

Proyecto RTC2019-007041-4 financiado por:



## TRACKBEST-3S

Herramienta para la Gestión Segura, Sostenible e Inteligente  
de Rutas de Autobús

Tool for Management of Safe, Sustainable and Smart Bus Routes

ENTREGABLE 4.2  
INFORME DE EVALUACIÓN DE LOS MÓDULOS

AUTORES	AFILIACIÓN	POSICIÓN
Adriana Cortez	TRANSyT	Investigadora Postdoctoral
Abid Al-Akioui	TRANSyT	Investigador Predoctoral
Shaghayegh Rahnama	TRANSyT	Investigadora Predoctoral

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	3
2. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO .....	3
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	4
3.1. Objetivo 1 - Mejorar la fiabilidad del servicio .....	5
3.2. Objetivo 2 - Mejorar la sostenibilidad ambiental asociada al autobús .....	5
3.3. Objetivo 3 - Descender la accidentalidad.....	6
4. PAQUETES DE TRABAJO .....	7
4.1. PT 0 - Coordinación y gestión del proyecto.....	7
4.2. PT 1 - Análisis técnico y de mercado.....	7
4.3. PT 2 - Marco tecnológico y operativo.....	7
4.4. PT 3 - Desarrollo de TrackBest-3S .....	7
4.5. PT 4 - Aplicación y evaluación de TrackBest-3S .....	8
4.6. PT 5 - Impactos y transferencia de resultados.....	8
5. MÓDULO DE FIABILIDAD .....	8
5.1. Travel Time Index (TTI).....	8
5.2. Planning Time Index (PTI) .....	9
5.3. Reliability Buffer Index (RBI) .....	9
5.4. Interpretación de los indicadores.....	9
6. MÓDULO DE CONSUMO Y EMISIONES.....	10
6.1. Consumos.....	10
6.2. Emisiones .....	11
7. MÓDULO DE SEGURIDAD VIAL .....	11
7.1. Categorización de los accidentes.....	11
7.2. Tasa de Accidentes de Tráfico (VAR) .....	12
8. MÓDULO DE SATISFACCIÓN .....	12
8.1. Customer Satisfaction Score (CSS).....	13
8.2. Net Promoter Score (NPS) .....	13
9. FINANCIACIÓN .....	14
10. REFERENCIAS .....	14

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Marco para la integración de fiabilidad, emisiones y seguridad en TrackBest-3S .....	4
Figura 2. Relación entre los parámetros del módulo de fiabilidad.....	9
Figura 3. Análisis del módulo de seguridad vial de TrackBest-3S .....	12

## **1. INTRODUCCIÓN**

El transporte de viajeros en autobús resulta clave para asegurar la equidad territorial y social de los países más desarrollados y, mucho más, de los países en vías de desarrollo. En los viajes de larga distancia, el autobús tiene en España una cuota de mercado superior al ferrocarril, aportando servicios de capilaridad en todo el territorio. Por otra parte, en la movilidad urbana y metropolitana, el autobús es el modo de transporte público dominante, salvo en las grandes metrópolis de Madrid y Barcelona, donde también lo es en sus respectivas coronas metropolitanas. Estos beneficios sociales, junto con sus menores costes y flexibilidad de recorridos, hacen de los servicios de autobús la red base necesaria para asegurar la movilidad de largo y corto recorrido. Sin embargo, son también causa de externalidades ambientales como ruido, contaminación y Gases de Efecto Invernadero (GEI); y sociales como accidentes, diferencias de accesibilidad.

La mejora de la calidad de los vehículos y las tecnologías de información y comunicación están abriendo nuevos campos para lograr mayores beneficios sociales, reducir las externalidades y aumentar su competitividad económica y empresarial. Sólo las empresas que apuestan por la innovación e integración de sistemas pueden mejorar su posición competitiva y la calidad del servicio orientado al viajero.

La mejora de los servicios de autobús tiene un gran potencial de cara a conseguir un sistema de transporte sostenible y eficiente, donde este modo juegue un papel vertebrador en el contexto de un sistema de transporte multimodal, tanto en la movilidad de larga distancia como en la movilidad urbana y metropolitana. Para ello, estos servicios tienen que asegurar la calidad de sus prestaciones para competir con el automóvil y contribuir a la reducción de emisiones y consumos energéticos.

Entre los principales desafíos a los que se enfrenta el autobús es que está sujeto a las condiciones del tráfico y su velocidad comercial es más dependiente de las condiciones del entorno que para otros modos de transporte público (Van de Velde, 2009). Además, el autobús suele percibirse como menos fiable, particularmente con relación a la información de ruta, características de especial relevancia para la calidad de los servicios de transporte (Hensher et al., 2003). Por último, aunque la energía consumida por viajero en los autobuses es cinco veces inferior a las de los vehículos privados (Ministerio de Fomento, 2006), se podrían lograr mayores ahorros energéticos con una conducción más eficiente. Esto supondría una reducción de costes y una mejora medioambiental, especialmente dado que el 95,4% de la flota de autobuses española utiliza combustibles fósiles (DGT, 2018a). Como se puede evidenciar, las principales mejoras a implementar en los servicios de autobús se refieren a la eficiencia, la seguridad, la fiabilidad y la información (EC, 2011).

## **2. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO**

El presente proyecto tiene como principal motivación desarrollar una herramienta de gestión de flotas de autobuses, TrackBest-3S, que permita mejorar la eficiencia y la calidad de los servicios de autobús. El principal avance con respecto a la situación actual de la técnica es que TrackBest-3S ahonda en la eficiencia de los servicios de autobús combinando la seguridad, las emisiones de GEI y gases contaminantes y la fiabilidad del servicio, posibilitando así una triple optimización de la operación (Safe, Sustainable and Smart - 3S).

Siendo ALSA el principal operador de autobús de España, se encuentra altamente interesado en implementar soluciones tecnológicas de primer nivel para la gestión de sus flotas, de manera que estas reviertan en la mejora continua del servicio que provee a los pasajeros.

El proyecto también cuenta con la participación del Centro de Investigación del Transporte de la Universidad Politécnica de Madrid (TRANSyT-UPM), centro de I+D+i de reconocido prestigio a nivel nacional e internacional en el estudio de la movilidad y sus efectos. La confluencia de estos dos socios proporciona sinergias con mucho potencial en la realización de proyectos de alto nivel de innovación.

ALSA ha integrado sistemas de gestión en su vehículos (GPS), los cuales permiten la visualización remota de rutas y la creación de una base de datos histórica de cada ruta con todas las variables de explotación (demanda) y operación (consumos, velocidades, aceleraciones, emisiones, etc.). Estos datos, junto con datos abiertos en tiempo real sobre tráfico y congestión y de puntos de medida de gases contaminantes y de GEI, servirán como base para la creación de la herramienta.

El estudio de la herramienta TrackBest-3S se llevará a cabo en tres casos de estudio: dos zonas urbanas (Oviedo-España y Tánger-Marruecos) y un corredor de larga distancia (Madrid-Burgos-Bilbao).

### 3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

La meta integral de TrackBest-3S es mejorar la eficiencia y la calidad de los servicios de autobús. Este objetivo principal tendrá beneficios a tres niveles: operador, pasajero y sociedad. Para conseguirlo, el proyecto tiene tres objetivos principales que se alcanzarán a través de una serie de objetivos específicos.

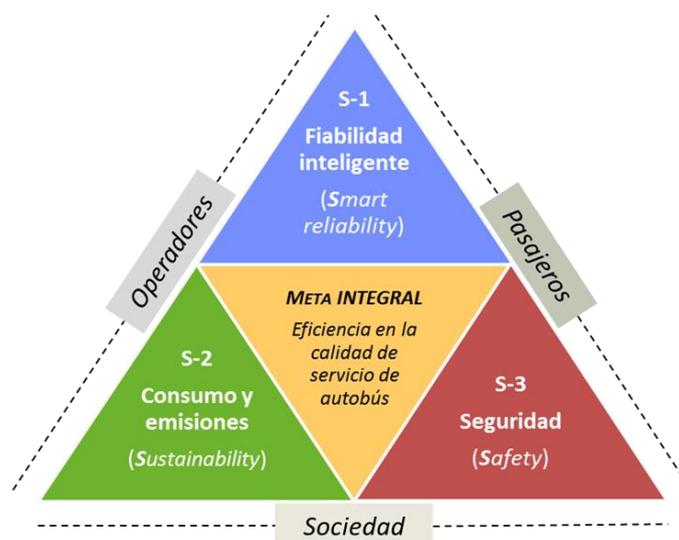


Figura 1. Marco para la integración de fiabilidad, emisiones y seguridad en TrackBest-3S  
Fuente: Elaboración propia

### **3.1. Objetivo 1 - Mejorar la fiabilidad del servicio**

El primer objetivo de esta herramienta consiste en mejorar la operación del servicio, tomando como parámetros la puntualidad y regularidad del servicio. Este es uno de los aspectos clave para los operadores de transporte, pero también para los viajeros. La Comisión Europea señala en su Libro Blanco (2011) la necesidad de unos servicios de transporte fiables, entre otras cosas, debido al envejecimiento de la población y a la necesidad de fomentar el transporte público. Dicha regularidad depende en gran medida del tipo de servicio ofertado (urbano o larga distancia), ya que las características de la infraestructura y del flujo del tráfico difieren en aspectos muy diversos.

A nivel de larga distancia, los dos atributos más valorados por los usuarios en el contexto español son la puntualidad de salida y de llegada (Ministerio de Fomento, 2015c), aspectos íntimamente ligados con la fiabilidad del servicio. En cambio, los principales problemas de operación de los servicios de autobús en entornos urbanos son el agrupamiento de autobuses (bunching), y la congestión. El primero se debe a que los retrasos del primer autobús en línea hacen que haya más pasajeros en las paradas y se aumente el retraso. En el siguiente autobús embarcan menos pasajeros, por lo que reduce su tiempo parado mientras que el primero circula cada vez con mayor retraso, lo que ocasiona que el segundo autobús alcance al primero. La mayoría de las estrategias para evitar el agrupamiento se basan en la distribución del intervalo de paso real y su relación con el intervalo planeado (Cats, 2014). A este problema se suma la congestión de las vías urbanas, produciendo efectos sinérgicos, negativos y aleatorios.

Este objetivo se articulará a través de los siguientes objetivos específicos:

- OE 1.1. Reducir tiempos de recorrido de los servicios de autobús.
- OE 1.2. Incrementar la puntualidad en origen y destino en servicios de larga distancia.
- OE 1.3. Garantizar frecuencias de paso en servicios urbanos.
- OE 1.4. Aumentar el número de viajeros.
- OE 1.5. Mejorar la satisfacción con el servicio.

TrackBest-3S evaluará la fiabilidad del servicio utilizando el tiempo de recorrido entre tramos o franjas horarias disponible gracias al sistema de geolocalización de la flota. Estos datos permitirán identificar variaciones recurrentes en la fiabilidad en determinadas líneas las cuales serán analizadas para identificar si se deben a las condiciones de operación, las condiciones climatológicas o el tráfico. Esta mejora de la fiabilidad del servicio permitirá que la información en tiempo real proporcionada a los usuarios aumente su satisfacción (Gooze, Watkins and Borning, 2013; Brakewood, Barbeau and Watkins, 2014).

### **3.2. Objetivo 2 - Mejorar la sostenibilidad ambiental asociada al autobús**

El segundo objetivo de TrackBest-3S es reducir la energía consumida y las emisiones emitidas. El consumo depende principalmente de las características del vehículo, del trazado y de la velocidad (Hu et al., 2013; Shek y Chan, 2008). Este último factor está muy relacionado con el estilo de conducción, por ello, en la última década los operadores de autobús han formado a los conductores en técnicas de conducción eficiente, logrando reducir hasta un 10% el consumo de combustible (Rutty et al., 2013; Zarkadoula, 2007).

Además, la mayor parte de las flotas de autobuses están compuestas por vehículos de combustión. Por ello, el consumo energético de los autobuses está ligado a la emisión de GEI y la emisión de gases contaminantes (EC Delft, INFRAS, and Fraunhofer ISI, 2011). La reducción de emisiones contribuirá a mejorar la calidad del aire, un objetivo especialmente importante en las ciudades.

La decisión de cambiar el recorrido de las rutas no depende habitualmente de los operadores de autobús, corresponde al Ministerio de Fomento en el caso de larga distancia y a las Autoridades de Transporte Público en entornos urbanos y metropolitanos. Por este motivo, TrackBest-3S no puede aplicar en el concepto de “eco-rutas” para mejorar la sostenibilidad ambiental en las rutas de autobús que opera. Sin embargo, como el consumo y las emisiones dependen tanto de las características de la flota y del estilo de conducción, TrackBest-3S buscar reforzar las formaciones periódicas de conducción eficiente realizadas por ALSA a sus conductores para reducir el consumo y las emisiones. Por otro lado, TrackBest-3S evaluaría de forma regular las variaciones en los consumos y las emisiones derivados de la constante actualización de la flota por tecnologías menos contaminantes.

Este segundo objetivo se puede concretar en los siguientes objetivos específicos:

- OE 2.1. Reducir el consumo de combustible.
- OE 2.2. Disminuir las emisiones de GEI y de gases contaminantes.
- OE 2.3. Promover la adopción de patrones de conducción eficiente.

### **3.3. Objetivo 3 - Descender la accidentalidad**

El último objetivo de la herramienta será mejorar la seguridad para reducir los accidentes y las situaciones de peligro en las rutas. La necesidad de alcanzar este objetivo depende de la situación socioeconómica del país. Por un lado, en países desarrollados, las tasas de fallecidos por accidentes de tráfico, y especialmente en accidentes de autobús, son notablemente bajas (9,3 fallecidos en accidentes de tráfico por cada 100.000 habitantes en Europa). Mientras que en regiones con menor desarrollo la tasa de fallecidos en accidentes de tráfico se llega a duplicar (20,7 en el Sudeste asiático) o a triplicar (26,6 en África) (WHO, 2018).

En Marruecos, sede de uno de los casos de estudio, los últimos datos disponibles muestran que un 2% de los fallecidos en accidentes de tráfico fueron en autobús. En términos absolutos, 77 personas perdieron la vida en accidentes de autobús. En España, el porcentaje de accidentes de tráfico con víctimas con autobuses implicados es marginal (2,1%). En el año 2017, hubo 2.202 accidentes en los que estuvieron implicados autobuses. En estos accidentes hubo un total de 47 heridos hospitalizados, de los cuales fallecieron un total de tres personas (DGT, 2017). Aunque el porcentaje de accidentes de tráfico con autobuses implicados es marginal es especialmente relevante reducir estas cifras, ya que los accidentes que se dan en transporte colectivo tienen un impacto social más elevado que los que se dan en transporte privado (Slovic et al., 1984). Por ello, no solo es importante que el autobús sea objetivamente más seguro que otros modos, sino que también la sociedad perciba el transporte en autobús como un modo extremadamente seguro.

Este objetivo se divide en cuatro objetivos específicos:

- OE 3.1. Reducir el número de accidentes de tráfico.
- OE 3.2. Reducir el número de víctimas.
- OE 3.3. Garantizar el cumplimiento de los límites de velocidad.
- OE 3.4. Mejorar la seguridad percibida a bordo.

## **4. PAQUETES DE TRABAJO**

### **4.1. PT 0 - Coordinación y gestión del proyecto**

El paquete de trabajo PT 0 tiene como objetivo facilitar la adecuada gestión del proyecto. Para ello debe asegurarse una correcta coordinación de los flujos de trabajo, de datos y de recursos, tanto materiales como humanos, para garantizar una eficiente ejecución del proyecto desde todos los puntos de vista: técnico, administrativo-financiero y cronológico.

La gestión del proyecto facilita el aseguramiento, organización y coordinación de todos los recursos necesarios para garantizar la correcta ejecución del proyecto y la satisfacción de todos los grupos de interés implicados en el mismo, estableciendo adecuados mecanismos de control sobre el proyecto con el fin de garantizar la coordinación de los socios implicados en el proyecto, la estrategia de comunicación y flujo de la información, y la metodología de ejecución del proyecto.

### **4.2. PT 1 - Análisis técnico y de mercado**

El paquete de trabajo PT 1 busca conocer en detalle la situación existente en la gestión inteligente y conectada de los servicios de autobús, así como la situación en los tres objetivos del proyecto: fiabilidad inteligente, sostenibilidad ambiental y seguridad vial. Para ello, se realizará un proceso sistemático de análisis de la situación en las tres áreas fundamentales de la innovación: estrategias políticas, avances científicos e innovación en el mercado.

El análisis de programas, planes y estrategias políticas en estos ámbitos está orientado a alinear correctamente TrackBest-3S dentro de las necesidades de la sociedad. Por su parte, la revisión de los avances científicos permite conocer en detalle qué factores deben tenerse en cuenta para el desarrollo y evaluación de la herramienta. Finalmente, el análisis de la innovación en el mercado permitirá detectar experiencias similares en el desarrollo y la operación, así como encontrar aspectos que puedan constituir una ventaja competitiva.

### **4.3. PT 2 - Marco tecnológico y operativo**

El paquete de trabajo PT 2 comprende los trabajos previos para la preparación de un marco tecnológico y operativo en el que se desarrollará la herramienta TrackBest-3S, fundamentalmente consistentes en tres partes: la caracterización de los casos de estudio donde se testará la herramienta, la captura y estructuración de los datos de esos casos de estudio y la integración con las herramientas de visualización que posee ALSA. La preparación inicial del marco de desarrollo del proyecto permitirá minimizar los problemas de carácter tecnológico durante el desarrollo y evaluación de TrackBest-3S.

### **4.4. PT 3 - Desarrollo de TrackBest-3S**

El paquete de trabajo PT 3 consiste en el desarrollo de la herramienta, dando como resultado el producto TrackBest-3S. La herramienta está dividida en tres módulos, entendidos como subprogramas dentro de TrackBest-3S, que están alineados con los tres objetivos del proyecto: un primer módulo de fiabilidad, otro de consumo y emisiones y el último de seguridad vial.

#### **4.5. PT 4 - Aplicación y evaluación de TrackBest-3S**

TrackBest-3S se aplicará a todos los casos de estudio (T 2.2) para verificar su utilidad en las distintas situaciones (larga distancia vs. movilidad urbana, con los distintos condicionantes de conducción y disponibilidad de datos, movilidad urbana en país desarrollado vs. país en vías de desarrollo). Este paquete contempla una evaluación cuantitativa y una evaluación cualitativa.

#### **4.6. PT 5 - Impactos y transferencia de resultados**

Los objetivos de este paquete de trabajo son, por un lado, conocer los impactos producidos por TrackBest-3S y, por el otro, transferir los resultados del proyecto al mercado y a la sociedad. La medición de los impactos económicos, sociales y ambientales permitirá cuantificar los beneficios que aporta TrackBest-3S a operadores, pasajeros y a la sociedad. También se realizará un plan de transferencia de los resultados del proyecto al conjunto de la sociedad, sirviendo como base de propuestas de I+D+i para las convocatorias europeas pertinentes.

### **5. MÓDULO DE FIABILIDAD**

Pocas personas discutirán el hecho de que la congestión del tráfico es habitual en muchas ciudades, en las cuales los conductores están acostumbrados a los atascos y esperan y planifican algunos retrasos, sobre todo en las horas punta. Muchos conductores ajustan sus horarios o reservan tiempo extra para tener en cuenta los retrasos del tráfico (FHWA, 2005).

Para la evaluación de la fiabilidad del servicio TrackBest-3S utiliza la metodología propuesta por la Federal Highway Administration (FHWA, 2004), mediante la cual se estima el Índice de Fiabilidad o Reliability Buffer Index (RBI). Este índice representa el tiempo adicional, o margen de tiempo, que los viajeros deben agregar a su tiempo de viaje medio cuando planifican su viaje para garantizar la llegada a tiempo.

Se recomienda realizar esta evaluación periódicamente de forma semestral o anual, para así identificar cuáles son las líneas con una mayor probabilidad de sufrir retrasos, o lo que es lo mismo, las líneas menos fiables. En caso de observarse que alguna línea presenta elevados valores de RBI, se deberá realizar un análisis más detallado, para identificar si el retraso está relacionado con las condiciones de tráfico en determinada franja horaria o con las condiciones del tráfico en un determinado tramo.

Para estimar el RBI se deben estimar el Índice de Tiempo de Viaje o Travel Time Index (TTI) y el Índice de Tiempo de Planificación o Planning Time Index (PTI) según las definiciones que se presentan a continuación.

#### **5.1. Travel Time Index (TTI)**

El Índice de Tiempo de Viaje o Travel Time Index (TTI), es una comparación entre el tiempo medio de viaje de una ruta y el tiempo de viaje en flujo libre, es decir, sin eventos de congestión. Este índice es similar al Índice de Tasa de Viaje (Travel Rate Index, TRI) pero, a diferencia de este, el TTI incluye el efecto de la congestión recurrente y no recurrente (FHWA, 2004).

$$TTI = \frac{\textit{Tiempo Medio de Viaje}}{\textit{Tiempo de Viaje en Flujo Libre}}$$

## 5.2. Planning Time Index (PTI)

El Índice de Tiempo de Planificación o Planning Time Index (PTI), es la relación entre el percentil 95 del tiempo de viaje y el tiempo de viaje en flujo libre. Este índice muestra el tiempo total que se debe emplear para llegar a tiempo el 95% de los viajes.

$$PTI = \frac{\text{Percentil 95 del Tiempo de Viaje}}{\text{Tiempo de Viaje en Flujo Libre}}$$

De esta manera, un valor de PTI de 2 sugiere que los viajeros deberían emplear el doble del tiempo de viaje en flujo libre para llegar puntual el 95% de las veces. Este parámetro se puede calcular para diferentes valores de percentil, relacionándose directamente este valor con el nivel de fiabilidad: a mayores percentiles, mayor fiabilidad.

## 5.3. Reliability Buffer Index (RBI)

El Índice de Fiabilidad o Reliability Buffer Index (RBI), es la diferencia entre el PTI y el TTI. Este indicador permite saber cuánto de probable es que una línea sufra retrasos.

$$RBI = PTI - TTI$$

## 5.4. Interpretación de los indicadores

Una vez calculados los parámetros, existen tres posibilidades:

- Que el autobús vaya más lento, por lo que el RBI será mayor.
- Que el autobús vaya en tiempo, objetivo de este módulo, siendo el RBI próximo a cero.
- Que el autobús vaya más rápido, por lo que el RBI será menor a cero.

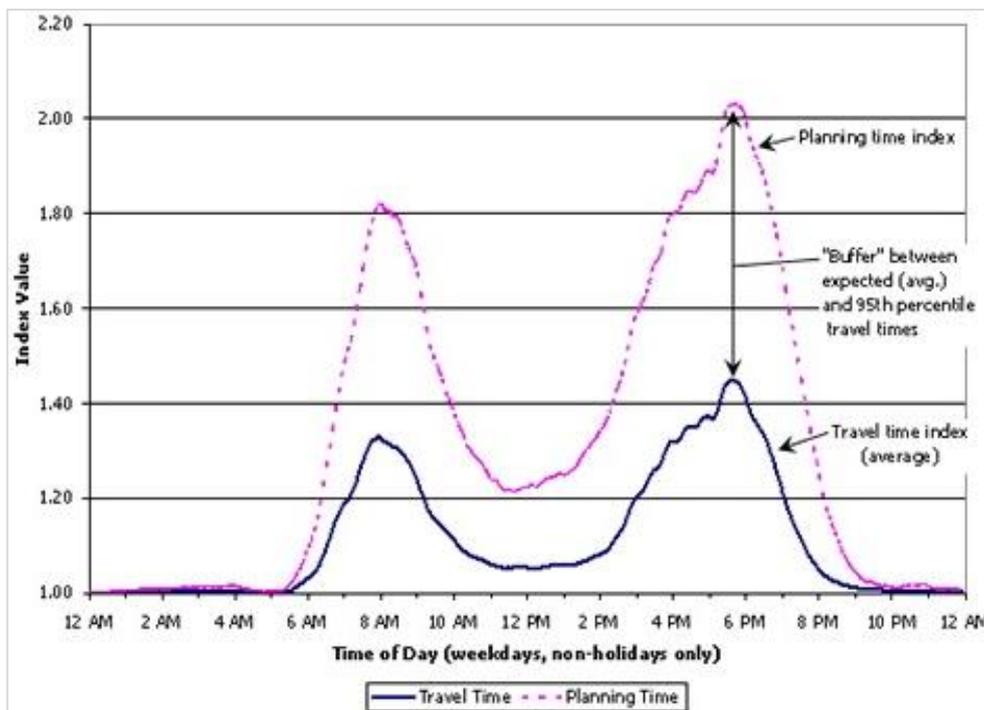


Figura 2. Relación entre los parámetros del módulo de fiabilidad  
Fuente: FHWA (2005)

De esta manera, la herramienta lanzará una alarma en los supuestos primero y tercero. En el primer supuesto se deberán estudiar eventos de congestión, condiciones meteorológicas y posibles incidentes externos que puedan ser los causantes del retraso. Ante el tercer supuesto, se deberá estudiar el comportamiento al volante del conductor del vehículo.

Así, se proponen dos umbrales admisibles: en el extremo superior se define como RBI máximo el cuartil tercero de la serie de RBIs y, en el extremo inferior, el RBI nulo. El extremo superior dependerá de los datos extraídos de cada línea. De esta manera, y cuanto más amplia sea la base de datos, el percentil 75 tendrá más precisión, siendo este valor el característico para cada línea.

## **6. MÓDULO DE CONSUMO Y EMISIONES**

Las consecuencias medioambientales del aumento de la motorización son motivo de gran preocupación, tanto a nivel local como a nivel mundial, ya que el sector del transporte es uno de los principales causantes de emisiones de GEI, uno de los principales factores relacionados con el cambio climático (UN HABITAT, 2013). Como se ha mencionado anteriormente, el segundo objetivo de TrackBest-3S es lograr que las rutas sean más eficientes, reduciendo la energía consumida y las emisiones emitidas.

Considerando que el consumo depende principalmente de las características del autobús, el trazado y la velocidad (Hu et al., 2013; Shek y Chan, 2008), mientras que las emisiones dependen de las características del vehículo, el tipo de combustible utilizado y la conducción (Bouazada et al., 2009), el análisis de este módulo se realizó considerando como bases dos ejes, uno para consumos y otro para emisiones, a partir de los cuales se generarán indicadores. La evaluación de este módulo deberá realizarse periódicamente de forma semestral o anual para analizar la evolución de los consumos y emisiones en el tiempo. Además, los umbrales que se fijen como “admisibles” deberán ser menores según avance el tiempo, teniendo en cuenta la renovación de la flota y la posible incorporación de equipos que controlen consumos y emisiones.

### **6.1. Consumos**

El proyecto de investigación EnerTrans, liderado por la Fundación de los Ferrocarriles Españoles, desarrolla un modelo de estimación y comparación homogénea del consumo de energía (y emisiones asociadas) en diferentes vehículos y modos de transporte (FFE, 2009). Como resultado de este proyecto se publicaron 17 monografías, en las cuales se estudian los factores que intervienen en el modelo, el desarrollo de este, y su aplicación a diferentes modos y tipos de transporte como coche, avión o barco, entre otros.

La monografía número 13, centrada en el estudio del consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por autobús y autocar (Bouazada et al., 2009), es la base de la sección de consumos de TrackBest-3S. Esta monografía presenta la clasificación de autobuses y autocares, define los servicios tipo de estos vehículos, y analiza los factores que inciden en el consumo. Finalmente, presenta los resultados de la prueba piloto de medición de consumos que se realizó en la flota de autobuses de ALSA.

De los datos disponibles en la monografía número 13 de EnerTrans (Bouazada et al., 2009), se seleccionaron tres indicadores referenciales para evaluar los consumos dentro del módulo de consumos y emisiones de TrackBest-3S. Para la normalización de los datos y permitir la comparación de resultados con los indicadores referenciales se ha decidido que el indicador para evaluar este apartado será el consumo de combustible expresado en litros a los 100 km.

Así, para la red de Oviedo, se definió como valor referencial el consumo de un autobús con viajeros en ámbito urbano (50,90 l/100km). Por otra parte, debido a la extensión de la red de Tánger, se asumió como valor de referencia el consumo de un autobús con viajeros en ámbito metropolitano (35,10 l/100km). Por último, para la línea Madrid-Bilbao se utilizó el consumo de un autobús con viajeros en ámbito interurbano a velocidad alta (28,70 l/100km). La empresa ALSA lleva un registro de los consumos que realizan los vehículos pertenecientes a su flota. Estos datos desagregados se compararán, teniendo en cuenta las características de la flota, con los valores referenciales obtenidos de EnerTrans para cada uno de los casos de estudio.

## **6.2. Emisiones**

La herramienta COPERT, desarrollada por EMISIA (2022) es la calculadora de emisiones de vehículos estándar de la Unión Europea. Esta herramienta, reconocida internacionalmente, es utilizada para la investigación, permitiendo el cálculo a diferentes escalas espaciales y temporales. La metodología de esta herramienta está publicada y ha sido revisada por numerosos expertos del LRTAT (Convenio sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Gran Distancia).

A partir de datos como la flota, los kilómetros recogidos, y la velocidad, COPERT calcula las emisiones de un país o región concretos de los principales contaminantes, incluyendo GEI, contaminantes atmosféricos, y sustancias tóxicas. En este caso, se centrará el estudio en las emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub>, calculando los kilogramos cada 100 km y la huella de la flota (gramos por viajero y kilómetro).

## **7. MÓDULO DE SEGURIDAD VIAL**

Existe una relación directa entre la situación económica del país y su nivel de desarrollo con las tasas de fallecidos por accidentes de tráfico. Por un lado, en países desarrollados, las tasas de fallecidos por accidentes de tráfico, y especialmente en accidentes de autobús, son notablemente bajas, mientras que, en regiones con menor desarrollo la tasa de fallecidos en accidentes de tráfico se llega a duplicar o a triplicar (WHO, 2018).

En primer lugar, se ha diseñado una herramienta de categorización de los accidentes que permitirá clasificarlos en tres causas principales: (1) Velocidad o modo de conducción, (2) Características de la vía, y (3) Condiciones meteorológicas. Una vez categorizados los accidentes, se calculará la Tasa de Accidentes de Tráfico (VAR, por sus siglas en inglés) para cada categoría. Gracias a esta categorización, se podrán diferenciar los accidentes que la empresa operadora, en este caso ALSA, puede evitar, siendo estos los causados por Velocidad o modo de conducción (1).

### **7.1. Categorización de los accidentes**

Esta herramienta analizará tres factores: velocidad, localización, y fecha. En primer lugar, se revisarán los datos de velocidad para ver si la velocidad de circulación en el momento del siniestro excedía los límites permitidos por la vía. Por otro lado, se analizará la localización, para evaluar si es que el siniestro puede deberse a las condiciones del trazado, la pendiente o el estado de la vía. Finalmente, a partir de la fecha en la que se registró el siniestro, se analizarán las condiciones de visibilidad y meteorológicas. Según Salli et al. (2008) el riesgo de accidentes es más de cuatro veces mayor en carreteras con nieve o hielo y casi cinco veces mayor con eventos de aguanieve. Por lo tanto, las condiciones meteorológicas que se analizarán son aquellas que más relevancia en la seguridad tienen: lluvia, nieve y niebla. Para cada una de ellas se fijará un umbral, a partir del cual se considera que la conducción puede verse afectada.

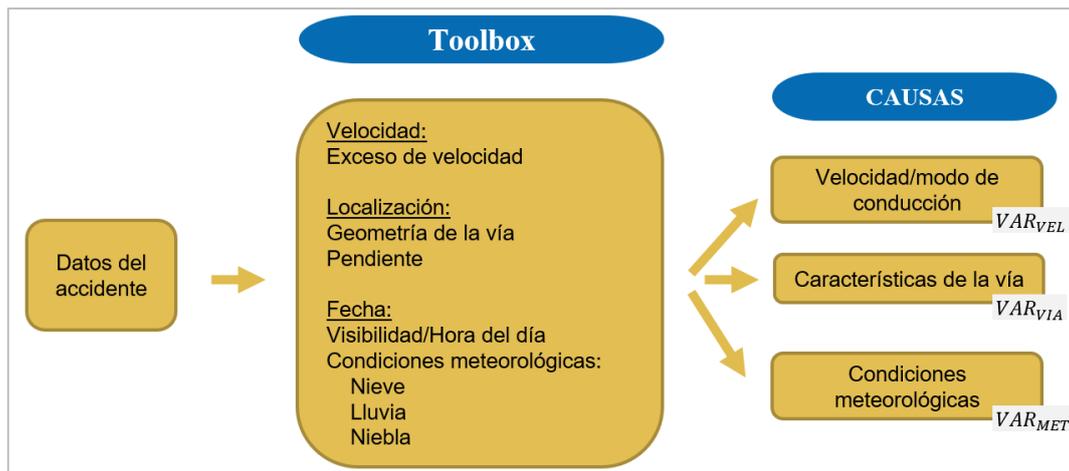


Figura 3. Análisis del módulo de seguridad vial de TrackBest-3S

Fuente: Elaboración propia

## 7.2. Tasa de Accidentes de Tráfico (VAR)

Una vez categorizados los accidentes, se calculará la Tasa de Accidentes de Tráfico (VAR, por sus siglas en inglés) para cada categoría, este análisis también podrá hacerse de forma global considerando todos los siniestros registrados en un periodo de tiempo de manera agregada (COOPERATIVE, 2010). Este indicador relaciona el número de accidentes con los kilómetros rodados de la flota, para así tener en cuenta las extensiones de las diferentes redes de autobuses y tener valores comparables.

$$VAR = \frac{\text{Número de Accidentes} \times 10^6}{\text{Kilómetros Rodados}}$$

## 8. MÓDULO DE SATISFACCIÓN

Uno de los compromisos de las empresas de transporte de viajeros en autobús con sus usuarios consiste en ofrecer un servicio de calidad que sea competitivo frente al vehículo privado. De esta manera, si la calidad del servicio es buena, la satisfacción del usuario aumentará, haciendo que el uso de los servicios de autobús se generalice.

Para medir la satisfacción del usuario, se ha desarrollado un cuarto módulo transversal a los tres que componen la herramienta. Así, se añade una nueva S (Safe, Sustainable, Smart, Satisfaction) considerando que las tres primeras tienen un impacto directo en la satisfacción del usuario.

Este cuarto módulo se basa en los resultados de encuestas de satisfacción que se deberán hacer periódicamente intentando respetar la misma estructura para hacer posible la comparación, tanto temporal como entre casos de estudio. El objetivo último es mejorar, o al menos mantener, los niveles de satisfacción del usuario con el sistema y el servicio ofertado por ALSA.

Como se ha mencionado, la metodología de este módulo se basa en la realización de encuestas de satisfacción periódicas a los usuarios de los servicios de autobús de ALSA. En estas encuestas, se le pedirá al usuario que califique y opine sobre diferentes factores que intervienen en la operación del servicio. A partir de los resultados de estas encuestas, se calcularán dos indicadores, el Customer Satisfaction Score (CSS) y el Net Promoter Score (NPS).

### **8.1. Customer Satisfaction Score (CSS)**

El Customer Satisfaction Score (CSS) representa el porcentaje de los usuarios que están satisfechos con el servicio. Para ello, en las encuestas se deberá pedir al usuario que califique su satisfacción general con el servicio en una escala de 1 a 5, siendo 1 completamente insatisfecho y 5 muy satisfecho. Por último, el CSS se calcula como el número de usuarios satisfechos (4/5) o muy satisfechos (5/5) respecto del total de usuarios encuestados.

$$CSS = \frac{\text{Número de Respuestas con 4 ó 5}}{\text{Número de Respuestas Totales}}$$

### **8.2. Net Promoter Score (NPS)**

El Net Promoter Score (NPS) corresponde a la tasa neta de recomendación del servicio. Para obtenerlo, se debe preguntar a los encuestados si recomendaría o no el servicio. Por último, el NPS se calcula como el porcentaje de usuarios que recomiendan el servicio (promotores) menos el porcentaje de usuarios que no lo recomiendan (detractores).

$$NPS = \%Promotores - \%Detractores$$

## 9. FINANCIACIÓN

Proyecto RTC2019-007041-4 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea Next Generation EU/ PRTR.

## 10. REFERENCIAS

- Bouzada, P., Martinelli, G., & Cillero, A. (2009). *Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por autobús y autocar*. Grupo Editorial Patria.
- Brakewood, C., Barbeau, S., & Watkins, K. (2014). An experiment evaluating the impacts of real-time transit information on bus riders in Tampa, Florida. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 69, pp. 409-422.
- Cats, O. (2014). Regularity-driven bus operation: Principles, implementation, and business models. *Transport Policy*, 36, pp. 223-230.
- Comisión Europea (EC). (2011). Libro Blanco - Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una política de transportes competitiva y sostenible.
- COOPERATIVE. (2010). *Criteria for Reporting and Calculation of the Vehicle Accident Rate*. [https://www.cooperative.com/programs-services/safety-resap/documents/safety%20performance%20measures/vehicleaccidentrate\\_criteriaforreportingcalculating.pdf](https://www.cooperative.com/programs-services/safety-resap/documents/safety%20performance%20measures/vehicleaccidentrate_criteriaforreportingcalculating.pdf)
- DGT, (2017). Las principales cifras de la Sinistralidad Vial. España 2017. Ministerio del Interior- Dirección General de Tráfico.
- DGT, (2018). Dirección General de Tráfico. Estadísticas- parque de vehículos.
- EC Delft, INFRAS, and Fraunhofer ISI, (2011). External Costs of Transport in Europe- Update study for 2008. Delft: CE Delft.
- EMISIA. (2022). *COPERT*. <https://www.emisia.com/utilities/copert/>
- Fundación de los Ferrocarriles Españoles (FFE). (2009). *Proyecto EnerTrans*. [https://www.investigacion-ffe.es/proyecto\\_enertrans.asp](https://www.investigacion-ffe.es/proyecto_enertrans.asp)
- Gooze, A., Watkins, K., & Borning, A. (2013). Benefits of real-time transit information and impacts of data accuracy on rider experience. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2351, pp. 95-103.
- Hensher, D. A., Stopher, P., & Bullock, P. (2003). Service quality—developing a service quality index in the provision of commercial bus contracts. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37(6), pp. 499-517.
- Hu, X., Murgovski, N., Johannesson, L., & Egardt, B. (2013). Energy efficiency analysis of a series plug-in hybrid electric bus with different energy management strategies and battery sizes. *Applied Energy*, 111, pp. 1001-1009.
- Ministerio de Fomento (2006). La ciudad sin mi coche. La semana europea de la movilidad 2004. Ponencias.
- Ministerio de Fomento (2015). Atlas digital de las Áreas Urbanas- Población: [https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG\\_CASTELLANO/\\_ESPECIALES/SIU/ATLAS/](https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/_ESPECIALES/SIU/ATLAS/)
- Rutty, M., Matthews, L., Andrey, J., Matto, T. (2013). Eco-driver training within the City of Calgary's municipal fleet: Monitoring the impact. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 24, pp. 44-51
- Salli, R., Lintusaari, M., Tiikkaja, H., & Pöllänen, M. (2008). Wintertime road conditions and accident risks in passenger car traffic. *TUTKIMUSRAPORTTI, RESEARCH REPORT*, (68).
- Shek, K. W., & Chan, W. T. (2008). Combined comfort model of thermal comfort and air quality on buses in Hong Kong. *Science of the total environment*, 389(2), pp. 277-282.
- Slovic, P., Lichtenstein, S., & Fischhoff, B. (1984). Modeling the societal impact of fatal accidents. *Management Science*, 30(4), pp. 464-474.

- UN HABITAT. (2013). Global Report on Human Settlements 2013 on Planning and Design for Sustainable Urban Mobility.
- U.S. Department of Transportation: Federal Highway Administration (FHWA). (2004). *Traffic Congestion and Reliability: Linking Solutions to Problems*. [https://ops.fhwa.dot.gov/congestion\\_report\\_04/congestion\\_report.pdf](https://ops.fhwa.dot.gov/congestion_report_04/congestion_report.pdf)
- U.S. Department of Transportation: Federal Highway Administration (FHWA). (2005). *Travel Time Reliability: Making It There On Time, All The Time*. [https://ops.fhwa.dot.gov/publications/tt\\_reliability/ttr\\_report.htm#:~:text=pursuits%20besides%20commuting,-,Why%20is%20travel%20time%20reliability%20important%3F,use%20of%20their%20own%20time](https://ops.fhwa.dot.gov/publications/tt_reliability/ttr_report.htm#:~:text=pursuits%20besides%20commuting,-,Why%20is%20travel%20time%20reliability%20important%3F,use%20of%20their%20own%20time).
- Van de Velde, D. (2009). Long-distance bus services in Europe: concessions or free market? (Vol. 21). OECD Publishing.
- World Health Organization (WHO). (2018). *Global status report on road safety 2018*
- Zarkadoula, M., Zoidis, G., Tritopoulou, E. (2007). Training urban bus drivers to promote smart driving: A note on a Greek eco-driving pilot program. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12, pp. 449-451