

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 4.3  
INFORME DE EVALUACIÓN INTEGRAL

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

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	4
2. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO .....	4
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	5
3.1. Objetivo 1 - Mejorar la fiabilidad del servicio .....	6
3.2. Objetivo 2 - Mejorar la sostenibilidad ambiental asociada al autobús .....	6
3.3. Objetivo 3 - Descender la accidentalidad.....	7
4. PAQUETES DE TRABAJO .....	8
4.1. PT 0 - Coordinación y gestión del proyecto.....	8
4.2. PT 1 - Análisis técnico y de mercado.....	8
4.3. PT 2 - Marco tecnológico y operativo.....	8
4.4. PT 3 - Desarrollo de TrackBest-3S .....	8
4.5. PT 4 - Aplicación y evaluación de TrackBest-3S .....	9
4.6. PT 5 - Impactos y transferencia de resultados.....	9
5. MÓDULO DE FIABILIDAD .....	9
5.1. Líneas de autobús de Oviedo.....	9
5.2. Líneas de autobús de Tánger .....	12
5.3. Línea de autobús de largo recorrido Madrid-Bilbao .....	14
6. MÓDULO DE CONSUMO Y EMISIONES.....	15
7. MÓDULO DE SEGURIDAD VIAL .....	17
8. MÓDULO DE SATISFACCIÓN .....	19
9. FINANCIACIÓN .....	20
10. REFERENCIAS .....	20

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Marco para la integración de fiabilidad, emisiones y seguridad en TrackBest-3S .....	5
Figura 2. Análisis de fiabilidad de la línea B de Oviedo (10-2019).....	10
Figura 3. Análisis de fiabilidad de la línea B de Oviedo (10-2021).....	11
Figura 4. Análisis de fiabilidad de la línea 7 de Tánger (10-2019).....	12
Figura 5. Análisis de fiabilidad de la línea 7 de Tánger (10-2021).....	13
Figura 6. Análisis de fiabilidad de la línea 3235 de Madrid-Bilbao (10-2019).....	14
Figura 7. Análisis de fiabilidad de la línea 3235 de Madrid-Bilbao (10-2021).....	15

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros del módulo de fiabilidad de la línea B de Oviedo (10-2019) .....	10
Tabla 2. Parámetros del módulo de fiabilidad de la línea B de Oviedo (10-2021) .....	11
Tabla 3. Parámetros del módulo de fiabilidad de la línea 7 de Tánger (10-2019) .....	12
Tabla 4. Parámetros del módulo de fiabilidad de la línea 7 de Tánger (10-2021) .....	13
Tabla 5. Parámetros del módulo de fiabilidad de la línea 3235 de Madrid-Bilbao (10-2019)....	14
Tabla 6. Parámetros del módulo de fiabilidad de la línea 3235 de Madrid-Bilbao (10-2021)....	15
Tabla 7. Análisis del módulo de consumos de TrackBest-3S .....	16
Tabla 8. Datos de entrada para el módulo de emisiones .....	16
Tabla 9. Cálculo de los parámetros del módulo de emisiones (I) .....	17
Tabla 10. Cálculo de los parámetros del módulo de emisiones (II) .....	17
Tabla 11. Cálculo de los parámetros del módulo de seguridad vial (I) .....	18
Tabla 12. Cálculo de los parámetros del módulo de seguridad vial (II).....	18
Tabla 13. Análisis del módulo de satisfacción de TrackBest-3S .....	19

## **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.

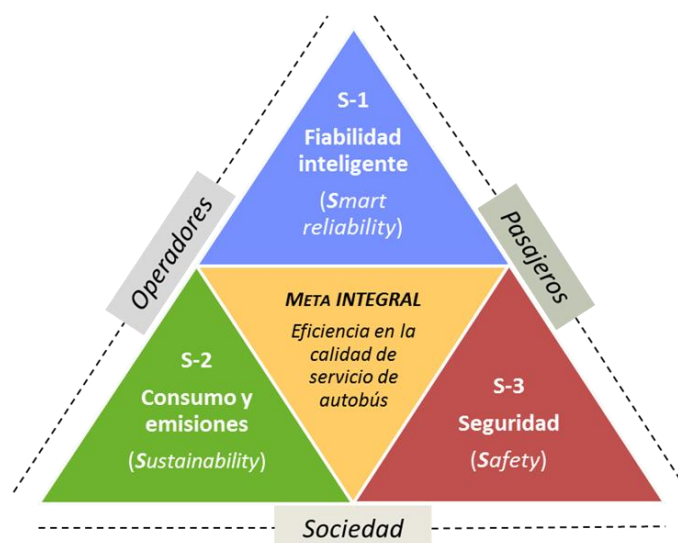


Figura 1. Marco para la integración de fiabilidad, emisiones y seguridad en TrackBest-3S  
Fuente: Elaboración propia

### **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.

Esta evaluación debe hacerse 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.

#### **5.1. Líneas de autobús de Oviedo**

Para validar la metodología y verificar que los datos disponibles permiten estimar los indicadores propuestos, se aplicó a los datos de octubre de 2019 y 2021 de la línea B de Oviedo. Utilizando la base de datos disponible, se calculó el tiempo medio de viaje discretizado por horas, para así identificar la hora punta, en la que el tiempo medio es mayor, y la hora valle, en la cual el tiempo medio de viaje es mínimo.

Tabla 1. Parámetros del módulo de fiabilidad de la línea B de Oviedo (10-2019)

Fuente: Elaboración propia

Hora	Tiempo Medio	TTI	PTI	RBI	Observaciones
6-7	32:37	2,64	2,33	0,31	Hora Punta
7-8	30:19	2,52	2,17	0,35	Alerta (>P75)
8-9	30:00	2,29	2,14	0,14	
9-10	31:18	2,55	2,24	0,31	
10-11	30:34	2,48	2,18	0,30	
11-12	30:27	2,43	2,18	0,25	
12-13	30:35	2,55	2,18	0,36	Alerta (>P75)
13-14	29:43	2,36	2,12	0,23	
14-15	29:50	2,62	2,13	0,49	Alerta (>P75)
15-16	31:23	2,57	2,24	0,33	
16-17	30:35	2,55	2,18	0,36	Alerta (>P75)
17-18	30:55	2,54	2,21	0,33	
18-19	30:36	2,50	2,19	0,31	
19-20	27:46	2,29	1,98	0,30	Hora Valle

Una vez calculados los índices para las diferentes franjas horarias, se comparan los resultados con los umbrales. En este caso, el umbral inferior corresponde al 0 y el umbral superior (percentil 75) es igual a 0,34 (teniendo en cuenta los datos conjuntos de los dos meses). En el caso de 2019, saltarán alertas en las franjas 7-8, 12-13, 14-15, y 16-17, las cuales se deberán estudiar para identificar las causas que ocasionan que el autobús tarde más de lo habitual en hacer el trayecto. Prestando especial atención a la franja comprendida entre las 14-15 que es aquella en la que se supera el umbral con mayor diferencia.

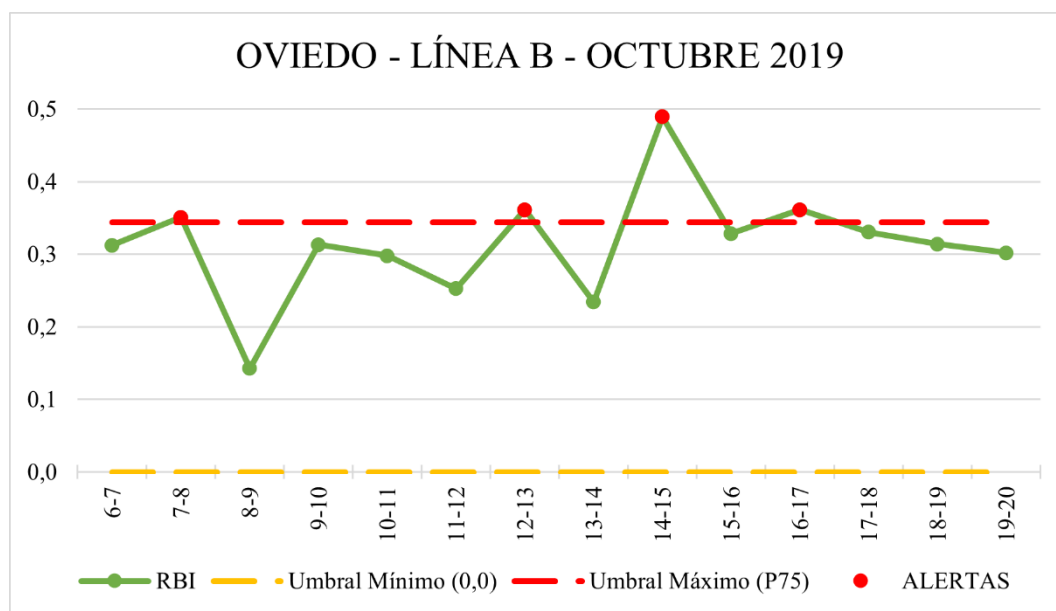


Figura 2. Análisis de fiabilidad de la línea B de Oviedo (10-2019)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Parámetros del módulo de fiabilidad de la línea B de Oviedo (10-2021)

Fuente: Elaboración propia

Hora	Tiempo Medio	TTI	PTI	RBI	Observaciones
6-7	28:46	2,40	2,05	0,34	
7-8	29:30	2,43	2,11	0,32	
8-9	29:33	2,43	2,11	0,32	Hora Punta
9-10	28:17	2,40	2,02	0,38	Alerta (>P75)
10-11	27:25	2,33	1,96	0,37	Alerta (>P75)
11-12	28:09	2,34	2,01	0,32	
12-13	27:35	2,31	1,97	0,34	
13-14	29:23	2,43	2,10	0,33	
14-15	28:32	2,43	2,04	0,39	Alerta (>P75)
15-16	28:15	2,21	2,02	0,20	
16-17	29:21	2,33	2,10	0,23	
17-18	29:30	2,41	2,11	0,31	
18-19	27:56	2,31	2,00	0,32	
19-20	27:23	2,18	1,96	0,22	Hora Valle

En el caso de 2021, se ve una reducción en los RBIs, lo que denota una mejora en la puntualidad de los servicios. Aun así, hay tres franjas horarias (9-10, 10-11 y 14-15) en las que se supera el umbral máximo, esta vez de manera menos evidente que en 2019. Sin embargo, para conseguir uno servicio puntual cualquier mínima desviación deberá estudiarse para ver cuál es su origen y proponer soluciones para que mejore.

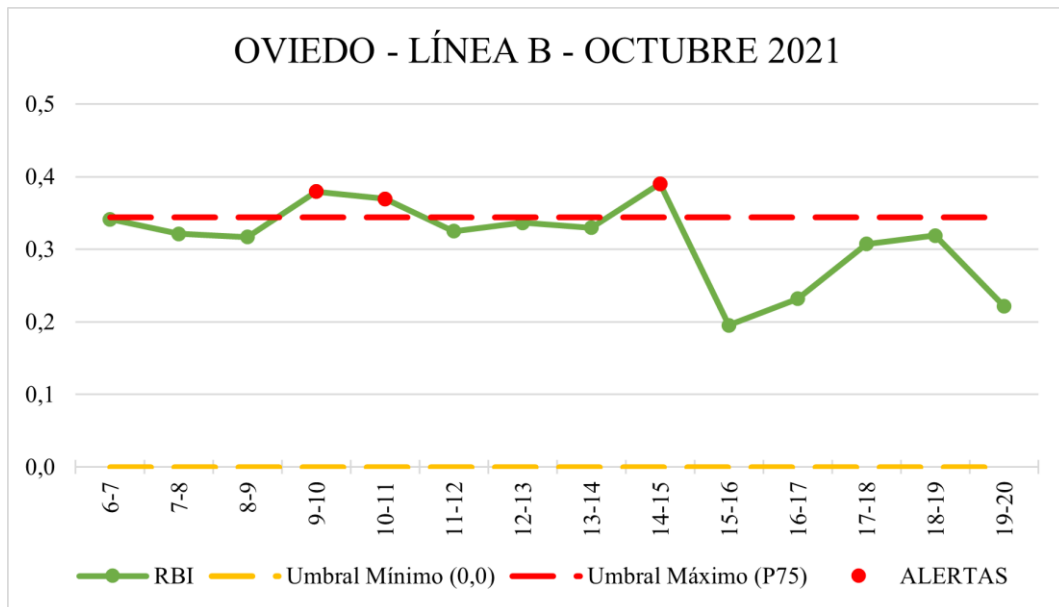


Figura 3. Análisis de fiabilidad de la línea B de Oviedo (10-2021)

Fuente: Elaboración propia

## 5.2. Líneas de autobús de Tánger

Para validar la metodología se aplicó a los datos de octubre de 2019 y 2021 de la línea 7 de Tánger. Utilizando la base de datos disponible, se calculó el tiempo medio de viaje discretizado por horas, para así identificar la hora punta, y la hora valle.

Tabla 3. Parámetros del módulo de fiabilidad de la línea 7 de Tánger (10-2019)

Fuente: Elaboración propia

Hora	Tiempo Medio	TTI	PTI	RBI	Observaciones
6-7	1:15:30	1,47	1,30	0,16	Hora Punta
7-8	53:15	1,12	0,92	0,20	
8-9	42:42	1,33	0,74	0,59	Alerta (>P75)
9-10	41:12	0,84	0,71	0,13	
10-11	42:30	0,86	0,73	0,13	
11-12	38:15	0,78	0,66	0,12	Hora Valle
12-13	41:39	0,98	0,72	0,26	
13-14	42:00	0,88	0,72	0,16	
14-15	48:47	1,33	0,84	0,49	Alerta (>P75)
15-16	52:20	1,24	0,90	0,34	
16-17	45:00	0,91	0,78	0,14	
17-18	50:00	0,91	0,86	0,05	
18-19	53:00	1,10	0,91	0,19	
19-20	46:30	1,07	0,80	0,27	

En este caso, el umbral superior (percentil 75) es igual a 0,45 (teniendo en cuenta los datos de los dos meses). En 2019, saltarán alertas en las franjas 8-9 y 14-15, las que se deberán estudiar para identificar las causas que ocasionan que el autobús tarde más. Cabe destacar que estas franjas coinciden con las horas de tráfico en la ciudad y que, en el resto de las franjas horarias, el servicio es muy puntual, llegando a un RBI mínimo de 0,05, mejorando incluso los datos de Oviedo.

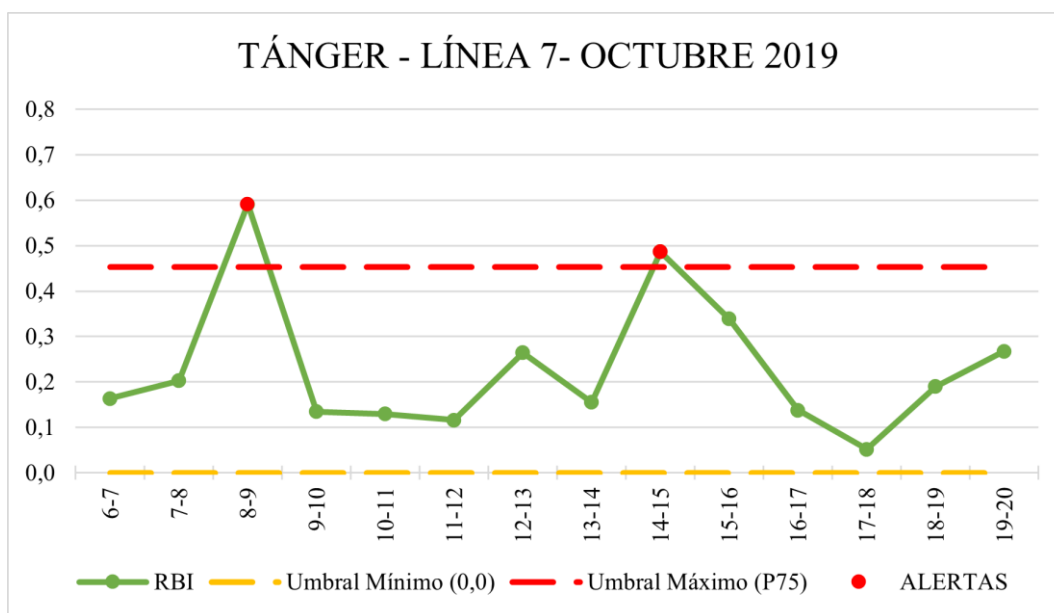


Figura 4. Análisis de fiabilidad de la línea 7 de Tánger (10-2019)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Parámetros del módulo de fiabilidad de la línea 7 de Tánger (10-2021)

Fuente: Elaboración propia

Hora	Tiempo Medio	TTI	PTI	RBI	Observaciones
6-7	47:00	0,93	0,81	0,12	
7-8	39:34	0,86	0,68	0,17	
8-9	32:25	0,66	0,56	0,10	Hora Valle
9-10	43:44	0,96	0,75	0,20	Alerta (>P75)
10-11	50:26	1,16	0,87	0,29	Alerta (>P75)
11-12	42:00	0,97	0,72	0,24	
12-13	45:47	1,38	0,79	0,59	Alerta (>P75)
13-14	52:12	1,34	0,90	0,44	Hora Punta
14-15	45:00	1,48	0,78	0,71	Alerta (>P75)
15-16	42:49	1,14	0,74	0,41	
16-17	45:32	1,26	0,79	0,48	Alerta (>P75)
17-18	49:10	1,41	0,85	0,56	Alerta (>P75)
18-19	46:37	1,14	0,80	0,33	
19-20	43:36	1,26	0,75	0,51	Alerta (>P75)

En el caso de 2021, se ve un cambio en la distribución de las alertas, aumentando su número y concentrándose en la segunda mitad del día (12-13, 14-15, 16-17, 17-18 y 19-20), quedando la mañana como un periodo de gran puntualidad en el servicio. Gracias a la herramienta se ha podido ver este cambio, siendo ahora tarea del operador el conocer las circunstancias de este cambio tan drástico en la operación de la línea.

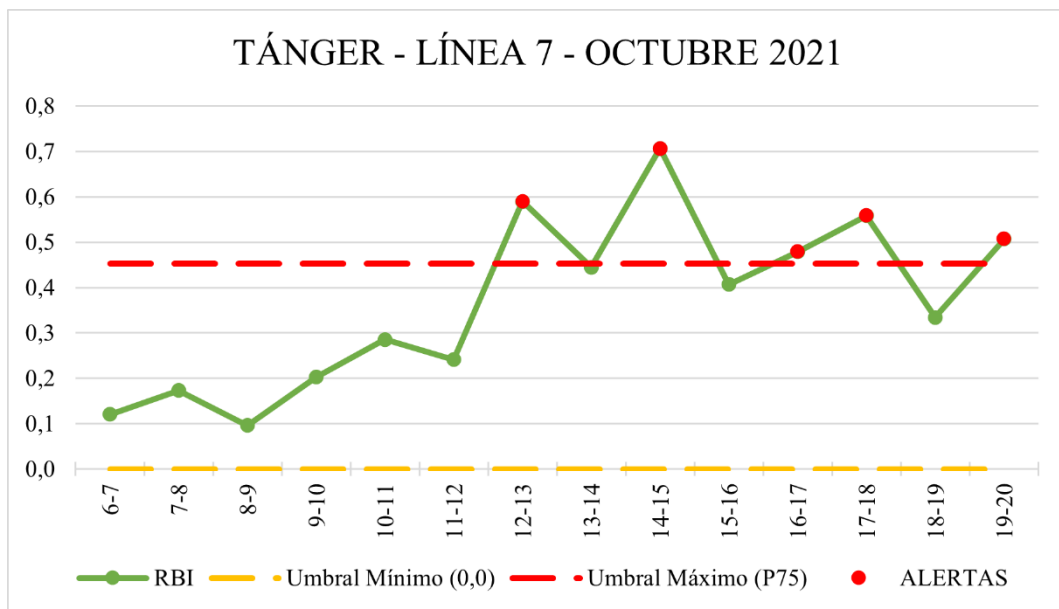


Figura 5. Análisis de fiabilidad de la línea 7 de Tánger (10-2021)

Fuente: Elaboración propia

### 5.3. Línea de autobús de largo recorrido Madrid-Bilbao

Para validar la metodología y verificar que los datos disponibles permiten estimar los indicadores propuestos, se aplicó a los datos de octubre de 2019 y 2021 de la línea 3235 del servicio de largo recorrido Madrid-Bilbao. Utilizando la base de datos disponible, se calculó el tiempo medio de viaje discretizado por días.

Tabla 5. Parámetros del módulo de fiabilidad de la línea 3235 de Madrid-Bilbao (10-2019)

Fuente: Elaboración propia

Día	Tiempo Medio	TTI	PTI	RBI	Observaciones
L	4:36:36	1,24	1,16	0,08	
M	4:33:36	1,24	1,15	0,09	
X	4:34:10	1,24	1,15	0,08	
J	4:30:23	1,23	1,14	0,09	
V	4:36:51	1,29	1,16	0,13	Alerta (>P75)
S	4:33:40	1,23	1,15	0,08	
D	4:28:00	1,33	1,13	0,20	Alerta (>P75)

Una vez calculados los índices para las diferentes franjas horarias, se comparan los resultados con los umbrales. En este caso, el umbral inferior corresponde al 0 y el umbral superior (percentil 75) es igual a 0,12 (teniendo en cuenta los datos conjuntos de los dos meses). Se puede ver cómo la puntualidad de los servicios de larga distancia es mucho mejor que la de los servicios urbanos. En el caso de 2019, saltarán alertas en viernes y domingo, las cuales se deberán estudiar para identificar las causas que ocasionan que el autobús tarde más de lo habitual en hacer el trayecto.

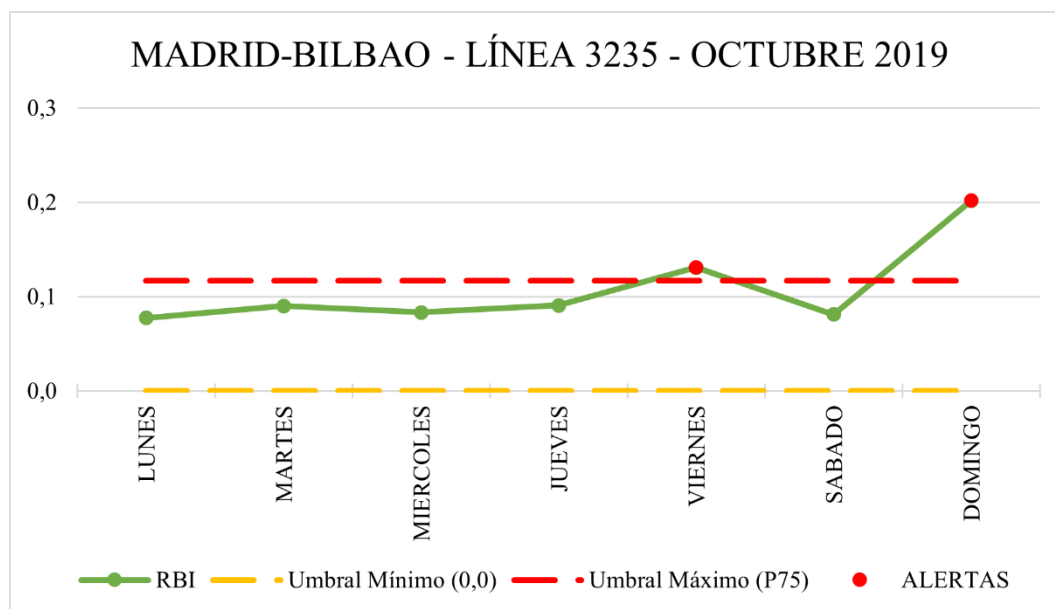


Figura 6. Análisis de fiabilidad de la línea 3235 de Madrid-Bilbao (10-2019)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Parámetros del módulo de fiabilidad de la línea 3235 de Madrid-Bilbao (10-2021)

Fuente: Elaboración propia

Día	Tiempo Medio	TTI	PTI	RBI	Observaciones
L	4:42:34	1,35	1,19	0,16	Alerta (>P75)
M	4:33:00	1,24	1,15	0,09	
X	4:24:08	1,24	1,11	0,13	Alerta (>P75)
J	4:31:00	1,22	1,14	0,08	
V	4:39:51	1,26	1,18	0,08	
S	4:37:51	1,24	1,17	0,07	
D	4:35:49	1,22	1,16	0,06	

En el caso de 2021, se ve un cambio en la distribución de las alertas, pasando a ser en lunes y miércoles. Gracias a la herramienta se ha podido ver este cambio, siendo ahora tarea del operador el conocer las circunstancias de este cambio tan drástico en la operación de la línea.

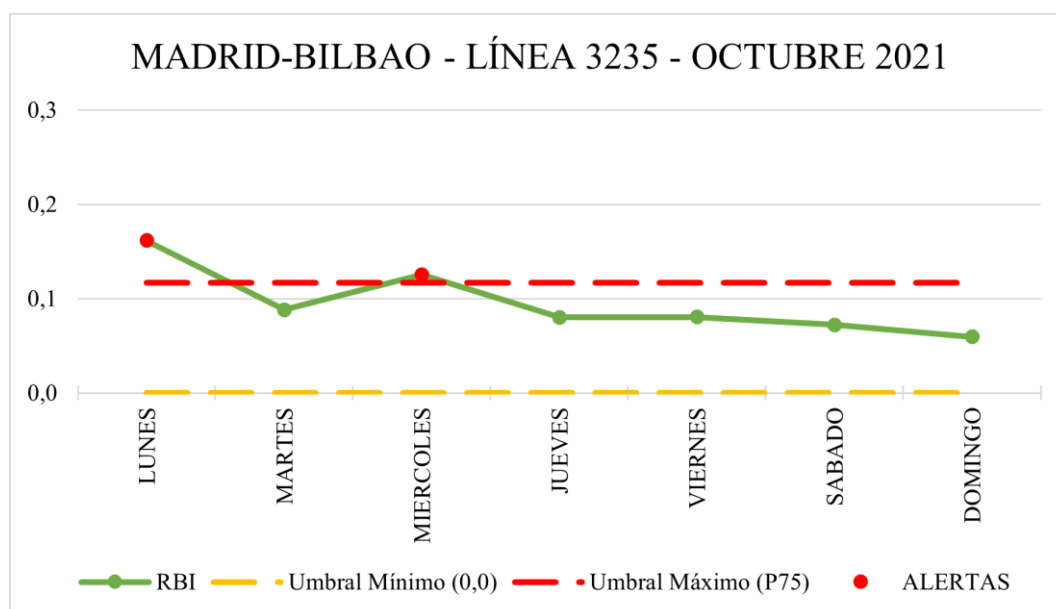


Figura 7. Análisis de fiabilidad de la línea 3235 de Madrid-Bilbao (10-2021)

Fuente: Elaboración propia

## 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.

#### 6.1.1. Consumos

Se ha aplicado la metodología propuesta a los datos de consumos de 2019 y 2020 de las redes de Oviedo y Tánger y de la línea de larga distancia Madrid-Bilbao para validarla y calibrarla a los casos de estudio. En primer lugar, se ha calculado el consumo medio por año en cada caso de estudio, para así compararlo con los indicadores referenciales obtenidos de EnerTrans (Bouazada et al., 2009).

*Tabla 7. Análisis del módulo de consumos de TrackBest-3S*

*Fuente: Elaboración propia*

	<b>Oviedo</b>		<b>Tánger</b>		<b>Madrid-Bilbao</b>	
Indicador	50,90		35,10		28,70	
2019	49,36	✓	38,28	✗	30,34	✗
2020	46,45	✓	40,96	✗	29,35	✗

Según el análisis, la flota de Oviedo tiene valores por debajo del umbral, aunque muy próximos a este. En el caso de Tánger, de media se consumen entre tres y seis litros más que el umbral propuesto. Por último, la línea Madrid-Bilbao también tiene consumos mayores a los consumos medios de una línea en ámbito interurbano, lo que no es de extrañar considerando las características topográficas de la carretera que une ambas ciudades.

#### 6.1.2. Emisiones

Se ha utilizado la herramienta COPERT para los tres casos de estudio con los datos correspondientes a 2019. Para el cálculo, la herramienta necesita los siguientes datos de entrada:

- Inventario de la flota: categoría EURO de los vehículos, número de vehículos, y kilometraje medio por vehículo.
- Datos de circulación: reparto en porcentaje de circulación en medio urbano, rural o autovía, y la velocidad media en cada uno de ellos.

*Tabla 8. Datos de entrada para el módulo de emisiones*

*Fuente: Elaboración propia*

<b>Datos de Entrada</b>	<b>Oviedo</b>	<b>Tánger</b>	<b>Madrid-Bilbao</b>
Km Recorridos	4.289.767	13.290.294	3.909.734
Vehículos	67	190	45
km/veh.	64.026	69.949	86.883
% km Urbano	67	68	-
% km Rural	33	32	-
% km Autovía	-	-	100
Velocidad Urbano	12,4	15.1	-
Velocidad Rural	20,7	24.4	-
Velocidad Autovía	-	-	88,6



Estos datos se cargarán a la herramienta COPERT, la cual calculará las toneladas anuales de emisiones de cada contaminante. A partir de este resultado, se calcularán fácilmente los kilogramos de cada contaminante por cada 100 km que emite la totalidad de la flota de cada caso de estudio en un año.

*Tabla 9. Cálculo de los parámetros del módulo de emisiones (I)*

*Fuente: Elaboración propia*

<b>Resultados</b>	<b>Oviedo</b>	<b>Tánger</b>	<b>Madrid-Bilbao</b>
Km Recorridos	4.289.767	13.290.294	3.909.734
Toneladas CO <sub>2</sub>	4.581	15.148	2.355
kg/100km CO <sub>2</sub>	107	114	60
Toneladas PM2.5	0,2358	3,1176	0,0802
kg/100km PM2.5	0,0055	0,0235	0,0021

Este análisis permite esbozar las primeras conclusiones. En primer lugar, aunque la flota de Tánger tiene unas emisiones absolutas de CO<sub>2</sub> considerablemente mayores que las de Oviedo, cuando se calcula el indicador utilizado se puede ver que las emisiones cada 100 km para esta flota son tan solo un 7% mayores que las de Oviedo. Por su parte, la línea Madrid-Bilbao tiene unas emisiones menores de CO<sub>2</sub>, debido principalmente a que en carretera se permite una uniformidad en la velocidad, evitando frenazos y arranques, lo que hace que las emisiones bajen. Por otro lado, en cuanto a los PM2.5, la flota de Tánger tiene el valor más alto, debido principalmente a que los autobuses de esta flota son más antiguos (Euro III, Euro IV), los cuales contaminan más que los de Oviedo.

Por último, a partir de los resultados anteriores, e incluyendo el Ratio de Captación (número de viajeros por vehículo), se han calculado la huella de carbono y la huella de PM2.5 (gramos por viajero por kilómetro), los cuales se muestran en la Tabla 10.

*Tabla 10. Cálculo de los parámetros del módulo de emisiones (II)*

*Fuente: Elaboración propia*

<b>Resultados</b>	<b>Oviedo</b>	<b>Tánger</b>	<b>Madrid-Bilbao</b>
Km Recorridos	4.289.767	13.290.294	3.909.734
Ratio de Captación	37	53	35
Toneladas CO <sub>2</sub>	4.581	15.148	2.355
g/viaj·km CO <sub>2</sub>	29	22	17
Toneladas PM2.5	0,2358	3,1176	0,0802
g/viaj·km PM2.5	0,0015	0,0045	0,0006

Los resultados de este análisis muestran que, en el caso de las redes urbanas, la flota de Tánger es la que tiene una huella de carbono menor, impulsado principalmente a la gran ocupación de los vehículos, 1,5 veces mayor que en Oviedo. Sin embargo, la huella de PM2.5 de Tánger es la mayor de todas. Por último, las huellas de la línea Madrid-Bilbao son muy bajas, demostrando que, para distancias largas, el autobús es una alternativa muy sostenible.

## **7. MÓDULO DE SEGURIDAD VIAL**

Existe una relación directa entre la situación económica del país y 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).

En primer lugar, para calibrar y validar la formulación, se ha calculado el VAR global para los años 2019, 2020 y 2021 para los tres casos de estudio.

*Tabla 11. Cálculo de los parámetros del módulo de seguridad vial (I)*

*Fuente: Elaboración propia*

<b>Caso de Estudio</b>	<b>Variable</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
Oviedo	Accidentes	132	109	85
	Km Rodados	4.658.122	4.100.134	4.413.864
	VAR	28	27	19
Tánger	Accidentes	620	513	620
	Km Rodados	14.819.045	12.316.174	15.778.920
	VAR	42	42	39
Madrid-Bilbao	Accidentes	65	19	30
	Km Rodados	3.958.217	1.742.009	2.374.930
	VAR	16	11	13

Analizando las redes urbanas, se puede observar que, aunque Tánger tiene casi cinco veces más accidentes que Oviedo, el VAR de la ciudad marroquí sólo es el doble que el de la ciudad asturiana. Por otro lado, la línea de larga distancia Madrid-Bilbao tiene un VAR global más bajo, con un valor medio de 13.

Para comprobar la validez de la metodología completa, incluyendo la categorización de los siniestros, se ha aplicado a las bases de accidentes de las redes de Oviedo y Tánger correspondientes a 2019. En primer lugar, se categorizaron los accidentes según los rebases de velocidad, las condiciones meteorológicas y las características de la vía. Una vez hecha la categorización, se calculó el VAR para cada categoría.

*Tabla 12. Cálculo de los parámetros del módulo de seguridad vial (II)*

*Fuente: Elaboración propia*

	<b>Oviedo</b>			<b>Tánger</b>		
	<b>Accidentes</b>	<b>Km Rodados</b>	<b>VAR</b>	<b>Accidentes</b>	<b>Km Rodados</b>	<b>VAR</b>
Velocidad o modo de conducción	45	4.658.122	10	249	14.819.045	17
Características de la vía	29	4.658.122	6	204	14.819.045	14
Condiciones meteorológicas	58	4.658.122	12	167	14.819.045	11
Total 2019	132	4.658.122	28	620	14.819.045	42

Analizando los valores de los VAR por categoría, se puede ver que los accidentes debidos a condiciones meteorológicas tienen valores similares. Por otro lado, los derivados de características de la vía son más del doble en Tánger. Por último, los VAR relacionados con la velocidad o el modo de conducción también son mayores en Tánger.

De esta manera, se puede ver que en el caso de Oviedo la causa de la mayoría de los accidentes es debido a las condiciones meteorológicas. Sin embargo, la causa de la mayoría de los accidentes en Tánger es Velocidad o modo de conducción, la cual tiene un potencial de mejora mediante la concienciación y formación de los conductores.

## 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.

Se han calculado los indicadores presentados para las encuestas realizadas en los últimos años en los tres casos de estudio. En el caso de Oviedo, se cuenta con datos de 2018 y 2021. Para la red de Tánger sólo se dispone de los resultados de las encuestas realizadas en 2022. Por último, para la línea Madrid-Bilbao se analizan encuestas realizadas en 2019 y 2021.

*Tabla 13. Análisis del módulo de satisfacción de TrackBest-3S*

*Fuente: Elaboración propia*

<b>Caso de Estudio</b>	<b>Año</b>	<b>CSS (%)</b>	<b>NPS (%)</b>
Oviedo	2018	93	83
	2021	82	95
Tánger	2022	67	78
Madrid-Bilbao	2019	70	46
	2021	77	68

Como se puede ver, la red de Oviedo tiene muy buena satisfacción general, así como una tasa de recomendación próxima al 100%. Por su parte, la red de Tánger tiene una satisfacción del 67% y una tasa de recomendación próxima al 80%. Por último, tanto la satisfacción como la tasa de recomendación de la línea Madrid-Bilbao han aumentado con respecto a los valores de 2019.

## 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.
- DGT, (2017). Las principales cifras de la Siniestralidad 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.
- 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
- 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