Tiempos Mejorados Reales por Zonas Mayo-Junio.pdf San Sebastián. junio 2011
4. Optimizacion-del-diseno-de-lineas-de-autobus-aplicacion-a-donostia-san-sebastian. Universidad Politécnica de Cataluña. Mayo 2009
5. Baaj, M., and Mahmassani, H. (1995). Hybrid Route Generation Heuristic Algorithm for the Design of Transit Networks. Transportation Research – C, Vol. 3, No. 1. Elsevier Science Ltd., Great Britain, 1995, pp. 31-50.

## OTRA BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

Optimización del diseño de líneas de autobús. Aplicación a Donostia-San Sebastian(2009).

Ziyu Gao, Huijun Sun, Lian Long Shan (2002). A continuous equilibrium network design model and algorithm for transit systems. School of Traffic and Transportation, Northern Jiaotong University, Beijing.

Donostiabus (2009). Datos sobre movilidad en autobús: demandas, análisis de líneas, carriles bus, puntualidad y velocidad comercial. Departamento de Planificación.

Excmo. Ayto. de Donostia-San Sebastián (2004). Avance del Plan General: Apuntes sobre Movilidad. Oficina del Plan General.

Baaj, M., and Mahmassani, H. (1990). TRUST: A LISP Program for the Analysis of Transit Route Configurations. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1283, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1990, pp. 125-135.

Ceder, A., and Israeli, Y. (1998). User and Operator Perspectives in Transit Network Design. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1623, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1998, pp. 3-7.

Ceder, A., and Wilson, M. (1986). Bus Network Design. Transportation Research – Part B Vol. 20B, No. 4. Pergamon Journals Ltd., Great Britain, 1986, pp. 331-344.